



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias

**COMPOSTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS
PARA UTILIZAÇÃO COMO SUBSTRATOS HORTÍCOLAS**

Mário Manuel Ferreira dos Reis

Faro

1997



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias

**COMPOSTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS
PARA UTILIZAÇÃO COMO SUBSTRATOS HORTÍCOLAS**

Mário Manuel Ferreira dos Reis

Dissertação apresentada na
Universidade do Algarve, para efeito
de prestação de Provas de
Doutoramento.

Faro

1997

A meus Pais

**COMPOSTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS PARA
UTILIZAÇÃO COMO SUBSTRATOS HORTÍCOLAS****ÍNDICE GERAL**

| | |
|--|-----|
| Índice de Figuras | 5 |
| Índice de Quadros | 7 |
| Símbolos e Abreviaturas | 13 |
| Unidades..... | 15 |
| | |
| RESUMO | 17 |
| SUMMARY | 19 |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 21 |
| | |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 31 |
| 2.1. Compostagem | 31 |
| 2.1.1. Caracterização geral do processo de compostagem | 31 |
| 2.1.2. Condições de meio para a compostagem..... | 35 |
| 2.1.3. Evolução da matéria orgânica..... | 55 |
| 2.1.4. Evolução das variáveis durante a compostagem | 61 |
| 2.1.5. Métodos de regulação..... | 72 |
| 2.1.6. Métodos de compostagem | 73 |
| 2.1.7. Qualificação de um composto | 84 |
| 2.2. Cultura em substratos..... | 95 |
| 2.2.1. Aspectos gerais..... | 95 |
| 2.2.2. Características mais relevantes dos substratos | 98 |
| 2.2.3. Operações culturais..... | 109 |
| 2.2.4. Utilização de substratos alternativos ou complementares | 113 |
| 2.2.5. Cultura em placas alveoladas | 115 |
| 2.2.5.1. Características dos substratos..... | 115 |
| 2.2.5.2. Características das placas alveoladas | 116 |
| 2.2.5.3. Condução do viveiro | 118 |
| 2.2.5.4. Avaliação da qualidade das plantas..... | 123 |
| 2.2.6. Cultura em vasos | 128 |
| 3. ESTUDO DA COMPOSTAGEM..... | 131 |

| | |
|---|-----|
| 3.1. Introdução | 131 |
| 3.2. Material e métodos..... | 133 |
| 3.2.1. Materiais a compostar..... | 133 |
| 3.2.2. Metodologia de compostagem..... | 134 |
| 3.2.3. Observações realizadas..... | 139 |
| 3.2.3.1. Métodos para determinação de propriedades físicas..... | 141 |
| 3.2.3.2. Métodos para determinação de propriedades físico-químicas | 144 |
| 3.2.3.3. Métodos para determinação de propriedades químicas..... | 145 |
| 3.2.3.4. Métodos para determinação de propriedades biológicas..... | 150 |
| 3.3. Resultados e discussão | 151 |
| 3.3.1. Evolução do processo de compostagem | 151 |
| 3.3.1.1. Bagaço de azeitona..... | 151 |
| 3.3.1.2. Bagaço de uva | 157 |
| 3.3.1.3. Polpa de alfarroba | 162 |
| 3.3.1.4. Casca de eucalipto..... | 167 |
| 3.3.1.5. Casca de pinheiro | 175 |
| 3.3.2. Evolução geral dos processos de compostagem..... | 182 |
| 3.3.3. Evolução das variáveis indicadoras de estabilidade ou maturação | 186 |
| 3.3.3.1. Relação entre variáveis..... | 186 |
| 3.3.3.2. Matéria orgânica..... | 187 |
| 3.3.3.3. Azoto orgânico | 189 |
| 3.3.3.4. Relação azoto orgânico/matéria mineral | 190 |
| 3.3.3.5. Azoto amoniacal..... | 191 |
| 3.3.3.6. Grau de decomposição | 192 |
| 3.3.3.7. Azoto não hidrolizável | 193 |
| 3.3.3.8. Relação carbono/azoto | 194 |
| 3.3.3.9. Relação carbono/azoto, em extracto aquoso | 194 |
| 3.3.3.10. Capacidade de troca catiónica | 196 |
| 3.3.3.11. Carbono oxidável solúvel..... | 197 |
| 3.3.4. Características finais dos materiais e sua evolução durante o armazenamento..... | 199 |
| 4. TESTAGEM DOS SUBSTRATOS | 207 |
| 4.1. Introdução | 207 |
| 4.2. Material e métodos..... | 210 |
| 4.2.1. Cultura em placas alveoladas | 210 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1.1. Caracterização dos substratos utilizados | 210 |
| 4.2.1.2. Selecção de variáveis | 218 |
| 4.2.1.3. Viveiros de tomate em placas de sementeira | 219 |
| 4.2.2. Cultura de plantas ornamentais em vasos..... | 225 |
| 4.2.2.1. Caracterização dos substratos utilizados | 225 |
| 4.2.2.2. Selecção de variáveis | 226 |
| 4.2.2.3. Cultura de pelargónio em vaso..... | 227 |
| 4.3. Resultados e discussão..... | 231 |
| 4.3.1. Cultura em placas alveoladas | 231 |
| 4.3.1.1. Selecção de variáveis | 231 |
| 4.3.1.2. Avaliação da resposta das plantas | 239 |
| 4.3.1.3. Influência das características dos substratos no crescimento das plantas em viveiro | 254 |
| 4.3.2. Cultura em vasos | 259 |
| 4.3.2.1. Selecção de variáveis | 259 |
| 4.3.2.2. Avaliação da resposta das plantas | 264 |
| 4.3.2.3. Influência das características dos substratos no crescimento das plantas em vasos | 272 |
| 4.4. Aspectos económicos..... | 279 |
| 5. TESTAGEM DAS PLANTAS NO CAMPO | 281 |
| 5.1. Material e Métodos | 281 |
| 5.2. Resultados e Discussão | 281 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 287 |
| 6.1. Técnicas de compostagem | 287 |
| 6.2. Testagem dos compostos | 290 |
| 6.3. Viabilidade da utilização dos compostos..... | 291 |
| 6.3.1. Bagaço de azeitona | 291 |
| 6.3.2. Bagaço de uva..... | 292 |
| 6.3.3. Polpa de alfarroba..... | 293 |
| 6.3.4. Casca de eucalipto | 294 |
| 6.3.5. Casca de pinheiro | 294 |
| AGRADECIMENTOS..... | 297 |

| | |
|--|-----|
| BIBLIOGRAFIA | 299 |
| ANEXOS | 319 |
| 1- Caracterização dos substratos comerciais utilizados, segundo o fabricante..... | 319 |
| 2 - Ensaio de calagem da turfa de preparação das misturas..... | 320 |
| 3 - Fertilização empregue nos ensaios de cultura | 321 |
| 4 - Valores da radiação PAR durante os ensaios de cultura | 322 |
| 5 - Variação do pH e da EC nos substratos durante os ensaios de cultura | 323 |
| 6 - Variação da temperatura dos substratos | 324 |
| 7 - Percentagem de germinação nos viveiros no 2º ano de ensaios de cultura | 325 |
| 8 - Valores limite para os teores de metais pesados em lamas de estação de tratamento de águas residuais e nos seus compostos | 326 |
| 9 - Correlações das propriedades físicas das misturas de cada composto e das variáveis medidas nas plantas..... | 327 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Evolução recente da importação de turfas | 21 |
| Figura 2 - Descrição geral do processo de compostagem | 35 |
| Figura 3 - Representação esquemática das transformações ocorridas durante a preparação de um composto para cogumelos | 61 |
| Figura 4 - Determinações efectuadas e tipo de amostra empregue | 140 |
| Figura 5 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a compostagem de bagaço de azeitona. | 151 |
| Figura 6 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a compostagem de bagaço de uva | 157 |
| Figura 7 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a compostagem de polpa de alfarroba | 162 |
| Figura 8 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a 1ª compostagem de casca de eucalipto | 167 |
| Figura 9 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a 2ª compostagem de casca de eucalipto | 171 |
| Figura 10 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a 1ª compostagem de casca de pinheiro | 175 |
| Figura 11 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a 2ª compostagem de casca de pinheiro | 179 |
| Figura 12 - Evolução do teor de matéria orgânica durante a compostagem | 188 |
| Figura 13 - Evolução do azoto orgânico durante a compostagem | 189 |
| Figura 14 - Evolução da relação do azoto orgânico e da matéria mineral durante a compostagem..... | 191 |
| Figura 15 - Evolução do azoto amoniacal durante a compostagem..... | 191 |
| Figura 16 - Evolução do grau de decomposição durante a compostagem | 192 |
| Figura 17 - Evolução do teor de azoto não hidrolizável durante a compostagem | 193 |
| Figura 18 - Evolução da relação carbono/azoto durante a compostagem..... | 194 |
| Figura 19 - Evolução da relação carbono/azoto em extracto aquoso durante a compostagem..... | 195 |
| Figura 20 - Evolução da capacidade de troca catiónica, relativamente à matéria orgânica, durante a compostagem..... | 196 |
| Figura 21 - Evolução da capacidade de troca catiónica, relativamente ao volume, durante a compostagem..... | 197 |
| Figura 22 - Evolução do teor de carbono oxidável solúvel durante a compostagem..... | 198 |
| Figura 23 - Correlação das características físicas determinadas e das calculadas a partir das propriedades dos respectivos componentes..... | 215 |
| Figura 24 - Distribuição das variáveis seleccionadas segundo as componentes mais importantes, no 1º viveiro de tomate..... | 233 |

| | |
|---|-----|
| Figura 25 - Distribuição das variáveis seleccionadas segundo as componentes mais importantes, no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar..... | 237 |
| Figura 26 - Distribuição das variáveis seleccionadas segundo as componentes mais importantes, no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar..... | 238 |
| Figura 27 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 1º viveiro de tomate, obtidos no substrato testemunha e nas misturas com os compostos | 240 |
| Figura 28 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 2º viveiro de tomate, no substrato testemunha e nas misturas com composto | 245 |
| Figura 29 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 3º viveiro de tomate, no substrato testemunha e nas misturas com composto | 248 |
| Figura 30 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 4º viveiro de tomate, no substrato testemunha e nas misturas com composto | 251 |
| Figura 31 - Distribuição das variáveis segundo as duas componentes mais importantes, incluindo a variável “cobertura do vaso”, na 1ª cultura de pelargónio em vaso . | 263 |
| Figura 32 - Distribuição das variáveis segundo as duas componentes mais importantes, não incluindo a variável “cobertura do vaso”, na 1ª cultura de pelargónio em vaso . | 263 |
| Figura 33 - Valor médio do transformado do número de folhas, do número de lançamentos axilares e do peso fresco da parte aérea das plantas na 1ª cultura de pelargónio, no substrato testemunha e nas misturas com composto | 266 |
| Figura 34 - Valor médio do transformado do número de folhas, do número de lançamentos axilares e do peso fresco da parte aérea das plantas na 2ª cultura de pelargónio, no substrato testemunha e nas misturas com composto | 270 |
| Figura 35 - Correlações das características físicas das plantas no final do 2º viveiro de tomate e da produção total no campo, englobando todas as misturas..... | 283 |
| Figura 36 - Correlações das características físicas das plantas no final do 2º viveiro de tomate e da produção total no campo, por composto | 285 |
| Figura 37 - Evolução do pH da turfa, com a aplicação de doses crescentes de calcário. | 320 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de bagaço de azeitona..... | 22 |
| Quadro 2 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de bagaço de uva | 23 |
| Quadro 3 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de polpa de alfarroba | 24 |
| Quadro 4 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de casca de eucalipto | 25 |
| Quadro 5 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de casca de pinheiro | 26 |
| Quadro 6 - Possibilidades de regulação do oxigénio e da temperatura durante a compostagem..... | 75 |
| Quadro 7 - Tabela de soluções mais adequadas para efectuar a compostagem, baseada na articulação do tipo de material e grau de controlo do processo com os tipos de estrutura de compostagem | 78 |
| Quadro 8 - Métodos de determinação da estabilização ou maturidade..... | 89 |
| Quadro 9 - Evolução de características físico-químicas, químicas e biológicas durante a compostagem de bagaço de azeitona..... | 155 |
| Quadro 10 - Evolução de características físicas durante a compostagem de bagaço de azeitona..... | 156 |
| Quadro 11 - Evolução de características físico-químicas, químicas e biológicas durante a compostagem de bagaço de uva | 150 |
| Quadro 12 - Evolução de características físicas durante a compostagem de bagaço de uva . | 161 |
| Quadro 13 - Evolução de características parâmetros físico químicas, químicas e biológicas, durante a compostagem de polpa de alfarroba | 165 |
| Quadro 14 - Evolução de características físicas durante a compostagem de polpa de alfarroba..... | 166 |
| Quadro 15 - Evolução de características físico químicas, químicas e biológicas, durante a 1ª compostagem de casca de eucalipto (com lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas) | 169 |
| Quadro 16 - Evolução de características físicas durante a 1ª compostagem de casca de eucalipto (com lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas).... | 170 |
| Quadro 17 - Evolução de características físico-químicas, químicas e biológicas, durante a 2ª compostagem de casca de eucalipto (com ureia) | 173 |
| Quadro 18 - Evolução de características físicas durante a 2ª compostagem de casca de eucalipto (com ureia)..... | 174 |
| Quadro 19 - Evolução de características físico-químicas, químicas e biológicas, durante a 1ª compostagem de casca de pinheiro (com lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas) | 177 |
| Quadro 20 - Evolução de características físicas durante a 1ª compostagem de casca de pinheiro (com lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas)..... | 178 |
| Quadro 21 - Evolução de características físico químicas, químicas e biológicas determinados pela metodologia referida, durante a 2ª compostagem de casca de pinheiro (com ureia). | 180 |
| Quadro 22 - Evolução de características físicas durante a 2ª compostagem de casca de pinheiro (com ureia) | 181 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 23 - Variação das características físicas dos materiais durante a compostagem..... | 184 |
| Quadro 24 - Coeficientes de regressão linear das variáveis determinadas durante a compostagem e da duração do processo..... | 186 |
| Quadro 25 - Evolução relativa da matéria orgânica durante a compostagem..... | 188 |
| Quadro 26 - Evolução relativa do azoto orgânico durante a compostagem..... | 190 |
| Quadro 27 - Evolução da relação do carbono solúvel e do azoto orgânico | 198 |
| Quadro 28 - Características físico-químicas, químicas e biológicas dos materiais (inteiros) antes e depois de compostar, utilizados nos ensaios em placas de sementeira e em vaso..... | 200 |
| Quadro 29 - Valores de capacidade de troca catiónica | 201 |
| Quadro 30 - Valores do índice de germinação, percentagem de germinação e, condutividade eléctrica dos extractos utilizados para a sua determinação, determinados no material da 1ª compostagem, após 1 ano de conservação em armazém..... | 201 |
| Quadro 31 - Teor de nutrientes e de metais pesados extraíveis dos compostos..... | 202 |
| Quadro 32 - Características físicas dos materiais (inteiros), antes e depois de compostar, usados nos ensaios em placas alveoladas e em vaso. | 203 |
| Quadro 33 - Distribuição granulométricas nos compostos da 1ª compostagem (inteiros), antes de ser preparado para a compostagem, no final e, após 1 ano de conservação em armazém..... | 205 |
| Quadro 34 - Compostos utilizados nos viveiros em placas de sementeira..... | 210 |
| Quadro 35 - Características físicas dos compostos inteiros e crivados..... | 211 |
| Quadro 36 - Distribuição granulométrica determinada nos compostos crivados..... | 211 |
| Quadro 37 - Características físicas das misturas utilizadas no 2º ano de ensaios de cultura em viveiro..... | 212 |
| Quadro 38 - Valores de algumas propriedades físico químicas dos compostos e do substrato testemunha, empregues nos ensaios em placas alveoladas. | 216 |
| Quadro 39 - Teor de nutrientes e de metais pesados extraíveis dos compostos, do substrato testemunha e da turfa para preparação das misturas | 217 |
| Quadro 40 - Soma dos nutrientes extraíveis determinados nos compostos e dos aplicados na forma de adubo sólido e, nutrientes fornecidos na solução de rega | 218 |
| Quadro 41 - Resumo das condições dos viveiros de tomate em placas de sementeira alveoladas | 225 |
| Quadro 42 - Compostos utilizados nas culturas em vaso..... | 226 |
| Quadro 43 - Valores de propriedades físico-químicas dos compostos inteiros e do substrato testemunha, empregues nos ensaios de cultura de pelargónio em vaso | 226 |
| Quadro 44 - Resumo das condições dos ensaios de cultura de pelargónio em vaso..... | 230 |
| Quadro 45 - Análise Discriminante no 1º viveiro de tomate | 231 |
| Quadro 46 - Análise em Componentes Principais no 1º viveiro de tomate | 232 |
| Quadro 47 - Eigenvalues da matriz de correlações obtida na análise em Componentes Principais, no 1º viveiro de tomate..... | 232 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 48 - Eigenvectors obtidos na análise em Componentes Principais, no 1º viveiro de tomate | 232 |
| Quadro 49 - Análise Discriminante no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar | 234 |
| Quadro 50 - Análise Discriminante, no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar | 234 |
| Quadro 51 - Eigenvalues da matriz de correlações obtida na análise em Componentes Principais, no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar..... | 235 |
| Quadro 52 - Eigenvalues da matriz de correlações obtida na análise em Componentes Principais, no 2º Viveiro, não incluindo a área foliar..... | 235 |
| Quadro 53 - Eigenvectors obtidos na análise em Componentes Principais, no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar | 235 |
| Quadro 54 - Eigenvectors obtidos na análise em Componentes Principais, no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar | 236 |
| Quadro 55 - Análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar | 236 |
| Quadro 56 - Análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar..... | 236 |
| Quadro 57 - Altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea das plantas de tomate do 1º viveiro de tomate..... | 239 |
| Quadro 58 - Altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea das plantas de tomate do 2º viveiro de tomate..... | 244 |
| Quadro 59 - Altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea das plantas de tomate do 3º viveiro de tomate..... | 247 |
| Quadro 60 - Altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea das plantas de tomate do 4º viveiro de tomate..... | 250 |
| Quadro 61 - Coeficientes de correlação de características físicas e químicas das misturas e do crescimento das plantas nos 3º e 4º viveiros de tomate..... | 254 |
| Quadro 62 - Coeficientes de correlação de características físicas e químicas das misturas e do crescimento das plantas nos 1º e 2º viveiros de tomate..... | 257 |
| Quadro 63 - Síntese da análise da variância das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargônio | 259 |
| Quadro 64 - Síntese da análise Discriminante das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargônio | 260 |
| Quadro 65 - Síntese da análise em Componentes Principais das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargônio | 261 |
| Quadro 66 - Número de folhas, número de lançamentos axilares e peso fresco da parte aérea das plantas de pelargônio no final na 1ª cultura de pelargônio | 265 |
| Quadro 67 - Número de folhas, número de lançamentos axilares e peso fresco da parte aérea das plantas de pelargônio no final na 2ª cultura de pelargônio | 269 |
| Quadro 68 - Coeficientes de correlação de características físicas e químicas das misturas e das variáveis de crescimento das plantas nos 1º e 2º ensaios de cultura de pelargônio..... | 273 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 69 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de azeitona e das variáveis determinadas nas plantas nas 1ª e 2ª cultura de pelargónio..... | 274 |
| Quadro 70 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de polpa de alfarroba e das variáveis determinadas nas plantas nas 1ª e 2ª cultura de pelargónio..... | 274 |
| Quadro 71 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de eucalipto e das variáveis determinadas nas plantas nas 1ª e 2ª cultura de pelargónio..... | 274 |
| Quadro 72 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de pinheiro e das variáveis determinadas nas plantas nas 1ª e 2ª cultura de pelargónio..... | 275 |
| Quadro 73 - Estimativa do custo dos compostos obtidos, considerando o custo dos materiais na origem e a redução de volume durante a compostagem ou por crivagem. Valores em Agosto de 1996 | 279 |
| Quadro 74 - Produção e número de frutos das plantas do 2º viveiro de tomate | 282 |
| Quadro 75 - Coeficientes de correlação entre as características das plantas no final do 2º viveiro de tomate e a produção total, considerando apenas os tratamentos com materiais alternativos..... | 282 |
| Quadro 76 - Coeficientes de correlação em cada composto, entre as características das plantas e a produção no final do 2º viveiro de tomate..... | 283 |
| Quadro 77 - Características do substrato testemunha | 319 |
| Quadro 78 - Características da turfa para as misturas..... | 319 |
| Quadro 79 - Valor do pH registado durante o ensaio de calagem da turfa para a preparação das misturas | 320 |
| Quadro 80 - Solução nutritiva de referência empregue na cultura em placas alveoladas..... | 321 |
| Quadro 81 - Composição do adubo empregue na fertilização de base da cultura em placas alveoladas e em vaso | 321 |
| Quadro 82 - Adubo de libertação lenta empregue na fertilização na cultura de pelargónio em vaso..... | 321 |
| Quadro 83 - Adubo utilizado na preparação da solução nutritiva da cultura em vaso..... | 321 |
| Quadro 84 - Valores médios do nível de radiação PAR, registados durante o 1º viveiro de tomate | 322 |
| Quadro 85 - Valores médios do nível de radiação PAR, registados durante o 2º viveiro de tomate | 322 |
| Quadro 86 - Aumento da radiação recebida pelas plantas devido à utilização do reflector .. | 322 |
| Quadro 87 - Valores médios do nível de radiação PAR, com reflector instalado, registados durante a 1ª cultura de pelargónio | 322 |
| Quadro 88 - Valor do pH e da condutividade eléctrica no início e no final do 2º viveiro de tomate, em dois níveis: no centímetro superior e no restante substrato do alvéolo | 323 |
| Quadro 89 - Valores finais do pH e da condutividade eléctrica nas misturas com compostos, empregues no 2º viveiro de tomate | 323 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 90 - Variação do pH e da condutividade eléctrica nas misturas com compostos, empregues durante o 3º viveiro de tomate | 324 |
| Quadro 91 - Variação da temperatura do substrato e do ar no 2º viveiro de tomate..... | 324 |
| Quadro 92 - Percentagem de germinação nos 3º e 4º viveiros de tomate | 325 |
| Quadro 93 - Valores limite para os teores de metais pesados em lamas de estação de tratamento de águas residuais e nos seus compostos | 326 |
| Quadro 94 - Valores limitantes do teor de metais pesados em compostos | 326 |
| Quadro 95 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de azeitona e das variáveis determinadas nas plantas do 1º e 2º viveiros de tomate | 327 |
| Quadro 96 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de uva e das variáveis determinadas nas plantas do 1º e 2º viveiros de tomate | 327 |
| Quadro 97 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de polpa de alfarroba e das variáveis determinadas nas plantas dos 1º e 2º viveiros de tomate..... | 327 |
| Quadro 98 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de eucalipto e das variáveis determinadas nas plantas dos 1º e 2º viveiros de tomate..... | 328 |
| Quadro 99 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de pinheiro e das variáveis determinadas nas plantas dos 1º e 2º viveiros de tomate..... | 328 |
| Quadro 100 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de azeitona e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate | 328 |
| Quadro 101 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de uva e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate | 329 |
| Quadro 102 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de polpa de alfarroba e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate | 329 |
| Quadro 103 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de eucalipto e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate | 330 |
| Quadro 104 - Coeficientes de correlação das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de pinheiro e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate | 331 |

Símbolos e Abreviaturas

| | |
|-----------|--|
| φ | rendimento do material ao crivar |
| ACP | análise em Componentes Principais |
| AD | análise Discriminante |
| ADU | água dificilmente utilizável |
| AF | área foliar |
| AFU | água facilmente utilizável |
| AR | água de reserva |
| AT | água total |
| AU | água utilizável |
| BA | composto de bagaço de azeitona |
| BU | composto de bagaço de uva |
| C/N | relação carbono/azoto |
| (C/N)s | relação carbono/azoto, em extracto aquoso |
| CC | capacidade em contentor |
| CA | capacidade de arejamento ou capacidade de ar |
| CEa | composto de casca de eucalipto, da 1ª compostagem |
| CEb | composto de casca de eucalipto, da 2ª compostagem |
| CMDC | composto de casca de espécies de madeira dura |
| Cox | carbono orgânico oxidável |
| Coxs | carbono oxidável solúvel |
| CPa | composto de casca de pinheiro, da 1ª compostagem |
| CPb | composto de casca de pinheiro, da 2ª compostagem |
| CTC/L | capacidade de troca catiónica, expressa em meq/litro |
| CTC/MO | capacidade de troca catiónica, expressa em meq/100g MO |
| CTR | contração de volume |
| D | diâmetro do colo |
| dap | densidade aparente |
| daps | densidade aparente do material seco |
| daph | densidade aparente do material húmido |
| dr | densidade real |
| DTPA | ácido dietileno triamina pentacético |
| EC | condutividade eléctrica |

| | |
|-------------------------------------|---|
| EPT | espaço poroso total |
| ESAB | Escola Superior d'Agricultura de Barcelona |
| G | percentagem de germinação |
| GD | grau de decomposição |
| H | altura das plantas |
| IG | índice de germinação |
| IPT | inundação parcial temporária (ebb and flow) |
| L ₁ e L ₂ | tipos de LETARU utilizadas |
| LETAR | lamas de estação de tratamento de águas residuais |
| LETARI | lamas de estação de tratamento de águas residuais industriais |
| LETARU | lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas |
| meq | miliequivalente |
| MM | matéria mineral |
| MO | matéria orgânica total |
| MS | matéria seca |
| N-(O ₃ +H ₄) | soma do teor de azoto amoniacal e de azoto nítrico |
| N-NH ₄ | azoto amoniacal |
| N-NH ₄ s | azoto amoniacal solúvel |
| N-NO ₃ | azoto nítrico |
| N-NO ₃ s | azoto nítrico solúvel |
| NF | número de folhas |
| NA | número de lançamentos axilares |
| Nnh | azoto não hidrolizavel |
| Norg | azoto orgânico |
| Norgs | azoto orgânico solúvel |
| Norg/MM | relação do azoto orgânico e da matéria mineral |
| NP | número de pedúnculos |
| Ns | azoto solúvel |
| P1 ou 1º Ensaio | 1º ensaio de cultura de pelargónio em vaso |
| P2 ou 2º Ensaio | 1º ensaio de cultura de pelargónio em vaso |
| PA | composto de polpa de alfarroba |
| PAR | radiação fotossinteticamente activa |
| PFPA | peso fresco da parte aérea |
| PFPR | peso fresco da parte radical |

| | |
|------------------|--|
| PFT | peso fresco total |
| PSPA | peso seco da parte aérea |
| PSPR | peso seco da parte radical |
| PST | peso seco total |
| RSU | resíduos sólidos urbanos |
| T | temperatura |
| TMC | taxa de mineralização complementar |
| tNA | transformado do número de lançamentos axilares |
| tNF | transformado do número de folhas |
| tNP | transformado do número de pedúnculos |
| V1 ou 1º Viveiro | 1º viveiro de tomate em placas alveoladas |
| V2 ou 2º Viveiro | 2º viveiro de tomate em placas alveoladas |
| V3 ou 3º Viveiro | 3º viveiro de tomate em placas alveoladas |
| V4 ou 4º Viveiro | 4º viveiro de tomate em placas alveoladas |

Unidades

Neste trabalho serão utilizadas unidades do SI, fundamentais ou suas derivadas, embora em alguns assuntos, por uso comum, se empreguem outras unidades, para as quais se indica a equivalência.

| Unidade | Equivalência no SI |
|------------------------|---------------------------------|
| 1 cm de coluna de água | 0,098 kP |
| 1 °C | °C + 273,15 K |
| 1 cm ³ | 10 ⁻⁶ m ³ |
| 1 g | 10 ⁻³ kg |

Por ser de uso mais comum, será empregue a designação ‘densidade’ como sinónimo de ‘massa específica’. A indicação das unidades não dará origem a dúvida sobre a grandeza que se pretende mencionar.

RESUMO

O objectivo deste trabalho foi estudar a utilização de 5 compostos de resíduos de origem vegetal, como componentes de substratos hortícolas. Estudaram-se os processos de compostagem de bagaço de azeitona, bagaço de uva, polpa de alfarroba, casca de eucalipto e casca de pinheiro, caracterizaram-se os compostos obtidos e testou-se a sua aptidão agronómica, como substratos para viveiro de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) em placas alveoladas e cultura de pelargónio (*Pelargonium x hortorum*) em vaso.

Após uma preparação prévia, que em alguns dos resíduos vegetais constou de moenda, suplemento de azoto e aumento do teor de humidade, efectuou-se a sua compostagem em caixas com 1200 L de capacidade, isoladas termicamente, com arejamento por volteio manual. Depois foram analisadas as suas características físicas e químicas e testados na sua aptidão como constituintes únicos de substratos e em misturas com turfa de *sphagnum*.

A maioria dos processos de compostagem apresentou uma evolução habitual da temperatura, com a máxima aproximando-se ou ultrapassando 60 °C. Como excepções, verificou-se um período de compostagem muito longo em bagaço de azeitona; o atraso da fase termofílica em polpa de alfarroba e, na 1ª compostagem de casca de pinheiro, a temperatura não alcançou a zona termofílica.

A maioria dos resíduos manifestaram uma acentuada resistência à degradação durante a compostagem, à excepção da polpa de alfarroba e da casca de eucalipto. Contudo, a nível físico-químico e químico registaram-se evoluções acentuadas, sobretudo nas variáveis relacionadas com alterações da superfície das partículas, como por exemplo, a capacidade de troca catiónica. Outras variáveis apresentaram uma evolução interessante para o acompanhamento do processo e o conhecimento do grau de estabilidade do composto final. Foi apreciável o efeito proporcionado pela adição de lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas, como suplemento azotado, a nível das propriedades físicas dos compostos, do aumento da velocidade do processo de compostagem e do enriquecimento dos compostos em macro e micronutrientes. A compostagem não conduziu à melhoria significativa das propriedades físicas dos materiais, excepto em casca de eucalipto.

Os compostos caracterizaram-se fundamentalmente por uma reduzida capacidade de retenção de água e uma elevada capacidade de arejamento. Os compostos obtidos com incorporação de lamas apresentaram os valores mais baixos de capacidade de arejamento, mesmo assim dentro dos limites satisfatórios e, os valores mais altos de capacidade de retenção de água.

Na cultura em placas alveoladas, o comportamento de muitas das misturas com compostos não se diferenciou do da testemunha, observando-se uma flutuação sazonal do comportamento das misturas nos dois viveiros de cada ano, associada às condições ambientais mais exigentes do ponto de vista da disponibilidade de água. Observou-se um maior número de correlações significativas entre as características dos substratos e as variáveis relativas ao crescimento das plantas nos viveiros efectuados mais tarde, sob condições de maior evapotranspiração.

As plantas obtidas no segundo viveiro de tomate foram instaladas em cultura. As características das plantas do viveiro, apresentaram elevada correlação com as respectivas produções obtidas no campo, evidenciando a importância da qualidade das plantas de viveiro, na produção.

Nos ensaios de pelargónio em vaso, também se observaram comportamentos idênticos ao da testemunha em muitas das misturas com compostos. Observou-se no 2º ensaio, um maior número de tratamentos com resultados idênticos aos da testemunha, resultante das condições de menor exigência hídrica, as quais fizeram sobressair menos as diferenças de propriedades físicas das misturas. Contudo, a diferença de crescimento obtido em algumas misturas, atribuiu-se também à interferência da continuidade capilar entre o vaso de papel com a estaca enraizada e a mistura em estudo.

O trabalho presente mostrou que é possível obter compostos a partir de resíduos orgânicos, com boas características e a preço competitivo para utilização como substratos hortícolas. O processo de compostagem sendo um elemento chave, é fácil de controlar se houver uma regulação eficaz do arejamento e do teor de humidade durante o processo.

Apesar de alguns resíduos, como a polpa de alfarroba, serem caros, se tomarmos em consideração o custo da sua eliminação, poderão conduzir a substratos comercialmente viáveis. Em condições ambientais que favoreçam uma maior evapotranspiração ou, em culturas com maior exigência hídrica, pode ser aconselhável a mistura dos compostos estudados com turfa de *sphagnum* pouco decomposta para melhorar a capacidade de retenção de água.

SUMMARY

Various types of organic residues were studied for the preparation of horticultural substrates. Olive pumace, grape marc, carob pods, eucalyptus bark and pine bark were composted. The composts were characterised and evaluated as substrates for the production of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) seedlings in trays and the production of pelargonium (*Pelargonium x hortorum*) in pots.

The residues were composted in 1,200 L thermally isolated polythene boxes. Eucalyptus and pine bark were previously milled. A nitrogen supply was added in the form of urea or sewage sludge. The aeration was provided by removing the material into another box. The expected temperature evolution was observed in most of the composting processes. The residues were highly resistant to decomposition, except for carob pods and eucalyptus bark. Although significant physical changes were not detected, important chemical changes were observed during composting. The addition of sewage sludge improved the decomposition of eucalyptus and pine bark, and the nutrient composition and physical characteristics of their composts. Overall, composts showed a reduced water retention capacity and a high air capacity. Composts with sewage sludge showed the highest water retention capacity and the lower air capacity.

Composts were evaluated as a single component substrate or in mixtures with a *sphagnum* peat. Tomato seedlings exhibited a growth seasonal variation which was associated with the water content of the substrate. Tomato plants from the second trial were field-cultivated. The quality of nursery stock plants was highly correlated with fruit production, which stresses out the importance of the quality of nursery stock plants on production. No significant growth variation was observed in pelargonium grown in several mixtures, as compared with the control. Plant growth was also associated with the physical properties of the substrates, namely the water retention capacity.

In conclusion, the present work has shown the feasibility of the use of low cost composted vegetal organic residues as components of horticultural substrates, demonstrating in addition, their agronomic potential use in both seedling and pot plants production.

1. Introdução

A cultura sem solo adquiriu nos últimos anos uma enorme importância, tanto na produção de plantas ornamentais como na cultura de hortícolas. Na cultura sem solo, assume particular importância a cultura em substratos. O principal material orgânico utilizado na preparação dos substratos tem sido a turfa, em especial na cultura em placas alveoladas, vasos e sacos.

O desenvolvimento da horticultura intensiva no nosso País, nomeadamente da produção de plantas ornamentais envasadas, originou o aumento do consumo de substratos hortícolas, onde se destacam os produtos à base de turfa. Após uma acentuada expansão até ao início da década de 90, o consumo nacional estabilizou, tendo sido a importação média anual de turfa nos últimos 5 anos de 10323 t, o que equivale a aproximadamente 41 711 m³ (Fig. 1), com um valor em 1996, de 329 256 000 escudos. Esta importação, efectua-se sobretudo da Irlanda, Alemanha e Reino Unido e, em menor escala, da Holanda, Dinamarca, Lituânia, Estónia e Bélgica.

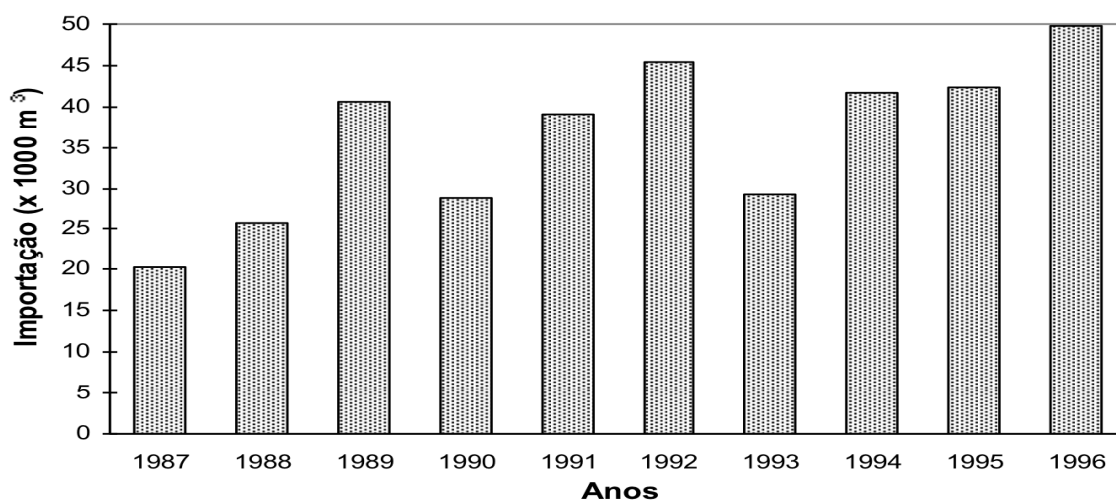


Figura 1- Evolução recente da importação de turfas (Estatísticas do Comércio Externo, INE).

A extracção de turfa levanta actualmente problemas de natureza ambiental em países mais desenvolvidos, que limitam a exploração deste recurso, pelo que se torna importante o desenvolvimento de medidas que visem a obtenção de materiais alternativos.

Portugal é um país rico em produtos de origem vegetal, resíduos ou subprodutos das actividades agrícola, agro-industrial e florestal, cujo reaproveitamento se revela do maior interesse não só económico como ambiental, pela sua integração em novos ciclos produtivos e redução da

sua deposição incontrolada ou incineração. São materiais renováveis e, a sua biodegradabilidade, conferem-lhes particular interesse numa perspectiva de utilização continuada.

De entre os materiais com maiores potencialidade para uso como substratos hortícolas, interessaram-nos materiais disponíveis no Algarve e no resto do País, em quantidades apreciáveis e, com um custo de aquisição e de transformação suficientemente baixo, para se poderem vir a obter produtos finais a preços competitivos, sem o que a difusão do seu emprego estaria muito limitada. Procuraram-se materiais que potencialmente não apresentassem problemas a nível de utilização como substratos hortícolas, dirigidos para a produção de plantas em contentor, nomeadamente placas alveoladas e em vasos. Entre os materiais nestas condições, seleccionou-se o bagaço de azeitona, o bagaço de uva, a polpa de alfarroba, a casca de eucalipto e a casca de pinheiro.

Devido ao pequeno desenvolvimento deste tema no nosso País, optou-se por fazer um estudo mais generalizado sobre uma série de materiais potencialmente interessantes, em vez de um estudo aprofundado de um número mais restrito.

O bagaço de azeitona apresenta uma elevada disponibilidade a nível nacional (Quadro 1), embora com um período de produção concentrado no tempo. A sua principal utilização é como combustível e como componente de rações para animais. Segundo o responsável da fábrica de onde se obteve o bagaço de azeitona, este é comercializado ao preço de 6\$00 por kg de material fresco, o qual à saída do circuito industrial se pode apresentar muito seco, com 3 a 5% de humidade.

Quadro 1 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de bagaço de azeitona

| Zonas Agrárias | Área de olival (ha) ⁽¹⁾ | Volume de bagaço disponível (m ³) ⁽²⁾ |
|---------------------|---------------------------------------|---|
| Entre Douro e Minho | 2 660 | 1 256 |
| Trás os Montes | 61 744 | 29 149 |
| Beira Litoral | 15 439 | 7 289 |
| Beira Interior | 59 300 | 27 997 |
| Ribatejo e Oeste | 48 725 | 23 003 |
| Alentejo | 144 957 | 68 436 |
| Algarve | 7 689 | 3 630 |
| Total | 340 514 | 160 760 |

⁽¹⁾ Recenseamento Geral Agrícola, 1989 (Agricultura Portuguesa em números, 1991).

⁽²⁾ Calculado por estimativa, a partir do valor da produção nacional média de azeite entre 1971 e 1985 (Allaya, 1988), das áreas regionais da cultura, de coeficientes de conversão do produto em bagaço e do valor da densidade aparente determinado.

O bagaço de azeitona é um material desde há muito estudado para aproveitamento como fertilizante (Matons, 1923), mas pouco conhecido como substrato hortícola. Rishani e Price

(1988) ao utilizarem este material fresco, obtiveram plantas não comercializáveis, sugerindo a presença de fitotoxinas. Verificou-se que a adequada compostagem do bagaço de azeitona, ao reduzir as grandes quantidades de substâncias tóxicas que possui e melhorar algumas características, o torna mais adequado para utilização como substrato (Aguirre, 1994; Calvet *et al.*, 1994). Contudo, o aumento da capacidade de retenção de água pelo material, associado a uma redução do espaço poroso total, pode colocar algumas limitações devidas ao fraco arejamento do material final (Pagés *et al.*, 1994).

O bagaço de uva apresenta uma boa disponibilidade a nível nacional (Quadro 2), embora com um período de produção sazonal. O bagaço destilado é comercializado nas adegas da região algarvia a cerca de 2\$50 por kg de material fresco. O bagaço de uva é utilizado actualmente no País, como combustível e como correctivo orgânico, sobretudo em jardinagem.

Quadro 2 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de bagaço de uva (grainhas e folhelho)

| Zonas Agrárias | Área de vinha (ha) ⁽¹⁾ | Volume de bagaço disponível (m ³) ⁽²⁾ |
|---------------------|--------------------------------------|---|
| Entre Douro e Minho | 37 809 | 13 023 |
| Trás os Montes | 69 743 | 24 023 |
| Beira Litoral | 33 558 | 11 559 |
| Beira Interior | 24 865 | 8 565 |
| Ribatejo e Oeste | 78 826 | 27 151 |
| Alentejo | 12 776 | 4 401 |
| Algarve | 4 448 | 1 532 |
| Total | 262 025 | 90254 |

⁽¹⁾ Recenseamento Geral Agrícola, 1989 (Agricultura Portuguesa em números, 1991).

⁽²⁾ Calculado por estimativa, a partir do valor produção nacional média de bagaço entre 1984 e 1988 (publicação não identificada do I.V.V.), das áreas regionais da cultura, de coeficientes de conversão do bagaço completo na fracção utilizada (grainhas e folhelho) e do valor da densidade aparente determinado neste trabalho.

O bagaço de uva apresenta composição e textura variáveis, dependendo dos processos de vinificação e extracção de componentes com interesse económico a que foi sujeito. Utiliza-se como substrato com alguma frequência, em misturas mais "arejadas" (Handreck e Black, 1991). Alguns autores recomendam não ultrapassar um teor de incorporação nas misturas superior a 20% (Handreck e Black, 1991; Abad *et al.*, 1993), mas outros obtiveram bons resultados com misturas de 50% (v/v), na produção de ornamentais e em viveiros de hortícolas. Foram observadas acções de supressividade no material compostado (Chen e Hadar, 1987).

A incorporação de composto de bagaço de uva em substratos contendo tufo vulcânico e escórias de carvão, impediu a remoção de potássio e fósforo da solução do meio, mesmo a pH elevado, condição em que a sua remoção é muito elevada nas misturas sem incorporação de

composto (Gottesman, 1989, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993). A utilização de extracto aquoso deste composto na preparação de soluções nutritivas em cultura de melão estimulou o crescimento das plantas (Inbar *et al.*, 1993).

O material designado por polpa de alfarroba, consiste no pericarpo das vagens de alfarroba trituradas, após a extracção do denominado “xarope de alfarroba”, extracto aquoso, particularmente rico em açúcares, de uso medicinal e alimentar. A disponibilidade de polpa de alfarroba concentra-se no Algarve, onde se localiza a produção da alfarroba, mas como a extracção pode ser realizada em instalações fabris localizadas noutras regiões, a oferta pode estar mais dispersa. Compostou-se material proveniente de uma unidade fabril em Campo Maior. A disponibilidade da polpa de alfarroba é menos sazonal que a dos bagaços de azeitona e de uva, pois acompanha o período de laboração das fábricas (Quadro 3).

A polpa de alfarroba é comercializada a preços entre 12\$50 e 14\$00 por kg de material seco ao ar. O produto final apresenta um teor muito elevado de humidade, o que limita a sua comercialização. O material utilizado apresentava uma humidade superior a 70%.

Segundo a empresa produtora, o consumo actual é muito limitado, sendo a polpa de alfarroba vertida em lixeiras. A pequena quantidade comercializada foi utilizada como correctivo orgânico de solo e em rações para animais.

Quadro 3 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de polpa de alfarroba.

| Zona Agrária | Área de alfarrobeira (ha) ⁽¹⁾ | Volume de polpa disponível (m ³) ⁽²⁾ |
|--------------|---|--|
| Algarve | 72 000 | 63 398 |

⁽¹⁾ Fernandes (1994).

⁽²⁾ Calculado utilizando valores de conversão fornecidos (José Graça, informação pessoal) e o valor de densidade aparente determinado.

A polpa de alfarroba sem compostar, conduziu a excelentes resultados na produção de plantas ornamentais envasadas (Rishani e Rice, 1988).

A casca de eucalipto pode ser retirada no terreno, após o abate das árvores ou, nas instalações fabris onde os toros de eucalipto vão ser processados para o fabrico de pasta para papel. Deste modo, embora o eucalipto seja cultivado por todo o País, a obtenção de casca em grandes quantidades, a custos reduzidos, será apenas viável nas empresas de celulose. A sua disponibilidade é regular ao longo do ano (Quadro 4).

A empresa que forneceu a casca compostada, comercializou pequenas quantidades deste material, mas actualmente utiliza-o todo como combustível próprio.

Quadro 4 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de casca de eucalipto

| Distritos | Área de eucaliptal (x 1000 ha) ⁽¹⁾ | Volume de casca disponível (m ³) ⁽²⁾ |
|----------------|--|--|
| V. do Castelo | 2,5 | 4600 |
| Braga | 12,8 | 23400 |
| Porto | 22,9 | 41900 |
| Vila Real | 0,1 | 200 |
| Bragança | 0,8 | 1500 |
| Aveiro | 42,8 | 78300 |
| Viseu | 12,6 | 23000 |
| Guarda | 0,3 | 500 |
| Coimbra | 38,0 | 69500 |
| Castelo Branco | 36,7 | 67100 |
| Leiria | 23,3 | 42600 |
| Lisboa | 22,2 | 40600 |
| Santarém | 61,6 | 112800 |
| Portalegre | 23,5 | 43000 |
| Évora | 20,7 | 37900 |
| Setúbal | 32,6 | 59600 |
| Beja | 27,9 | 51000 |
| Faro | 21,5 | 39300 |
| Total | 403 | 736800 |

⁽¹⁾ Perfil Florestal, 1991.

⁽²⁾ Calculado a partir do valor nacional da média da oferta nos últimos 10 anos, do coeficiente de conversão do produto em casca e, da área ocupada pela cultura por distrito, em ⁽¹⁾.

Na Austrália, Handreck e Black (1991) referem que, embora pouco utilizada, a casca de eucalipto apresenta um elevado potencial, nomeadamente pelas propriedades supressivas manifestadas pelas cascas compostadas de algumas espécies. O efeito supressivo, apresentou grande duração e facilidade de transmissão a outros materiais. Os compostos de casca de eucalipto podem apresentar problemas devido à sua estrutura final muito fina e a eventuais excessos de manganês em alguns casos, obrigando à sua inclusão em misturas em níveis adequados.

No nosso País, foram obtidos bons resultados com a utilização de composto de casca de eucalipto na preparação de substratos para produção de *Quercus rubra* L., embora inferiores aos obtidos com o composto de casca de pinheiro (Guedes de Carvalho *et al.*, 1991).

À semelhança do eucalipto, o pinheiro tem uma ampla distribuição nacional, com uma maior concentração no Centro do País (Quadro 5). A casca de pinheiro obtém-se nas serrações, durante todo o ano, sendo utilizada nomeadamente como combustível por diversas indústrias, em jardinagem para cobertura de solo e, em reduzida extensão, como constituinte de substratos hortícolas. O preço de aquisição na serração foi de 2\$50 por kg de material fresco.

Quadro 5 - Estimativa da disponibilidade nacional anual de casca de pinheiro

| Distritos | Área de pinheiro (x 1000 ha) ⁽¹⁾ | Volume de casca disponível (m ³) ⁽²⁾ |
|----------------|--|--|
| V. do Castelo | 57,4 | 85100 |
| Braga | 64,4 | 95400 |
| Porto | 59,8 | 88600 |
| Vila Real | 78,6 | 116500 |
| Bragança | 18,4 | 27300 |
| Aveiro | 97,8 | 144900 |
| Viseu | 184,1 | 272800 |
| Guarda | 80,4 | 119100 |
| Coimbra | 145,8 | 216100 |
| Castelo Branco | 190,9 | 282900 |
| Leiria | 109,2 | 161800 |
| Lisboa | 9,3 | 13800 |
| Santarém | 83,7 | 124000 |
| Portalegre | 19,2 | 28500 |
| Évora | 7,4 | 11000 |
| Setúbal | 77,7 | 115100 |
| Beja | 6,4 | 9500 |
| Faro | 8,2 | 12200 |
| Total | 1299 | 1924600 |

⁽¹⁾ Perfil Florestal, 1991.

⁽²⁾ Calculado a partir do valor nacional da média da oferta nos últimos 10 anos, do coeficiente de conversão do produto em casca e, da área ocupada pela cultura por distrito, em ⁽¹⁾.

Nos EUA, a casca de pinheiro é por vezes utilizada pelos produtores após ser submetida apenas a um processo de envelhecimento, embora a compostagem seja o processo aconselhado (Handreck e Black, 1991; Bilderback, 1993, comunicação pessoal). É hoje em dia um produto largamente utilizado na formulação de substratos (Tesi e Lo Faro, s.d.; Pokorny, 1966, De Werth, 1971, Laiche, 1974, Dickey, 1978, Whitcomb, 1984, *cit. in* Laiche, 1990; Bilderback *et al.*, 1982; Veschambre *et al.*, 1982; Bilderback, 1985; Laiche e Nash, 1986; Laiche, 1989), apresentando não só bons resultados culturais como evidenciando características de supressividade (Hoitink *et al.*, 1975; Hoitink, 1980). Tal como para outras cascas, as diferentes espécies de pinheiro podem apresentar diferente natureza química com influência na sua fitotoxicidade.

A sazonalidade da disponibilidade dos materiais para compostar apresenta um interesse relativo, em função do estatuto da entidade responsável pela preparação do composto, uma vez que o processo de preparação demora alguns meses e o produto pode ser armazenado para utilização posterior por um período igualmente largo. Deste modo, uma empresa agrícola que pretenda fabricar o seu próprio substrato, pode, por razões económicas, ter interesse em concentrar

a compostagem numa determinada época do ano. Já uma empresa dedicada apenas à compostagem, pode ter interesse em utilizar um material com uma oferta regular ao longo do ano.

A utilização de materiais orgânicos como componentes de substratos, exige normalmente a sua preparação prévia de acordo com o fim a que se destinam. Um dos principais problemas é a fitotoxicidade que podem manifestar, resultante da sua composição química ou da produção de compostos fitotóxicos, durante a sua decomposição. Outro problema relacionado com a sua decomposição, é a necessidade de que esta seja mínima, durante o período de permanência do material em cultura, devido à necessidade de que o substrato não sofra alterações sensíveis de volume ou outras propriedades. Uma decomposição acentuada poderia ainda causar problemas, pelo aumento da temperatura a níveis desfavoráveis. Os resíduos com potencialidades para uso como substratos podem necessitar de sofrer uma moenda prévia, para eliminar as partículas demasiado grandes e permitir a obtenção de um produto mais homogéneo. Outras correcções são por vezes necessárias, como o ajuste do pH ou da EC a níveis adequados.

Um modo económico de alcançar estes objectivos é a realização de uma compostagem dos resíduos a utilizar.

A compostagem é um processo de transformação biológica de resíduos orgânicos desde há muito conhecido, que apresenta hoje em dia um crescente interesse no tratamento de resíduos diversos (Hoitink e Grebus, 1994), em particular na preparação de materiais orgânicos a utilizar como substratos hortícolas. A compostagem permite a obtenção de um produto final estabilizado, com melhores características para o seu emprego como substrato. Nalguns casos, constata-se ainda o aparecimento de características de supressividade relativamente a numerosos fitopatogéneos do solo. Assim, o uso de materiais adequadamente compostados, pode estimular o crescimento das plantas através de efeitos como, a mineralização de nutrientes, o desenvolvimento de microrganismos benéficos, o aumento de substâncias húmicas e a melhoria das propriedades físicas e químicas do material (Inbar *et al.*, 1990).

Materiais orgânicos sem compostar, tendo sofrido apenas um processo de lavagem ou envelhecimento, podem ser utilizados na preparação de substratos, permitindo bons resultados culturais (Scott e Bearce, 1972; Johnson, 1981; Veschambre *et al.*, 1982; Tilt *et al.*, 1987; Bilderback, 1993, comunicação pessoal; Aguirre, 1994). Contudo, optou-se por realizar esta operação beneficiando das vantagens conhecidas, nomeadamente a obtenção de um produto mais estável e homogéneo, sem risco de originar carência de azoto ou fitotoxicidade, com menores problemas de agentes patogénicos ou infestantes, conduzindo em muitos casos a materiais supressivos para vários agentes patogénicos (Still *et al.*, 1976; Hoitink *et al.*, 1976; Daft *et al.*,

1979; Spencer e Benson, 1982; Nelson e Hoitink, 1983; Chen e Hadar, 1987; Handreck e Black, 1991; Inbar *et al.*, 1991; Editors of BioCycle, 1991; Chen e Inbar, 1993; Nordstedt *et al.*, 1993; Ryan e Chaney, 1993; Aguirre, 1994); eventualmente com melhores características físicas (Soliva e Giró, s.d.; Inbar *et al.*, 1993) e proporcionando melhores resultados culturais (Handreck e Black, 1991).

Como problemas para realização da compostagem salientam-se: o incompleto conhecimento da evolução das variáveis envolvidas no desenrolar do processo, a falta de métodos de rotina adequados aos diversos materiais, para a avaliação da evolução do processo e do grau de estabilização dos produtos finais e ainda, o desconhecimento de valores padrão (Stentiford, 1987; Inbar *et al.*, 1990).

O seguimento dos processos de compostagem e a avaliação da qualidade dos compostos obtidos são efectuados através da determinação de numerosas variáveis que reflectem a actividade microbiana e de variáveis de natureza física, físico-química ou química. Muitas destas variáveis apresentam problemas como a morosidade ou a necessidade de meios sofisticados para a sua determinação, uma grande especificidade para determinado tipo de material e, dificuldades na interpretação dos valores obtidos, os quais muitas vezes têm apenas um valor relativo e específico para cada situação. Por isso, a determinação da maturidade de um composto não se pode determinar habitualmente pela aplicação de um único método.

A maturidade de um composto deve assentar no seu potencial de utilização (Chen e Inbar, 1993). Por este facto, e porque a utilização de compostos como substratos é a utilização mais exigente do ponto de vista das suas propriedades, entendeu-se que os compostos obtidos deveriam ser testados como componentes de misturas para cultura em placas alveoladas e em vaso.

O recurso à utilização de compostos como constituintes de substratos, além de permitir uma redução da utilização de turfa, incrementa a reutilização de resíduos, reduzindo o seu impacto ambiental e valorizando-os economicamente. Reduz ainda o consumo de pesticidas e melhora a sanidade das plantas, com redução de custos para a sociedade.

O presente trabalho, incidiu sobre matérias primas que constituem resíduos de diversas actividades relacionadas com a agricultura e a silvicultura, pretendendo-se, assim, a sua valorização económica, com interesse tanto regional como nacional. Optou-se por estudar de um modo mais geral, uma gama alargada de materiais com potencial para utilização como substratos hortícolas, devido à falta de informação nacional nesta área da Horticultura.

Procurar-se-à estudar em detalhe os processos de compostagem dos materiais seleccionados, através da determinação de variáveis importantes. Os valores obtidos, servirão

de referência para o seguimento dos processos de compostagem dos materiais escolhidos, permitindo o seu eficaz controlo, com vista à optimização dos processos. Os valores das variáveis permitirão ainda a avaliação da estabilidade ou maturidade dos compostos obtidos. O conhecimento da evolução dos processos de compostagem contribuirá para o desenvolvimento de metodologias de compostagem.

Os compostos obtidos serão caracterizados quanto às suas propriedades mais interessantes do ponto de vista da sua utilização como substratos e testados, quanto ao seu valor real, através da sua utilização em cultura, em misturas adequadas. Mediante o conhecimento das propriedades destas misturas e dos respectivos resultados culturais, poder-se-á determinar a influência das propriedades dos substratos na qualidade das plantas produzidas. A relação da avaliação das plantas obtidas na cultura em placas e em vaso e, das propriedades dos substratos, permitirá determinar as variáveis mais interessantes na quantificação do seu desenvolvimento, para avaliação da resposta das plantas às propriedades do substrato. Posteriormente, a utilização em cultura, das plantas obtidas nos viveiros, permitirá confirmar a importância da qualidade das plantas à saída do viveiro na produção.

A existência em Espanha de vários grupos de investigação, de prestígio internacionalmente reconhecido no estudo destes temas, levou, em boa hora, ao desenvolvimento deste trabalho em estreita colaboração com a Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, sob a supervisão do Prof. Doutor Xavier Martinez.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Compostagem

2.1.1. Caracterização geral do processo de compostagem

Desde longa data que a compostagem tem sido realizada pelo Homem, conhecendo-se a sua prática pelos Chineses, desde há mais de 4000 anos, para obter compostos para fertilização do solo (King, 1927, *cit. in Gray et al.*, 1973). Loudon, em 1839, apresentou normas para a compostagem de materiais com vista à sua utilização como substratos (Raviv *et al.*, 1986). No entanto, apenas a partir do início deste século começou o estudo sistemático do processo de compostagem. A partir das observações do Prof. King (King, 1927, *cit. in Gray et al.*, 1973), Sir Albert Howard desenvolveu em Indore, Índia, um método de compostagem em covas ou em pilhas, onde camadas finas de resíduos vegetais, de estrume e de cinzas eram empilhadas, regadas e volteadas regularmente, estando o material pronto a utilizar ao fim de 90 dias (Howard e Wad, 1931 e Howard, 1953, *cit. in Gray et al.*, 1973). O método desenvolveu-se, aumentando-se as dimensões das covas, efectuando-se orifícios para ventilação do material e melhorando-se a utilização de mão de obra, em que o método era bastante exigente (Gray *et al.*, 1973; Stentiford, 1987). A mecanização começou na década de 30, desenvolvendo-se o interesse pelo processo até aos anos 60, altura em que problemas económicos fizeram decrescer o interesse pela compostagem. Posteriormente, as preocupações com a saúde pública e os problemas ambientais fizeram renascer este interesse, com um cada vez melhor conhecimento do controlo do processo.

A compostagem é um processo biológico mediante o qual a partir de materiais de natureza orgânica, se pode obter um produto final com maior aptidão para uso agrícola. É um processo de destruição e reconstrução, durante o qual os microrganismos atacam a matéria orgânica, obtêm energia e nutrientes para o seu crescimento e reprodução, começando por utilizar os compostos mais simples e passando depois aos mais complexos. Parte da energia disponibilizada é utilizada no seu metabolismo, sendo a restante libertada na forma de calor. O material final é constituído pelas fracções mais resistentes da matéria orgânica, produtos da sua decomposição e organismos vivos ou mortos. As transformações ocorridas conduzem nomeadamente, ao aumento da estabilidade física e química dos materiais orgânicos, à redução da presença de sementes de infestantes e de agentes patogénicos, tanto para o Homem como

para as plantas, à redução de produtos químicos indesejáveis, à melhoria da sua facilidade de manuseamento e à criação de condições desfavoráveis à manifestação de determinados agentes fitopatogénicos (Hoitink *et al.*, 1976; Vogtmann *et al.*, 1978; Daft *et al.*, 1979; Nelson e Hoitink, 1982; Spencer e Benson, 1982; Nelson e Hoitink, 1983; Sana e Soliva, 1987). A manifestação de supressividade para doenças de solo apresenta o maior interesse quando o composto se destina à utilização na cultura de plantas envasadas (Zucconi e Bertoldi, 1987; Editors of BioCycle, 1991), como é o objectivo no presente trabalho, podendo ser o factor mais determinante no emprego de compostos. No final da compostagem, procura-se a recolonização do meio pela maior diversidade possível de microrganismos, capazes de induzir um máximo de supressividade geral, ou combinar este objectivo, com a introdução de um agente conhecido de controlo biológico, após o período de temperaturas mais elevadas do processo e antes da recolonização natural pelos organismos mesófilos (Hoitink, 1987, 1990, *cit. in* Hoitink *et al.*, 1993).

Numerosas definições são propostas para compostagem (Diaz *et al.*, 1982; Biddlestone e Gray, 1986).

Alguns autores definem-na como um "*processo bioxidativo controlado envolvendo um material orgânico heterogéneo na fase sólida, ocorrendo uma fase termofílica com libertação temporária de fitotoxinas, produzindo-se água, dióxido de carbono, substâncias minerais e matéria orgânica estabilizada, a qual toma o nome de "composto"*, (Zucconi e Bertoldi, 1987; Chen e Inbar, 1993).

Para Golueke (1991), é um "*método de tratamento de resíduos sólidos, mediante o qual a sua componente orgânica é decomposta biologicamente em condições controladas, alcançando-se um estado em que pode ser manuseado, armazenado ou aplicado aos solos sem afectar o ambiente*". Golueke (1991) destaca como palavras chave desta definição: "decomposição biológica", "componente orgânica dos resíduos sólidos" e "condições controladas". Ao referir "decomposição biológica", a compostagem é diferenciada de outros processos de decomposição meramente física ou química (Zucconi e Bertoldi, 1987). Designa-se decomposição e não estabilização, pois não se pode garantir que toda a matéria orgânica sofra um processo de humificação, embora outros autores proponham o termo "estabilização", não tomando este carácter em sentido estrito, mas antes apenas no sentido em que essa condição, não dará origem a posteriores problemas de utilização (Diaz *et al.*, 1982). A restrição à "componente orgânica" justifica-a Golueke (1991) por, geralmente, apenas o material de origem biológica estar sujeito à degradação biológica. Para este autor, o aspecto mais

importante reside na referência a "condições controladas", o que o distingue dos processos naturais de reciclagem de nutrientes, por outros autores assumidos como compostagem (Biddlestone e Gray, 1986) ou, de outras práticas incontroladas envolvendo degradação de materiais orgânicos (Diaz *et al.*, 1982; Zucconi e Bertoldi, 1987; Sana e Soliva, 1987). A parte final da definição proposta, referente ao produto obtido, não constitui uma frase chave indispensável à definição, mas serve antes como factor de comparação de processos.

Embora se possa designar por compostagem um processo ocorrido em condições anaeróbias (Stentiford, 1987; Golueke, 1991; Bollen, 1993), é aconselhado manter a utilização deste termo apenas para as situações em que se garante a manutenção de condições aeróbias (Zucconi e Bertoldi, 1987), com as quais se acelera o processo, se conseguem temperaturas mais elevadas, para permitir a eliminação de agentes patogénicos e sementes de infestantes, se reduzem maus odores e a presença de compostos intermediários tóxicos (Golueke, 1991). Em processo anaeróbio a inactivação de patogéneos pode ser mais eficaz, apesar das menores temperaturas normalmente alcançadas (Bollen, 1993) e obtém-se um material final mais estabilizado, o qual submetido a um curto processo aeróbio pode fornecer um excelente composto. O custo de operação é mais elevado que a compostagem em pilhas, mas semelhante, ou mais económico que em reactor. Para este processo é normalmente adoptada a designação de "digestão anaeróbia" (Baeten e Verstraete, 1993; Bertoldi, 1993).

Neste trabalho utiliza-se o termo composto como tradução da designação inglesa *compost*, designação já empregue entre nós (Cabral e Telles, 1960), apesar dos diferentes significados do termo, tanto na língua original como no português. Bunt (1976) refere para o termo *compost*, além do significado apresentado, os seguintes: (i) material à base de palhas e estrumes usado na produção de cogumelos, (ii) misturas de materiais orgânicos e ou, inorgânicos, utilizados como substratos na produção de plantas em contentor, sinónimo de *plant growing media* ou *plant substrate*, que nos EU se designam por *mix* ou *media*. Na língua portuguesa, o contexto de emprego do termo será suficiente para esclarecimento da acepção em que se pretende usar.

Composto, será deste modo, segundo a proposta do Grupo de Compostagem da CE, o termo utilizado para designar um "*produto estabilizado e higienizado resultante de compostagem, benéfico para o crescimento das plantas. Sofreu uma fase inicial rápida de decomposição e encontra-se num estágio de humificação (fase de estabilização)*" (Zucconi e Bertoldi, 1987).

O processo típico de compostagem considera-se dividido em três fases principais (Hoitink e Poole, 1980, Zucconi e Bertoldi, 1987; Chen e Inbar, 1993):

(i) Fase inicial ou fase mesofílica, durante a qual são consumidas as substâncias mais facilmente degradáveis. Dura poucos dias, ocorre uma subida muito rápida da temperatura e o pH baixa.

(ii) Fase intermédia ou termofílica, durante a qual a temperatura ultrapassa os 40 °C. Ao atingir o seu máximo, ocorre maior libertação de toxinas, degradam-se rapidamente os açúcares, gorduras, amido e proteínas, a maioria dos patogéneos são destruídos, o pH sobe ao libertar-se amoníaco (Chen e Inbar, 1993). Pode durar desde poucas semanas até vários meses, no final da qual a temperatura baixa com alguma rapidez.

(iii) Fase final, também denominada de estabilização ou de maturação, durante a qual diminui a taxa de decomposição dos materiais, a sua temperatura e a libertação de toxinas. Ocorre a recolonização do meio com microrganismos antagonistas e outros e, também macrofauna. A celulose e a hemicelulose são degradadas. Pode durar meses (Gray *et al.*, 1971b; Biddlestone e Gray, 1986). Alguns autores limitam a fase termofílica apenas até ao início do declínio da temperatura e consideram, a partir desta altura, uma (iv) fase de arrefecimento, que decorre até o material praticamente alcançar a temperatura ambiente (Gray *et al.*, 1971b; Biddlestone e Gray, 1986; Chen e Inbar, 1993). Na fase final, de estabilização ou maturação, o pH torna-se ligeiramente alcalino e desenrola-se intensa competição pelo alimento existente. Ocorrem processos de antagonismo e formação de antibióticos, que conduzem à obtenção de um produto estabilizado (Gray *et al.*, 1971b; Diaz *et al.*, 1982; Hoitink e Fahy, 1986; Zucconi e Bertoldi, 1987).

As complexas transformações biológicas ocorridas conduzem fundamentalmente à remoção da celulose e várias toxinas (Still, *et al.*, 1976; Krogstadt e Solbraa *cit. in* Hoitink e Poole, 1980), deixando ácidos húmicos, lenhina e seus resíduos transformados, uma enorme variedade de microrganismos vivos e mortos (Gray, *et al.*, 1973; Hoitink e Poole, 1980), bem como hidratos de carbono inalterados, produtos intermédios e de complexas reacções secundárias de polimerização e condensação destes materiais e alguma macrofauna e flora (Gray *et al.*, 1973). Este produto pode ser facilmente manuseado, armazenado ou utilizado sem riscos ambientais (Zucconi e Bertoldi, 1987; Finstein e Hogan, 1993).

Podem-se distinguir actualmente três grandes tipos de materiais susceptíveis de serem assim transformados: as lamas das estações de tratamento de águas residuais (LETAR), os resíduos sólidos de zonas urbanas (RSU) e industriais e, os provenientes da actividade agrícola,

agro-industrial ou florestal. Na compostagem destes materiais, aplicam-se métodos, que embora seguindo os mesmos princípios gerais, são adequados às características de cada um (Gray *et al.*, 1973). Os compostos, particularmente os obtidos a partir de cascas de árvores, têm vindo a ser usados no controlo de doenças de solo, nomeadamente em culturas em contentor, aumentando a reciclagem de resíduos, reduzindo o consumo de pesticidas e melhorando a sanidade das plantas, com redução de custos para a sociedade (Hoitink *et al.*, 1993). O diagrama simplificado do processo de compostagem representa-se na Figura 2.

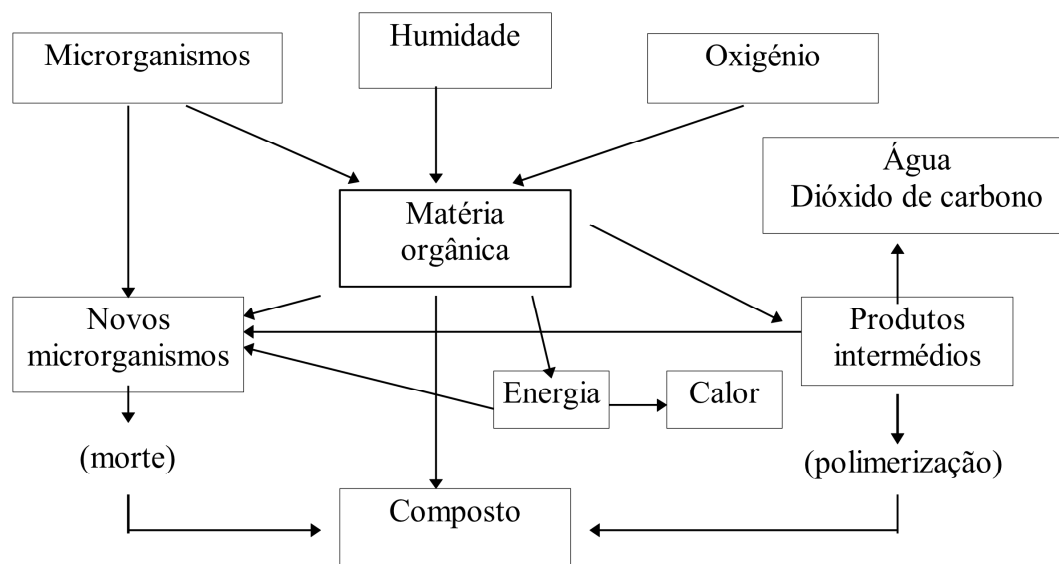


Figura 2 - Descrição geral do processo de compostagem (adaptado de Narayan, 1993).

2.1.2. Condições de meio para a compostagem

Sendo uma transformação de natureza biológica, em que actuam fundamentalmente: bactérias, fungos e actinomicetas, todos os factores que influenciam a vida dos microrganismos intervenientes, serão os factores condicionantes do próprio processo (Golueke, 1991). Os mais importantes são a temperatura, o arejamento, a humidade, os nutrientes disponíveis e a existência de uma população de microrganismos capaz de decompor os resíduos em causa (Waksman e Cordon, 1938; Stentiford, 1987; Sana e Soliva, 1987; Poincelot, 1975 e Deschamps, 1979, *cit. in* Corominas *et al.*, 1987; Finstein e Hogan, 1993). É fundamental existir uma estrutura física adequada (Loussert e Brousse, 1978), capaz de garantir o desenrolar do processo em boas condições.

A preparação prévia do material pode constar de: (i) eliminação de materiais contaminantes (aplica-se por exemplo aos RSU); (ii) redução a uma granulometria favorável; (iii) mistura com um material para aumentar o arejamento e (iv) obtenção de um nível adequado de humidade, igualmente por mistura ou, por adição de água (Stentiford, 1993).

As acções de controlo efectuadas durante o processo são o arejamento (por volteio ou ventilação forçada) e a adição de água (Stentiford, 1987; Finstein e Hogan, 1993), podendo a sua aplicação ser limitada por aspectos económicos (Golueke, 1991).

As características do produto final dependem da preparação prévia e das condições de operação (Finstein e Hogan, 1993).

Temperatura

A temperatura a que se encontram os microrganismos num material em compostagem, depende da temperatura exterior, mas é sobretudo resultado da sua própria actividade, ao utilizarem a matéria orgânica disponível como fonte de energia e nutrientes (Diaz *et al.*, 1982) e, do controlo exercido no processo (Finstein e Hogan, 1993). O calor produzido é directamente proporcional ao volume de material, mas a sua libertação para o exterior é proporcional à sua superfície. Deste modo, a temperatura no material em compostagem dependerá, por um lado, do nível da actividade microbiana (Richard e Zimmerman, 1995), por outro lado, do balanço das trocas com o meio exterior (condicionado pelos respectivos níveis de temperatura, pela estrutura do material e forma como se encontra disposto e, pelo método de arejamento) (Finstein e Hogan, 1993). Em compostagem de LETAR, o arejamento foi considerado o principal factor a afectar o metabolismo microbiano e a biomassa, sendo pequenas flutuações do seu valor mais importantes que pequenas alterações da humidade, pH, teor de matéria orgânica ou relação carbono/azoto (C/N) (McKinley *et al.*, 1985). A regulação do arejamento, altera a rapidez do processo, o grau de conservação dos nutrientes existentes, particularmente do azoto e, as características do produto final (Waksman *et al.*, 1938; McKinley *et al.*, 1985; Bertoldi *et al.*, 1991). Observa-se uma relação muito importante, envolvendo aspectos biológicos e físicos, da libertação de calor e da temperatura. Na descrição do processo tradicional, admitia-se que a água e os nutrientes não constituam factores limitantes e que o arejamento se destinava a fornecer oxigénio e não à remoção deliberada de calor. Nestas condições, o material constitui uma massa auto isolante onde a retenção do calor libertado pela actividade microbiana faz elevar a temperatura, o que inicialmente favorece os organismos mesófilos, a decomposição e a libertação de calor (interacção positiva da libertação

de calor e da temperatura). A cerca de 35 °C a taxa de libertação de calor atinge o máximo (interacção neutra), após o que a actividade dos organismos mesófilos declina (interacção negativa), sem se suspender a subida de temperatura. Os mesófilos são auto destruídos a cerca de 45-50 °C, expandindo-se a actividade novamente através dos organismos termófilos, repetindo-se o ciclo, a temperaturas mais elevadas, da sequência de interacção positiva - interacção neutra - interacção negativa, da libertação de calor com a temperatura. Nesta segunda fase, a taxa de libertação de calor é máxima a cerca de 55 °C. Não havendo remoção deliberada de calor, a temperatura continua a subir, ultrapassando o ponto da máxima actividade microbiana da zona termofílica (interacção negativa). A auto limitação começa a ocorrer próximo dos 60 °C e termina por praticamente se anular a 75 - 80 °C, permanecendo à máxima temperatura enquanto os substratos rapidamente metabolizados vão sendo lentamente consumidos, após o que, a temperatura baixará gradualmente. De um modo global, a decomposição é lenta (Finstein e Hogan, 1993).

A temperatura alcançada afecta dois importantes aspectos, (i) a obtenção de compostos higienizados e (ii) a taxa de decomposição do material (Stentiford, 1987; Zucconi e Bertoldi, 1987).

(i) Relativamente aos organismos patogéneos procuram-se habitualmente três objectivos: conseguir a sua eliminação no meio, evitar o seu crescimento e disseminação no material e tornar o produto final desfavorável ao seu desenvolvimento (Finstein e Hogan, 1993). Embora alguns microrganismos possam sobreviver a temperatura superior a 100 °C, os mais perigosos relativamente à agricultura e ao ambiente, podem felizmente ser eliminados a temperatura mais baixa (Bertoldi *et al.*, 1991; Bollen, 1993). A fim de conseguir a eliminação da maior parte dos agentes patogénicos e sementes de infestantes, em resíduos de plantas, considera-se que a temperatura deve alcançar os 35 a 55 °C pelo menos durante alguns dias (Sana e Soliva, 1987), sendo normalmente aceite como valores mínimos 55 °C durante 3 dias (McKinley *et al.*, 1985; Golueke, 1983 *cit. in* Stentiford, 1987). Estes limites variam de país para país, entre 55 a 65 °C, por períodos de 1 a 14 dias (Bertoldi *et al.*, 1991; Stentiford, 1993). Zucconi e Bertoldi (1987) referem 55 a 60 °C, durante alguns dias como suficiente para a maioria dos fitopatogéneos, nematodos e mesmo vírus resistentes ao calor. Na compostagem de RSU Bertoldi *et al.* (1991) referem 65 °C durante 2 a 3 dias consecutivos. Gotaas, 1956 (*cit. in* Hoitink *et al.*, 1976), indicou os 60 °C como limite mínimo para destruição dos patogéneos por acção da temperatura, na compostagem de lamas de LETAR, mas testes posteriores revelaram que estes valores podem ser reduzidos, desde que se garanta, adequada mistura ou arejamento

do material durante a compostagem (Gray *et al.*, 1971a). Schulze (1961), em sistema contínuo de compostagem de misturas com LETAR, com tempo de retenção entre 7 a 18 dias e temperatura entre 54 e 70 °C, observou a destruição da maior parte dos organismos patogêneos. A temperatura de 40 a 60 °C, durante 10-12 semanas, atingida durante a compostagem de casca de árvore triturada, elimina a presença de *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium irregulare*, *Botrytis cinerea*, *Erwinia carotovora* var. *chrysanthemi*, presentes em material vegetal previamente aí colocado. Pelo contrário, a ausência de compostagem permite a sua sobrevivência (Hoitink *et al.*, 1976; Daft *et al.*, 1979). Também *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*, *Plasmodiophora brassicae* e *Olpidium brassicae*, foram total ou quase totalmente destruídos, durante uma fase curta de aquecimento, tendo sobrevivido durante a fase de maturação (Bollen, 1993). Este facto sugere que durante o processo de compostagem estes organismos sensíveis ao calor, são destruídos, o que poderá explicar a não manifestação destas doenças (Hoitink *et al.*, 1975; Hoitink *et al.*, 1993). Bollen (1993) indica 60 °C, como a temperatura a atingir em compostagem de resíduos altamente infectados com fungos parasitas de raízes e *Fusarium oxysporum*.

Além do efeito destrutivo da temperatura (Bollen, 1993), é sugerido que a eliminação de patogêneos possa ocorrer associada, não apenas a um efeito combinado de tempo e temperatura (Bertoldi *et al.*, 1991), mas também à formação de inibidores no material em compostagem (Bollen, 1993) ou, à competição com outros organismos (Gray *et al.*, 1971a; Stentiford, 1987). Verificam-se significativas reduções de organismos patogêneos no caso de compostagem em pilhas, mesmo em zonas de temperatura mais baixa (Bollen, 1993). Em compostos de RSU, a destruição de alguns destes organismos é devida a uma combinação da temperatura e da presença de inibidores ou competição com outros. Observa-se, que culturas de *Salmonell paratyphi* e *S. cairo* morrem quando colocadas em composto a 50 °C e 50 % de humidade, durante 7 dias, mas sobrevivem em incubador nas mesmas condições (Hoitink *et al.*, 1976).

A temperatura durante a compostagem não deverá ser inferior a 40 °C e deve misturar-se periodicamente o material para aumentar a uniformidade na eliminação dos patogêneos (Hoitink *et al.*, 1976) ou, no caso de pilhas estáticas, deve efectuar-se a sua cobertura com uma camada de material compostado de modo a uniformizar a temperatura (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Embora se possam atingir temperaturas bastante mais elevadas, tal facto apresenta inconvenientes, como por exemplo, a morte ou a formação de formas de resistência por parte

dos microrganismos importantes para o desenrolar do processo, o qual será assim mais demorado (Jeris e Reagan, 1973, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980; Sana e Soliva, 1987) e pode ainda comprometer a estabilização do material (Corominas *et al.*, 1987). De qualquer modo, não se pode evitar, quando o material se dispõe em pilha que, para alcançar as condições termofílicas, a temperatura no centro desta atinja os 70 °C ou valores superiores (Hoitink, *et al.*, 1978, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980).

O problema da higienização do produto final, que pode ser de extrema importância, consegue-se alcançar apenas através da conjugação do tempo e da temperatura (Finstein *et al.*, 1982, *cit. in* Sana e Soliva, 1987; Zucchini e Bertoldi, 1987). É no entanto irrealista, em qualquer sistema de compostagem, garantir a isenção de patogêneos, devendo sim, garantir-se a sua significativa redução ou inactivação a um nível seguro de utilização (Stentiford, 1987). Apesar de alguns vírus poderem suportar as elevadas temperaturas durante a compostagem, muitas necessitam de vectores, nematodos ou fungos, para a sua transmissão. Como estes normalmente não terão resistido ao processo, isso significa que esses compostos não serão perigosos (Bollen, 1993). No entanto, o vírus do mosaico do tabaco não necessita de vector para se transmitir e não é completamente inactivado durante a compostagem. Mantendo-se a temperatura entre 50 a 75 °C durante 6 semanas, não se conseguiu a sua inactivação (Gordon e Hoitink, não publicado, *cit. in* Hoitink, 1980), sendo ainda detectado na seiva após exposição durante 10 semanas a 68 °C ou, a 75 °C durante 5 semanas (Bollen, 1993). Nestes casos particulares, poder-se-á efectuar uma pasteurização ou esterilização do produto, para determinadas utilizações, embora de um modo geral esta operação seja de evitar por também destruir os microrganismos benéficos (Hoitink e Poole, 1980) e não eliminar o risco de recontaminação (Bertoldi *et al.*, 1991), sendo preferível não usar o composto em culturas sensíveis (Bollen, 1993).

Em compostagem industrial, a temperatura ultrapassa normalmente os níveis mínimos, precisando contudo de ser vigiada em processos em menor escala, por exemplo, a nível de pequenas empresas agrícolas. As recomendações de níveis determinados de tempo/temperatura têm um valor relativo, por não tomarem em consideração a distribuição da temperatura em toda a massa em compostagem (Stentiford, 1993). Para alguns autores é preferível a limitação de um "intervalo de segurança" durante a condução do processo (Feachem *et al.*, 1983 e Stentiford, 1989, *cit. in* Stentiford, 1993). Embora haja outros factores intervenientes na higienização, a temperatura é o mais fácil de usar para avaliar este aspecto, por ser mais fácil de determinar e de controlar (Bollen, 1993).

(ii) Por várias razões, como a diminuição da libertação de odores, o encurtamento do processo e a redução do equipamento e da área necessária, verifica-se a necessidade de conseguir uma elevada taxa de decomposição do material. A necessidade de evitar a auto-limitação resultante da actividade microbiana no processo tradicional, impõe o estabelecimento de níveis máximos de temperatura, que são facilmente mantidos por ventilação forçada. O oxigénio que entra no meio é utilizado pelos microrganismos na fase sólida com libertação de calor. A energia é transferida da fase sólida para a corrente de ar em circulação, na forma de calor latente (vaporização de água, 80 a 90 % do calor total) e na forma de calor sensível (elevação da sua temperatura, 10 a 20 %). A libertação de energia na forma de calor latente determina a secagem do material e, na forma de calor sensível, estabelece um gradiente vertical da temperatura segundo o sentido da deslocação do ar (ascendente). Mantendo-se a temperatura limitada a um valor determinado e um elevado nível de O₂, obtém-se uma elevada taxa de decomposição (Finstein e Hogan, 1993). A determinação da temperatura óptima para esta elevada taxa de decomposição, conduziu a resultados conflituosos (McKinley *et al.*, 1985). Trabalhos iniciais indicam 65 °C como a temperatura a que ocorre o máximo de actividade dos microrganismos em condições óptimas de humidade, na decomposição de matéria orgânica (Dehérain e Demoussy, 1896, *cit. in* Waksman *et al.*, 1938). Waksman *et al.* (1938) verificaram que a compostagem de estrume de cavalo ocorre mais rapidamente quando a temperatura é inicialmente de 65 °C e em fases posteriores de 50 °C. Wiley (1956 e 1957 *cit. in* Gray *et al.*, 1971a), em ensaios laboratoriais, estima em 12 a 30% o aumento de decomposição resultante da condução do processo a temperatura entre 55 - 63 °C, relativamente a 67 -72 °C. Em 1961, Schulze observa o aumento logarítmico do consumo de oxigénio, relacionado com a taxa de decomposição, no intervalo de 20 a 70 °C (, 1961). Gray *et al.* (1971) referem ocorrer uma variação logarítmica, crescente com o aumento da temperatura até cerca de 45 - 55 °C e decrescente em seguida. Posteriormente, a nível laboratorial, foram determinadas taxas óptimas de consumo de O₂ e libertação de CO₂, a temperatura inferior a 60 °C, acompanhadas de decréscimo brusco da actividade microbiana acima dos 60 °C (Jeris e Reagan, 1973 e Suler e Finstein, 1977, *cit. in* Bagstam, 1978). Bagstam (1978) verificou uma maior rapidez do processo em casca de abeto, mantendo, em reactor, a temperatura de 45 °C. Refere ainda Bagstam (1978), dois níveis de decomposição microbiológica. Um nível abaixo de 40 °C (mesofílico), com um óptimo entre os 25 e os 40 °C e outro, mais eficaz, acima de 40 °C (termofílico), com um óptimo entre 50 e 55 °C. Para favorecer o desenvolvimento de fungos responsáveis pela decomposição da celulose foi sugerida a manutenção da temperatura a 45 °C,

pois se verifica ser o intervalo de 40 a 50 °C, o mais favorável à decomposição deste constituinte (Gray, 1959; Jeris e Reagan, 1973 *cit. in* Bagstam, 1978). Acima de 60 °C, observa-se também redução da actividade da celulase, tornando-se efectiva a inactivação pelo calor e a redução da taxa de decomposição (Keener *et al.*, 1993). Medições da actividade da celulase durante o processo, revelam valores mais elevados na zona mesofílica (Strom, 1985, *cit. in* Finstein e Hogan, 1993). No intervalo de temperatura de 40 a 45 °C, foi também detectada máxima actividade microbiana na compostagem de LETAR (McKinley *et al.*, 1985). Vários autores não conseguiram isolar fungos a partir de compostos cuja temperatura era igual ou superior a 60 °C (Finstein e Morris, 1975; Kane e Mullins, 1973 e Gray, 1970, *cit. in* Golueke, 1991). A decomposição de casca de espécies de madeira dura é máxima entre 40 e 47 °C (Cappaert *et al.*, 1976, *cit. in* Bagstam, 1978) e em RSU o óptimo de temperatura, para actividade microbiana, situa-se entre 40 e 60 °C (Kuter *et al.*, s.d.). Outros trabalhos apontam também como óptimo da temperatura de compostagem, valores abaixo de 55°C (McKinley *et al.*, 1985).

Como dentro de cada zona de temperatura (mesofílica ou termofílica) cada organismo apresenta um intervalo óptimo, a temperatura óptima média resulta do compromisso entre os vários intervalos óptimos dos microrganismos envolvidos. A evolução da curva da eficiência e rapidez do processo de compostagem é sintetizada do seguinte modo: até 30 °C, aumento em relação directa com a subida de temperatura; ligeiro abrandamento de 30 a 35 °C; estabilização entre 35 e 55 °C, com algum decréscimo entre 50 e 55 °C; decréscimo brusco a partir de 55 °C e praticamente sem actividade ao atingir 70 °C (Gouleke, 1991). Embora os organismos termofílicos estejam bem adaptados a temperaturas acima de 55 - 60 °C, isso é conseguido à custa de redução da sua eficiência metabólica (Brock, 1967 e Allen e Brock, 1968, *cit. in* McKinley *et al.*, 1985; Keener *et al.*, 1993), pelo que, não é desejável manter estas condições. Acima de 57 °C, diminui o número de espécies presentes. É interessante determinar quais os organismos, mesófilos ou termófilos, que possuem maiores capacidades para a decomposição de uma gama variada de materiais. Até agora, parece que seja mais elevada entre as bactérias mesófilas, sugerindo-se por isso um patamar de temperatura na zona termófila (Finstein e Hogan, 1993).

Embora se discutam as vantagens da compostagem em condições mesofílicas ou termofílicas, a ocorrência desta fase é benéfica em resíduos muito degradáveis (Finstein e Hogan, 1993), a nível da higienização (Diaz *et al.*, 1982; Gouleke, 1991; Finstein e Hogan, 1993) e, por alguns dos microrganismos envolvidos terem o seu óptimo nesta zona (Gouleke,

1991). Dada a ocorrência habitual de uma fase final mesofílica, serão, quando muito adiados, os eventuais benefícios específicos do metabolismo mesofílico. Do ponto de vista técnico, a manutenção de uma temperatura mais baixa necessita de um muito maior caudal de ar, aumentando os custos do processo (Finstein e Hogan, 1993).

Em sistemas laboratoriais, verifica-se a redução da taxa de bio-oxidação, acima de 60 - 65 °C (Jeris e Reagan, 1973 *cit. in* Corominas *et al.*, 1987) ou mesmo a 55 °C, quando esta temperatura se mantém desde o início do processo (Bagstam, 1978). Acima de 75 °C (Waksman *et al.*, 1938), 70 °C (Corominas *et al.*, 1987; Stentiford, 1987), 65 °C (Zucconi e Bertoldi, 1987), 60 °C (McKinley *et al.*, 1985), ou mesmo 55 °C (Gouleke, 1991), a actividade microbiológica pode ser reduzida, afectando a população mesófila, a mais importante na fase seguinte de estabilização, o que pode originar falsa interpretação de final do processo. Nestas condições, as hemiceluloses são consideravelmente decompostas, mas a celulose não. Regista-se um limitado aumento das proteínas e só parte da lenhina é atacada (Waksman *et al.*, 1938). O pressuposto mais ou menos generalizado, de que os microrganismos termófilos são mais eficientes, resulta do conhecimento de que até ao ponto em que começam a ser inactivadas, as enzimas são mais eficazes com o aumento da temperatura. Para Gouleke (1991), o limite do óptimo para os termófilos deve situar-se entre os 55 e os 60 °C, temperaturas a partir das quais a eficiência do processo começa a baixar, devido entre outros motivos, ao aparecimento de formas esporoladas ou outras formas de resistência e à limitação ao desenvolvimento de fungos e actinomicetas a esta temperatura.

A temperatura de operação do processo resultará do compromisso entre as exigências de higienização e as de degradação (rapidez do processo), sendo alguns dos objectivos da higienização mais facilmente alcançados pela maximização da taxa de degradação (Finstein e Hogan, 1993). Stentiford (1993) refere que habitualmente a máxima higienização necessita de temperatura superior a 55 °C, a máxima biodegradação de temperatura compreendida entre 45 e 55 °C e a máxima actividade microbiana ocorre entre os 35 e os 45 °C.

Tendo em conta as observações referentes à limitação das capacidades dos microrganismos a temperatura elevada, torna-se necessário um controlo preciso da temperatura, para simultaneamente se conseguir a redução de patogéneos e uma população microbiana saudável, o que parece poder alcançar-se mantendo uma temperatura máxima de 55 °C (Gunther, 1983; McKinley *et al.*, 1985; Stentiford, 1993; Finstein e Hogan, 1993). Parece consensual que é no intervalo de 40 a 50 °C, que ocorre a maior libertação de água, a maior degradação de matéria orgânica e a maior rapidez do processo (Finstein, *et al.*, 1985, Hoitink e

Kuter, 1986 e Vestal e McKinley, 1986, *cit. in* Farrell, 1993). Recentemente, referiu-se como óptimo para a decomposição o intervalo entre 35 e 60 °C (Bach *et al.*, 1987 e McKinley e Vestal, 1984, *cit. in* Keener *et al.*, 1993; Kuter *et al.*, s.d.; Finstein e Hogan, 1993).

A temperatura óptima de compostagem varia também com a natureza do material. Há materiais que não proporcionam o desenvolvimento de uma temperatura elevada, acima dos 50 °C e, mesmo assim, pode obter-se um produto estabilizado (Jeris e Reagan, 1973, *cit. in* Corominas *et al.*, 1987; Farrell, 1993).

A temperatura de funcionamento, é também determinada pelos objectivos do processo de compostagem, sendo no entanto muito poucos os sistemas em que este valor se consiga manter estável, em todo o material, ao longo do processo (Stentiford, 1993). Na compostagem em pilhas observam-se diferenças de, até 25 °C (Eccles e Stentiford, 1987, *cit. in* Stentiford, 1993) e, de 30 a 60 °C em contentores a uma profundidade de 0,6 m (Hansen *et al.*, 1989a, *cit. in* Hansen *et al.*, 1993).

Arejamento

O arejamento visa regular a temperatura do material (Biddlestone e Gray, 1986) e a disponibilidade de oxigénio, sendo normalmente o primeiro objectivo mais exigente (Finstein e Hogan, 1993). Como o metabolismo dominante é a respiração aeróbia, a garantia de suficientes disponibilidades de oxigénio, permite que a compostagem decorra em condições aeróbias e termófilas, fundamentais para a rápida evolução do processo.

O arejamento constitui o problema mais vulgar em processos deficientemente controlados (Zucconi e Bertoldi, 1987) devido à sua influência na actividade metabólica dos microrganismos (Schulze, 1961; Bertoldi *et al.*, 1991). É o factor mais facilmente alterado pelas condições tecnológicas (Bertoldi, 1993). A manutenção do arejamento em níveis adequados evita os problemas da libertação de maus odores (Sana e Soliva, 1987).

As necessidades em oxigénio habitualmente referidas não se podem generalizar, já que são muito variáveis com a fase do processo, a natureza do material, o seu teor de humidade e textura e, a técnica de compostagem utilizada. São muito elevadas no início da decomposição, baixando nas fases seguintes (Schulze, 1960, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a; Zucconi e Bertoldi, 1987). Gray *et al.* (1971a) concluem, que o consumo de oxigénio parece apresentar um incremento logarítmico à medida que a temperatura sobe, atingindo um máximo entre 45 e 55°C, baixando de seguida também da mesma forma.

Em pilhas, o fornecimento de oxigénio depende da quantidade de ar presente nos interstícios ou poros das partículas, que por sua vez depende da estrutura do material. Quando a estrutura é débil, o seu colapso origina a redução dos espaços entre as partículas, podendo-se criar condições anaeróbias, agravadas em condições de humidade muito elevada do material (Diaz *et al.*, 1982; Gouleke, 1991). Através dos espaços entre as partículas e em consequência da difusão resultante da diferença de pressões parciais dos gases (na atmosfera e no interior do material) e da convecção (resultante do aquecimento do ar no interior da pilha), ocorre o arejamento natural do material. Contudo, demonstra-se que a troca de gases é insuficiente para assegurar a manutenção de condições aeróbias no período mais exigente (McCauley e Snell, 1956 e Snell, 1957, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a; Gouleke, 1991).

Podem-se assegurar as necessidades em oxigénio basicamente de dois modos: por volteio do material ou promovendo a circulação forçada de ar (Diaz *et al.*, 1982; Sana e Soliva, 1987). No caso do volteio, consegue-se também uma melhor homogeneização do material, o que pode ser um aspecto bastante importante quando o material é à partida muito heterogéneo. Por outro lado, há maior garantia que todo o material seja exposto a condições semelhantes de temperatura. Quando o material se encontra em pilhas, ocorre a diminuição da temperatura de alguns graus logo após o volteio, a qual subirá posteriormente de acordo com o grau de decomposição da matéria orgânica. Assim, pode-se usar o arejamento simultaneamente como mecanismo de controlo da temperatura no material em compostagem (Diaz *et al.*, 1982). Aquando do volteio, pode haver algum abrandamento no desenvolvimento de fungos e bactérias (Sana e Soliva, 1987).

Devido à influência da temperatura, humidade, população microbiana e disponibilidade de nutrientes no consumo de O₂, a informação sobre os níveis de fornecimento de O₂ através do arejamento é muito vasta e pouco coincidente. O valor ideal depende de cada situação específica (Diaz *et al.*, 1982; Gouleke, 1991). Em cada situação concreta há que efectuar ajustes de modo a conseguir o mínimo fluxo de ar que garanta ainda o transporte de algum oxigénio à sua saída (Gouleke, 1991). O registo da presença de O₂ à saída de um sistema de arejamento não garante a inexistência de zonas em anaerobiose, problema que não se levanta na compostagem em pilhas amovíveis. Quando em pilhas, a concentração de oxigénio na fase gasosa deve ser superior a 0,1% e de preferencia situar-se entre 5 - 12% (Schulze, 1961; Epstein. *et al.*, 1976 e Parr, *et al.*, 1978, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980). Outros autores referem 10% (v/v) como mínimo para continuação do processo aeróbico, situando-se o óptimo entre 14 e 17% (Diaz *et al.*, 1982).

A determinação do consumo de oxigénio, reflectindo a actividade microbiana, pode, em condições óptimas dos outros factores, servir para calcular o nível óptimo de humidade do material (Gouleke, 1991).

O odor libertado, embora tardiamente, é um bom indicador da existência de condições anaeróbias e pode ser eficaz em muitos casos (Diaz *et al.*, 1982; Gouleke, 1991).

Humidade

A água é essencial à actividade dos microrganismos, facilita a sua migração e colonização e, a difusão de substratos e de resíduos metabólicos (Miller, 1989, *cit. in* Finstein e Hogan, 1993).

Se em teoria, a humidade ideal do material pode ser próxima de 100%, a prática impõe limites bastante inferiores. O problema na determinação da humidade ideal é o de saber quão alta pode ser, sem conduzir a anaerobiose (Gouleke, 1991). O espaço intersticial e a resistência à manipulação, condicionantes do espaço intersticial, logo do arejamento, dependem da resistência, da forma e do tamanho das partículas do material. A água afecta não só a resistência da estrutura, mas obtura os poros, competindo com o ar na ocupação de espaços vazios e reduzindo o arejamento (Dehérain e Demoussy, 1896, *cit. in* Waksman *et al.*, 1938; Diaz *et al.*, 1982; Gouleke, 1991; Finstein e Hogan, 1993). Assim, o teor máximo de humidade depende da extensão até à qual os interstícios podem ser cheios de água e deixar ainda suficiente ar para suprir as necessidades dos microrganismos em oxigénio. O intervalo óptimo para a compostagem situa-se entre 40 e 65% (Gray *et al.*, 1971b; Gray *et al.*, 1973; Cappaert, *et al.*, 1976b e Jeris e Reagan, 1973, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980; Diaz *et al.*, 1982; Biddlestone e Gray, 1986; Sana e Soliva, 1987). Valores incorrectos podem afectar tanto o decorrer do processo como a maneabilidade do produto final (Bilderback, 1985). No entanto, estes valores podem ser ultrapassados desde que se garanta o bom arejamento do material (Zucconi e Bertoldi, 1987), ou seja, serão variáveis com o tipo de material, natureza, granulometria, capacidade de retenção de água e, a técnica empregue na compostagem. Por exemplo, com materiais fibrosos ou resíduos florestais grosseiros podem alcançar-se valores de 75 a 90% (Sana e Soliva, 1987; Gouleke, 1991). Pelo contrário, com materiais finos ou com material vegetal de natureza mais herbácea, não se deve ultrapassar 50 a 60% (Gray *et al.*, 1971a; Diaz *et al.*, 1982; Sana e Soliva, 1987; Finstein e Hogan, 1993). Com materiais fibrosos ou grosseiros, a moenda pode ser uma operação com interesse por aumentar a superfície específica, permitindo atingir um maior teor de humidade dos materiais quando tal se revele

difícil de alcançar, por favorecer o desenvolvimento microbiano e, por vezes, o próprio manuseamento do material (Sana e Soliva, 1987; Golueke, 1991). A água produzida pelo metabolismo dos microrganismos é libertada para a atmosfera (Biddlestone e Gray, 1986), pelo que um arejamento mais frequente pode reduzir o problema da humidade demasiado elevada (Hoitink e Poole, 1980).

A necessidade de água varia ao longo do processo, de acordo com a evolução da população microbiana. A fase termofílica, em que predominam bactérias, é mais exigente, enquanto que durante a maturação, em que predominam fungos e actinomicetas, há uma menor exigência de água (Zuconi e Bertoldi, 1987).

A humidade do material, ao favorecer a sua condutividade térmica, contribui para aumentar o efeito letal da temperatura (Bertoldi *et al.*, 1991).

O limite mínimo do teor de humidade é mais constante, pois depende directamente das necessidades dos microrganismos. Sendo o mínimo para a actividade biológica de 12%, quanto mais próximo deste valor, mais retardado será o processo (Gouleke, 1991). Normalmente, uma humidade inferior a 30 (Gray *et al.*, 1971a) ou 40% reduz a taxa de decomposição da matéria orgânica e pode ocasionar perdas de azoto na forma amoniacal (Diaz *et al.*, 1982; Hoitink e Poole, 1980). É aconselhado não deixar baixar o limite mínimo do teor de humidade de 40 a 45% (Gouleke, 1991).

A falta de humidade pode ser revelada por uma descida extemporânea da temperatura, estando os outros factores em níveis adequados (Gouleke, 1991). Nos processos conduzidos em níveis elevados de temperatura, o arrefecimento evaporativo remove grande quantidade de água, secando o material e exigindo o ajuste periódico do seu teor de humidade (Finstein e Hogan, 1993). A utilização de um sistema de inversão do fluxo de ar pode reduzir estas perdas de humidade (Hansen *et al.*, 1993).

Nutrientes necessários

O balanço dos nutrientes necessários depende da composição dos microrganismos e do seu metabolismo (Biddlestone e Gray, 1986; Golueke, 1991).

O azoto é o nutriente mais solicitado pelos microrganismos, na assimilação dos compostos de carbono dos resíduos orgânicos, seguido pelo fósforo. O potássio, o magnésio, o enxofre, o cálcio e os micronutrientes têm uma importância mais reduzida (Gray *et al.*, 1971a; Biddlestone e Gray, 1986; Gouleke, 1991).

Mais importante que o teor de cada um é o seu equilíbrio (Sana e Soliva, 1987; Golueke, 1991), especialmente no caso do carbono e do azoto (Golueke, 1991).

A quantidade de carbono necessária é muito superior à de azoto, por o carbono ser usado como fonte de energia e por estar presente no material celular em níveis bastante mais elevados. Embora a relação C/N dos microrganismos seja cerca de 10, devido à sua necessidade de energia, valores iniciais inferiores a 12 (Jimenez e Garcia, 1992), próximos de 20 (Hansen *et al.*, 1993) e mais frequentemente entre 25 e 30 (Biddlestone e Gray, 1986; Stentiford, 1987; Zucconi e Bertoldi, 1987; Gray *et al.*, 1971a; Golueke, 1991), são considerados como mais adequados, por se considerar que os microrganismos utilizam 30 partes de carbono por cada uma de azoto (Sana e Soliva, 1987; Golueke, 1991). Os valores sugeridos para a relação C/N ideal não se podem generalizar. De facto, a matéria orgânica apresenta diferentes graus de biodegradabilidade, devida à diferente relação dos teores de lenhina e de celulose e, de riqueza em azoto (Morel *et al.*, 1985 e Senesi, 1989, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992), o que não se consegue obter a partir do conhecimento do valor daquela relação. Não foi observada qualquer diferença na compostagem de casca de pinheiro e casca de eucalipto, utilizando relações C/N iniciais de 15 ou 30 (Guedes de Carvalho *et al.*, 1991). Se a relação C/N for alta, acima de 35, o processo sofre um abrandamento até se oxidar o excesso de carbono (Zucconi e Bertoldi, 1987; Sana e Soliva, 1987), reduzindo-se também a quantidade final de húmus obtida (Gray *et al.*, 1971a; Golueke, 1991) e podendo produzir-se quantidades tóxicas de ácidos orgânicos (Inbar *et al.*, 1991). No entanto, se a degradabilidade da matéria orgânica em causa for baixa, por conter por exemplo, altos teores em algumas formas de celulose, lenhinas, ou compostos aromáticos, este aspecto é por si mais influente na velocidade do processo, que o baixo teor de azoto (Sana e Soliva, 1987). Em consequência, a relação C/N admissível pode chegar a 35 - 40 (Golueke, 1991). As formas em que o azoto se encontra são raramente de difícil disponibilidade, pelo que a situação oposta, a de ser favorável uma relação C/N mais baixa, raramente sucede.

Quando a relação C/N é muito baixa, ocorre a perda de azoto em excesso, sob a forma de amoníaco (Gray *et al.*, 1971a, 1971b; Bilderback, 1985; Sana e Soliva, 1987; Stentiford, 1987; Golueke, 1991; Hansen *et al.*, 1993). Se houver demasiada perda de azoto, o amoníaco pode tornar-se tóxico para os próprios microrganismos (De Vleeschauwer *et al.*, 1981 e Zucconi *et al.*, 1981 *cit. in* Inbar *et al.*, 1991; Chanyasak *et al.*, 1983b; Golueke, 1991). No entanto, este facto normalmente não afecta o desenrolar da compostagem, embora possa provocar o seu abrandamento. Uma relação C/N muito baixa aumenta sobretudo as perdas de

azoto e afecta negativamente o resultado final relativo ao balanço de azoto. Esta situação será por isso de evitar, efectuando, por exemplo, misturas com materiais com relação C/N mais alta. As perdas de azoto na forma de amoníaco, podem também estar associadas ao pH e à temperatura (Diaz *et al.*, 1982; Zucconi e Bertoldi, 1987; Golueke 1991).

Em muitos materiais, a relação C/N é elevada, tornando-se vantajosa a aplicação de azoto, o que se faz recorrendo, por exemplo, à mistura com materiais com relação C/N mais baixa, nomeadamente estrumes ou LETAR (Golueke, 1991). Handreck e Black (1991) indicam a ureia como a melhor forma de aplicar o azoto, tomando em atenção um adequado período de maturação ou então, na forma de nitrato de amónio. Outros autores (Bollen e Lu, 1970, Isomaki, 1974, Solbra, 1974, Cappaert *et al.*, 1975, Hoitink *et al.*, 1978; Koranski e Hanza, 1978 e *cit. in* Hoitink e Poole, 1980), sugerem a aplicação de azoto em forma amoniacal como forma mais adequada do que na forma nítrica, bem como a melhoria da rapidez do processo com a aplicação de fosfato. Como teores médios destes suplementos para a compostagem de cascas, Hoitink e Poole (1980) indicam 1 kg de N por m³. Teores mais elevados de azoto (2 a 3 kg m⁻³) poderão ocasionar, subida excessiva do pH com abrandamento do processo até haver suficiente saída de amoníaco do meio, eliminação de microflora e perdas de azoto (Solbraa, 1974, Cappaert *et al.*, 1976 e Hoitink *et al.*, 1978, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980). Em compostagem de cascas ou serraduras, a necessidade de suplemento de azoto varia muito com as espécies envolvidas, idade das árvores e percentagem de madeira na casca, entre outros factores (Pokorny, 1979, Scott, 1984 e Solbraa, 1981, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993; Hoitink e Kuter, 1986).

Outros autores referem também a vantagem na aplicação de fosfato na melhoria do processo (Dhar, 1959 e Gessel, 1960, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a), sugerindo que a optimização dos teores de azoto e de fósforo no material a compostar permite um processo mais rápido, uma maior produção de húmus e um produto final mais rico em nutrientes. Indicam-se valores para a relação C/P entre 75 e 150 (Biddlestone e Gray, 1986). Hoitink e Poole (1980), indicam 0,3 kg de P₂O₅ por m³.

A presença de CaCO₃ no meio é fundamental para a rápida decomposição de resíduos vegetais, nomeadamente da celulose, pelo fungos termofílicos (Waksman e Cordon, 1938).

População microbiana

No decurso da compostagem, o material orgânico vai sendo colonizado por microrganismos, que se sucedem de acordo com a evolução das condições do meio (Bagstam,

1978), resultante da sua própria actividade ou, do condicionamento artificialmente exercido (Finstein e Hogan, 1993), desempenhando no seu conjunto um papel determinante no sucesso da compostagem (Golueke, 1991). As populações de decompositores formam como que associações, em que os produtos enzimáticos de um membro servem de substrato a outro membro (Lynch, 1993).

Os organismos presentes podem provir do próprio material vegetal, da atmosfera, da água ou do solo e a sua sucessão encontra-se documentada em diversos trabalhos (Yung Chang, 1967, Gray *et al.*, 1971b; Golueke, 1991; Yung Chang e Hudson, 1967, Hayes, 1979 e Hedger, 1972, *cit. in* Biddlestone e Gray, 1986; Bagstam, 1978; Graefe, 1983; Corominas *et al.*, 1987; Sana e Soliva, 1987). O papel predominante é desempenhado por bactérias, fungos e actinomicetas (Finstein e Morris, 1975 *cit. in* Bagstam, 1978; Golueke, 1991), mas podem encontrar-se também algas, vírus, protozoários e elementos da macrofauna (Biddlestone e Gray, 1986). A quantificação dos microrganismos presentes nas diferentes fases do processo é relativamente difícil e sujeita a erros ou deficientes avaliações (Waksman *et al.*, 1938; Bagstam, 1979; Biddlestone e Gray, 1986).

Para o seu desenvolvimento e reprodução, os microrganismos necessitam de água, oxigénio, uma fonte de carbono e nutrientes. A microflora presente desenrola a sua actividade na interface sólido-água, metabolizando o material sólido por processos enzimáticos. Os materiais metabolizados são utilizados no crescimento ou acumulam-se no meio, com uma dinâmica variável ao longo do processo de compostagem (Inbar *et al.*, 1990). As espécies existentes em cada momento são determinadas pelo nível de temperatura e pela fonte de alimento disponível. Deste modo, se as moléculas solúveis em água e de baixo peso molecular são facilmente utilizadas por um largo número de microrganismos, já as de elevado peso molecular necessitam de ser hidrolizadas por enzimas, que nem todos conseguem produzir (Gray *et al.*, 1971b). Quanto mais complexo for o material a decompor, tanto mais complexo e extenso terá de ser o sistema enzimático disponível pelos microrganismos (Golueke, 1991).

As bactérias necessitam normalmente de mais humidade, mas alguns tipos apresentam formas que resistem ao calor e à secura, retomando o desenvolvimento em condições favoráveis. São os organismos mais numerosos, mas como são pequenos, representam menos de metade do protoplasma microbiano (Gray *et al.*, 1971b; Biddlestone e Gray, 1986). São responsáveis pela libertação de uma grande parte do calor libertado durante o processo (Finstein e Morris, 1975, *cit. in* Golueke, 1991).

Tipicamente, de início desenvolvem-se predominantemente bactérias formadoras de ácidos e fungos mesófilos (Golueke, 1954, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b; Schulze, 1961; Zucchini e Bertoldi, 1987; Sana e Soliva, 1987; Golueke, 1991). Verifica-se também um grande desenvolvimento da população de actinomicetas mesófilos nesta fase (Poincelot, 1972, *cit. in* Bagstam, 1978), que desaparecem ao entrar em fase termofílica. Como consequência da acção daquelas bactérias, o pH vai baixando.

Quando a temperatura alcança 40 °C, inicia-se a fase termofílica e o pH do meio começa a subir em consequência da libertação de amoníaco. Aparecem inicialmente bactérias, *Bacillus* spp., (Finstein e Morris, 1986, *cit. in* Chen e Inbar, 1993) e fungos termófilos, dominando depois os actinomicetas termófilos (Sana e Soliva, 1987; Nakasaki *et al.*, 1985, *cit. in* Chen e Inbar, 1993), detectados facilmente pelo cheiro (Golueke, 1991). Os organismos destes dois grupos podem apresentar um crescimento bastante interligado (Golueke, 1991). Em compostagem de misturas baseadas em resíduos florestais ou agrícolas, a população de fungos alcança o seu máximo durante a fase termófila (Burman, 1969, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a; Corominas *et al.*, 1987), com um óptimo entre 45 e 50 °C. A sua importante acção é destacada por Gray (1959 *cit. in* Gray *et al.*, 1971b), dividindo outros autores estes organismos em três grupos, de acordo com a sua capacidade para utilizar fontes de carbono e para sobreviver a altas temperaturas (Yung Chang e Hudson, 1967, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b). Na população de bactérias, observaram-se dois máximos, antes e depois da fase de altas temperaturas (Corominas *et al.*, 1987). Outros autores referem um grande desenvolvimento, de bactérias na fase inicial de decomposição, seguido de uma dominância de actinomicetas e fungos durante a estabilização (Schulze, 1961; Zucchini e Bertoldi, 1987).

A 60 °C, os fungos termofílicos tornam-se inactivos e o processo continua com as bactérias formadoras de esporos e os actinomicetas (Gray *et al.*, 1971b). Os actinomicetas conseguem sobreviver a temperaturas mais altas que os fungos e tornarem-se mesmo dominantes nestas condições, substituindo completamente as bactérias (Biddlestone e Gray, 1986; Gray *et al.*, 1971b), embora este comportamento possa variar com a natureza do material (Yung Chang *et al.*, 1967 e Waksman *et al.*, 1939, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b). Os actinomicetas utilizam pouco a celulose, menos que os fungos, mas bastante a hemicelulose e em alguma extensão a lenhina (Waksman e Cordon, 1939; Fergus, 1964, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b).

A cerca de 65 °C, começam a formar-se as formas esporuladas, decrescendo a actividade microbiana (Golueke, 1991).

Ao atingir 70 °C, a actividade praticamente cessa. Apenas se encontram activos alguns tipos de bactérias esporoladas, decompositoras de hemicelulose e raros actinomicetas à superfície do material (Waksman *et al.*, 1938). Se durante a elevação da temperatura se foram desenvolvendo formas de resistência de alguns microrganismos, estes retomam a sua actividade quando a temperatura começa a baixar (Sana e Soliva, 1987). É referida a presença de actinomicetas a 70 °C (Yung Chang *et al.*, 1967, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b).

A 75 °C, Waksman *et al.* (1938), em compostagem de estrumes não encontraram organismos activos capazes de decomporem a celulose. Além de fungos, Sphon (1970, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b), refere a presença de actinomicetas, a temperaturas de 80 a 90 °C, contrariando as observações de Alexander (1961, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b), que em pilhas a 70 °C não conseguiu recuperar os actinomicetas aí introduzidos.

Posteriormente, a quantidade de calor produzido pelos microrganismos baixa e iguala a quantidade de calor libertada para o meio pelo material, baixando a temperatura. É, para alguns autores, o final da fase termofílica (Gray *et al.*, 1971b; Biddlestone e Gray, 1986; Chen e Inbar, 1993). A partir desta altura o pH pode baixar ligeiramente, mas mantendo-se ainda alcalino (Biddlestone e Gray, 1986).

Ao diminuir para 65 °C, predominam bactérias e actinomicetas termófilos, podendo formar-se um enfechado branco ou cinzento típico deste grupo (Sana e Soliva, 1987), e os fungos são raros. Bactérias termofílicas anaeróbias actuam na decomposição da celulose seguidas de alguns actinomicetas. Posteriormente, as bactérias vão-se reduzindo e predominando os actinomicetas.

Pelos 60 °C, fungos termofílicos reinvadem o meio juntamente com actinomicetas, iniciando o seu principal ataque à celulose, podendo nalguns casos ocorrer um pequeno pico de temperatura (Rao e Block, 1962 e Yung Chang e Hudson, 1967, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b) e também, ataque a outros polissacáridos como a hemicelulose (Biddlestone e Gray, 1986).

A 50 °C, são muito activos alguns fungos termofílicos, bem como bactérias e actinomicetas. Os fungos e os actinomicetas são os mais importantes para a rápida decomposição, sobretudo da celulose.

A 40 °C, os organismos mesofílicos retomam a sua actividade, reinvadindo o espaço a partir do exterior ou, a partir de formas resistentes ao calor (Gray *et al.*, 1971b), podendo os actinomicetas voltarem-se a tornar dominantes (Golueke, 1954, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b). Abaixo de 37 °C acentua-se a recolonização das bactérias nitrificantes, que podem contribuir para o aumento da salinidade do meio (Inbar *et al.*, 1990). A temperatura mais baixa, 28 °C,

desenvolve-se uma população heterogénea incluindo fungos (Zucconi e Bertoldi, 1987), bactérias, actinomicetas, protozoários, nematodos, miriápodes e outros organismos (Waksman *et al.*, 1938; Gray *et al.*, 1971b). Pode nesta fase, o composto ser colonizado por microfauna do solo, que devido à sua acção, contribui para a redução da granulometria do material, a sua mistura e uma maior exposição ao ataque da microflora (Biddlestone e Gray, 1986).

Quando se realiza a compostagem em pilhas, os microrganismos apresentam uma distribuição diferenciada. As bactérias encontram-se por toda a pilha, enquanto que os fungos e actinomicetas se encontram sobretudo numa camada exterior, entre os 5 e os 15 cm (Gotaas, 1956 e Golueke, 1976, *cit. in* Sana e Soliva, 1987). O desenvolvimento de actinomicetas e fungos nesta camada exterior, origina com frequência, uma zona acinzentada, abaixo da superfície do material (Gray *et al.*, 1971a; Sana e Soliva, 1987; Golueke, 1991). Ao desagregar-se esta camada exterior, suspende-se temporariamente a actividade dos fungos e actinomicetas aí presentes (Gray *et al.*, 1971a).

O meio circundante pode influir na composição da população microbiana, presente durante a maturação, pela maior facilidade de recontaminação com organismos daí transportados (Kuter *et al.*, 1983).

Segundo Burman (1961, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b), é na fase final do processo que se desenvolvem processos de antagonismo e a formação de substâncias antibióticas.

Verifica-se uma estreita relação entre o tipo de microrganismos e a natureza dos compostos orgânicos a atacar. Crê-se que as bactérias decompõem fundamentalmente hidratos de carbono e proteínas e, os fungos e actinomicetas, a celulose e hemiceluloses. Poincelot (1975, *cit. in* Sana e Soliva, 1987), refere a propósito que as bactérias mesófilas (no início da compostagem), decompõem hidratos de carbono e proteínas mais facilmente degradáveis; as bactérias termófilas utilizam proteínas e os hidratos de carbono não celulósicos e possivelmente lípidos, mas nunca a celulose e a lenhina; os actinomicetas apenas atacam a hemicelulose, existindo pelo menos uma espécie (*Termomonospora curvata*) que pode decompor a celulose, embora para Golueke (1991) os actinomicetas consigam atacar a celulose e em pequena extensão a lenhina. Segundo Waksman (1967, *cit. in* Golueke, 1991), algumas espécies de actinomicetas poderão mesmo decompor taninos e parcialmente a borracha natural. Os actinomicetas apresentam um desenvolvimento bastante relacionado com os fungos e, dadas as semelhanças a nível de substratos utilizados, o facto de aparecerem simultaneamente e de a sua morfologia ser próxima, torna por vezes difícil estimar a eficácia de cada grupo (Golueke, 1991). Os fungos mesófilos atacam os açúcares e podem também decompor celulose e

hemicelulose, embora com menor intensidade que os fungos termófilos. Populações extraídas de compostos em fase termofílica originaram uma maior decomposição a altas temperaturas, que populações mesofílicas extraídas de solos (Waksman e Cordon, 1938). Os fungos podem ainda desempenhar um papel importante na reciclagem de azoto, incorporando-a em compostos orgânicos azotados impedindo assim a perda deste elemento (Russel e Richards, 1917, *cit. in* Waksman *et al.*, 1938).

O papel fundamental dos microrganismos no processo de compostagem suscitou o interesse em conhecer a vantagem de adicionar inóculo ao material a compostar como forma de acelerar e melhorar o processo. Quando as condições ambientais são adequadas, os microrganismos raramente são um factor limitante e, por outro lado, aqueles que estão presentes naturalmente no material, são geralmente melhor adaptados ao meio, que os criados em laboratório (Sana e Soliva, 1987; Diaz *et al.*, 1982). A actividade microbiana é controlada pelo potencial genético dos indivíduos, o qual limita a tentativa de aceleração do processo pelo recurso a equipamentos especiais (Golueke, 1991). Para Golueke (1991), quanto mais heterogéneo é o material a compostar tanto mais diversa deverá ser a população microbiana e, a melhoria obtida pela adição de composto maduro como inóculo, resulta mais da melhoria das condições físico-químicas, que da introdução de novos microrganismos (1982, *cit. in* Sana e Soliva, 1987). Esta afirmação, no tocante às alterações das propriedades físicas, parece-nos excessiva, considerando que são aconselhadas doses de incorporação de material maduro em material com problemas de "arranque", da ordem de apenas 3% em volume (Handreck e Black, 1991).

Grande número de autores, não encontrou melhoria significativa do processo que justificasse a aplicação de inóculo (Golueke *et al.* 1954, Obrist, 1963 e Farkasdi, 1963, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b; Gray *et al.*, 1971a; Diaz *et al.*, 1982; Bagstam, 1978 e Golueke, 1982, *cit. in* Sana e Soliva, 1987; Gouleke, 1991), mas outros autores no entanto, obtiveram resultados positivos com a sua aplicação (Bagstam, 1977, *cit. in* Sana e Soliva, 1987; Bagstam, 1978; Davey, 1953 e Wilde, 1958, *cit. in* Bagstam, 1978), conseguindo acelerar o processo, através da melhor adaptação dos microrganismos introduzido às condições em que este decorre (Bagstam, 1979). Na compostagem de palhas e luzerna, Waksman *et al.* (1938), obtiveram maior taxa de decomposição inoculando populações completas extraídas de um composto em fase termofílica, que populações mesofílicas extraídas de um solo. Nenhuma cultura pura de uma única espécie produz uma decomposição tão rápida e extensa, como uma população termofílica completa. Verifica-se, na compostagem de misturas com estrumes e de palhas, que

nenhum organismo por si só, é mais eficiente, do que uma população heterogénea, embora, em cultura pura, algum organismo em particular, possa ser mais eficaz (Selman *et al.*, 1938; Waksman, 1939, *cit. in Gray et al.*, 1971b), ou apresentar uma capacidade de decomposição semelhante à de todo o resto da população (Yung Chang, 1967, *cit. in Gray et al.*, 1971b). Com a aplicação de inóculo, observaram-se benefícios a nível da taxa de degradação de celulose (Jeris *et al.*, 1968 *cit. in Gray et al.*, 1971b), mas outros autores obtiveram o resultado oposto (Hayes, 1968 e Hayes e Randle, 1969, *cit. in Gray et al.*, 1971b).

O benefício da utilização de inóculo, está para alguns autores, não ao nível do desenrolar do processo, mas na qualidade do produto final e do seu efeito agronómico (Pfeiffer, 1956 e Bruce, 1967 *cit. in Gray et al.*, 1971b).

pH

O pH, sendo um factor condicionante do desenvolvimento dos microrganismos, influi na dinâmica do processo. Embora seja possível compostar materiais com pH de 3 a 11, existem valores óptimos de pH, de acordo com as exigências dos microrganismos (Zuconni e Bertoldi, 1987). Os fungos têm um intervalo de pH de 5,5 a 8 (Zuconni e Bertoldi, 1987), enquanto que o intervalo para as bactérias, situado entre 6 a 7,5, é mais estreito e próximo da neutralidade (Sana e Soliva, 1987). Alguns autores indicam o pH 6,5 a 8,5 como óptimo para o desenvolvimento do processo (Cappaert, *et al.*, 1976b e Jeris e Reagan, 1973, *cit. in Hoitink e Poole*, 1980), ou 5,5 a 8 (Zuconni e Bertoldi, 1987).

As limitações ao desenvolvimento de fungos podem resultar também de um efeito do pH na precipitação de nutrientes que lhes são essenciais, superior à sua influência directa (Gouleke, 1991). Em condições desfavoráveis de pH, deve proceder-se à sua correcção, pela incorporação de produtos inorgânicos específicos ou, pela adequada mistura de materiais com um pH "complementar" (Sana e Soliva, 1987), embora esta correcção seja difícil na prática (Zuconni e Bertoldi, 1987).

Para evitar perdas de azoto, resultantes de eventual subida do pH acima de 7,4, Hoitink e Poole (1980) recomendam a aplicação de metade do azoto na forma de nitrato de amónio. Contudo, tendo em conta o aumento marginal da rapidez do processo e o custo dos aditivos, Gray *et al.* (1971) consideram que, para a maioria dos materiais, contendo uma larga gama de constituintes, o controlo do pH não parece necessário nem desejável (Gray *et al.*, 1971a; Biddlestone e Gray, 1986).

Tamanho das partículas

A influência do tamanho das partículas traduz-se, entre outros, a nível da humidade, do arejamento e da susceptibilidade ao ataque microbiano.

Quanto mais pequenas as partículas, maior superfície fica exposta ao ataque microbiano e à absorção de água, mas mais sensível se torna o material à compressão, com redução do arejamento. Como compromisso, indica-se que o material a compostar, se for em pilhas, deverá ser triturado até obter partículas com tamanho máximo de 50 mm, podendo ser inferiores noutros sistemas (Biddlestone e Gray, 1986).

2.1.3. Evolução da matéria orgânica

A complexidade e variabilidade dos materiais e a dificuldade de obter amostras homogêneas representativas, tornam difícil o conhecimento pormenorizado das transformações bioquímicas que ocorrem durante o processo de compostagem (Gray *et al.*, 1971b).

As macromoléculas presentes nos resíduos a compostar, são as próprias dos seres vivos: hidratos de carbono (açúcares solúveis, celulose, hemicelulose, amido), lenhina, lípidos e proteínas, cujos processos genéricos de degradação são conhecidos (Sana e Soliva, 1987). As complexas transformações biológicas, conduzem fundamentalmente à remoção da celulose e de várias toxinas, deixando ácidos húmicos e lenhina (Biddlestone e Gray, 1986; Sana e Soliva, 1987). O grupo de compostos orgânicos mais facilmente degradáveis é constituído por açúcares, amido, glicogénio, pectinas, ácidos gordos, glicerol, lípidos, gorduras, fosfolípidos, aminoácidos, ácidos nucleicos e proteínas. Um segundo grupo de materiais de degradação mais lenta é constituído por hemicelulose, celulose, quitina e compostos aromáticos e alifáticos de baixo peso molecular. Por último, a lignocelulose e a lenhina são normalmente resistentes (Bardos e Lopez-Real, 1991, *cit. in* Stentiford, 1993)

Durante a compostagem ocorrem quase simultaneamente duas acções interdependentes nalguns aspectos mas, com velocidades diferentes: (i) decomposição e (ii) estabilização ou humificação da matéria orgânica (Sana e Soliva, 1987).

Sumariamente, a decomposição é um processo de simplificação, exotérmico, pelo qual moléculas orgânicas complexas são convertidas em moléculas orgânicas ou inorgânicas mais simples. Resulta principalmente da actividade dos microrganismos. A estabilização ou humificação, é um processo endotérmico, resultante tanto de processos bióticos como abióticos, pelo qual a partir das moléculas simples, obtidas pela decomposição ou, da

transformação de moléculas existentes no material, se obtêm novas macromoléculas, por reacções complexas de condensação e polimerização (Gray *et al.*, 1971b; Sana e Soliva, 1987). As macromoléculas obtidas recebem o nome genérico de substâncias húmicas ou húmus (Sana e Soliva, 1987), caracterizando-se pela sua elevada resistência a posterior decomposição ou simplificação.

A descrição dos processos de decomposição e de estabilização, é importante para se poder antever as características do produto final da compostagem e, para entender e definir as variáveis que servirão para a sua classificação.

Do que se referiu, conclui-se que a decomposição e a estabilização resultam da combinação de três tipos de factores: (i) condições ambientais (nomeadamente: temperatura, humidade e arejamento), (ii) disponibilidade de nutrientes (nomeadamente azoto), (iii) tipo e quantidade de macromoléculas presentes no material inicial. A combinação destes factores determina a ocorrência de três tipos gerais de condições:

- a) meio aeróbio básico
- b) meio aeróbio ácido
- c) meio anaeróbio

Por meio aeróbio básico entende-se um meio com pH entre 6 e 8 e, disponibilidade de azoto e outros elementos, normalmente catiões.

Em meio aeróbio ácido ocorrem condições opostas, que pela escassez de nutrientes para os microrganismos, associada geralmente a um pH baixo, limita a ocorrência da decomposição e da estabilização.

Em condições anaeróbias, independentemente da disponibilidade de nutrientes, é a falta de oxigénio o factor limitante, embora como foi referido, o processo nestas condições não se deva designar por compostagem. Contudo, condições anaeróbias podem ocorrer pontualmente num processo conduzido aerobiamente.

De um modo geral, num resíduo equilibrado em nutrientes e com um processo de compostagem bem conduzido, desenvolvem-se condições do tipo "aeróbias básicas". Se o material é pobre, ou ocorre insuficiente arejamento, estas tendem para "aeróbias ácidas" ou "anaeróbias".

Decomposição

A decomposição dos açúcares solúveis ou facilmente hidrolizáveis, como o amido, é relativamente rápida originando dióxido de carbono e água em condições aeróbias, juntamente com produtos intermédios como álcoois e ácidos e, uma grande diversidade de produtos em condições anaeróbias, de acordo com o meio. Destaca-se a formação de ácidos, álcoois e de gases combustíveis (CH_4 ou H_2). Se ocorrerem condições de anaerobiose, as fermentações ácidas, que passam a desenrolar-se, podem baixar excessivamente o pH, retardando ou inibindo o processo até ao restabelecimento de condições aeróbias (em meio com pH baixo apenas actuarão fungos). Situação idêntica ocorre, quando o material é à partida muito ácido. Para a decomposição dos açúcares solúveis ou facilmente hidrolizáveis, é necessária uma fonte de azoto, dada a pequena quantidade deste elemento que contém.

A celulose é provavelmente o composto mais abundante nas plantas depois da água. Apresenta uma estrutura linear, aparentemente uniforme, contendo até 15000 unidades de D-glucose, o que dificulta a sua decomposição (Gray *et al.*, 1971b; Lynch, 1993). Em condições favoráveis, aeróbias básicas, sofre ataque limitado por parte de bactérias e fungos basidiomicetas, raramente se convertendo completamente em água e dióxido de carbono. O mais frequente, é alguns carbonos das suas moléculas sofrerem oxidação a grupos carboxílicos originando ácidos poliurónicos, os quais juntamente com compostos azotados se incorporam no processo paralelo de estabilização (humificação). Tal como a lenhina, a celulose é pouco degradada a temperatura superior a 60 °C (Forsyth e Webley, 1948, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b). Os fungos termofílicos realizam o seu maior ataque à celulose ao baixar a temperatura, quando recolonizam o meio (Yung Chang e Hudson, 1967 e Rao e Block, 1962, *cit. in* Gray, *et al.*, 1971b; Chen e Inbar, 1993), o que pode originar um decréscimo na taxa de decomposição do material a meio do processo, quando os fungos termofílicos são eliminados. Observa-se a redução do teor de celulose em 50% durante a compostagem de palha de aveia e da fracção fibrosa de estrume (estrume separado) (Alexander, 1977, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991; Inbar *et al.*, 1989, *cit. in* Chen e Inbar, 1993; Inbar *et al.*, 1991). Em condições anaeróbias, a celulose sofre o ataque de bactérias, originando como produtos intermédios álcoois e ácidos solúveis e finalmente produtos gasosos como CH_4 ou H_2 . A celulose também necessita para a sua decomposição, de uma fonte de azoto. A duração da fase termofílica é função do teor de celulose do material (Hoitink, 1980).

Hemiceluloses é o nome colectivo de heteropolissacáridos contendo as hexoses: glucose, manose e galactose e as pentoses: xilose e arabinose (Lynch, 1993). Formam

polímeros de 50 a 150 unidades. Sofrem um processo semelhante, mas são mais facilmente atacáveis que a celulose. A decomposição das hemiceluloses mantém-se a um nível mais ou menos regular ao longo do processo, pois os actinomicetas responsáveis pela sua degradação são mais tolerantes à alta temperatura (Gray *et al.*, 1971b). Outros autores, afirmam que as hemiceluloses são rapidamente decompostas a temperatura superior a 60 °C, tal como as ceras e as proteínas (Forsyth e Webley, 1948, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b). Na compostagem de palha de aveia e de estrume separado, foi observada a redução das hemiceluloses a um terço do teor inicial (Alexander, 1977, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991; Inbar *et al.*, 1991).

A lenhina é um polímero formado por cadeias aromáticas unidas por cadeias alifáticas laterais, com um peso molecular da ordem de 10000. Durante a polimerização ocorrem ligações com hemiceluloses. A heterogeneidade estrutural da lenhina tornam-na muito resistente à degradação (Gray *et al.*, 1991b), a qual é sobretudo mais lenta (Lynch, 1993). É muito resistente à acção de substâncias químicas e subsiste alguma controvérsia acerca do papel dos microrganismos envolvidos, sobretudo das bactérias (Jansheaker e Fiecheter, 1982, *cit. in* Corominas *et al.*, 1987). Em meio aeróbio básico a lenhina é atacada por um número restrito de fungos e posteriormente por bactérias (Deschamps *et al.*, 1980; Jansheaker e Fiecheter, 1982, *cit. in* Corominas *et al.*, 1987; Sana e Soliva, 1987), sem haver uma decomposição total, entrando num estado semi-oxidado no processo de humificação, incorporando compostos azotados (Sana e Soliva, 1987). Se o meio for ácido, a decomposição da lenhina é relativamente mais rápida, mas formam-se produtos intermédios, polifenóis solúveis, que são indesejáveis quer pelo seu carácter ácido (podem baixar excessivamente o pH do meio, retardando os processos biológicos em curso), quer pela sua toxicidade (reduzindo a actividade enzimática e consequentemente os processos biológicos em curso). A presença de polifenóis solúveis pode ter um efeito fitotóxico afectando a germinação das sementes ou reduzindo o crescimento das jovens plantas. Waksman e Gerretsen (1931, *cit. in* Waksman *et al.*, 1938) estudando o processo de compostagem no intervalo entre 7 e 37 °C, observaram que, a baixas temperaturas, as lenhinas eram pouco ou nada atacadas, sendo necessário alcançar as temperaturas mais elevadas daquele intervalo, para a sua degradação. Este facto foi posteriormente confirmado por outros trabalhos, que destacam a maior actividade e eficácia dos microrganismos responsáveis pela degradação da lenhina, assim como da celulose, na zona mesofílica (McKinley *et al.*, 1985). Durante a compostagem, as moléculas de lenhina alteram-se, perdendo grupos metoxi- e cadeias alifáticas laterais e, ganhando grupos carboxílicos e fenolico hidroxílicos (Gray *et al.*, 1991b). A degradação das moléculas de lenhina origina os

ácidos húmicos. Durante a compostagem de palha de aveia e de estrume separado observa-se que o teor de lenhina praticamente não se altera (Alexander, 1977, *cit. in* Inbar *et al.*; 1991 Inbar *et al.*, 1991). Em condições anaeróbias a lenhina praticamente não sofre alteração, decompondo-se contudo a celulose que se lhe encontra associada, pelo que o seu teor percentual se eleva durante o processo (Chen e Inbar, 1993). Também é necessária uma fonte externa de azoto para a decomposição da lenhina.

Lignoceluloses são complexos dos polímeros lenhina, celulose e hemicelulose. Constituem mais de 80% (p/p) da palha e a maior parte da matéria orgânica da madeira. São a base dos compostos, pelo que os microrganismos colonizadores dominantes estão envolvidos na sua degradação (Lynch, 1993).

Os lípidos, logo que, através de processos hidrolíticos (saponificações), ultrapassem o problema da sua insolubilidade no meio, que é essencialmente aquoso, sofrem uma decomposição rápida e versátil (Sana e Soliva, 1987). Os lípidos são inicialmente atacados por organismos mesofílicos e, a temperaturas mais elevadas, por actinomicetas e bactérias formadoras de esporos (Gray *et al.*, 1971a).

Por último, as proteínas quando em condições ideais, aeróbias básicas, sofrem uma rápida decomposição, que tem os nitratos como produtos finais. Por vezes a presença destes nitratos é mínima por os seus precursores (aminoácidos e sais amoniacais) se irem incorporando no processo paralelo de humificação. Se o meio, embora aeróbio, for ácido, reduz-se a decomposição das proteínas, devido à actividade microbiana e, podem obter-se sais amoniacais, uma vez que não ocorrerá nitrificação por apenas haver fungos, os quais a não conseguem realizar. Em condições anaeróbias não ocorre nitrificação, obtendo-se como produtos finais amoníaco e sais amoniacais.

Estabilização ou humificação

A estabilização ou humificação, embora sendo um processo menos conhecido em relação aos resíduos orgânicos, parece ser favorecida por condições aeróbias básicas. A presença de oxigénio, a disponibilidade de nutrientes e o valor não restritivo do pH, conduzem a que os processos de decomposição e humificação sejam rápidos e muito interligados. Os primeiros produtos intermédios da proteólise, da celulólise e da lenhinólise são incorporados na humificação. Sendo a decomposição um processo mais rápido que a humificação, é de esperar que, após uma correcta compostagem tenham desaparecido quase todos os compostos

orgânicos degradáveis e, que a humificação esteja bastante avançada. Obtêm-se deste modo, uma matéria orgânica fortemente resistente a posteriores decomposições.

É sugerido que os ácidos húmicos formados têm origem na condensação de resíduos de lenhina e de proteína de origem microbiana (Waksman, 1938, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b). Trabalhos posteriores confirmam esta teoria, mas indicam que substâncias semelhantes podem ser produzidas por diversos microrganismos a partir de hidratos de carbono, como a celulose ou a glucose e de uma fonte de azoto (Burman, 1961, *cit. in* Gray *et al.*, 1971b).

A fase de estabilização ou maturação, serve do ponto de vista microbiológico, para a recolonização do meio, o aparecimento de supressividade natural e mesmo a introdução de promotores de crescimento das plantas (Inbar e Hoitink, não publicado, *cit. in* Hoitink *et al.*, 1993). A inoculação controlada de organismos com acção antagonista, seguida de incubação, permite a indução de capacidade de controlo biológico de doenças do solo (Hoitink *et al.*, 1993).

Os processos descritos referem-se a processos típicos relativamente lentos. É sugerido que nos processos bastante acelerados artificialmente, as populações microbianas envolvidas e as reacções ocorridas possam ser diferentes (Gray *et al.*, 1971b).

Na Figura 3, resumem-se alguns dos processos mais importantes de um processo de compostagem, para preparação de composto para cogumelos, cujo material inicial é predominantemente de natureza lignocelulósica.

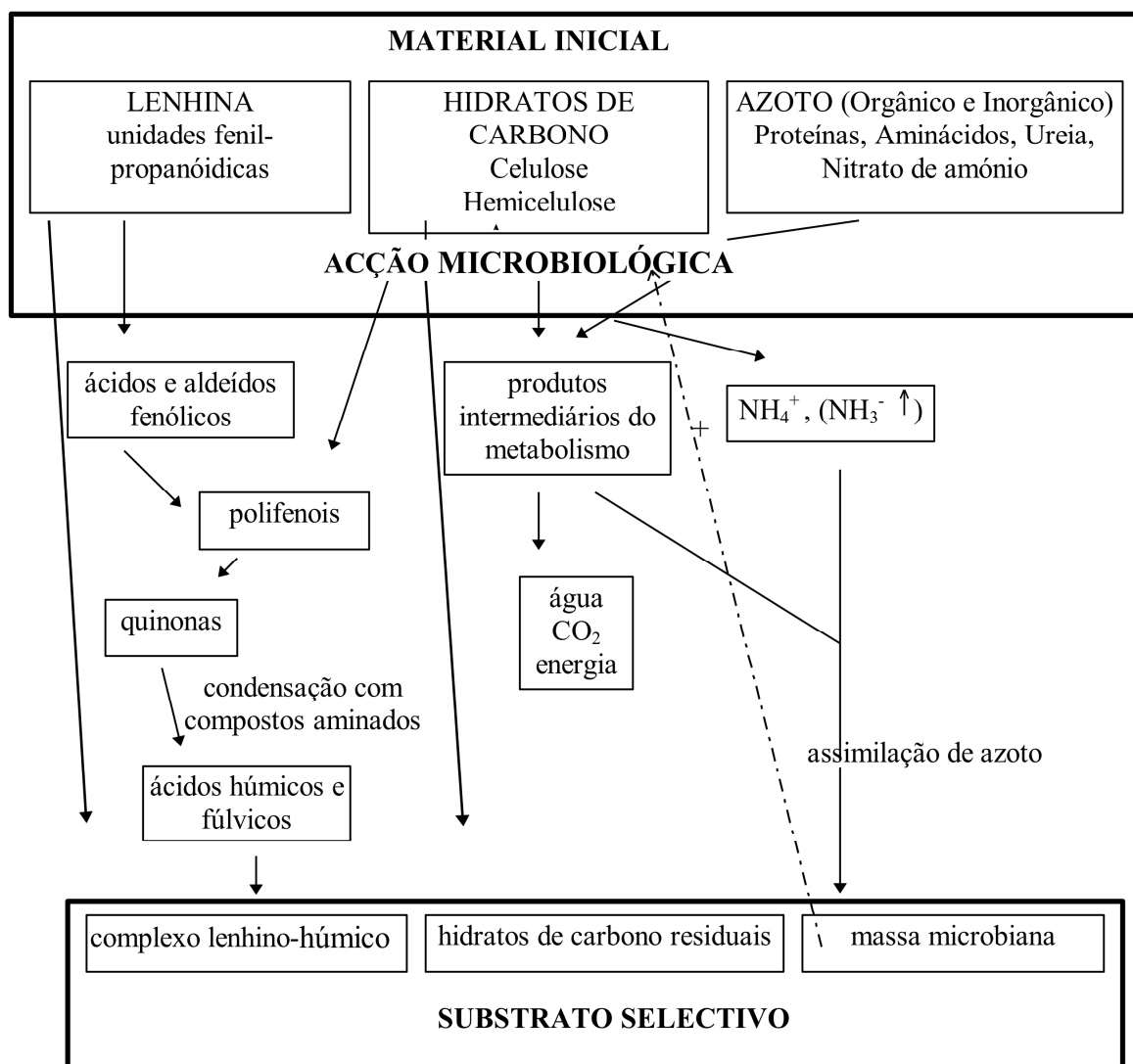


Figura 3 - Representação esquemática das transformações ocorridas durante a preparação de um composto para cogumelos (Smith, 1990, *cit. in* Lynch, 1993).

2.1.4. Evolução das variáveis durante a compostagem

Temperatura

Existindo uma fracção orgânica facilmente disponível, logo que se são criadas condições ambientais favoráveis inicia-se o processo de compostagem (Zucconi e Bertoldi, 1987). A energia obtida pelos microrganismos, através da oxidação da matéria orgânica facilmente disponível, é em parte utilizada no seu próprio metabolismo e a restante é libertado sob a forma de calor (Gray *et al.*, 1971b; Biddlestone e Gray, 1986). Deste modo, o processo

típico caracteriza-se por uma rápida elevação da temperatura de todo o material, em 2 ou 3 dias, de acordo com a sua constituição, granulometria, disponibilidade de nutrientes, humidade, modo como se encontra disposto, grau de agitação ou arejamento e condições ambientais (Gray *et al.*, 1971b; Zucconi e Bertoldi, 1987; Finstein e Hogan, 1993). Esta subida rápida e acentuada da temperatura, bem como o seu atempado declínio posterior, são considerados fenómenos indicadores da normalidade do processo (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Iniciada a acção pelos organismos mesófilos, a sua actividade vai libertando calor, o que provoca o aparecimento dos organismos termófilos, que por sua vez contribuirão ainda mais para a elevação da temperatura. Enquanto houver material facilmente decomponível manter-se-ão estas condições, após o que a actividade microbiana se vai reduzindo, diminuindo também a temperatura, logo que o calor libertado pelos microrganismos seja inferior às perdas de calor do material (Gray *et al.*, 1971b).

Embora de acordo com a temperatura do material, se considere que ocorrem fases distintas durante o processo, é difícil a sua distinção precisa, dada a grande interligação entre as diferentes populações microbianas. Por outro lado, não se verifica simultaneamente a mesma temperatura em todo o material, sobretudo quando este se encontra em pilhas. O seguimento da evolução da temperatura, pode informar do andamento do processo (Sana e Soliva, 1987), pelo que o seu acompanhamento nos pode servir para o controlar (Diaz *et al.*, 1982; Zucconi e Bertoldi, 1987).

O controlo da temperatura, pode efectuar-se pelo arejamento. Por exemplo numa compostagem em pilhas, verifica-se que sem arejamento provavelmente não se chegam a criar condições aeróbias pelo que, a elevação da temperatura é diminuta. Se numa fase mais avançada da compostagem o arejamento for reduzido, a temperatura pode-se manter demasiado elevada por muito tempo e, pelo contrário, se o arejamento for excessivo, a temperatura da pilha baixa demasiado. É necessário um adequado arejamento para alcançar uma evolução correcta da temperatura (Sana e Soliva, 1987).

O perfil de temperatura é característico de cada material e das respectivas condições de compostagem.

O período de decréscimo de actividade, pelo menos da actividade bacteriana, que pode ocorrer na transição da fase mesofílica para a termofílica, não se detecta em processos em grande escala, uma vez que o controlo ambiental não é tão rigoroso que consiga manter todo o material à mesma temperatura, nem os métodos de determinação da temperatura são tão

rigorosos como a nível laboratorial. Em condições laboratoriais, a variedade de microrganismos presentes é mais limitada e controlada (Allen, 1953, *cit. in* Gouleke, 1991).

O decréscimo da temperatura deve ser natural e não ser demasiado demorado (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Humidade

Depois de inicialmente se terem estabelecido as condições óptimas, quanto ao teor de humidade para a compostagem, verifica-se que o valor desta variável vai decrescendo durante o processo. Este facto, resulta da evaporação da água presente, devida sobretudo ao aquecimento do material. A temperatura elevada do material favorece a evaporação de água, não só da sua superfície, como das zonas interiores, ao ocorrer convecção do ar.

A perda de humidade, pode obrigar ao re-humedecimento do material, o que se pode acentuar quando a compostagem decorre ao ar livre em período seco. No entanto, ao ar livre, se o material estiver muito compactado e, em condições de elevada queda pluviométrica, pode o valor da humidade registar um aumento, podendo conduzir à formação de condições anaeróbias nas pilhas de material.

Durante o processo de compostagem é fundamental manter um teor de humidade relativamente elevado, adequado ao desenvolvimento dos microrganismos, mas no final deve-se procurar alcançar um valor baixo. Na fase final, a manutenção de um teor de humidade inferior a 25% contribui para impedir que os microrganismos, incluindo os patogéneos, retomem o seu desenvolvimento no composto obtido, o que pode interessar quando a higienização for determinante na qualidade final do produto (Bertoldi *et al.*, 1991) e permite um mais fácil manuseamento do composto (Zucconi e Bertoldi, 1987).

pH

O valor inicial do pH depende do tipo de material ou de mistura que se possui. Normalmente, a fase inicial da compostagem, mesófila, caracteriza-se por um decréscimo do pH, devido à formação de ácidos orgânicos simples (Gouleke, 1991; Gray *et al.*, 1971b), resultante da acção de bactérias específicas, o que pode ter um efeito transitório de inibição do processo. Contudo, no decurso da compostagem, ocorre normalmente uma certa alcalinização do meio devida à destruição dos grupos carboxílicos e fenólicos (Gray *et al.*, 1971a; Diaz *et al.*, 1982; Sana e Soliva, 1987; Gouleke, 1991) e à degradação de proteínas com libertação de amoníaco (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Durante a fase termofílica, o meio torna-se rapidamente alcalino. Se o material possuir um elevado teor de azoto e uma elevada relação C/N, podem ocorrer subidas bruscas do pH, devidas à formação de amónia. Posteriormente, o pH vai baixando à medida que se vai libertando o excesso de azoto na forma de amoníaco. A formação de amoníaco é acentuada em condições de meio alcalinas e com temperatura elevada (Zucconi e Bertoldi, 1987; Gray *et al.*, 1971a; Gouleke, 1991). A situação inversa, isto é, a descida do pH, ocorre, se se criam condições de anaerobiose, devido à formação de ácidos orgânicos de cadeia curta. Esta situação também apresenta um carácter transitório, até que se restabeleça o normal suprimento de oxigénio (Diaz *et al.*, 1982; Sana e Soliva, 1987). A evolução do pH é variável com a fonte de azoto utilizada, sendo a sua subida pouco significativa se se utilizar azoto nítrico e mais acentuada quando se utiliza azoto amoniacal ou amídico (Cappaert *et al.*, 1976, Solbra, 1974 e Hoitink *et al.*, 1978, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980), o que se pode reflectir na rapidez do processo (Cappaert *et al.*, 1976, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980).

Posteriormente, o valor do pH baixa lentamente quando o processo de compostagem entra na fase de estabilização (Gray *et al.*, 1971a), mas permanece normalmente na zona alcalina (Gray *et al.*, 1971b).

Um composto ácido, de pH inferior a 4, já não será utilizável podendo ser mesmo fitotóxico se este valor for mais baixo (Hoitink e Poole, 1980), possivelmente por apresentar uma estabilização incompleta, conforme observado por Wiley (1956, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a).

Verifica-se que a presença de 0,2 % de ácidos voláteis atrasa o processo, podendo-o interromper a 0,5%. Admite-se que com um teor de ácidos voláteis superior a 0,5%, a compostagem estaria incompleta (Snell, 1957, *cit. in* Gray *et al.*, 1971).

Condutividade eléctrica

O valor da condutividade eléctrica do composto depende da natureza dos produtos iniciais, da lixiviação que possa ocorrer durante a compostagem e da formação de iões, amónio, nitrato (Sana e Soliva, 1987), cálcio e magnésio (Inbar *et al.*, 1980, 1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991). Observa-se na compostagem de estrume separado que, durante a maturação, o valor da condutividade eléctrica sobe quando a temperatura baixa dos 37 °C, o que em parte é devido à acção de bactérias nitrificantes que recolonizam o composto (Inbar *et al.*, 1981).

Relação carbono/azoto

Na sequência dos fenómenos que ocorrem durante o processo de compostagem, já descritos, é normal a diminuição do valor da relação carbono/azoto (C/N), provocada pela utilização de carbono orgânico e pela libertação de CO₂. Por esta razão, a relação C/N, é utilizada para seguir o processo e como índice de maturação do produto final (Gray *et al.*, 1973; Sana e Soliva, 1987). A determinação da relação C/N efectua-se na fase sólida ou em extracto aquoso (Chanyasak e Kubota, 1981). O valor médio ao qual os compostos se podem considerar maduros varia com os autores: 20 (Poincelot, 1974 e Golueke, 1981, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992; Chanyasak e Kubota, 1981), 15 (Sana e Soliva, 1987), ou mesmo 12 (Jimenez e Garcia, 1992).

Na utilização da relação C/N como índice de maturação do composto levantam-se dois problemas, por um lado, podem utilizar-se materiais que possuem à partida valores baixos desta relação, o que pode levar a interpretações erróneas (Morel *et al.*, 1985, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992; Zucconi e Bertoldi, 1987; Sana e Soliva, 1987). O facto de o material original poder apresentar teores muito diversos de polissacaridos fácil e dificilmente decomponíveis, faz com que a sua degradabilidade seja diferente (Senesi, 1987, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992). Por outro lado, a determinação do teor de azoto em algumas amostras pode levantar dificuldades a nível laboratorial devido à sua heterogeneidade. Sendo a perfeita homogeneização da amostra apenas possível após secagem do material, podem ocorrer perdas de azoto durante esta operação, afectando o valor da relação C/N (Sana e Soliva, 1987). Em situações de baixa relação C/N inicial, pode mesmo ocorrer a sua subida durante o processo (Zucconi e Bertoldi, 1987). Assim, pode-se afirmar que o conhecimento do valor da relação C/N não é em si um bom indicador de maturação de um produto (Chanyasak e Kubota, 1981), mas poderá ser utilizado para acompanhar um processo de compostagem desde que ultrapassadas as dificuldades analíticas (Sana e Soliva, 1987; Keller, 1991) e conhecido o seu valor inicial (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Alguns autores (Chanyasak e Kubota, 1981; Chanyasak *et al.*, 1983a e Hirai *et al.*, 1983) estudaram a evolução da relação C/N em extracto aquoso e observam que, nestas condições e para materiais de origem diferente, o valor da relação C/N em extracto aquoso está sempre compreendido entre 5 e 6, tornando interessante o uso desta variável como indicador de maturação (Hue e Liu, 1995; Chanyasak e Kubota, 1981). No entanto, na compostagem de LETAR, o valor da relação C/N em extracto aquoso apresenta valores de interpretação difícil,

devido ao baixo valor inicial da relação (Sana e Soliva, 1987) e, quando o teor de azoto é inferior a 10 ppm, torna-se difícil a determinação deste elemento (Hue e Liu, 1995).

Substâncias húmicas

Durante a compostagem, a matéria orgânica sofre uma evolução similar à que ocorre no solo, ou seja, uma humificação. Definem-se habitualmente duas fracções de substâncias húmicas extraíveis: os ácidos húmicos (AH), de elevado peso molecular, solúveis em soluções básicas e que precipitam quando estas se acidificam; e os ácidos fúlvicos (AF), de baixo peso molecular, solúveis em soluções básicas e ácidas. Keller (1991) refere ainda as huminas, de elevado peso molecular, insolúveis em bases e ácidos.

Mantendo esta distinção e sendo as condições de transformação da matéria orgânica num resíduo orgânico muito diferentes das existentes num solo, pode-se supor que as características da duas primeiras fracções, AH e AF, não sejam semelhantes, sendo possível que uma parte importante daquilo que é classificado como substâncias húmicas, sobretudo os ácidos fúlvicos, não possua na realidade características associadas ao conceito de substância húmica. Este problema, deve-se à própria definição de substância húmica, baseada na técnica analítica. Na análise de compostos, incluem-se, sobretudo no grupo dos ácidos fúlvicos, substâncias que não são húmicas, como os oligossacáridos e os seus derivados. Deste modo, acompanhando um processo de compostagem, pôde-se observar a evolução aparentemente errática dos níveis das substâncias húmicas, pois o decréscimo registado a meio do processo deve-se ao desaparecimento das falsas substâncias húmicas, utilizados pelos microrganismos. O aumento posterior, resulta do aparecimento de substâncias de características húmicas resultantes da acção microbiana (Sana e Soliva, 1987). Keller (1991) observou que durante um processo de compostagem, o nível de ácidos húmicos não se alterou, provavelmente devido à extracção de outras substâncias como polissacaridos e lenhinas juntamente com aqueles, nas fases iniciais. Inbar *et al.* (1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991) determina índices de humificação baseados na relação das várias fracções húmicas e observa que o material fresco (estrupe separado), contem elevado teor de fracção fúlvica (ácidos fúlvicos e polissacaridos), cujo teor se mantém constante ou decresce ao longo da compostagem, enquanto aumenta o de ácidos húmicos, confirmando resultados de outros autores na compostagem de RSU (Fioramonty e Marty, 1966, Sugahara e Inoko, 1981 e Das, 1988, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992; Jimenez e Garcia, 1992) e de casca de eucalipto e casca de pinheiro (Guedes de Carvalho *et al.*, 1991). Estes resultados, sugerem o aumento gradual do grau de polimerização ou tamanho das

moléculas dos polímeros do tipo dos ácidos húmicos durante a compostagem. A relação do carbono dos AH e dos AF (AH/AF), apresenta elevadas correlações com outras variáveis indicadoras da estabilização, indicando ser a relação AH/AF, um bom indicador do grau de evolução da matéria orgânica e conseqüentemente, do grau de maturação em compostos de RSU e de estrume separado (Jimenez e Garcia, 1992; Chen e Inbar 1993). Verifica-se que durante a fase de maturação, a relação AH/AF continua a evoluir, tal como a capacidade de troca catiónica, o índice de humificação e a percentagem de ácidos húmicos. Este facto, revela o aumento do grau de humificação da matéria orgânica, apesar da estabilização do processo bio-oxidativo ou da taxa de mineralização do composto, indicada pela não variação do carbono total e oxidável e, da relação C/N (Jimenez e Garcia, 1992).

Outros autores verificam que, em RSU, o somatório dos teores de ácidos húmicos e fúlvicos praticamente não se altera durante o processo, pelo que esta variável não é um bom indicador do grau de maturação destes compostos (Sugahara e Inoko, 1981, Moré *et al.*, 1987 e Das, 1988, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992).

O acompanhamento dos teores de substâncias húmicas pode ser feito através da determinação do índice colorimétrico das substâncias húmicas. As substâncias húmicas num material em compostagem, apresentam uma variação da sua tonalidade, que pode ser registada através da leitura do respectivo espectro de absorção, de dois modos: calculando o índice K600, a absorção de uma solução de substâncias húmicas de concentração fixa, no comprimento de onda de 600 nm e, calculando o índice E4/E6, o quociente das absorções a 472 e a 665 nm, da solução de substâncias húmicas extraídas do composto. Em solos, um decréscimo do índice E4/E6 indica um aumento do tamanho das moléculas das substâncias húmicas (Gosh e Schnitzer, 1979, *cit. in* Sana e Soliva, 1987) e, o aumento do índice K600 corresponde possivelmente a um aumento do teor de azoto não hidrolizável (Flaig, 1967 e Flaig *et al.*, 1975, *cit. in* Sana e Soliva, 1987). Estes índices, estão bem estudados em solos onde as substâncias húmicas têm uma composição em C, H e O muito constante, o que não se passa nas substâncias húmicas dos materiais para compostar, que dependem grandemente da origem e estado de evolução do produto, resultando por isso, uma interpretação mais difícil destes índices. Por exemplo, o aumento do grau de oxidação da molécula húmica, aumenta a absorção em comprimentos de onda curtos, aumentando o valor da relação E4/E6. Embora nalguns casos, seja clara a evolução destes índices, esta evolução não se pode atribuir nem a um decréscimo do tamanho molecular, nem a um aumento do grau de oxidação, nem ao aumento do azoto não hidrolizável mas, possivelmente ao conjunto destes aspectos ou de

outros não detectados (Sana e Soliva, 1987). A relação do teor de substâncias húmicas e da matéria orgânica total, é sugerida também como fornecendo informação sobre o grau de estabilização do composto (Zucconi e Bertoldi, 1987).

A natureza das substâncias húmicas formadas é afectada pelas condições durante a compostagem, nomeadamente quanto ao pH e temperatura (Allison, 1973, *cit. in* Corominas *et al.*, 1987).

Existem vários métodos para a extracção de substâncias húmicas (Zucconi e Bertoldi, 1987), mas não para a determinação de ácidos húmicos em compostos (Hoitink e Poole, 1980), tornando-se necessário esclarecer devidamente o seu valor em cada situação concreta (Zucconi e Bertoldi, 1987). Segundo Roig *et al.* (1988, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992), o conceito de humificação não é adequado para materiais orgânicos de obtenção recente, tal como o é para os solos, pelo que, a expressão ‘substâncias húmicas’ tem um valor operacional quando aplicado a compostos de RSU ou semelhantes. Acresce ainda que, para outros autores, os erros possíveis na determinação das substâncias húmicas são tão grandes, que a sua utilidade na classificação do húmus do solo é posta em dúvida (Bilderback, 1985; Scheffer e Ulrich, 1960, *cit. in* Keller, 1991).

Composição dos ácidos húmicos

A análise elementar dos ácidos húmicos evidencia claramente a sua evolução ao longo da compostagem, embora não seja vulgarmente utilizada devido ao seu custo. Ao utilizar uma fonte azotada como a ureia, para baixar a relação C/N do material a compostar, pode-se observar um forte aumento inicial do teor de azoto daqueles compostos devido à incorporação do azoto mineral em moléculas húmicas (Sana e Soliva, 1987).

Como consequência das condições aeróbias em que a compostagem decorre, as substâncias húmicas formadas aumentam o seu grau de oxidação (aumento da relação O/H) e os seus grupos funcionais oxigenados (aumento da percentagem de oxigénio e diminuição da relação C/O). Não parece haver alteração bem definida do grau de aromatização das substâncias húmicas formadas (relação C/H praticamente não se altera). Num exemplo referido, o valor baixo da relação C/H indica o carácter alifático das substâncias húmicas (Sana e Soliva, 1987).

Grau de decomposição da matéria orgânica

O grau de decomposição da matéria orgânica obtém-se aplicando um método inicialmente utilizado na caracterização de turfas. Sujeitando o material a duas hidrólises sucessivas: a primeira com ácido sulfúrico concentrado para dissolver a celulose e a segunda com o mesmo ácido, diluído e a quente, para hidrolizar outros polissacarídeos como a hemicelulose e produtos proteicos, entre outros. O resíduo obtido é constituído sobretudo por lenhina e substâncias húmicas muito evolucionadas. O nível do grau de decomposição expressa-se relativamente à matéria orgânica total, sendo normal o aumento do grau de decomposição, tanto por a lenhina ser relativamente mais resistente à decomposição, aumentando relativamente, como por se irem constituindo substâncias húmicas evoluídas (Sana e Soliva, 1987).

Azoto não hidrolizável

O método de determinação do grau de decomposição da matéria orgânica permite-nos também determinar o teor em azoto resistente à hidrólise. Como o conteúdo da lenhina em azoto é muito baixo, o azoto não hidrolizável deve estar ligado às fracções húmicas mais evoluídas. O aumento de azoto não hidrolizável ao longo da compostagem pode ser atribuído tanto à sua ligação às substâncias húmicas, como ao facto do teor destas substâncias ir aumentando, supondo que mantêm constante o seu teor em azoto. Deste modo, o teor em azoto não hidrolizável de um produto pode constituir um índice da qualidade ou quantidade de substâncias húmicas, conforme se verifique uma ou outra das situações (Bilderback, 1985; Sana e Soliva, 1987).

Outras formas de azoto

O azoto presente no material em compostagem pode-se encontrar em formas orgânicas e inorgânicas, sendo estas a de amoníaco (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e a de nitrito (NO_2^-). Parte do azoto orgânico é libertado na forma de amoníaco, a qual pode, conforme as condições, ser assimilado por microrganismos, ser oxidado por microrganismos a NO_2^- ou NO_3^- , ou escapar-se para a atmosfera (Keller, 1991). Inicialmente, as formas solúveis de azoto são rapidamente incorporadas pelos microrganismos na formação de tecidos, acompanhando a decomposição dos hidratos de carbono. Quando os hidratos de carbono diminuem a sua presença, as proteínas iniciais e as recém sintetizadas decompõem-se, libertando azoto em formas minerais (Waksman *et al.*, 1938; Gouleke, 1991). À medida que o material se vai estabilizando, observa-

se a diminuição dos teores de azoto amoniacal e de nitritos e o aumento do azoto nítrico (Keller, 1991; Corominas *et al.*, 1987; Spohn, 1977, *cit. in* Corominas *et al.*, 1987; Sana e Soliva, 1987). O teor de nitritos é mínimo no final e as formas amoniacaais e nítricas convertem-se em orgânicas, essencialmente pela formação de proteínas e, em menor extensão, de açúcares aminados (Gray *et al.*, 1973). Keller (1991), refere que nas fases finais da compostagem, parte do amoníaco pode ser oxidado em nitritos ou nitratos, cuja presença pode ser utilizada como indicadores da maturidade do material, se bem que apenas em conjunto com outros indicadores, já que os seus resultados são meramente indicativos. Verifica-se que a nitrificação ocorre após a fase termofílica. A 65 °C formam-se poucos nitratos e acumula-se amónia. O teor de amónia baixa posteriormente aumentando o de nitratos, ao diminuir a temperatura (Waksman *et al.*, 1938).

Para conservar o azoto do material é necessário que o processo se inicie rapidamente, decompondo-se os hidratos de carbono e convertendo-se as formas solúveis de azoto em formas insolúveis. Quando o início do processo se atrasa, podem ocorrer perdas de azoto em formas voláteis, N₂ e NH₃ (Waksman *et al.*, 1938).

Efectuando a determinação do carbono e do azoto orgânico em extracto aquoso, deve observar-se o quase desaparecimento destes elementos. Esta informação sobre a estabilidade do composto pode ser complementada, com as determinações do azoto amoniacal e nítrico solúveis, devendo observar-se o decréscimo do primeiro e o aumento do segundo (Bilderback, 1985).

Taxa de mineralização

Para avaliar a evolução de um composto, ou seja, saber se este apresenta ainda uma fracção pouco madura, podemos aplicá-lo a um solo em condições determinadas e avaliar a actividade dos microrganismos presentes, traduzida por exemplo na libertação de CO₂. Quanto mais imaturo, maior é a presença de matéria orgânica facilmente decomponível e mais CO₂ se libertará. Com esta técnica respirométrica, compara-se a libertação de CO₂ de um solo a que se adicionou composto e a de um solo de referência, em condições controladas. Os resultados podem-se expressar através da denominada taxa de mineralização complementar (TMC). Quando se utiliza esta taxa para qualificar um produto, efectuam-se determinações aos 7, 15 e 21 dias. De início, podem observar-se alguns incrementos que serão atribuídos à decomposição de moléculas complexas do material inicial, como celulose, hemicelulose e proteína, libertando compostos orgânicos facilmente degradáveis. De resto, nota-se um decréscimo gradual da taxa

de mineralização complementar à medida que os compostos facilmente degradáveis vai escasseando (Sana e Soliva, 1987).

Capacidade de troca catiónica

Em virtude das transformações ocorridas no decurso da compostagem, verifica-se o aumento gradual do valor da capacidade de troca catiónica, como consequência do aparecimento de substâncias húmicas, caracterizadas por uma elevada capacidade de troca catiónica e, de grupos carboxilo (Sana e Soliva, 1987; Inbar *et al.*, 1991). Por este facto, a capacidade de troca catiónica (CTC) da matéria orgânica tem sido utilizada como indicador do grau de humificação em solos (Roig *et al.*, 1988, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992). No entanto, também a CTC não serve por si só, para classificar a maturidade de um composto, já que o valor final da CTC, com o qual um produto se poderá considerar maduro, depende do valor no material inicial (Sana e Soliva, 1987). Por exemplo, em resíduos sólidos urbanos (RSU) o valor de 60 meq/100 g, indicado por Harada e Inoko (1979) e confirmado por Jimenez e Garcia (1992), não é extrapolável.

A determinação da CTC em extracto aquoso é sugerida como um bom indicador da maturidade de compostos de RSU, dado a semelhança dos valores obtidos no final do processo com materiais de origem diferente (Chanyasak *et al.*, 1983b; Sana e Soliva, 1987), embora o mesmo não se tenha confirmado em composto de estrume separado (Inbar *et al.*, 1990).

Em composto de estrume separado, verifica-se elevada correlação da evolução deste variável com a evolução da relação C/N e do teor de substâncias húmicas (Inbar *et al.*, 1989, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991).

Uma vez determinado o valor da CTC a partir do qual um dado material se pode considerar compostado, será um método interessante a utilizar no acompanhamento do processo (Soliva *et al.*, 1990). Dado que os substratos hortícolas apresentam baixos valores de densidade aparente, é sugerida a apresentação da CTC relativamente ao volume (Inbar *et al.*, 1993).

Verifica-se que durante a fase de maturação, a CTC continua a aumentar, indicando um aumento do grau de humificação da matéria orgânica (Jimenez e Garcia, 1992).

2.1.5. Métodos de regulação

Foram identificadas 20 variáveis controláveis durante um processo de compostagem: matéria orgânica utilizada, relação C/N, granulometria, percentagem de composto reciclado, equipamento de mistura, tamanho do reactor ou digestor, frequência de agitação, agente regulador do pH, humidade inicial e humidade durante o processo, temperatura do material e temperatura ambiente, arejamento, tempo de retenção do material, profundidade ou altura do material, percentagem de ar reciclado, tipo de processo, duração da maturação, inoculação e agentes para aumentar a porosidade (Keener *et al.*, 1993).

Em processos de rotina, as variáveis de controlo mais comuns são a duração do processo, sob condições determinadas de operação, e o perfil da evolução da temperatura com o tempo. Para obter valores fiáveis para estas variáveis simples, outras poderão ser determinadas, de acordo com as condições e exigências do processo. De entre estas variáveis destacam-se o teor de matéria orgânica, a taxa de utilização de oxigénio ou a taxa de respiração, testes de germinação e, a detecção da presença de organismos patogénicos indicadores. As duas primeiras, é sugerido poderem constituir boas indicadores da evolução da biodegradação e as outras reflectem o efeito do processo na qualidade final (Stentiford, 1993; Farrell, 1993).

O teor de matéria orgânica, determinado por calcinação por via seca a 550 °C, apresenta um decréscimo durante o processo de compostagem. O nível ideal para dar como terminado o processo, pode ser determinado a partir do conhecimento do comportamento do produto em armazenamento ou utilização, pode ser relacionado com a curva tempo/temperatura ou com a duração do processo. Contudo, os valores não são directamente extrapoláveis, sem prévio conhecimento do material a compostar e das condições existentes. Os resultados obtidos a partir das amostras não descrevem a eficácia de todo o sistema (Stentiford, 1993). O teor de matéria orgânica, pode apresentar falta de sensibilidade, quando a maior parte do material é de degradação lenta ou muito difícil. Nesta situação, a fracção de degradação lenta ou difícil, contribui fortemente para a diminuição do teor de matéria orgânica, embora de facto esteja pouco envolvida na rápida fase de biodegradação inicial do processo (Finstein *et al.*, 1986, *cit. in* Stentiford, 1993).

A taxa de utilização de oxigénio, ou a de respiração, inicialmente utilizadas em meio líquido, é hoje novamente encarada como variável de interesse, havendo necessidade de clarificar as metodologias, não sendo ainda possível a comparação da eficácia de diferentes tipos de instalações de compostagem.

Os testes de germinação são demorados e diferem bastante na metodologia utilizada, sendo contudo um dos poucos testes que reflectem uma utilização final do material. A realização dos testes de germinação é importante, dado que permite o uso do composto em segurança (Stentiford, 1993).

Alguns legislações propõem diferentes graus de controlo, baseados na presença de determinados organismos patogénicos, de acordo com a observação ou não, de condições determinadas de duração - temperatura, durante o processo. Assim, admite-se a existência de produtos finais de qualidade diferente, com condições de utilização distintas. Um maior rigor no controlo das condições de compostagem permite uma eficaz eliminação dos patogénicos a uma temperatura relativamente mais baixa (Farrell, 1993).

2.1.6. Métodos de compostagem

A regulação do arejamento do material durante a compostagem é o factor mais importante para a optimização do processo, nos métodos que incluam volteio (Gray *et al.*, 1973, Stentiford, 1987). Hoje em dia, a utilização de microcomputadores facilita a regulação do arejamento, com o recurso aos quais se pode garantir a manutenção da temperatura adequada em cada uma das fases da compostagem, exigindo-se sempre um adequado conhecimento do material (Stentiford, 1987). A nível industrial, o recurso ao controlo do consumo de O₂, da evolução do CO₂, dos teores de ácidos húmicos ou à variação do teor de celulose e hemiceluloses, são demasiado demorados ou exigentes em equipamento (Gray *et al.*, 1973). O teor em cinzas é indicado por Gray *et al.* (1973), como óptimo indicador da evolução do processo, podendo ser utilizado para regular a taxa de arejamento e, é referido também por Bagstam (1979) como indicador da idade de casca compostada de *Picea* spp.

A preparação prévia dos materiais pode ser realizada de formas diversas, conforme o método de compostagem adoptado e, depende da natureza do material original. Assim, na compostagem de LETAR, com apenas 5% e até 40% de matéria seca, torna-se apenas necessária a incorporação de um material para aumentar a porosidade e uma adequada mistura prévia. Para a compostagem de RSU, com variação mais acentuada na sua composição, torna-se necessário a redução do tamanho das partículas, a elevação do teor de humidade e a eliminação de contaminantes (plásticos, vidros, metais), tomando em conta a eficácia da diferente maquinaria que se pode utilizar, normalmente de grandes dimensões. A separação de alguns componentes dos RSU pode ser vantajosa a vários níveis, nomeadamente pelo aumento da reciclagem de materiais, melhoria da qualidade do composto obtido e redução de problemas

na sua utilização (Stentiford, 1993). São possíveis várias estratégias de separação, sendo a contaminação do composto mais reduzida se a separação dos componentes for realizada na fonte ou, o mais cedo possível, quando a separação é centralizada (Richard *et al.*, 1993).

Em resíduos de natureza vegetal, as acções de preparação prévia mais frequentes são: a redução da granulometria, a elevação do teor de humidade, a crivagem e, nalguns casos em que a granulometria seja muito fina, a mistura com material mais grosseiro. A redução do tamanho das partículas pode-se efectuar com um moinho de martelos, um moinho de facas ou utilizando outras soluções técnicas. A crivagem é feita por meio de crivos rotativos ou vibratórios (Nordstedt *et al.*, 1993).

O ajuste do teor de humidade efectua-se por rega do material ou misturando um material mais seco, como por exemplo composto maduro, evitando assim perdas por lixiviação. Para a mistura, pode-se recorrer a diverso equipamento, sendo desejável que se obtenha um produto uniforme, homogéneo, com porosidade adequada e sem formação de aglomerados onde as condições anaeróbias se possam instalar. Este aspecto é mais importante nos sistemas em que não há agitação do material, pois nos restantes métodos, eventuais correcções, por exemplo, de homogeneidade ou teor de humidade, são ainda possíveis (Stentiford, 1993), melhorando-se deste modo o controlo do processo (Robinson e Stentiford, 1993).

A manutenção de uma temperatura óptima durante o processo de compostagem em todo o material é muito difícil na maioria dos sistemas. Por isso, em pilhas amovíveis e pilhas estáticas com arejamento forçado, toma-se como temperatura de controlo, a do centro da pilha. Nos restantes sistemas, toma-se a temperatura no ponto em que o seu valor é mais elevado (Stentiford, 1993).

O arejamento pode-se realizar por convecção natural ou, mais eficazmente, por volteio ou por circulação forçada de ar, sendo esta obrigatória nos sistemas com regulação automática dos níveis de O₂ e ou, temperatura (Finstein e Hogan, 1993). Pode ser necessária ou vantajosa a mistura do material a compostar com um material grosseiro (bulking agent), para facilitar a circulação do ar. O “bulking agent” é recuperável no final do processo (Higgins *et al.*, 1981, *cit. in* Stentiford, 1987; Diaz *et al.*, 1982). Os materiais mais utilizados como “bulking agent” podem ser aparas de madeira (Stentiford, 1987), serradura, palha, folhas, casca de arroz ou o próprio composto mais grosseiro (Diaz *et al.*, 1982; Miller *et al.*[s.d.], *cit. in* Stentiford, 1987).

O volteio do material, mistura, homogeneiza, desgasta, reduz a granulometria, redistribui microrganismos, água e nutrientes e expõe novas superfícies à colonização, possivelmente com o incremento da taxa de degradação. Por si só, o volteio não substitui a

ventilação forçada na regulação do O₂ e da temperatura, podendo antes ser um seu valioso auxiliar (Finstein e Hogan, 1993).

Para aumentar a eficácia do processo de compostagem podem-se regular os níveis de oxigénio e de temperatura por meio de ventilação controlada: por defeito, pelo ajuste das condições iniciais, por correcção manual ou por correcção automática. Com controlo por defeito, o processo depende da capacidade espontânea do material em elevar a sua temperatura. Pelo ajuste das condições iniciais, estabelecem-se as condições iniciais, que posteriormente pouco ou nada se controlam. Por correcção manual, os dados relativos às variáveis oxigénio e temperatura são recolhidos manualmente e efectuados os ajustes julgados necessários. Por correcção automática, os valores das variáveis oxigénio e temperatura são continuamente transmitidos ao sistema de ventilação para o seu ajuste. A combinação destas condições originam 16 combinações possíveis de controlo (Quadro 6).

Quadro 6 - Possibilidades de regulação do oxigénio e da temperatura durante a compostagem (adaptado de Finstein e Hogan, 1993)

| Combinação ¹ | | Designação |
|-------------------------------|--------------------------|------------|
| Regulação do teor de oxigénio | Regulação da temperatura | |
| Por defeito | Por defeito | 1 |
| Por defeito | Ajuste inicial | 2 |
| Por defeito | Correcção manual | 3 |
| Por defeito | Correcção automática | 4 |
| Ajuste inicial | Por defeito | 5 |
| Correcção manual | Por defeito | 6 |
| Correcção automática | Por defeito | 7 |
| Ajuste inicial | Ajuste inicial | 8a,b |
| Ajuste inicial | Correcção manual | 9 |
| Ajuste inicial | Correcção automática | 10 |
| Correcção manual | Ajuste inicial | 11 |
| Correcção manual | Correcção manual | 12 |
| Correcção manual | Correcção automática | 13 |
| Correcção automática | Ajuste inicial | 14 |
| Correcção automática | Correcção manual | 15 |
| Correcção automática | Correcção automática | 16a,b |

¹ Por defeito: o processo depende da capacidade espontânea do material em elevar a sua temperatura; pelo ajuste das condições iniciais: estabelecem-se as condições iniciais que posteriormente pouco ou nada se controlam; por correcção manual: os dados relativos àquelas variáveis são recolhidos manualmente e efectuados os ajustes julgados necessários; por correcção automática: os valores das variáveis são continuamente transmitidos ao sistema de ventilação para o seu ajuste.

Em situações exigentes de compostagem, de grandes quantidades de material, como RSU, utilizam-se com mais frequência dois modos de regulação do processo: ajuste das condições iniciais para o oxigénio e a temperatura por correcção automática e, a regulação

automática para as duas variáveis. Para regular os níveis de oxigénio é necessário efectuar-se a recirculação do ar (Finstein e Hogan, 1993).

Quando o sistema é controlado de modo a garantir a eliminação de patogéneos fecais, ocorre simultaneamente a destruição dos organismos benéficos (Hoitink *et al.*, 1993).

A existência da possibilidade de inverter a direcção do fluxo de ar apresenta vantagens a nível da redução das perdas de água (Hansen *et al.*, 1993) e na maior uniformidade da temperatura (Hoitink e Kuter, 1986, *cit. in* Farrell, 1993).

Diferentes técnicas de compostagem podem ser utilizadas, dependendo das condições de utilização e dos objectivos a atingir, podendo todas elas atingir elevadas eficácias relativamente a higienização e estabilização da matéria orgânica, desde que correctamente aplicadas (Stentiford, 1993). Os aspectos relativos ao tratamentos a aplicar aos materiais deve ser conjugado com as exigências da produção de modo a permitir definir a tecnologia mais adequada em cada situação (Merillot, 1992). De entre os problemas que podem resultar da incorrecta operação dos sistemas destacam-se a libertação de cheiros desagradáveis (Finstein e Hogan, 1993; Miller, 1993), a produção de lixiviados e a excessiva secagem do material. A libertação de odores, é controlada pela optimização do processo e, pela recolha, tratamento e dispersão do ar proveniente do material em compostagem (Finstein e Hogan, 1993; Walker, 1993). O tratamento realiza-se por processo biológico, químico ou físico (Dunson, 1993). É mais económico para a resolução deste problema, a utilização de sistemas de compostagem mais eficazes, que possibilitem a redução de odores, do que prever apenas o tratamento do ar (Miller, 1993). Entre os processos físico-químicos encontram-se a condensação, a neutralização, a oxidação e a redução (Dunson, 1993). Para a melhoria da dispersão recorre-se a grandes ventiladores e a quebra ventos (Walker, 1993).

A duração da compostagem é fortemente determinada pelo método utilizado, mas não é menos importante a natureza física e química dos materiais a compostar, as condições em que o processo decorre, o grau de controlo efectuado e a própria utilização final do produto. Quanto à utilização final do produto, observou-se que, utilizando CMDC como material base de substratos na cultura de crisântemos, para obter uma mesma qualidade final das plantas, era necessário um maior tempo de compostagem com o aumento da percentagem de incorporação de composto na mistura (Hoitink e Poole, 1980).

A existência de normas cada vez mais restritivas das condições de realização da compostagem, por exemplo quanto à libertação de odores, obriga à observação de um correcto planeamento e controlo do processo. Na opção por um dado sistema devem-se ter em particular

atenção as características do local, nomeadamente a densidade populacional, devido ao grave problema que pode representar o mau cheiro que se pode libertar. É fundamental nesta decisão, tomar em atenção o processo microbiológico. Os aspectos económicos são determinantes, não esquecendo que a estrutura de compostagem mais cara é aquela que não funciona (Finstein e Hogan, 1993).

O planeamento de um método de compostagem exige considerar os seguintes aspectos (Keener *et al.*, 1993):

- . Características do material
- . Condições ambientais
- . Limitações biológicas
- . Limitações físicas
- . Limitações económicas

Tratando-se de LETAR ou RSU, devido à possibilidade de ocorrência de numerosos patogéneos, presença de metais pesados e de compostos orgânicos tóxicos, deve ser prestada atenção à sua influência, tanto na saúde dos trabalhadores, como no meio ambiente (Epstein, 1993; Ryan e Chaney, 1993).

A nomenclatura dos métodos de compostagem hoje em dia utilizados, pode originar incorrectas interpretações sobre o tipo de tecnologia e controlo empregues na realização do processo (Finstein e Hogan, 1993). Actualmente, a compostagem é efectuada recorrendo normalmente a dois principais tipos de sistemas: em pilhas ou, em reactores ou digestores, diferenciáveis sobretudo pela sua configuração, sistema de arejamento e sistema de volteio (Stentiford, 1987). O sistema em pilhas é também designado por sistema não mecanizado, aberto ou "windrow" e os sistemas em reactores por sistemas mecanizados, fechados ou mecânicos (Golueke, 1991; Bertoldi, 1993). Outra classificação, divide os sistemas em interventivos e não interventivos, conforme ocorre ou não a agitação do material. Nos sistemas interventivos, incluem-se as pilhas amovíveis, podendo possuir também ventilação forçada e, os sistemas em digestor com agitação mecânica, mais adequados quando o material recebido é muito heterogéneo ou mal conhecido. Nos sistemas não interventivos, encontram-se as pilhas estáticas, utilizadas quando os materiais são relativamente homogéneos e bem conhecidos, assim como as condições do processo (Stentiford, 1993).

Finstein e Hogan (1993) apresentam uma classificação das estruturas de compostagem, baseada no modo como se estabelece o contacto entre o material e o ar envolvente, a qual engloba os vários métodos referidos em dois grupos principais: compostagem aberta e

compostagem em contentor. Na compostagem aberta, o material contacta com o ar livre, podendo ser disposto em pilhas ou em contentores sem parede superior. Quando em pilhas, estas podem ser simplesmente colocadas num local com um piso adequado, com piso e paredes (baías), com piso e tecto (telheiro) ou, com piso, paredes e tecto (edifício). Na compostagem em contentor, o material encontra-se em estruturas fechadas, reactores ou digestores, pelo que o material contacta com um menor volume de ar, limitado pelo próprio contentor. Ambos os sistemas podem ser realizados ao ar livre ou em edifícios. Todos os modos de controlo de oxigénio e de temperatura referidos anteriormente (Quadro 6), podem ser aplicados na compostagem aberta e em contentor, à excepção da combinação 16b, que requer um espaço fechado. Para a definição de uma terminologia precisa relativa às instalações de compostagem, Finstein e Hogan (1993), além de classificarem o método de controlo do arejamento, propõem a sua definição em termos de agitação mecânica e características das infra-estruturas. A articulação destes factores com o tipo de material permite obter uma tabela de soluções mais adequadas para a realização da compostagem (Quadro 7).

Quadro 7 - Soluções mais adequadas baseada na articulação entre o tipo de material e o grau de controlo do processo com os tipos de estrutura de compostagem (adaptado de Finstein e Hogan, 1993)

| Material | Condições | | Tipo de instalação | | |
|--------------------|--|--|---|------------------------|------------------------|
| | Grau desejado, de controlo do processo | | Regulação do O ₂ e da temperatura ¹ | Agitação mecânica | Infra-estrutura |
| Folhas | Baixo | | 8a | Ocasional | Aberta ² |
| Folhas | Médio | | 8a | Frequente ³ | Aberta ² |
| Lamas ⁴ | Médio | | 10 ou 13 | Variável ³ | Aberta ⁵ |
| Lamas ⁴ | Alto | | 10, 13 ou 16b | Sim ³ | Contentor ⁶ |
| RSU | Médio | | 10 ou 13 | Sim ³ | Aberta ⁵ |
| RSU | Alto | | 10, 13 ou 16b | Sim ³ | Contentor ⁶ |

¹ ver Quadro 6.

² material em pilhas ao ar livre

³ pode ser necessário a adição de água durante o processo

⁴ aconselhável a mistura de lamas e composto (reciclado, como agente melhorador da porosidade)

⁵ material em pilhas ou em contentores, sem parte superior. Podem ser colocados em abrigo mas não em edifício

⁶ contentores ao ar livre, em abrigo ou em edifício. É aconselhável o tratamento do ar libertado.

Compostagem em pilhas

A compostagem em pilhas foi referida como um método pouco eficiente, nomeadamente em RSU (Gray *et al.*, 1973). No entanto, durante a década de 70 (Wilson *et al.*, 1980), este processo registou notável avanço permitindo, com o recurso a modernas técnicas de controlo, eficácias comparáveis às dos digestores (Stentiford, 1987).

O material é disposto em pilhas de dimensões adequadas, instaladas ao ar livre ou sob coberto (Diaz *et al.*, 1982). O arejamento pode ser efectuado por volteios (pilhas amovíveis) ou

por circulação forçada de ar (pilhas estáticas). As pilhas podem ser cobertas com camada de material compostado, que actua como isolante térmico e reduz a libertação de odores (Stentiford, 1987), não se devendo cobrir com filme plástico a ponto de limitar a convecção natural (Gray *et al.*, 1973; Hoitink e Poole, 1980). De preferência, são construídas sobre um pavimento que possibilite a drenagem e, com dimensões e geometria adaptadas às condições ambientais e à natureza do material (Diaz *et al.*, 1982; Gouleke e Diaz, 1991).

Com este método podem ocorrer, sobretudo nas pilhas estáticas, condições de anaerobiose (Bollen, 1993).

Pilhas amovíveis (pilhas com volteio mecânico)

A forma e dimensões da pilha condicionam vários aspectos com influência decisiva no processo de compostagem. Assim, uma relação muito alta entre a superfície e o volume da pilha aumenta as perdas de calor para o meio, podendo dificultar ou impedir a subida de temperatura até à zona termófila. Um grande volume originará maior compactação, reduzindo o arejamento. A forma da secção mais habitual, a trapezoidal, pode ter de ser substituída pela forma cónica ou cilíndrica em zonas mais chuvosas, para não provocar um encharcamento excessivo do material, com redução do arejamento e abaixamento da temperatura. As dimensões da pilha dependem do tipo de material, da maquinaria empregue e da época do ano (Diaz *et al.*, 1982). A altura é limitada pela acção de compactação que o material exerce e pela sua influência na relação superfície/volume, indicando-se como valores médios 1,2 a 2,5 m de altura (Biddlestone e Gray, 1986; Sana e Soliva, 1987; Bertoldi *et al.*, 1991). A largura é compreendida entre 2 e 4 m (Gotas, 1956, *cit. in* Sana e Soliva, 1987; Hoitink e Poole, 1980; Diaz *et al.*, 1982; Biddlestone e Gray, 1986). A largura apresenta pouca influência, a não ser na relação da superfície e do volume, já que a convecção lateral através da massa de material, é normalmente limitada (Diaz *et al.*, 1982). O comprimento não apresenta limitações do ponto de vista da eficiência do processo.

O número e oportunidade dos volteios depende da procura de oxigénio pelos microrganismos e, na prática, depende ainda de factores como a natureza e condições do material, tipo de equipamento de volteio, necessidade de eliminar maus odores, espaço disponível e factores de natureza económica (Gouleke e Diaz, 1991). Do número de volteios depende a eficiência e rapidez do processo. Utiliza-se frequentemente a medição da temperatura para a determinação do número e oportunidade dos volteios a realizar. Na realidade, embora o volteio conduza à imediata descida da temperatura do material, por

exposição à temperatura ambiente, conduz posteriormente a um aumento da actividade dos microrganismos, elevando-se a temperatura a nível superior ao existente imediatamente antes do volteio. A manutenção de uma temperatura elevada consegue-se por isso, com um programa controlado de volteios (Diaz *et al.*, 1982; Bertoldi *et al.*, 1991). Como não é possível manter constantemente as condições óptimas de arejamento, relativas à manutenção da temperatura e fornecimento de oxigénio, é impossível alcançar a eficiência máxima com este método. Observou-se o decréscimo de 1% no teor de oxigénio, no interior da pilha, em apenas 1 hora após um volteio (Bertoldi *et al.*, s.d., *cit. in* Bertoldi, 1993).

O teor de humidade pode também influenciar a frequência de volteios obrigando a uma maior frequência, no caso de materiais muito húmidos ou, à sua redução, conjugada eventualmente com a rega do material, no caso de materiais muito secos. O custo económico do volteio e a sua repercussão no custo final do material está relacionado com a instalação das pilhas, ao ar livre ou sob coberto.

O volteio pode ser efectuado com um tractor com pá frontal, acompanhado ou não de cultivador rotativo, para a eficaz mistura do material, ou com equipamentos específicos para operações em larga escala, accionados por tomada de força de um tractor ou autopropulsionados (Diaz *et al.*, 1982; Gouleke e Diaz, 1991; Nordstedt *et al.*, 1993).

A duração do processo de compostagem, variável com o tipo de material e as condições em que é efectuado, considera-se hoje em dia que se situe em média em cerca de 3 meses para a compostagem de materiais orgânicos para utilização como substratos (Sana e Soliva, 1987).

Sendo necessário garantir uma eficiente higienização do composto, como no caso da compostagem de RSU, recomenda-se a duração mínima de 3 a 4 semanas, devendo durante pelo menos uma semana, a temperatura ultrapassar 65 °C, seguido de um período de estabilização de mais 3 a 4 semanas (Zucconi e Bertoldi, 1987). Estas recomendações são também aplicáveis às pilhas estáticas.

Ao voltear, pode haver recontaminação das zonas já esterilizadas com microrganismos das camadas mais exteriores, o que no entanto pode ser atenuado efectuando um número adequado de volteios (Diaz *et al.*, 1982).

Pilhas estáticas (pilhas com arejamento forçado)

Com pilhas com arejamento forçado, o processo de compostagem dispensa os volteios. O arejamento é efectuado por circulação forçada de ar, através de tubos perfurados colocados na base da pilha. No caso de haver problemas com formação de bolsas de material em anaerobiose, pode ser prevista a possibilidade de voltear, colocando as tubagens de ar em

canais protegidos, no pavimento (Gouleke e Diaz, 1991). Podem-se também construir pilhas, em que o material é arejado inicialmente por forçagem de ar e posteriormente por volteio (Gouleke e Diaz, 1991). A circulação forçada de ar pode ser por extracção, método Beltsville (Wilson *et al.*, 1980; Diaz *et al.*, 1982), ou por injeção, método Rutgers, desenvolvido posteriormente (Gray *et al.*, 1973; Gouleke e Diaz, 1991).

Com o método Beltsville, o teor de humidade deve-se manter acima de 65% para evitar a secagem excessiva do material, com redução da taxa de decomposição e possível perda de amoníaco (Hoitink e Poole, 1980). Inicialmente, o oxigénio na fase gasosa deve-se situar entre 5 e 15 % (v/v) (Finstein e Hogan, 1993), considerando-se adequada a circulação de ar de $14 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ t}^{-1}$ para a manutenção do nível suficiente de oxigénio (Sana e Soliva, 1987). Conforme referido, a ventilação pode ser controlada de várias formas, sendo mais utilizada a medição da temperatura, por meio de sonda ligada a termóstato e a regulação do tempo, por meio de temporizador. Através da medição da temperatura, consegue-se uma maior estabilidade da temperatura, do que por meio de temporizador (Stentiford, 1987).

Em comparação com o método por injeção de ar, no método Beltsville (por extracção de ar): requer-se mais energia para movimentar um mesmo volume de ar, origina-se o desequilíbrio das hélices dos ventiladores por acumulação de poeiras, causando mais vibração e ruído e, acentua-se o movimento gravitacional da água, entupindo-se os poros com redução da porosidade, originando custos mais elevados. No método por extracção de ar, o controlo do teor de oxigénio e da temperatura é menos eficaz que no método com injeção de ar, podendo resultar maiores problemas de maus odores. Contudo, podem-se fazer passar os gases extraídos por uma pequena pilha de material compostado para redução dos odores (Wilson *et al.*, 1980; Stentiford, 1987).

A duração média do processo é de 21 dias com ventilação activa, seguidos de 30 dias de maturação (Sana e Soliva, 1987). Na compostagem de casca de espécies de madeira dura, Hoitink (1980) indica uma redução da duração do processo relativamente às pilhas móveis, de 6 meses para 1 mês, seguido de 1 mês de maturação.

Com o método Rutgers, por injeção de ar, consegue-se um melhor controlo da temperatura e a redução da humidade final do material, (Finstein *et al.*, 1980, *cit. in* Stentiford, 1987). O teor de humidade tem de ser controlado de modo a garantir que não baixe de 40% (em peso fresco), para não restringir a actividade microbiana (Stentiford, 1987). A pilha pode também ser coberta com uma camada de material compostado para reduzir os odores mas, mesmo assim, a importância deste problema levou a que o método não tenha sido adoptado em

larga escala para a compostagem de alguns materiais (Stentiford, 1987), apesar do melhor controlo da temperatura permitir a redução daqueles odores (Finsein e Miller, 1985, *cit. in* Stentiford, 1987). A camada exterior de material compostado é considerada importante para a uniformização da temperatura e garantir que esta atinja níveis letais (Bertoldi *et al.*, 1991).

Como solução de compromisso, procurando beneficiar das vantagens de ambos os métodos de forçagem do ar, pode-se utilizar sucção de ar nas fases iniciais e a injeção nas fases seguintes (Gouleke e Diaz, 1991). Há também bons resultados com a realização alternada de injeção e extracção de ar na compostagem de RSU (Bertoldi *et al.*, 1991). A forte redução de volume que se pode observar durante a compostagem, pode criar canais preferenciais de convecção e zonas de anaerobiose (Stentiford, 1993). A inversão periódica do sentido do fluxo de ar e o volteio permitem eliminar o problema da formação de canais preferenciais de circulação do ar e, evitar o problema de uma maior secagem e arrefecimento da zona inferior da pilha (Bertoldi, 1993).

Stentiford (1993) refere 2 a 3 semanas de duração da compostagem com os métodos de circulação forçada de ar.

Nas pilhas estáticas não há recontaminação, mas mesmo assim não se pode garantir a uniformidade do material, devido a eventuais variações locais na intensidade do arejamento, com influência na disponibilidade de oxigénio, humidade e temperatura. Contudo, a realização de um período de maturação, poderá reduzir o problema da falta de uniformidade do material, elevando o grau de homogeneização do composto final. A camada exterior não perturbada reduz a eventual libertação de amoníaco (Gouleke, 1991). Com pilhas estáticas, obtém-se um melhor aproveitamento do espaço e maiores taxas de inactivação de patogéneos, que com as pilhas amovíveis (Pereira Neto *et al.*, 1987 *cit. in* Stentiford, 1993).

Compostagem em reactores ou digestores

A partir de trabalhos como os de Moore (1959, *cit. in* Schulze, 1961) e Schulze (1962) desenvolveram-se processos contínuos de compostagem, que se empregam quando é necessário tratar volumes consideráveis de materiais de uma forma continuada, como sucede com RSU ou LETAR ou, a necessidade de melhorar o processo e o produto final (Diaz *et al.*, 1982). A passagem do material pelo equipamento de compostagem é muito rápida, sendo posteriormente necessário um período para maturação de duração idêntica ao processo de compostagem em pilhas. Como o equipamento é fechado, reduzem-se de algum modo, os odores libertados (Stentiford, 1987). Em alguns destes sistemas é referido não ser necessária fase de maturação em pilhas (Gray *et al.*, 1973).

A compostagem em reactores ou digestores apresenta custos de instalação mais elevados que o sistema de pilhas (Sana e Soliva, 1987; Stentiford, 1987; Gray *et al.*, 1973), mas permite a redução da área necessária para realizar a fase mais activa do processo (Stentiford, 1987) e da maquinaria pesada para o volteio (Hoitink e Poole, 1980). Além disso, a proporção de material em que a temperatura se mantém abaixo dos 40 °C é muito menor que em pilhas expostas, podendo ser menor a duração do tratamento pelo calor, devido à maior homogeneidade da temperatura. Para garantia de higienização, a duração do período de temperatura elevada deve ser de 2 semanas ou mais, seguido de uma maturação de pelo menos 3 semanas (Zucconi e Bertoldi, 1987). Segundo Hoitink (1980), com compostagem em reactores ou digestores consegue-se efectuar a compostagem de casca de espécies de madeira dura em 2 semanas, seguidas de 1 mês de maturação.

O arejamento pode ser efectuado por volteio mecânico, por circulação forçada de ar ou ambos. Quando se justifique, também se utiliza material grosseiro para aumentar o arejamento da mistura a compostar (Diaz *et al.*, 1982; Sana e Soliva, 1987). Possuem um controlo de funcionamento que pode basear-se em variáveis mais sofisticadas, como o nível de dióxido de carbono no meio ou o teor de oxigénio no ar libertado (Schulze, 1961). A gama de modelos é enorme, havendo modelos estáticos, em que durante o processo não ocorre mistura de materiais, ou dinâmicos, no caso contrário (Sana e Soliva, 1987).

Na compostagem em reactores ou digestores observou-se uma menor riqueza na população existente após a fase termofílica, relativamente a sistemas abertos, como as pilhas (Kuter *et al.*, 1983).

Sistemas estáticos

Os sistemas estáticos, consoante a sua forma, podem-se classificar em cilíndricos, rectangulares ou em túnel. Apresentam algumas diferenças na concepção, mas basicamente verifica-se uma entrada e uma saída de material, mais ou menos contínua. Apresentam diferentes capacidades quanto ao volume de material que podem tratar. O tempo de permanência nestes aparelhos é de 14 a 30 dias, necessitando o material saído de um tratamento final para maturação (Sana e Soliva, 1987; Diaz *et al.*, 1982). Os modelos verticais de grande altura, mesmo com ventilação forçada, são normalmente muito difíceis de operar, sendo desaconselhados (Bertoldi, 1993).

Sistemas dinâmicos

Os sistemas dinâmicos permitem tempos de permanência mais curtos, chegando a 3 dias, embora neste caso necessitando também de posterior tratamento final (Biddlestone e Gray, 1986; Sana e Soliva, 1987). Funcionando de modo a adequar a temperatura interior ao tempo de retenção do material, podem proporcionar uma mais eficaz eliminação de patogéneos (Stentiford, 1987).

2.1.7. Qualificação de um composto

Toda a matéria orgânica de origem biológica e muitos produtos sintéticos são biodegradáveis e podem constituir fonte de matéria prima para a compostagem. Exceptuam-se os materiais contaminados por metais pesados ou compostos orgânicos tóxicos de degradação lenta (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Além da compostagem de resíduos de origem agrícola, agro-industrial e florestal, cada vez mais se encara a produção de compostos obtidos a partir de resíduos urbanos ou industriais e de lamas das estações de tratamento de águas residuais. Contudo a utilização dos compostos deve ser acompanhada de alguns cuidados, de acordo com a sua forma de utilização e tendo em vista a protecção do ambiente e do Homem (Sana e Soliva, 1987). A heterogeneidade de materiais e processos, torna bastante complexa a definição de produtos e a sua qualidade (Zucconi e Bertoldi, 1987). A definição da qualidade deve ser feita em função do tipo de utilização do produto, nomeadamente, aplicação ao solo ou como substrato em cultura sem solo, como componente único ou em misturas (Chen e Inbar, 1993; Zucconi e Bertoldi, 1987).

De entre os problemas que podem surgir para a utilização dos compostos, destacam-se: (i) a contaminação por inertes (restos de vidro, metal ou plástico), (ii) a presença de

determinados elementos sobretudo de características metálicas, (iii) a qualidade sanitária do produto e (iv) o seu grau de estabilização ou maturidade.

(i) Quanto à contaminação por inertes, existem já normas em alguns países que definem por exemplo a granulometria dos compostos (Sana e Soliva, 1987; Bertoldi, 1993). A separação dos inertes no final do processo é relativamente fácil e indicadora da boa técnica utilizada (Zucconi e Bertoldi, 1987). A contaminação por inertes origina um aspecto desagradável e limita a sua utilização dos compostos. É o caso da cultura de plantas ornamentais envasadas, onde em muitas operações culturais se contacta manualmente com o substrato (Bertoldi, 1993).

(ii) Dos elementos químicos que podem surgir como resultado da actividade humana, quer doméstica quer industrial, alguns são essenciais aos seres vivos, outros são fitotóxicos ou perigosos para a saúde humana ou animal, outros ainda são potencialmente tóxicos. Isto é, podem passar de essenciais a tóxicos, dependendo do nível em que se encontram. São exemplo o boro para as plantas e, o ferro, o selénio e o molibdénio relativamente aos animais. Também os níveis referentes à composição do composto e à sua incorporação no solo, se encontram regulamentados (Anexo 8, Quadros 93 e 94) (Zucconi e Bertoldi, 1987; Sana e Soliva, 1987; Farrell, 1993; Chaney e Ryan, 1993; Bertoldi, 1993). Os metais pesados apresentam um elevado grau de insolubilização quando aplicados ao solo, reduzindo-se a sua assimilação pelas plantas, o que facilita a aplicação de compostos com teores relativamente elevados de metais pesados (Zucconi e Bertoldi, 1987). A assimilação de metais pesados pelas plantas pode ocorrer, nomeadamente, quando são aplicados em elevadas quantidades, compostos obtidos com LETAR altamente contaminadas, em solos ácidos. Em compostos de LETAR, a presença de níveis elevados de substâncias húmicas, de óxidos hidratados de Fe e a presença conjunta de outros elementos, torna muito baixa a bio-disponibilidade de Pb, Cd e outros elementos, bem como de compostos orgânicos (Chaney e Ryan, 1993). As vias de contaminação pelos poluentes existentes nos compostos são conhecidas. Na aplicação de compostos ao solo, a fitotoxicidade é o maior problema com o Zn, o Cu, o Ni e o B. Na ingestão directa de compostos ou LETAR por crianças, animais e fauna selvagem, a principal limitação são os compostos orgânicos tais com os PCB (policlorobifenóis), DDT (diclorodifeniltricloroetano) e outros e, o Pb, o Fe e o F. Na absorção por plantas e entrada na cadeia alimentar humana a principal limitação é o Cd e, na cadeia alimentar dos ruminantes são o Mo e Se (Chaney e Ryan, 1993).

(iii) Podem distinguir-se os aspectos sanitários, como os parasitas e agentes patogénicos vegetais, animais e humanos e as sementes de infestantes e, a contaminação por produtos

antropocêntricos, como os pesticidas e outros produtos de síntese de características tóxicas, mutagénicas ou cancerígenas.

É necessário garantir que não se vai correr riscos aquando da sua utilização, tanto para o Homem como para o ambiente. O nível de risco calcula-se através da determinação do nível crítico abaixo do qual o patogéneo deixa de representar perigo para a utilização em vista. Pode também existir um esquema de controlo do produto, que reduza a presença de patogéneos abaixo do nível de risco. Ambas as acções são de difícil resolução e continuam em estudo (Bertoldi *et al.*, 1991; Bertoldi, 1993). No entanto, não são de esperar problemas desde que se garantam boas condições durante a compostagem (Zucconi e Bertoldi, 1987). Estão regulamentados os níveis admissíveis de determinados organismos indicadores (Zucconi e Bertoldi, 1987; Farrell, 1993). Relativamente aos patogéneos humanos o problema surge quando são utilizados RSU ou LETAR, podendo utilizar-se métodos de pré-tratamento que reduzem ou eliminam a sua presença (Epstein, 1993; Farrell, 1993).

Quanto à contaminação por produtos antropocêntricos, como os pesticidas e outros produtos de síntese, pode ocorrer em compostos de resíduos de colheitas ou em compostos que utilizem lamas de estações de tratamento de águas de zonas em que existam indústrias produtoras destes compostos. Contudo, alguns autores minimizam este perigo devido à pouca mobilidade que os estes produtos antropocêntricos apresentam quando aplicados ao solo (Dean, 1971 e Pahron, 1979, *cit. in* Sana e Soliva, 1987).

A qualidade sanitária pode ser determinada com recurso à determinação da presença de determinados grupos de patogéneos ou de organismos indicadores (Bertoldi *et al.*, 1991; Bertoldi, 1993). Normas, definindo as exigências em tempo e temperatura, para se considerar um composto higienizado, não entram em consideração com outros processos de inactivação de patogéneos existentes. Este facto, salienta a necessidade de encontrar padrões de qualidade baseados na análise do material e não nas condições de operação do processo (Stentiford, 1993). Estas normas podem abranger aspectos como a capacidade de atracção de vectores, moscas e ratos (Farrell, 1993).

Compostagem e higienização não são necessariamente sinónimos. Se em teoria se pode considerar higienizado um produto sujeito a um processo correctamente conduzido, com exposição de todo o material à temperatura letal, na prática, estas duas condições são insuficientes devido à possibilidade de re-invasão do meio pelo patogéneo. Por isso, o processo tem, não só de reduzir o número de organismos patogéneos como, de transformar o meio para evitar o seu posterior desenvolvimento. A transformação do meio ocorre, quando a matéria

orgânica é adequadamente estabilizada, mineralizando-se os compostos mais simples facilmente assimiláveis pelos patogêneos e humificando-se os restantes. Para acentuar a restrição ao posterior desenvolvimento dos patogêneos, a humidade no material deverá baixar para 25 a 30%. A higienização do composto depende assim, não só do método empregue mas também das condições em que ele é conduzido (Bertoldi *et al.*, 1991).

(iv) A maturidade de um composto é um aspecto da maior importância tanto para o produtor como para o utilizador. Ao produtor, interessa saber em que altura pode considerar a compostagem como terminada, reduzindo os custos de produção (Sana e Soliva, 1987; Inbar *et al.*, 1991; Inbar *et al.*, 1990). Por exemplo, na compostagem de estrume separado alcança-se suficiente maturidade após a fase inicial da compostagem, sendo indicado que se deixe apenas iniciar a segunda fase, antes de utilizar o material como substrato (Chen e Inbar, 1993).

Ao utilizador, para aplicação ao solo ou como componente de substratos, interessa que a matéria orgânica esteja estabilizada. Caso contrário, poderia continuar a sua decomposição, criando condições redutoras e provocando um decréscimo do teor de oxigénio e do potencial de oxidação-redução. Poderia haver um aumento da temperatura, produção de odores e de substâncias fitotóxicas como o amoníaco, óxido de etileno; fenóis e ácidos orgânicos de cadeia curta. Estas condições afectariam a germinação e desenvolvimento das plantas, ao reduzir a respiração das raízes, a síntese de fito-hormonas, a absorção de elementos nutritivos (Zucconi, 1981; Chanyasak *et al.*, 1983a; Sana e Soliva, 1987; Inbar *et al.*, 1991) e o aumento da solubilidade de metais pesados (Cottenie, 1981 e Van Assche e Uyttebroeck, 1981, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992). A redução de nutrientes disponíveis num composto estabilizado impede o posterior desenvolvimento de patogêneos (Inbar *et al.*, 1991), como *Salmonella* (Hussong *et al.*, 1985, *cit. in* Inbar *et al.*, 1990) e *Pythium* spp. (Chen *et al.* 1988b; Mandelbaum e Hadar, 1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1990). Patogêneos, como *Rizoctonia solani*, utilizam nutrientes orgânicos solúveis e celulose, o que obriga à sua degradação adequada (Chung *et al.*, 1988, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991).

A maturidade de um composto pode afectar a microflora que recoloniza o composto após a fase termofílica, ao ponto de a sua capacidade como agente de controlo biológico só se manifestar quando o composto se encontra maduro, como ocorre com *Trichoderma hamatum* (Chung *et al.*, 1988, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991).

Estabilização não pode ser confundida com secagem ou pasteurização, embora possam conduzir a produtos com aspecto final semelhante, uma vez que com estes últimos processos a

degradação do material despoletar-se-ia logo que colocado em condições favoráveis (Bertoldi, 1993).

A determinação do grau de estabilização ou maturidade do composto, é matéria complexa devido ao incompleto domínio das variáveis envolvidas e ao desconhecimento de valores padrão (Stentiford, 1987). As variáveis mais eficazes parecem ser as que reflectem a actividade microbiana, uma vez que elevadas taxas da sua actividade estão relacionadas com maiores disponibilidades de material degradável, logo compostos menos estáveis. Variáveis físicas e químicas estão sujeitas a uma maior variabilidade e podem não traduzir a actividade microbiológica existente no material (Richard e Zimmerman, 1995).

Assim, para a determinação do grau de estabilização ou maturidade do composto utilizam-se, além das variáveis cuja evolução foi abordada, temperatura, CTC, GD, substâncias húmicas, várias formas de azoto, taxa de mineralização, outras mais específicas, nomeadamente testes biológicos, utilizando compostos ou os seus extractos (Morel *et al.*, 1985, *cit. in* Inbar *et al.*, 1990) (Quadro 8).

Os testes biológicos incluem a determinação do índice de germinação, do desenvolvimento de microrganismos e ensaios de crescimento de plantas.

A libertação de toxinas diminui com a estabilização da matéria orgânica, podendo a fitotoxicidade resultante ser determinada pela realização de testes de germinação de sementes, em extracto aquoso do composto. Avalia-se, assim, a maturidade do composto, não se considerando o composto maduro enquanto não se alcançar um determinado nível de germinação. Também o crescimento de uma gama variada de plantas é inibido quando se utiliza composto imaturo. A fitotoxicidade durante a compostagem parece associada à fase inicial de decomposição, apresentando um carácter transitório, relacionado com a presença de compostos facilmente metabolizáveis, como ácidos orgânicos de baixo peso molecular (De Vleeschauwer *et al.*, 1981 e Hirai *et al.*, 1986, *cit. in* Chen e Inbar, 1993; Zucconi *et al.*, 1981; Chanyasak *et al.*, 1983b). Os resultados negativos podem dever-se a imobilização de azoto por excessivo teor de celulose, toxinas alelopáticas, níveis tóxicos de metabolitos de processo anaeróbio, salinidade e eventualmente outras causas, sendo necessário tempo de maturação suficiente para a estabilização do composto e, eliminar ou reduzir estes efeitos (Krogstad e Solbraa, 1975, *cit. in* Chen e Inbar, 1993; Still *et al.*, 1976; Hoitink e Fahy, 1986). Além de diferentes metodologias, também diferentes espécies são utilizadas (Stentiford, 1993), nomeadamente o pepino (*Cucumis sativus* L.), o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

(Hoitink *et al.*, 1978, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980) e o mastruço (*Lepidium sativum* L.) (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Quadro 8 - Métodos de determinação da estabilização ou maturidade (adaptado de Inbar *et al.*, 1990)

Análises químicas

- carbono solúvel em água e extraível em NaOH
- relação carbono/azoto (em amostra seca e em extracto solúvel)
- iões solúveis em água (ex: NO_3^- , NH_4^+)
- matéria orgânica solúvel em água
- capacidade de troca catiónica
- composição da fibra bruta

Análises físicas

- temperatura
- cor
- granulometria
- relação ar-água

Ensaio microbiológicos

- organismos indicadores
- taxa de respiração
- taxa de produção de CO_2
- actividade e biomassa dos microrganismos
- supressão de fitopatogéneos

Ensaio com plantas

- germinação de agrião em extracto aquoso (fitotoxicidade)
- crescimento de azevém em substratos com composto
- desenvolvimento de plantulas em extractos aquosos e em composto

Espectroscopia

- em fase sólida, CPMAS ^{13}C -NMR
- infravermelhos - FIT, DRIFT

Grau de humificação

- conteúdo total em substâncias húmicas
 - conteúdo e relação entre ácidos húmicos e fúlvicos e substâncias não húmicas
 - teor em grupos funcionais
-

Acompanhando a microbiologia dos compostos, com base em organismos conhecidos, é possível determinar-se o grau de maturação (Keller, 1991). O comportamento *in vitro* de organismos como *Verticillium cinnabarium* (Spohn, 1969, *cit. in* Gray *et al.*, 1973), ou *Chaetomium gracillis* (Obrist, 1965, *cit. in* Diaz *et al.*, 1982) são formas interessantes de verificar a maturidade dum composto e a sua compatibilidade com as plantas (Zucconi e Bertoldi, 1987). No entanto, estes métodos apresentam limitações derivadas das condições restritas de aplicação, desconhecendo-se os seus resultados quando estas variam (Diaz *et al.*, 1982). Determinados organismos podem também actuar como indicadores da qualidade sanitária do composto, nomeadamente coliformes, *Streptococcus* fecais, alguns vírus ou ovos de helmintas (Bertoldi *et al.*, 1991; Bertoldi, 1993).

O acompanhamento do grau de maturação pode ser feito pela determinação da actividade de determinadas enzimas (Busksteeg e Thiele, 1959, *cit. in* Keller, 1991), ou do consumo de O₂ e libertação de CO₂ (Wiley, 1955 e Schulze, 1957, *cit. in* Keller, 1991; Bertoldi, 1993; Hue e Liu, 1995).

Os testes de crescimento de plantas são muito utilizados, a partir dos compostos ou dos seus extractos (Morel *et al.*, 1985, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991) e são o padrão em relação aos quais todos os outros métodos têm de ser aferidos (Chen e Inbar, 1993).

Muitas vezes, as determinações químicas correntes informam da natureza do material inicial, mas são de pouco valor na determinação do grau de maturação (Keller, 1991). Noutros casos, como por exemplo na determinação do teor de cinzas, não distinguem o carbono residual degradável, do resistente à decomposição biológica (Inbar *et al.*, 1990; Inbar *et al.*, 1991). Chen e Inbar (1993) sugerem a utilização do teor de carbono solúvel como indicador de maturação.

Se a relação C/N 'final' dos compostos for baixa, pode provocar toxicidade pelo amoníaco. Se a relação C/N for alta, pode originar a imobilização do azoto (Hortenstine e Rothwell, 1973 e Terman *et al.*, 1973, *cit. in* Jimenez e Garcia, 1992; Inbar *et al.*, 1990; Inbar *et al.*, 1991; Chen e Inbar, 1993), que vai ser utilizado em maior escala pelos microrganismos, indisponibilizando-o para as plantas. Também pode ocorrer um fenómeno de "fermento", isto é, a aplicação de um composto pouco maduro funciona como fonte de energia, acelerando a actividade dos organismos presentes no meio, os quais passam a decompor mais rapidamente a matéria orgânica que existia no solo, resultando no final um solo mais pobre neste constituinte do que se não tivesse sido aplicado o composto (Kunc, 1974, *cit. in* Sana e Soliva, 1987). A relação C/N é no entanto de valor limitado, dada a diversidade de métodos para determinação dos elementos em questão e a enorme variedade de materiais sujeitos a compostagem, com diferente biodegradabilidade (Keller, 1991; Chen e Inbar, 1993). Um determinado valor final para a relação C/N pode ser considerado um indicador necessário, mas não suficiente, da maturidade de um composto (Jimenez e Garcia, 1992).

Jimenez e Garcia (1992) referem a determinação de diferentes índices e taxas e avaliam a sua qualidade como indicadores de maturidade em compostos de RSU. Estes índices e taxas, são calculados a partir das determinações do azoto orgânico, em fase sólida e em extracto aquoso, do carbono total, em fase sólida e em extracto aquoso, do carbono oxidável, do carbono extraível em meio alcalino e do carbono dos ácidos húmicos e fúlvicos. Relacionando as variáveis melhores indicadoras do grau de maturação (em RSU) e o teor de carbono total,

Jimenez e Garcia (1992) determinaram um índice de perda de carbono, que permite calcular com suficiente aproximação, um grau de maturação aceitável para uso agrícola destes compostos e, simultaneamente, o tempo mínimo de compostagem em instalações comerciais.

Hue e Liu (1995), além de determinação de C e N em extracto aquoso, referem também a determinação de C em NaOH, sugerindo a utilização destas variáveis ou a sua combinação, como índices de maturidade ou estabilização.

A determinação do teor de celulose e, da sua percentagem em relação à matéria orgânica total e assimilável, em vários estádios de decomposição, é também referida como bom indicador de maturidade (Keller, 1991). No entanto, a análise teor de celulose é lenta e pouco exacta (Chen e Inbar, 1993). Com estas variáveis, apenas se poderão estabelecer valores absolutos de distinção entre material, compostado ou não, conhecendo-se o tipo de resíduo donde se partiu (Diaz *et al.*, 1982).

A determinação do denominado "metabolismo latente" permite o conhecimento do grau de estabilização, independentemente da origem e história recente do material analisado. Possibilita ainda a identificação de materiais em que, ao invés de estabilização, ocorreu a sua dessecação ou esterilização. Este método tem mostrado grande adaptabilidade e pode realizar-se através de determinações da evolução do consumo de O₂, capacidade de libertar calor ou da evolução das toxinas produzidas (Niese, 1963, Schulze, 1964 *cit. in* Diaz *et al.*, 1982; Zucconi e Bertoldi, 1987). A determinação do consumo de O₂, designado por taxa de respiração, é referido como um excelente indicador da maturidade de um composto, que não depende das condições iniciais e de controlo do processo, mas apenas do estágio actual de decomposição do material (Richard e Zimmerman, 1995).

Também um método referido baseado no balanço da "formação" e da "perda" de calor experimentada pela massa de material em fase final de compostagem apresenta independência do conhecimento do tipo de material inicial (Diaz *et al.*, 1982)

Têm sido estudados sistemas de qualificação dos compostos, apoiados em várias variáveis. Pretende-se obter um sistema baseado em variáveis determinadas por técnicas analíticas objectivas, simples, rápidas, reproduzíveis; cuja reprodutibilidade não seja afectada pela manipulação e preparação prévia da amostra e, cuja análise de resultados seja inequívoca e independente do conhecimento da origem do produto (Morel *et al.*, 1979 e 1983; Moré, 1984; Moré e Sana, 1986, *cit. in* Sana e Soliva, 1987). Entre as variáveis nestas condições, destacam-se as técnicas respirométricas (Zucconi e Bertoldi, 1987), consideradas boas indicadores da

maturação (Jacas *et al.*, 1986; Soliva e Giró, s.d.; Hue e Liu, 1995) e os testes biológicos ou de detecção de determinados compostos químicos (Spohn, 1969, *cit. in* Gray *et al.*, 1973).

O acompanhamento da evolução de algumas variáveis durante a compostagem, nomeadamente o perfil de evolução da temperatura, é um método prático e simples (Keller, 1991). Temperatura elevada durante o processo, devido à actividade microbiana, indica que o material regista uma decomposição activa, com a presença de materiais degradáveis. O declínio da temperatura revela uma redução da actividade microbiana e por isso, que o material estará mais estável (Richard e Zimmerman, 1995).

O aspecto final do composto varia com o tipo de material inicial e a técnica de compostagem utilizada (Gray *et al.*, 1973). A observação de características como o odor, a estrutura, a cor ou a densidade, se bem que podendo tomar-se em consideração, podem levar a resultados erróneos (Keller, 1991).

Mais recentemente, avaliou-se a maturidade de um composto, estudando a matéria orgânica em conjunto, por técnicas de espectroscopia de ressonância magnética nuclear (cross-polarization magic angle spinning ¹³C-nuclear magnetic resonance spectroscopy: CPMAS ¹³C-NMR), que permitem detectar a presença de numerosas substâncias (Wilson, 1987, Preston *et al.*, 1987, Piotrowski *et al.*, 1984, Gerasimowicz e Byler, 1985, Preston *et al.*, 1986 e Malcolm, 1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991) e descrevem com precisão a decomposição das substâncias biodegradáveis durante a compostagem de estrume (Inbar *et al.*, 1991; Chen e Inbar, 1993).

Outro método promissor, é o da espectroscopia de infravermelhos (por transmissão ou por reflectância difusa), que não fornecendo dados quantitativos, já permitiu a determinação de tendências nas transformações sofridas pela matéria orgânica (Inbar *et al.*, 1989 e 1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1991). Com este método, podem-se estabelecer correlações da maturidade com a taxa de decomposição dos componentes biodegradáveis durante a compostagem; o potencial de retoma de desenvolvimento de patogéneos em compostos; o controlo biológico de doenças de plantas e a resposta de desenvolvimento das plantas (Inbar *et al.*, 1991). As análises em infravermelho próximo são apontadas por Chen e Inbar (1993) como sendo um método com grande potencial.

Métodos que se revelam bons indicadores com um determinado tipo de composto, podem dar resultados inconsistentes noutros materiais, demonstrando as diferenças existentes entre os materiais e a necessidade de se determinar mais de uma variável na determinação da maturidade de um produto (Inbar *et al.*, 1990; Inbar *et al.*, 1991; Chen e Inbar, 1993).

Nenhum método isoladamente serve como indicador de maturidade (Chen e Inbar, 1993). Independentemente dos valores obtidos nas diferentes variáveis determinadas em laboratório, é sugerida a realização de ensaios de crescimento de plantas (Jimenez e Garcia, 1992), já que em última análise, a maturidade do composto é determinada pelo seu comportamento. Deve-se por isso, assentar a definição de maturidade no potencial de utilização do composto (Chen e Inbar, 1993).

As características físicas, químicas e biológicas, bem como os índices de maturação, são determinantes como factores de qualidade dos compostos e deverão ser padronizadas em função das suas condições de utilização. O grau de exigência de utilização pode ser colocado pela seguinte ordem decrescente: substrato para culturas em contentor, jardinagem familiar, produção de plantas ornamentais e de tapetes de relva, solos de cobertura, culturas arvenses, recuperação de terrenos e cobertura de aterros (Inbar *et al.*, 1990; Inbar *et al.*, 1993; Robinson e Stentiford, 1993).

A utilização em substratos é a aplicação mais exigente, podendo indicar-se como desejáveis diversas propriedades. Do ponto de vista físico, deverão apresentar uma elevada porosidade, com uma distribuição que favoreça uma boa relação ar - água, e uma boa condutividade hidráulica. A boa relação ar - água pode ser controlada com uma adequada selecção da granulometria das partículas. Devem ser constituídos por uma elevada fracção de matéria orgânica estabilizada, com elevada resistência à decomposição e conseqüente manutenção de volume, baixa densidade aparente, elevada CTC e poder tampão. Os seus extractos aquosos devem apresentar baixa EC, valor neutro de pH, ser isentos de substâncias tóxicas, possuir elevados níveis de substâncias húmicas extraíveis em soluções alcalinas, adequadas relações de ácidos fúlvicos e húmicos. Os níveis de metais pesados devem ser considerados. Não devem apresentar sementes de infestantes ou agentes patogénicos, deverão manifestar supressividade para doenças de solo e conter microrganismos promotores de crescimento das plantas. Além destas características, deverão ser recicláveis, de qualidade reprodutível e fáceis de misturar com outros produtos. Para a definição de padrões de utilização e para testar o grau de maturação são necessários, além de análises físicas, químicas e biológicas, testes de crescimento de plantas (Inbar *et al.*, 1993). Para condições mais gerais de utilização, Zucconi e Bertoldi (1987) referem em pormenor as características que os compostos devem respeitar e suas condições de utilização. De um ponto de vista prático, várias características dos compostos são frequentemente citadas como indicadoras da sua adequada maturação. O odor, deverá recordar o de um solo fresco (Gray *et al.*, 1973; Hoitink e Poole,

1980, Diaz *et al.*, 1982; Dick e McCoy, 1993; Hue e Liu, 1995); o pH, deverá situar-se entre 6,4 e 7,2 (Hoitink e Poole, 1980); a CE ser baixa, pelo que os adubos azotados não deveriam permanecer incorporados no composto durante o armazenamento, a humidade igual ou menor de 40%, para não ocorrer libertação de humidade e sua acumulação nos sacos e, haver uma redução da actividade microbiana.

Nalgumas situações, a utilização de compostos pode apresentar efeitos depressivos nas culturas (Chanyasak *et al.*, 1983a), por exemplo, pela influência da salinidade ou do elevado teor de azoto, que impeçam a manifestação de supressividade (Hoitink e Grebus, 1994).

Quando estabilizado, o composto poderá ser armazenado sem alteração significativa durante um ano ou mais (Hoitink e Poole, 1980).

Chen e Inbar (1993) propõem duas definições para composto maduro, conforme o tipo de utilização:

- i) Produto de tal modo estabilizado que não apresenta riscos de utilização em culturas envasadas, quando utilizado em estufa.
- ii) Produto estabilizado num grau que não reduz o crescimento de culturas quando aplicado a uma taxa anual de 50 t ha⁻¹, com a antecedência mínima de 6 meses, decorridos durante a época do ano em que a decomposição é climaticamente possível, quando aplicado ao solo.

Zucconi e Bertoldi (1987), propõem também, para fins agrícolas, a definição de vários tipos de produto, com diferentes níveis de maturação, por ordem crescente:

- i) Matéria orgânica fresca (a que não se pode chamar composto)
- ii) Composto fresco
- iii) Composto (sinónimo de composto estabilizado ou maduro)
- iv) Composto curtido (composto com elevado grau de maturidade)

Segundo estes autores, para a formulação de substratos, o material deverá ser do tipo ‘composto curtido’, já que o material do tipo ‘composto’, segundo as suas especificações, pode ainda induzir problemas de crescimento nas plantas.

2.2. Cultura em substratos

2.2.1. Aspectos gerais

A falta de solos de boa qualidade, o desenvolvimento de doenças do solo, de pragas e de infestantes e o decréscimo de produção devido à repetição de culturas estão entre os principais factores que conduziram ao desenvolvimento da cultura em substratos (Bunt, 1976; Raviv *et al.*, 1986; Hoitink e Fahy, 1986; Handreck e Black, 1991). A cultura em substratos permite obter maiores e melhores produções, maior facilidade de controlo sanitário, fertilização e rega e, assim, criar condições ideais de crescimento das plantas (Nordstedt *et al.*, 1993).

A produção de plantas em vaso apresenta aspectos particulares que a diferenciam da produção no solo. Por um lado, o vaso limita o volume de substrato disponível, bastante inferior ao volume disponível no solo (Rivière, 1980). Por outro, o controlo mais rigoroso das condições ambientais, e da rega e fertilização, permite que os estomas permaneçam abertos durante um maior período, provocando maior absorção de água pelas raízes (Hillel, 1982 e Harrison, 1989, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993; Raviv *et al.*, 1986). Estas condições podem levar ao rápido esgotamento da reserva de água (Bunt, 1976), obrigando a manter um nível elevado de água disponível para as plantas, por meio de uma rega frequente, habitualmente em excesso. Num contentor, ao contrário do solo, o substrato apresenta pouca espessura, constituindo as paredes e fundo do contentor uma descontinuidade do perfil. Após a rega e a drenagem, o teor de água no fundo é próximo da saturação (tensão de água praticamente igual a 0), diminuindo na direcção do topo. Restabelecido o equilíbrio, o valor da tensão de água, em qualquer ponto do vaso, expresso em altura de coluna de água, é praticamente igual à força gravitacional, correspondente à altura desde o ponto ao fundo do contentor, desprezando a absorção de água pelas raízes durante a redistribuição da água (da Silva, 1991 e Wallach *et al.*, 1992a, 1992b, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993). Como consequência, a rega muito frequente, pode levantar problemas de arejamento das raízes, afectando a sua actividade e crescimento (Poole *et al.*, 1981 e Waters, 1970, *cit. in* Raviv *et al.*, 1986). Os materiais utilizados como substratos são normalmente meios homogéneos e com elevada porosidade, o que facilita a manutenção do equilíbrio de tensão da água no meio, ao contrário de alguns solos em que a sua heterogeneidade e baixa porosidade tornam mais difícil de alcançar e manter aquele equilíbrio (Holley, 1967 *cit. in* Chen e Hadar, 1987), tornando a utilização de solo em vaso problemática (Inbar *et al.*, 1993).

A necessidade de obter plantas homogêneas obriga a utilizar na preparação dos substratos, materiais com características uniformes e reprodutíveis. Devem também ser isentos de infestantes, de agentes patogênicos e manifestar, se possível, supressividade para doenças do solo. Na elaboração de substratos procura combinar-se a enorme variedade de materiais orgânicos e inorgânicos disponível, de modo a obter um produto final com as características exigidas (Anstett, 1979; Wilson, 1983; Chen e Hadar, 1987).

Os substratos substituem o solo na cultura em vaso ou outro tipo de contentor (passa-se a empregar o termo vaso por ser de aplicação mais corrente). Tal como o solo, o substrato deverá servir de suporte, manter adequado teor de água utilizável pela planta e conter os elementos minerais que estas necessitam, podendo estes ser fornecidos através da água de rega ou pela incorporação de adubos. O sistema radical é limitado pelas paredes do vaso e pelo espaço poroso do material, o qual não se pode corrigir após a colocação em cultura. Esta é a razão pela qual muitos autores atribuem maior importância às características físicas que às características químicas na determinação do potencial de um material como substrato (Redlich e Verdure, s.d.; Verdonck, 1983; Raviv *et al.*, 1986; Sana e Soliva, 1987; Chen e Hadar, 1987; Handreck e Black, 1991). A evolução destas características no decurso da cultura é outro aspecto fundamental para a avaliação do material (Rivière, 1980). A disponibilidade de água e de ar depende fortemente do volume e da geometria do vaso, mas o teor de nutrientes disponíveis é condicionado por uma barreira fisiológica constituída pelo potencial osmótico máximo tolerado pela planta (Lemaire *et al.*, 1989). Devido às limitações impostas pelo reduzido volume do vaso, os níveis mínimos de ar, água e nutrientes são mais exigentes que para os solos (Raviv *et al.*, 1986; Spomer, 1974, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993).

Para Verdonck (1983), qualquer material, desde que respeitadas algumas exigências mínimas, pode ser utilizado para preparar substratos. A qualidade do substrato pretendido, depende da escolha entre os materiais disponíveis em cada região. É impossível definir um substrato óptimo. A eleição do melhor substrato varia com cada situação, pois depende de factores de ordem diversa, nomeadamente técnica e económica. Assim, vários substratos com propriedades diferentes podem ser vantajosamente utilizados para uma mesma cultura, desde que se adopte um sistema adequado de rega (Raviv *et al.*, 1986).

Evolução na utilização de substratos

A necessidade de utilizar outros materiais, que não o solo *in situ*, na produção de plantas, parece ter tido origem na necessidade de transferir plantas de um lado para outro, sobretudo árvores. Os Egípcios parece terem sido os primeiros a efectuar a transplantação de árvores com “torrão”. Na “Enciclopédia de jardinagem” publicada por Loudon em 1838, em Londres, o autor apresenta já diferentes materiais, como componentes na constituição de substratos, capazes de permitir a cultura de plantas em estufa (Raviv *et al.*, 1986). No final do séc. XIX em Versailhes praticava-se a cultura em substratos à base de turfa loira, manta morta (folhada e camada húmifera, Costa, 1979) e folhas de pinheiro (Watson, 1913, *cit. in* Bunt, 1976).

No final dos anos 20 Laurie em Ohio, EUA, desenvolveu os primeiros estudos com misturas de areia e turfa (Laurie, 1931, *cit. in* Bunt, 1976), que conheceram um novo desenvolvimento nos anos 50, através de Ansen e Wilding em Michigan e Baker na Universidade da Califórnia (Ansen e Wilding, 1953 e Baker, 1957, *cit. in* Bunt, 1976). Baker e colegas (1957, *cit. in* Bunt, 1976) desenvolveram as misturas UC. Estas consistem em 5 tipos de misturas à base de turfa e de areia, incluindo desde apenas areia a apenas turfa, às quais aplicaram 6 tipos diferentes de fertilização base, criando deste modo 30 misturas, das quais na prática apenas algumas são utilizadas. Posteriormente, na Universidade de Cornell, Boodley e Sheldrake (1972, *cit. in* Bunt, 1976), desenvolveram 4 tipos de substratos baseados em misturas á base de turfa e perlite ou vermiculite, conhecidas por “peat-lite mixes”. White, da Universidade da Pensilvânia (1974, *cit. in* Bunt, 1976), desenvolveu 2 misturas baseadas apenas em turfa de *sphagnum*.

Na Europa, durante os anos 30, Lawrence e Newell (1939, *cit. in* Bunt, 1976) na John Innes Horticultural Institution (Reino Unido), desenvolveram os conhecidos substratos John Innes, baseados em solo esterilizado, turfa e areia. Foi o primeiro passo para a formulação científica de substratos, utilizando materiais relativamente normalizados e em proporções bem determinadas, ao contrário da prática corrente até então. O desenvolvimento da produção de plantas ornamentais na Europa Ocidental, após o final da II Guerra Mundial, levou ao estudo de substratos alternativos, devido à redução na disponibilidade dos materiais até então tradicionalmente utilizados: turfa loira, folhada e camada húmifera (Bunt, 1976; De Boodt e de Waele, 1968). Fruhstorfer em 1952, na Alemanha, desenvolveu o sistema de cultura em mistura de grânulos de argila e turfa criando o substrato “Einheitserde” (Fruhstorfer, 1952, *cit. in* Bunt, 1976). Em vários países foram desenvolvidas misturas próprias, algumas constituindo ainda hoje referências importantes. Penningsfield em 1962 na Alemanha (Penningsfield, 1962, *cit. in* Bunt,

1976) e Puustjarvi em 1969 na Finlândia (Puustjarvi, 1973, *cit. in* Bunt, 1976), desenvolveram sistemas de cultura em turfa. Na Holanda foi desenvolvida a mistura RHPA, na Aalsmeer Research Station for Floriculture (Regeling Handelspotgrand Proefstation Aalsmeer), composta por diferentes turfas e uma pequena parte de areia (Bik, 1973, *cit. in* Bunt, 1976) e no Reino Unido, as misturas GCRI, no Glasshouse Crop Research Institute, à base de turfa e areia em partes variáveis consoante a finalidade (Bunt, 1976). O interesse crescente por materiais alternativos à turfa para a formulação de substratos, como serraduras e cascas de árvores, levou entre outras, ao desenvolvimento de 3 tipos de misturas de serradura e areia por Johnson (1968, *cit. in* Bunt, 1976) e de casca de folhosas e areia por Gartner (1973, *cit. in* Bunt, 1976).

Actualmente os substratos não incluem solo na sua composição, o que se deve basicamente aos custos de esterilização, à elevada densidade aparente e à dificuldade de obtenção de solos de boa qualidade e homogeneidade. Verifica-se, também, que a presença de solo nas misturas apresenta o inconveniente de poder contribuir para uma mais rápida decomposição dos outros componentes, como as serraduras ou as cascas (Maas e Adamson, 1972). Os materiais hoje disponíveis possibilitam a preparação de misturas com características constantes, isentos de doenças e infestantes, de baixa densidade aparente e que permitem um rápido crescimento (Wilson, 1983; Nordstedt *et al.*, 1993).

Os substratos podem classificar-se quanto aos materiais constituintes, em dois grupos principais: substratos minerais e substratos orgânicos. Nos substratos minerais encontra-se a lã de rocha, os materiais vulcânicos, a perlite, a vermiculite, a argila expandida e a areia, além de outros. Com algumas excepções, apresentam baixo nível de actividade química, de poder tampão e de capacidade de retenção de água e de nutrientes, pelo que os regimes de rega e fertilização necessitam ser bastante precisos. Podem ser isentos de doenças, mas permitem uma fácil colonização quando infectados. Os substratos orgânicos são constituídos principalmente pela turfa e por compostos de alta qualidade. Os substratos orgânicos apresentam elevado poder tampão, boas relações ar - água, contêm substâncias húmicas que elevam a CTC e disponibilizam nutrientes e, quando incluem compostos, estes sustentam uma elevada actividade microbiana com efeitos supressivos para doenças de solo (Nordstedt *et al.*, 1993).

2.2.2. Características mais relevantes dos substratos

A maioria das plantas pode sobreviver em praticamente qualquer meio, desde que aí consigam fazer penetrar as raízes. Contudo, como o objectivo cultural não é a sobrevivência,

mas a optimização do seu desenvolvimento, há que garantir que o substrato apresente um conjunto de características favoráveis (Raviv *et al.*, 1986). O potencial de utilização de um substrato depende nomeadamente da espécie, do objectivo de utilização, das condições climáticas, do tipo e regime de rega e do tamanho e forma do contentor (Inbar *et al.*, 1993). A falta de qualidade agronómica de alguns materiais e a necessidade de caracterizar estes produtos, tanto com o fim de facilitar o seu comércio, como o de proteger os consumidores, levou à criação de normas em vários países (Waller e Wilson, 1983; Gunther, 1983). Contudo, para alguns autores, muita da informação fornecida apresenta reduzida influência no comportamento dos produtos em cultura (Waller e Wilson, 1983).

Passa-se a seguir a analisar cada uma das características, que permitem definir um material destinado à formulação de substratos.

Densidade real e densidade aparente

A densidade real da matéria orgânica varia de 1,4 a 2 g cm⁻³ e utiliza-se no cálculo da porosidade, conjuntamente com a densidade aparente. A densidade aparente dos substratos orgânicos varia normalmente entre 0,05 e 0,30 g cm⁻³ (Raviv *et al.*, 1986).

Embora não afecte necessariamente o comportamento em cultura, a determinação exacta da densidade aparente, apresenta o maior interesse para o cálculo e interpretação de outras variáveis que são expressas relativamente ao volume (Waller e Wilson, 1983).

Do ponto de vista da utilização dos substratos, a densidade aparente afecta a facilidade de transporte dos contentores e o poder de fixação das raízes (Raviv *et al.*, 1986). É indicado o valor de 0,3 a 0,6 g cm⁻³, como adequado para que o substrato seja suficientemente leve, mas capaz de evitar que os vasos com as plantas tombem com facilidade (Handreck e Black, 1991). Outros autores sugerem 0,15 g cm⁻³, em situações sem problema de vento e, ao ar livre, de 0,50 a 0,75 (Poole *et al.*, 1981 e White, 1974, *cit. in* Raviv *et al.*, 1986).

Granulometria

A determinação da distribuição granulométrica das partículas é um aspecto importantíssimo da caracterização dos substratos (Handreck e Black, 1991), dado que afecta as relações ar - água no meio, embora as relações ar - água se possam determinar mais seguramente por outros métodos (Waller e Wilson, 1983). O tamanho das partículas correlaciona-se com o tamanho dos poros, embora esta relação seja difícil de quantificar (Raviv *et al.*, 1986).

De acordo com o tamanho das partículas constituintes, podem classificar-se os substratos orgânicos em finos, médios e grosseiros, variando os limites de país para país. De um modo geral os substratos finos são indicados para viveiros e os médios e grosseiros para enraizamento e cultura em vaso (Raviv *et al.*, 1986).

Na formulação de misturas à base de compostos, o teor de turfa ou outro material utilizado para melhorar as características físicas da mistura depende da granulometria do material de base (Hoitink e Poole, 1980).

A determinação da distribuição granulométrica efectua-se por crivagem ou por sedimentação (Raviv *et al.*, 1986).

Porosidade

O volume total de espaços que podem ser ocupados por ar e, ou, água é normalmente muito elevado em relação aos solos, alcançando com frequência no caso de turfas 80 a 90% ou mais (Rivière, 1980).

O conhecimento da porosidade apresenta um interesse relativo, já que a um mesmo espaço poroso total (EPT) podem corresponder volumes muito diferentes de ar e água (Waller e Wilson, 1983; Raviv *et al.*, 1986). Daí, reconhecer-se a importância de uma composição granulométrica que proporcione uma adequada repartição ar - água (De Boodt e Verdonck, 1972; Milks *et al.*, 1989; Jenkins e Jarrel, 1989, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993; Martinez *et al.*, 1991; Fonteno, 1992). Quanto maiores as partículas, maior o teor de ar e menor o de água, a uma determinada tensão (Raviv *et al.*, 1986). Em turfa de *sphagnum*, o teor mínimo de ar deverá ser de 15% (v/v), o que à tensão de 10 cm de coluna de água, corresponde a partículas de cerca de 1 mm, tamanho considerado como limite de separação entre partículas finas e partículas grossas (Puustjarvi, 1974, 1977, *cit. in* Raviv *et al.*, 1986).

O tamanho dos poros pode ser calculado a partir do potencial matricial, admitindo-se o diâmetro de 30 μm , equivalente a uma tensão de 100 cm de coluna de água, como a fronteira entre poros não capilares ou macroporos e poros capilares ou microporos (Puustjarvi, 1977, *cit. in* Raviv *et al.*, 1986). A distribuição do espaço poroso é determinante na relação do teor de ar e de água presentes no meio. O melhor substrato será um material com textura grosseira a média, com uma distribuição de poros entre 30 e 300 μm (equivalente a uma gama de partículas entre 0,25 e 2,5 mm), para permitir adequado fornecimento de água e suficiente arejamento (Puustjarvi, 1982, *cit. in* Raviv *et al.*, 1986). As discrepâncias verificadas na bibliografia podem-se atribuir aos

diferentes métodos empregues na determinação da porosidade e a propriedades dos diferentes materiais que afectam a resposta das culturas experimentadas (Raviv *et al.*, 1986).

Substratos com grande percentagem de partículas finas podem apresentar problemas de arejamento e reter grandes quantidades de água a tensões elevadas, embora esta esteja pouco disponível. Partículas finas são menos resistente à decomposição mas apresentam maior superfície específica e capacidade de troca catiónica (Raviv *et al.*, 1986), recomendando-se um tamanho mínimo de 0,5 a 1,0 mm, de modo a garantir substratos estáveis e arejados.

A porosidade pode-se determinar a partir da curva de retenção de água. Quando esta é determinada pelo método de De Boodt *et al.* (1974), a porosidade deverá ser de 85%, segundo os autores.

Relações ar - água

O conhecimento das relações ar - água, permite compreender e prever o comportamento hídrico dos substratos (Martinez e Cañameras, 1983). Substratos com grandes diferenças de características hidráulicas podem ser usados para uma mesma cultura, adequando o sistema de rega. No entanto, esta adaptação implica o conhecimento não só da fisiologia da planta, mas também das características físicas do meio, entre as quais as propriedades hidráulicas são muito importantes (Inbar *et al.*, 1993).

Os métodos para determinação das relações ar - água, baseiam-se na determinação da capacidade em contentor (CC), na determinação da capacidade de retenção de água (através da curva de retenção de água) ou na determinação da condutividade hidráulica (Rivière, 1980; Inbar *et al.*, 1993).

O conceito de CC foi introduzido como tentativa para quantificar a capacidade de retenção de água por um meio (White e Mastalertz, 1966, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993) e consiste no teor de água que permanece no substrato após saturação e drenagem e antes do início da evaporação. Há dificuldades na optimização da relação entre a capacidade em contentor e a curva de retenção, para um dado material, verificando-se que a CC não depende só do meio, mas também da geometria do contentor (Bilderback e Fonteno, 1987). A determinação da CC depende por isso, do tipo de vaso e da natureza do material, permitindo apenas a comparação de materiais entre si, o que pode no entanto ser um bom auxiliar na condução da rega em determinado tipo de vasos.

A capacidade de retenção de água é caracterizada pela curva de retenção de água, característica estática do material. Para a determinação da curva de retenção de água, são

originadas tensões determinadas, por meio de uma coluna de água de altura regulável, normalmente até 100 cm de coluna de água (≈ 10 kP), limite a partir do qual se admite poderem as plantas cultivadas em substratos, começar a sofrer restrição de crescimento (De Boodt e de Waele, 1968; Raviv *et al.*, 1986; Handreck e Black, 1991). Relacionando a tensão aplicada e a quantidade de água extraída, obtêm-se a denominada curva de libertação de água, a qual descreve a evolução dos teores de ar e de água com a variação da tensão aplicada.

A aplicação deste princípio pode seguir vários métodos. Segundo o método de De Boodt *et al.* (1974) os valores característicos obtidos são os seguintes:

- Capacidade de arejamento (CA): é a diferença em percentagem de volume, entre o espaço poroso total e o teor de água à tensão de 10 cm de coluna de água. Deverá estar compreendida entre 20 a 30 % (De Boodt e Verdonck, 1972), ou de um modo mais geral, entre 10 e 45%, conforme a utilização, tipo de planta, de contentor e de substrato (Raviv *et al.*, 1986). Esta característica afecta a taxa de infiltração, a qual é normalmente suficiente quando a capacidade de ar é superior a 15% (Handreck e Black, 1991).
- Água facilmente utilizável (AFU): é a percentagem de volume de água libertada pelo substrato quando a tensão aplicada aumenta de 10 para 50 cm. Deve situar-se entre 20 e 30% (de Boodt e Verdonck, 1972) ou como mínimo, cerca de 20% (Handreck e Black, 1991).
- Água de reserva (AR): é a percentagem de volume de água libertada pelo substrato quando a tensão aplicada aumenta de 50 para 100 cm. Deve situar-se entre 4 e 10% (De Boodt e Verdonck, 1972).

Podemos ainda considerar outra variável, a água dificilmente utilizável (ADU), que é a percentagem de volume de água retida a uma tensão superior a 100 cm, que como a designação sugere, está pouco disponível para utilização pelas plantas.

Se estes pontos característicos forem medidos a uma tensão de 31,6 cm de coluna de água, o espaço poroso total deve ser superior a 85%, o teor em ar superior a 25% e o teor em água superior a 45%, expressos em volume (Bik, 1983 e Boertje, 1984, *cit. in* Bunt, 1976).

Outros autores definem outros pontos característicos. Assim, o teor de água contida em condições de saturação é identificado como a porosidade total, embora devido ao ar que pode ficar retido, este valor corresponda apenas a 80 a 90% da porosidade total real (Klute, 1986 e da Silva, 1991, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993).

Devido aos teores de água e de ar dependerem da geometria do contentor, foi proposta uma aproximação combinando estes aspectos. Foi estimada a CC e a CA no intervalo de tensão de

0 a 300 cm de coluna de água e foi aplicada a curva de retenção de água à geometria do contentor (Fonteno e Bilderback, 1983 e Karlovitch e Fonteno, 1986, *cit. in Inbar et al.*, 1993). Bilderback e Fonteno (1987) demonstram que a combinação de uma equação de ajuste da curva de retenção de água, com uma expressão matemática simples da geometria do contentor, descreve melhor o conceito de CC, que a definição originalmente proposta. Em alternativa, a CC pode ser também calculada, integrando a função da curva de retenção ao longo da altura do contentor.

A condutividade hidráulica, saturada e não saturada, mede o fluxo de água por unidade de gradiente, sendo por isso uma característica dinâmica. Para evitar o stress hídrico, o fluxo de água para as raízes deve exceder o da transpiração. O fluxo de água é determinado pelo potencial de gradiente e pela condutividade hidráulica, a qual é função do teor de água no meio, decrescendo acentuadamente com o decréscimo do teor de água. As reduções mais drásticas no teor de água e na condutividade hidráulica não saturada, ocorrem entre 0 e 25 cm de tensão, zona também mais importante para a rega. Isto deve-se a que os primeiros poros a secar são os mais largos, mais eficazes na condução da água e, ao aumento da tortuosidade dos canais de circulação de água (Bear, 1972, *cit. in Inbar et al.*, 1993). O conhecimento das propriedades hidráulicas do meio é, por conseguinte, fundamental para a optimização do sistema de rega, podendo calcular-se a condutividade hidráulica não saturada a partir da condutividade hidráulica saturada e da curva de retenção (Wallach *et al.*, 1992 a, 1992b, *cit. in Inbar et al.*, 1993).

A caracterização física dos substratos deve basear-se nas propriedades estáticas e dinâmicas do meio, já que, por exemplo, a presença de elevada quantidade de água no meio em equilíbrio hidrostático não significa que esteja disponível para a planta. Ao aumentar a tensão de água, há uma forte redução da condutividade hidráulica originando pequeno fluxo de água (Inbar *et al.*, 1993), que se pode tornar limitante em condições exigentes de evapotranspiração.

Os métodos de determinação das relações ar - água, ao utilizarem valores de tensão determinados, permitem uma melhor reprodutibilidade dos resultados e a sua padronização e simultaneamente a determinação dos níveis de humidade máxima e mínima a que se deverá manter o substrato, referências determinantes na condução da rega (Rivière, 1980).

Normalmente, o volume de água retido pelo substrato e a sua disponibilidade, são os factores limitantes mais importantes em cultura (Waller e Wilson, 1983).

Propriedades mecânicas

Os materiais apresentam níveis diferentes de sensibilidade à compactação. A compactação origina a diminuição da porosidade e o aumento da retenção de água. Pode ser causada por uma fraca resistência mecânica, acompanhada de pequena elasticidade do material, ou ser devida a uma perda de humidade do material.

A granulometria e a compactação dos materiais alteram as características do raizame, nomeadamente a sua ramificação e espessura (Lemaire, 1989a, *cit. in* Lemaire *et al.*, 1989).

Capacidade de rehumedecimento

Após uma secagem excessiva os materiais orgânicos podem apresentar dificuldade em absorver de novo humidade, criando-se zonas preferenciais de circulação de água e mantendo-se partes do material secas. Este problema pode manifestar-se na altura da instalação da cultura, quando o material se apresenta muito seco ao envasar ou, no decurso da cultura, devido a rega muito espaçada (Rivière, 1980). Para cada material, o grau de rehumectação é variável com a intensidade da secagem anterior e com o número de ciclos de secagem - humedecimento. O conhecimento deste comportamento permite fazer uma avaliação dos diferentes materiais e fornece elementos tanto para a melhoria da capacidade de rehumedecimento, como para a condução da rega (Redlich e Verdure, s.d.). Interessam materiais fáceis de molhar e sem necessidade de recorrer a agitação para o conseguir. Pode-se tornar necessário incorporar um agente molhante (Handreck e Black, 1991; Rivière, 1995).

Estabilidade biológica

Os materiais orgânicos utilizados na formulação de substratos, devem ser capazes de resistir à degradação biológica, pelo menos durante o período em que se prevê a sua permanência no vaso (Handreck e Black, 1991; Rivière, 1980). Caso contrário podem dar-se mudanças apreciáveis das suas propriedades físicas que podem comprometer a cultura. Pode também ocorrer um aumento do teor de sais (Raviv *et al.*, 1986) ou, a indisponibilidade do azoto e a toxicidade pelo amoníaco, em situações de relação C/N demasiado alta ou baixa, respectivamente. A falta de estabilização pode ainda originar deficiência de oxigénio no meio ou problemas indirectos de toxicidade nas raízes (Inbar *et al.*, 1993).

Doenças provocadas por *Rizoctonia solani* e *Pythium* spp., são controladas em materiais estabilizados e mesmo ainda sem um processo completo de estabilização. Por outro lado, o nível de estabilização aumenta o grau de eficácia de populações de hiperparasitas, como *Trichoderma harzanium* 738 (Hoitink *et al.*, 1993).

A estabilidade biológica pode ser avaliada através de variáveis como o grau de decomposição. Inicialmente a determinação do grau de decomposição foi uma técnica para análise de turfas. Indica a relação entre matéria orgânica resistente à hidrólise e a matéria orgânica total. Durante a compostagem este valor aumenta, já que vai aumentando a quantidade relativa de produtos resistentes à hidrólise. Outras variáveis sugeridas para a avaliação da estabilidade biológica dos materiais orgânicos são nomeadamente, o consumo de oxigénio, a relação C/N em meio sólido ou em extracto aquoso, a CTC, a actividade microbiana, a composição do húmus, a composição iónica de extractos aquosos e os testes de crescimento de plantas.

Microflora

Se possível, deverão estar ausentes microrganismos patogéneos e presentes microrganismos benéficos, relacionados com a supressão de doenças e a promoção de crescimento das plantas (Handreck e Black, 1991).

Maneabilidade

Quando exista equipamento mecânico de envasamento, sementeira ou outro, os materiais devem fluir facilmente neste equipamento (Handreck e Black, 1991).

pH

O pH é determinante pela sua influência na disponibilidade dos nutrientes, na CTC e na actividade biológica, aconselhando-se em cultura intensiva, a sua manutenção num intervalo estreito de variação (Raviv *et al.*, 1986).

Em solos orgânicos (solos com mais de 50% de matéria orgânica) observou-se que 12 elementos essenciais às plantas apresentavam o seu óptimo de disponibilidade no intervalo de pH entre 5,0 e 5,8. Acima deste valor de pH reduz-se a disponibilidade de fósforo, manganês, boro e zinco. Em solos muito ácidos, originam-se deficiências de potássio, cálcio, azoto, cobre e molibdénio. Este comportamento foi também observado num substrato constituído por turfa de *sphagnum*, casca de pinheiro compostada, perlite, vermiculite e areia (Lucas e Davis, 1961 e

Peterson, 1981, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993). A interpretação dos valores de pH pode-se tornar difícil, pelas variações que apresenta devidas ao tipo de extractante empregue (Bunt, 1976), à relação de extractante e da quantidade de material e ao tempo até se alcançar o equilíbrio (Atkins, 1982, *cit. in* Waller e Wilson, 1983). Além disso, os intervalos óptimos de disponibilidade dos micronutrientes são variáveis com a natureza do material (Waller e Wilson, 1983).

A influência do pH exerce-se também a nível dos microrganismos do solo, podendo apresentar alguma importância directa ou indirecta no aumento da resistência das plantas a organismos patogêneos (Handreck e Black, 1991).

Uma das acções das substâncias húmicas é no aumento do poder tampão, num largo intervalo de pH, aspecto importante quando se requer um pH estável. Por isso, o poder tampão é mais elevado nos substratos orgânicos como a turfa, manta morta e outros (Raviv *et al.*, 1986).

A diminuição do pH dos substratos pode-se efectuar com turfa ácida ou enxofre. Para elevar o pH, pode-se recorrer ao calcário, de granulometria adequada e de preferência dolomítico (Inbar *et al.*, 1993), de acordo com o valor inicial de pH e a CTC do material (Raviv *et al.*, 1986).

Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC) é uma variável interessante, por indicar a potencialidade de retenção de nutrientes, impedindo a sua lixiviação, a capacidade de imobilizar substâncias tóxicas e de, simultaneamente servir como indicador do grau de estabilização da matéria orgânica de um composto.

A matéria orgânica, nomeadamente as substâncias húmicas, contêm grupos carboxílicos e fenólicos, com grande poder de troca catiónica. Assim, em substratos orgânicos, a CTC depende fortemente do teor de substâncias húmicas, que são função do grau de maturação da matéria orgânica presente. A dissociação dos ácidos orgânicos fracos depende do pH, aumentando a CTC com a subida do pH (Helling *et al.*, 1964, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993; Raviv *et al.*, 1986). Observam-se diferenças de resultados em função dos métodos de determinação do pH e da CTC, pelo que é proposto que as determinações se realizem a pH 7 e, expressando-se os resultados de preferência em relação ao volume (Waller e Wilson, 1983; Raviv *et al.*, 1986; Inbar *et al.*, 1993).

As plantas desenvolvem-se satisfatoriamente num largo intervalo de CTC. Contudo, o controlo da fertilização é facilitado por valores mais elevados, sendo 50 a 100 meq L⁻¹ um valor considerado adequado (Inbar *et al.*, 1993; Handreck e Black, 1991). Um valor mais elevado de CTC regulariza o fornecimento de catiões à planta e aumenta as suas disponibilidades. Torna-se

menos importante um valor elevado de CTC, quando se utilizam adubos de libertação lenta ou fertirrega constante (Handreck e Black, 1991).

Poder tampão

A capacidade de um substrato resistir a alterações do pH é uma característica favorável, já que diminui a variação das concentrações de H^+ e OH^- e da disponibilidade de nutrientes.

Na prática, o poder tampão pode obter-se pela incorporação de composto maduro ou de turfa decomposta no substrato. O poder tampão está correlacionado com a capacidade de troca catiónica e o teor de matéria orgânica. Embora não se possa definir um valor predeterminado a atingir, quanto mais elevado for, menor será o risco de alterações desfavoráveis do pH (Handreck e Black, 1991; Inbar *et al.*, 1993).

Condutividade eléctrica

O conhecimento da condutividade eléctrica (EC) é por vezes erradamente assumido como indicador do nível de fertilizantes no meio, ao assumir-se que os principais nutrientes são sais facilmente solúveis e que a presença de iões como Na^+ e Cl^- é reduzida.

Quando medida em extracto aquoso 1:1,5 (v/v), deve ser no máximo de 2 dS m^{-1} ao envasar (Handreck e Black, 1991).

A EC provocada por excesso de sais, pode ser corrigida por meio de lavagem, quando a utilização assim o exigir (Inbar *et al.*, 1993).

Teor em nutrientes

A aplicação de nutrientes ao substrato é essencial, caso contrário o crescimento das plantas será restringido (Berg *et al.*, 1987; Borisov e Kirilov, 1988; Marchesi e Cattivelli, 1988), podendo o excesso originar o mesmo efeito (Tosi e Tesi, 1987; Dufault, 1987).

O conhecimento do teor total de nutrientes não é o meio adequado para avaliar as potencialidades do material. Deve antes, determinar-se a concentração de nutrientes extraíveis, exprimindo-a numa relação volumétrica e não em peso. Além do teor em nutrientes da mistura final, importa saber a sua origem, uma vez que os resultados culturais podem ser muito diferentes (Waller e Wilson, 1983).

Com frequência, os constituintes das misturas apenas fornecem pequenas quantidades de nutrientes, como em compostos de cascas e serraduras, podendo chegar a induzir carência de

azoto se não se fornecer este nutriente (Handreck e Black, 1991; Inbar *et al.*, 1993). Contudo, podem ser suficientes, como no caso de alguns micronutrientes em compostos de certas cascas ou serraduras ou, de macronutrientes como o potássio em BU e CP (Handreck e Black, 1991). Noutros casos, como em substratos com compostos de LETAR, RSU, estrumes, folhas e aparas de relva, pode ocorrer a presença de grande quantidade de macronutrientes, que inclusivamente podem originar problemas de salinidade.

Os iões mais frequentemente incluídos pela aplicação de compostos, são os seguintes: NO_3^- , HPO_4^- , H_2PO_4^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . A libertação lenta de iões pelo composto pode levar meses (Chen *et al.*, 1988, Gottesman, 1989, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993). A presença de elevados níveis de micronutrientes pode proporcionar a formação de quelatos com substâncias húmicas, podendo ficar disponíveis para as plantas (Inbar *et al.*, 1993).

Substâncias químicas libertadas durante a decomposição da matéria orgânica e, as substâncias húmicas, têm a capacidade de transformar alguns catiões da fase sólida em complexos metálicos solúveis que ficam disponíveis para as plantas. Substâncias insolúveis de elevado peso molecular, como as lenhinas, retêm catiões como o cádmio e o níquel, reduzindo a sua toxicidade (Raviv *et al.*, 1986).

Quando os materiais retêm uns nutrientes e libertem outros pode-se tornar necessário a lavagem do material antes ou durante a cultura (Raviv *et al.*, 1986).

O nível de nutrientes deve ser equilibrado, de acordo com as propriedades do substrato, nomeadamente a CTC e as condições e desenvolvimento desejado (Handreck e Black, 1991), otimizando-se o crescimento pelo recurso à fertirrega (Inbar *et al.*, 1993) e ou, aplicação de fertilizantes de libertação controlada.

Relação carbon /azoto

A relação carbono/azoto (C/N) é utilizada como indicador da origem, maturação e estabilidade da matéria orgânica. Considera-se desejável um valor inferior a 20. Os problemas resultantes do emprego de materiais insuficientemente estabilizados, decorrem da utilização do azoto e consumo de oxigénio por parte dos microrganismos presentes nestas condições.

No entanto, a definição de níveis precisos para a relação C/N é difícil, devido a que algum do carbono existente pode entrar na composição de lenhina ou outros compostos resistentes à decomposição. Algum do azoto pode também não ficar disponível durante a compostagem, podendo ocorrer a fixação deste elemento, sobretudo na presença de compostos fosfatados (Gray

et al., 1971). Na compostagem de cascas de árvores o valor da relação C/N pode decrescer apenas para 30 a 40 (Verdonck, 1983).

Matéria orgânica

A matéria orgânica, através das substâncias húmicas, exerce um papel muito importante no comportamento do substrato em cultura. A utilização em misturas, de compostos ricos em substâncias húmicas, resulta frequentemente no aumento da produção, provavelmente pela presença daquelas substâncias (Raviv *et al.*, 1986; Chen, 1988, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993). A presença de substâncias húmicas em soluções nutritivas, estimulou tanto o crescimento da parte aérea como radical (Chen e Aviad, 1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993).

Os benefícios atribuídos às substâncias húmicas são uma maior taxa de germinação, estímulo à iniciação de raízes, maior rapidez na absorção radical, maior alongamento celular e mobilização de micronutrientes (Chen e Aviad, 1990, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993).

Outras propriedades químicas

Há o risco de aparecimento de substâncias tóxicas ao utilizar, por exemplo, compostos de resíduos contaminados por herbicidas ou outros produtos químicos, embora sejam problemas pouco comuns (Handreck e Black, 1991).

As toxinas de origem natural podem ser eliminadas por lavagem.

A principal fitotoxina inorgânica é o manganês, que pode existir em quantidades elevadas em cascas (Solbraa e Selmer-Olsen, 1980, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993). Compostos de LETAR e eventualmente de RSU, podem apresentar níveis muito elevados de metais pesados, nomeadamente níquel, zinco, crómio, cádmio e chumbo, a que há que atender para evitar riscos de entrada na cadeia alimentar ou de ingestão acidental do composto.

2.2.3. Operações culturais

Mistura

É uma operação realizada com o objectivo de melhorar as condições gerais do meio. Um substrato mineral poderá beneficiar da mistura com um material orgânico, por exemplo, a nível da melhoria das suas relações ar - água e do poder tampão (Inbar *et al.*, 1993).

Os compostos são normalmente utilizados em misturas, por ser mais simples deste modo conseguir as características físicas pretendidas. Como elementos mais comuns na preparação de misturas destacam-se a areia (Maas e Adamson, 1972), hoje em desuso e, a perlite, a vermiculite e a turfa, entre outros.

A mistura pode-se efectuar por lotes ou em contínuo, oferecendo o primeiro processo maiores garantias de homogeneidade e sendo o segundo mais produtivo (Bunt, 1976). Pode-se realizar com diferente equipamento, sendo o mais indicado os misturadores de correia transportadora (Handreck e Black, 1991). Para elaborar as misturas há que conhecer as propriedades dos constituintes e o modo como estas evoluem ao efectuar-se a mistura (Rivière, 1980).

Um manuseamento excessivo do composto pode quebrar as partículas, expondo novas superfícies, o que pode provocar mais decomposição e carência de azoto durante a utilização (Hoitink *et al.*, 1978, *cit. in* Hoitink e Poole, 1980).

Desinfecção

Normalmente os materiais empregues na formulação de substratos sem solo não requerem prévia esterilização. Caso tal se julgue necessário ou, se se utilizar solo na mistura, esta deverá ser executada de preferência por esterilização com vapor (Bunt, 1976).

Rega e fertilização

A humidade óptima do substrato varia com a espécie em causa e com a temperatura que se pretende manter.

O limitado volume dos vasos reduz a quantidade de água que o substrato consegue armazenar, podendo em condições de elevada radiação e temperatura causar stress hídrico nas plantas (Bunt, 1976; Armitage *et al.*, 1983, *cit. in* Martinez e Cañameras, 1983). Este risco está associado à retenção/libertação de água pelos substratos e à frequência de rega (Martinez e Cañameras, 1983). O baixo teor de água disponível pode ser devido a (i) baixa porosidade total, (ii) a poros largos perdendo-se a água por gravidade, (iii) a poros muito pequenos, não conseguindo as plantas extrair a água antes de murcharem (iv) ou à combinação destas condições (Bunt, 1976). A fim de evitar acidentes devido à falta de água, a rega é efectuada a baixos valores de sucção, de 12 a 30 cm, de acordo com a cultura e o substrato (Richards *et al.*, 1964, Chen *et al.*, 1980, Havies, 1980, Karlivitch e Fonteno, 1986, *cit. in* Inbar *et al.*, 1993).

Mesmo substratos com baixa AFU podem produzir resultados satisfatórios ajustando o regime de rega, para o que se deve atender aos níveis de irradiância e às características físicas do material (Logan *et al.*, 1984; Martinez e Cañameras, 1983; Waller e Wilson, 1983).

Na cultura em substratos, pode-se fornecer a água de 5 modos principais: por mangueira com ralo, por mini-aspersores, por gotejadores, por capilaridade e por inundação.

O primeiro método é completamente manual, dependendo da perícia do operador o grau de eficácia da utilização da água, o qual pode contudo ser elevado.

Os mini-aspersores, de utilização prática, empregam-se quando não há problemas em molhar as folhas. Permitem automatização. A homogeneidade de aplicação de água aos vasos é relativamente baixa, tal como a eficiência de utilização da água, não chegando ao substrato cerca de 2/3 da água aplicada (Handreck e Black, 1991).

O sistema de rega gota-a-gota não molha a folhagem, permite um bom controlo do teor de água do meio, possibilitando a manutenção de teor de humidade mais uniforme e otimizado em função das condições de cultura. Cada planta recebe exactamente a mesma quantidade de água e nutrientes e a água é melhor aproveitada. Nalguns materiais, sobretudo se deixados secar demasiado, podem criar-se canais preferenciais de drenagem a partir da zona de queda das gotas de água, ficando parte do substrato demasiado seco. Este problema pode-se evitar utilizando misturas adequadas de componentes, gotejadores especiais ou, aumentando o número de gotejadores por vaso. Também permite a automatização. É um sistema mais caro que o anterior, mais indicado para a rega de vasos grandes, com largos compassos.

A água pode ser fornecida por capilaridade, em camas de areia ou camas cobertas por tecido absorvente, mantidas húmidas pela aplicação de água através da manutenção de um nível freático constante ou de rega. Como a água é absorvida por capilaridade, consegue-se manter um nível de humidade mais uniforme e a uma tensão média de 10 a 12 cm de coluna de água, não ocasionando stress hídrico significativo. Contudo, podem ocorrer flutuações no teor de humidade do substrato, quando em condições mais exigentes, não se consiga garantir um fluxo suficiente de água da cama ao vaso (Bunt, 1976). A rega por capilaridade evita um teor de água no substrato demasiado elevado e conseqüente redução do arejamento, mantendo-se a relação ar - água no meio praticamente constante. Cada planta recebe a água que necessita, independentemente do seu tamanho, forma e tamanho do vaso e espaçamento. A lixiviação é muito reduzida ou nula, permitindo reduzir o consumo de adubos. A pressão necessária é baixa e não se interrompe o trabalho durante a rega.

A aplicação da rega por capilaridade levanta alguns problemas. Não permite a aplicação de stress hídrico às plantas, como técnica cultural para favorecer o estado reprodutivo; provoca a acumulação de sais no substrato, ao não permitir a sua lexiviação, o aspecto mais grave; por último, se o fluxo ascensional de água para o substrato do vaso não for suficiente, as raízes podem passar a desenvolver-se na cama, o que é manifestamente inconveniente. Também permite a automatização.

O sistema de rega por inundação consiste em fornecer água ou uma solução nutritiva através da submersão parcial temporária ou permanente. Na submersão parcial temporária, 'ebb and flow', os vasos com as plantas são colocados em bancada adequada e submergidos até cerca 1/2 ou 1/3 da sua altura, que posteriormente se deixa drenar para um depósito até nova rega. Em alternativa, na submersão parcial permanente, cria-se uma camada de água mais fina, com cerca de 1 cm, circulando entre os extremos desnivelados da bancada. O fornecimento de água às plantas é também muito homogéneo. A lexiviação de nutrientes é relativamente reduzida e, como a entrada de água se faz pela base do vaso existem condições para a acumulação de sais na zona superior do substrato. Pode efectuar-se a reciclagem da solução nutritiva, havendo nesta situação uma grande economia de água e de adubos. É também fácil a automatização. Os custos de instalação podem ser elevados pois são necessárias bancadas estanques e é necessário prever a recirculação da água, caso se pretenda a reciclagem da solução nutritiva

Em condições de elevada radiação, podem ocorrer temperaturas demasiado elevadas nos substratos, o que é acentuado se os materiais possuem baixa inércia térmica. A baixa inércia térmica, pode resultar do baixo teor de humidade dos substratos, o que se pode atenuar aumentando a frequência de rega (Martinez e Cañameras, 1983)

Tipo de contentor

O volume e a geometria do contentor afectam a disponibilidade de água e de nutrientes (Waller e Wilson, 1983; Handreck e Black, 1991), dado que influem na reserva de água disponível e na sua facilidade de utilização.

A resistência e a geometria interna da parede do contentor condicionam o desenvolvimento radicular, influenciando fortemente o crescimento das plantas após a transplantação (Whitcomb, 1984; Lemaire *et al.*, 1989). A cor influencia o aquecimento do substrato, com reflexos importantes na produção (Whitcomb, 1984), sendo preferíveis vasos de cor clara ou de cor escura em função das condições.

2.2.4. Utilização de substratos alternativos ou complementares

Desde os anos 20, que têm vindo a ser utilizados na cultura de plantas envasadas, substratos à base de turfa, em mistura com areia ou outro material relativamente inerte. A utilização de turfa apresenta alguns problemas nomeadamente, o seu preço elevado, tanto de extracção como de transporte (Chen e Hadar, 1987; Abad *et al.*, 1993) e o facto de se tratar de um recurso limitado e não renovável a curto termo (Robinson e Lamb, 1975 *cit. in* Chen e Hadar, 1987; Inbar *et al.*, 1993; Hoitink e Grebus, 1994). Os depósitos de turfa funcionam como importantes locais de fixação de CO₂ atmosférico (Hampicke, 1980, *cit. in* Chen e Hadar, 1987), cuja destruição contribui para o enriquecimento da atmosfera neste gás. A turfa mostra-se com frequência, como um meio em que diversas doenças de solo se expandem com facilidade (Hoitink, 1980; Nelson e Hoitink, 1982; Chen e Hadar, 1987). Quando se utiliza turfa esterilizada, pode ocorrer uma fácil e rápida propagação de agentes patogénicos, caso se verifique alguma infecção, por exemplo por *Pythium* spp. (Puustjarvi, 1977, *cit. in* Chen e Hadar, 1987).

A actividade humana gera um conjunto de resíduos cuja eliminação podendo fazer-se por deposição em zonas apropriadas, incineração ou utilização em agricultura, encontra nesta última a alternativa mais racional (Pomares *et al.*, 1985 *cit. in* Abad *et al.*, 1993; Pudelski, 1987), uma vez que reduz o impacto ambiental de muitos destes produtos e permite a reciclagem e a recuperação da matéria orgânica e nutrientes contidos nestes resíduos.

Para substituir o emprego de turfa, que durante muito tempo foi a componente principal dos substratos em vaso, têm vindo a ser estudados diversos materiais orgânicos alternativos (Soliva e Giró, s.d.; Bik, 1983; Cull, 1981; Lhor *et al.*, 1984, *cit. in* Chen e Hadar, 1987; Chen e Hadar, 1987; Verdonck, 1983; Raviv *et al.*, 1986; Hoitink e Fahy, 1986; Antunes, 1988).

De entre os materiais orgânicos alternativos destacam-se, as cascas de espécies arbóreas ditas de madeira dura e as cascas de diversas espécies de madeira macia, estudados por numerosos autores a nível mundial. As primeiras são plantas angiospérmicas, designadas vulgarmente também por folhosas, de folha caduca ou persistente, a que correspondem as designações inglesas de *hardwood* e de *broadleaf*. As segundas são gimnospérmicas, tomam também a designação de resinosas, de folha persistente. Correspondem-lhes as designações inglesas de *softwood* e de *shortleaf*. Devido à sua diferente composição, nomeadamente teor em celulose (Allison e Murphy, 1962; Hoitink, 1980), a sua compostagem prévia é mais ou menos importante (Hoitink, 1980; Nelson e Hoitink, 1982), apresentando diferentes necessidades de suplemento azotado e de

duração do processo (Hoitink e Poole, 1980). A casca de pinheiro é utilizada nos EUA após ser submetida apenas a um processo de envelhecimento, embora a compostagem seja o processo aconselhado (Handreck e Black, 1991; Bilderback, 1993, comunicação pessoal). É hoje em dia um produto largamente utilizado na formulação de substratos (DeWerth, 1971, Dickey, 1978, Laiche, 1974, Pokorny, 1966 e Whitcomb, 1984, *cit. in* Laiche, 1990; Laiche, 1989; Tesi e Lo Faro, s.d.; Laiche e Nash, 1986; Veschambre *et al.*, 1982). Além da casca de árvores, resíduos florestais como as folhas têm sido utilizados com sucesso na preparação de substratos (Corominas *et al.*, 1987; Sogni, 1988; Iglesia *et al.*, 1990). Numerosos outros materiais têm vindo a ser testados para este fim, como o bagaço de azeitona (Rishani e Rice, 1988), o bagaço de uva (Handreck e Black, 1991; Abad *et al.*, 1993; Chen e Hadar, 1987) e a polpa de alfarroba (Rishani e Price, 1988). Resíduos da indústria corticeira são referidos por Verdonck (1983) como potenciais componentes de misturas, devido à sua elevada capacidade de ar e baixo valor de AFU. Posteriormente, Aguirre (1994), constatou o valor dos resíduos da indústria corticeira como substrato hortícola, podendo em substratos de turfa substituí-la até 50% sem afectar o desenvolvimento de plantas. Factores como, a elevada disponibilidade dos resíduos da indústria corticeira, o seu relativo baixo custo, a sua homogeneidade, baixa densidade aparente e grande capacidade de ar, permitem utilizá-los sem problemas, desde que se efectue uma gestão adequada da água, o que aliás é um imperativo geral da cultura em substratos. Aguirre (1994) constatou a presença de substâncias fenólicas afectando o desenvolvimento das plantas, cuja acção foi reduzida apenas por envelhecimento e lavagem do material, sugerindo no entanto a compostagem como processo de melhorar as características deste material. As fibras de côco são hoje em dia bastante utilizadas pela suas boas qualidades (Verdonck, 1983; Abad *et al.*, 1995).

Outros materiais têm também sido objecto de estudo tais como: casca de amêndoa (Soliva e Giró, s.d.; Abad *et al.*, 1993), lamas de águas residuais (Abad *et al.*, 1993; Nordstedt *et al.*, 1993), RSU (Logan *et al.*, 1984; Abad *et al.*, 1993; Bugbee e Frink, 1989; Shanks e Gouin, 1984), lamas de águas residuais industriais (Abad *et al.*, 1993); lamas do efluente primário do fabrico de pasta para papel (Pereira *et al.*, 1988), resíduos da indústria tabaqueira e têxteis (Verdonck, 1983), resíduos da produção de cogumelos (Verdonck, 1983) e da extracção do pinhão (Soliva e Giró, s.d.), serraduras (Sogni, 1988; Prasad, 1979; Scott e Bearce, 1972), resíduos farmacêuticos (Bugbee e Frink, 1989), resíduos de indústrias químicas (Bugbee e Frink, 1989), ou de tecidos (Soliva e Giró, s.d.), misturas de lamas de tratamento de águas residuais e RSU (Sanderson, 1980) e resíduos de jardins (Nordstedt *et al.*, 1993).

Muitos destes materiais têm apresentado características de supressividade, aspecto este de crescente interesse. Observa-se que o uso de casca compostada de espécies de madeira dura pode eventualmente eliminar a necessidade de esterilizar por vapor ou com fungicidas, podendo ser também eliminadas doenças provocadas por *Pythium* e *Phytophthora* (Daft *et al.*, 1979).

Outros aspectos de interesse nos compostos são a ocorrência de componentes que conseguem bloquear determinados metais pesados, controlando a sua taxa de libertação e, a presença de agentes complexantes naturais, que pela formação de quelatos com micronutrientes, os tornam mais facilmente disponíveis para as plantas (Schatz, 1994).

2.2.5. Cultura em placas alveoladas

As placas alveoladas são muito utilizadas como contentor, na produção de plantas de viveiro. Com esta técnica cultural visa-se a obtenção de plantas com boas características para a transplantação, de rápida adaptação ao meio no local de produção e com boas qualidades produtivas.

No viveiro, os factores que vão condicionar a qualidade final da "planta" produzida são fundamentalmente: as características do substrato e o seu controlo, o maneo do substrato, o espaçamento das plantas, eventuais tratamentos específicos e o controlo das características microclimáticas.

2.2.5.1. Características dos substratos

O substrato usado em viveiros deve possuir um conjunto de características adequadas à espécie e ao tipo de contentor utilizado, das quais se podem destacar a porosidade, a capacidade de retenção de água, o pH, o teor em sais, a capacidade de troca catiónica e a ausência de agentes patogénicos. Como normalmente o volume de substrato nos alvéolos das placas alveoladas é muito pequeno, podem ocorrer variações rápidas de arejamento, humidade, pH, salinidade e nível de nutrientes, tornando as propriedades dos substratos particularmente importantes.

Tradicionalmente têm sido utilizados substratos à base de turfas (Tica e Stevancevic, 1988). Hoje, cada vez mais se recorre a alternativas com resultados iguais ou superiores (Chen e Hadar, 1987; Marchesi e Cattivelli, 1988), nomeadamente os substratos à base de cascas de árvores ou aparas de madeira, moídas e compostadas (Rankov *et al.*, 1987).

A porosidade do substrato deverá permitir um bom arejamento do meio, uma suficiente retenção de água e um adequado contacto das partículas com a semente e, posteriormente, com as raízes. Isto consegue-se através do uso de materiais com partículas de dimensões diferentes (Tilt *et al.*, 1987).

É conveniente que a capacidade de retenção de água seja elevada, podendo recorrer-se a agentes molhantes para a sua promoção (Bhat *et al.*, 1989b, 1989a) ou substâncias tipo gel, que por absorção de água vão funcionar como reserva hídrica para as plantas (Adams e Lockaby, 1987; Rivière, 1995). O uso de materiais de granulometria muito fina, para aumentar a capacidade de retenção de água, é contraproducente por aumentar os riscos de asfixia radicular, uma vez que a drenagem no substrato em placas, com muito pequena altura de material, se vê bastante reduzida.

O pH mais favorável varia com a espécie, a cultivar, o substrato e as espécies químicas presentes (Masson *et al.*, 1989), situando-se normalmente na zona do ligeiramente ácido a neutro.

A salinidade deverá ser baixa, já que o seu valor elevado afecta a germinação das sementes e reduz o crescimento das plantas (Tesi e Tosi, 1989).

2.2.5.2. Características das placas alveoladas

A individualização das plantas através dos alvéolos permite um melhor controlo do desenvolvimento aéreo e radical das plantas, facilita as operações culturais como a rega, os tratamentos fitossanitários e o transplante e, aumenta as produções (Pinkau, 1986), em comparação com o viveiro tradicional em alfobre. A utilização de placas alveoladas permite a mecanização de todo o processo desde a sementeira até à plantação (Shaw, 1987).

Nalguns casos, a individualização e transplante com torrão não aumenta a produção final, relativamente ao uso de plantas de raiz nua, mas tem vantagens ao originar maior homogeneidade da produção, como na couve-bróculo (Giovanni e Vincenzo, 1988) e, facilitar o controlo das infestantes, noutras couves (Cassidy, 1988). Em cebola, o uso plantas de viveiro, em tabuleiros alveolados com várias sementes por alvéolo, proporcionou maior colheita final do que recorrendo à sementeira directa (Bull, 1987; Chung, 1989) e um mais fácil e económico controlo das infestantes (Cassidy, 1988).

Os tabuleiros mais usados são fabricados em materiais plásticos como o polipropileno, o polietileno e o poliestireno expandido, com tamanhos de alvéolos variáveis, em função da espécie e do tipo de mecanização a utilizar.

Tamanho do alvéolo

O tamanho do alvéolo ou bloco é muito importante, afectando o desenvolvimento radicular da planta e tendo reflexos na produção final (Park *et al.*, 1988). Em pimento, alvéolos relativamente maiores originam plantas com maior peso, altura e área foliar aquando da transplantação e, maiores colheitas iniciais (Weston, 1988). Em couve-flor, alvéolos de 38,2 mm originam maiores produções iniciais e totais, que os de 20,8 mm (Csizinsky e Stanley, 1987). Em couve-repolho, com alvéolos variando de 8 a 80,5 cm³, verifica-se um aumento do diâmetro do caule, altura e área folhear das plantas no viveiro, sendo o peso dos repolhos formados também superior (Marsh e Paul, 1988). Em tomate verifica-se aumento da produção inicial (de 61,3 kg/7,6 m para 103,0 kg/7,6 m) com o aumento do alvéolo de 27 para 319 cm³ e também da produção total, mais 20 kg (Gorski e Wertz, 1985). Em tomate, comparando blocos de forma cúbica, com 3,5; 4,5; 5,5 e 6,5 cm³, cultivados durante 35, 45, 55 e 65 dias, obtêm-se as maiores produções nos cubos de 5,5 cm³ e 55 dias de idade (Park *et al.*, 1988). Na cultura de cebola obtêm-se maior produção com alvéolos de 25 cm³ relativamente a 5 e a 14 cm³ (Bull, 1987).

O tamanho do alvéolo condiciona o espaçamento das plantas, porque se mantém fixo durante o tempo de permanência no viveiro. O espaçamento das plantas influi no desenvolvimento e produção das plantas obtidas. Em tomate, o uso de alvéolos maiores origina plantas que se desenvolvem mais em cultura que plantas sujeitas a densidades mais elevadas (Marr e Jirak, 1990), A maior densidade durante o viveiro, origina na cultura em estufa, atraso da floração e da colheita inicial, embora reduzindo pouco a colheita total (Tesi e Tosi, 1989).

Da restrição física imposta à expansão da raiz, resulta uma alteração da relação do peso da parte aérea e da parte radical, dado que apesar de tudo a parte aérea se vê menos restringida na sua expansão.

A escolha do tamanho do alvéolo é condicionada pela expansão foliar de cada espécie. Por motivos económicos, dever-se-à conjugar a menor utilização de substrato e de espaço, com as exigências particulares para o crescimento, de cada espécie.

2.2.5.3. Condução do viveiro

Condicionamento ambiental

Os factores que mais afectam o crescimento das plantas no decurso do viveiro são a humidade e a temperatura do substrato e do ar e, a iluminação.

A humidade do substrato deve ser mantida num nível elevado. As características do substrato devem permitir esta condição, mas mantendo um elevado arejamento do meio, o que cria condições para o rápido crescimento das plantas.

A temperatura do substrato condiciona a germinação, devendo nesta fase, ser próxima do valor óptimo para a espécie. Posteriormente o seu valor ir-se-à reduzindo. O aquecimento do substrato é favorável tanto durante o dia como durante a noite, nos pesos fresco e seco de várias hortícolas. A eficácia da energia é mais elevada quando se aquece o substrato, relativamente a aquecimento apenas do ar (Shedlosky e White, 1987). Em tomate, a diminuição da temperatura do substrato reduz a absorção radicular da maioria dos nutrientes (Berezovskii *et al.*, 1986), sugerindo os autores, que através do ajuste da fertilização, é possível diminuir os efeitos desfavoráveis das baixas temperaturas no crescimento das plantas de viveiro.

A humidade do ar deve ser relativamente elevada para permitir o rápido crescimento das plantas, mas sem aumentar os riscos de doenças da parte aérea.

A temperatura do ar relativamente elevada, conduz também a peso fresco e seco mais elevados, mesmo quando não se aquece o substrato. O desenvolvimento após a emergência é reduzido se a temperatura do ar for baixa, mas esta redução da temperatura do ar poderá ser compensada por um aumento da temperatura do substrato (Zhao *et al.*, 1987). Usando temperaturas do ar mais baixas, em pimento, reduz-se a altura da planta, embora a área folhear possa ser maior (Uffelen, 1988). Em pimento, verifica-se ser possível manter uma temperatura mais baixa no viveiro, aumentando o tempo de permanência (Choe e Lee, 1989). No caso do aipo, a temperatura elevada do ar, pode levar à redução do crescimento, 21-32 °C *versus* 14-24 °C (Espinosa e Pill, 1987).

A luz pode influir na germinação das sementes, tanto na percentagem de germinação como na taxa de germinação. Por exemplo, em beringela, este efeito não é claro na percentagem de germinação, mas a taxa de germinação é maior na ausência de luz (Quagliotti e Rota, 1986). A iluminação suplementar pode apresentar efeitos positivos nas plantas. Por exemplo, em pimento, aumenta o tamanho, o peso, o número de folhas e a área foliar, o que se vem a manifestar

positivamente na precocidade, na produção total (Uffelen, 1988), na área foliar, no número de folhas por planta, (Uffelen, 1988; El-Bahadli, 1988), no sistema radical e no estímulo da diferenciação floral (El-Bahadli, 1988). Em tomate, a iluminação suplementar apresenta efeitos positivos no desenvolvimento das plantas (McAvoy e Janes, 1990). Com a iluminação suplementar registam-se também aumentos das colheitas iniciais embora sem alteração da colheita total (Uffelen e Maswinkel, 1989). Em tomate, a insuficiente iluminação reduz o crescimento das plantas, com acentuada redução do crescimento, frutificação e das colheitas iniciais (Voican e Voican, 1986). Em viveiro, no início do Inverno, a iluminação suplementar melhora a qualidade das plantas nomeadamente quanto ao seu peso seco e tem reflexos positivos na colheita (Boivin *et al.*, 1987). Ainda no Inverno, a iluminação suplementar abrevia o período de desenvolvimento relativamente à utilização apenas de luz natural e, as plantas são mais eficazes na utilização da energia total despendida (Lanckwou, 1987). Um dos efeitos da iluminação suplementar é a redução do número de folhas abaixo da primeira inflorescência.

A antecipação da sementeira pode ser uma alternativa à utilização de iluminação artificial (Klapwijk, 1987). Em alface, a irradiação com 40 W m^{-2} produziu plantas mais rapidamente (Poniedzialek *et al.*, 1988). A influência da iluminação exerce-se não só através da sua intensidade mas também da sua duração e qualidade (Tong, 1989; Hutla *et al.*, 1987). Estas características da luz afectam logo a partir do início do crescimento das plantas a actividade dos reguladores de crescimento (Romanowska *et al.*, 1987).

Fertilização

Apesar do curto período de cultura, a aplicação de nutrientes ao substrato é essencial, caso contrário o crescimento é limitado (Berg *et al.*, 1987; Borisov e Kirilov, 1988; Marchesi e Cattivelli, 1988), podendo o excesso de nutrientes originar o mesmo efeito (Tosi e Tesi, 1987; Dufault, 1987). A uniformidade na fertilização adquire neste tipo de cultura uma importância especial, devido à restrição na expansão radicular e à necessidade de obter plantas com grande homogeneidade de crescimento. O nível de nutrientes aplicados nesta fase afecta não só o desenvolvimento das plantas em viveiro, como mais tarde o seu comportamento em cultura (Tremblay e Senecal, 1988).

Dos nutrientes que devem estar presentes destacam-se o fósforo (Espinosa e Pill, 1987) e o cálcio, bem como os microelementos necessários para atingir o estágio pós-cotiledonar (Hartmann *et al.*, 1990). O fósforo apresentou pouca influência na relação parte aérea/parte radical (Weston e

Zandstra, 1989), mas o nível em que se encontra, além de condicionar a sua concentração na planta, afecta também a absorção de outros elementos (Tremblay *et al.*, 1988).

Em relação ao azoto, outro dos elementos com maior importância, verifica-se que níveis elevados favorecem a parte aérea relativamente à parte radical (Park *et al.*, 1988; Tremblay e Senecal, 1988; Weston e Zandstra, 1989; Tremblay e Gosselin, 1989a, 1989b). Em brócolos, aipo e alface a aplicação de azoto permite, o aumento dos teores de outros elementos nas plantas tais como P, K, Ca, Mg, Mn ou Zn, para além do azoto (Tremblay e Senecal, 1990). Em aipo, a aplicação de azoto na forma de ureia aumenta a capacidade produtiva das plantas de viveiro obtidas com nível elevado de fertilização azotada. Quando se cultivam plantas de aipo em viveiro, sob um regime de baixo teor de azoto, a aplicação de azoto na forma de ureia aumenta o peso seco da parte aérea, a área foliar e a relação do peso da parte radical e da parte aérea. (Tremblay e Gosselin, 1989b). Na aplicação de azoto, a proporção entre a forma nítrica e a amoniacal, afecta o teor de matéria seca dos lançamentos. Assim, a relação azoto nítrico/azoto amoniacal conduz a uma aumento do peso seco da parte aérea, das plantas no final do viveiro, sendo o azoto preferencialmente absorvido na forma amoniacal. A sensibilidade das plantas à composição da solução é maior nas fases iniciais do seu desenvolvimento (Tremblay e Gosselin, 1989a).

O potássio em algumas hortícolas tem uma acção dependente do nível de azoto, apresentando estas plantas um comportamento mais ou menos sensível àquela relação. De um modo geral, sob níveis elevados de azoto, o aumento do potássio conduz a um aumento do peso seco, embora por vezes possa haver um aumento da área foliar, o que poderá originar plantas mais suculentas, como no pimento (Tremblay e Senecal, 1988).

A aplicação de CO₂ em aipo, reduziu a concentração de vários nutrientes na parte aérea, mas não afectou a absorção de outros pelas raízes (Tremblay *et al.*, 1988). É aconselhado o incremento do CO₂ até 500 a 700 ppm, permitindo um mais rápido crescimento e melhor qualidade das plantas produzidas (Uffelen, 1987).

Rega

A uniformidade da distribuição da água de rega é de importância fundamental, para além como é obvio, da utilização de dotações e frequências adequadas às espécies e fase de crescimento, aos substratos e às condições ambientais. Vários métodos de rega podem ser usados, nomeadamente a miniaspersão, fixa ou móvel e, a inundação, temporária ou permanente.

Em couve-brócolo, aipo e alface a miniaspersão apresenta resultados superiores à gota-a-gota. Em alface, a rega gota-a-gota conduz à diminuição dos teores de azoto e fósforo na planta relativamente à miniaspersão (Tremblay e Senecal, 1990). Em pimento, verifica-se que a humidade do substrato afecta a produção inicial da cultura (Choe *et al.*, 1989).

Tratamentos fitosanitários

Os tratamentos fitossanitários podem ser aplicados por pulverização das plantas, rega dos substratos ou incorporação prévia dos fitofármacos. (Davies e Wafford, 1988). Quando se faz a incorporação, pode haver redução do crescimento das plantas, se forem aplicadas doses excessivas (Ann *et al.*, 1988).

Preparação para o local definitivo

Antes da transplantação começa o endurecimento com vista à obtenção de plantas vigorosas, que ultrapassem facilmente a crise de transplantação. O endurecimento pode ser obtido baixando a temperatura, reduzindo o fornecimento de água, aplicando reguladores de crescimento ou ainda por acção mecânica sobre as plantas (Biddington e Dearman, 1988).

Em tomate, a redução da temperatura e do fornecimento de água aumenta a resistência ao frio em estufa não aquecida, sem afectar a taxa de crescimento e a produção (Pardossi *et al.*, 1988).

A utilização de reguladores de crescimento pode também apresentar aspectos positivos no desenvolvimento das plantas no viveiro e na sua produção (Vakhmistrov *et al.*, 1989). Em alface, o uso de reguladores de crescimento e o controlo da fertilização fornecem resultados positivos (Schapira e Perus, 1987).

Em espargo, a resistência a baixas temperaturas é melhor submetendo as plantas a baixas temperaturas durante 2 a 3 semanas, do que por restrição no fornecimento de água (Burrows *et al.*, 1990).

A acção mecânica sobre as plantas, ‘brushing’ (escovamento), consiste no estímulo mecânico, directo ou indirecto, das folhas das plantas. Causa o endurecimento das plantas por efeito depressivo no crescimento, com melhoria da qualidade e uniformidade das plantas. Reduz os efeitos de bordadura no crescimento (Biddington e Dearman, 1985, 1987a e 1987b; Adler e Wilcox, 1987; Latimer, 1990; Latimer e Thomas, 1991; Baden e Latimer, 1992). A redução do crescimento obtida pelo escovamento físico não é eliminada pela aplicação de tiossulfato de prata,

inibidor da libertação de etileno, ao contrário da redução de crescimento obtida por reguladores de crescimento como o etefão (ácido 2-cloroetilfosfónico) (Biddington e Dearman, 1986). A eficácia dos diferentes modos de obter o escovamento é diferente. Em alface, a acção mecânica com papel ou serapilheira é mais eficaz que a aplicação de corrente de ar com ventoinha ou, a agitação dos contentores das plantas (Pontinem e Voipio, 1992). A técnica de escovamento permite o controlo do crescimento, mas não conduz a diminuição da produção, em tomate e beringela (Beverly e Latimer, 1994), em várias cucurbitáceas (Latimer e Beverly, 1994) e em alface (Wurr *et al.*, 1986). Contudo, a sensibilidade das variedades de tomate é diferente, de acordo com os hábitos de crescimento das plantas e a duração da aplicação do escovamento (Latimer *et al.*, 1991). Assim, para períodos longos de escovamento, de 28 dias, obtém-se uma redução da produção (Johjima *et al.*, 1992). Em espécies como o pimento, a redução de crescimento obtida pode ser demasiado pequena, face aos danos físicos manifestados pelas plantas, quando o escovamento se obtém com uma varinha de madeira (Latimer, 1994). Em pepino o escovamento não afectou a produção final (Latimer *et al.*, 1991). Em tomate, além do condicionamento do crescimento, obtém-se uma redução do ataque de *Myzus persicae* e *Frankliniella occidentalis*, no viveiro, sugerindo a inclusão da técnica de escovamento em programas de protecção integrada (Latimer e Oetting, 1994). Ainda em tomate, o escovamento, conduz a plantas mais pequenas e com menor teor de açúcares solúveis, mas aumenta a resistência a baixas temperaturas. Observa-se nas plantas sujeitas ao escovamento, um aumento do teor de açúcares solúveis, no período de baixas temperaturas, muito superior ao das plantas não ‘escovadas’ (Keller e Steffen, 1995). No entanto, com alface e couve-flor, há uma diminuição da resistência ao frio, pois as plantas obtidas no final do viveiro são mais pequenas e, por isso, menos resistentes (Biddington e Dearman, 1988). Outro efeito observado na produção de plantas de tomate em viveiro, é o aumento do seu período comercializável (Schnelle, *et al.*, 1994).

É aconselhado manter as plantas em condições de boa iluminação até à transplantação (Hartmann *et al.*, 1990), a redução da temperatura e da rega. A redução da rega visa manter a superfície do substrato ligeiramente seca e o interior com a humidade suficiente para o crescimento das raízes, o que, além de favorecer o endurecimento, reduz o perigo de ‘damping-off’.

Antes da transplantação, a aplicação de soluções com azoto e fósforo a plantas mantidas até aí em regimes baixos nestes elementos, revela-se favorável em tomate, no crescimento nos

primeiros 5 dias após a transplantação, sugerindo que tenha havido estímulo do crescimento e da absorção radical (Widders, 1989).

O endurecimento das plantas, com recurso a acentuada variação diária da temperatura (dia, 35 °C e noite 15 °C, *versus* 22/18 °C), apresenta no caso do pepino no estágio de 2 a 3 folhas, um efeito retardador do crescimento e do aparecimento de flores femininas (Obshatko *et al.*, 1988). Em pimento, comparando temperaturas noturnas de 13, 18 e 23 °C obtêm-se maiores colheitas iniciais com a temperatura de 18°C seguida de 23 °C. Comparando o desenvolvimento das plantas 90 dias após o transplante, as melhores são as obtidas a 23°C durante 45 dias, a 18 °C durante 60 ou 75 dias ou a 13 °C durante 90 dias, indicando assim que se podem obter bons resultados usando temperaturas mais baixas no viveiro se se aumentar o tempo de permanência neste (Choe e Lee, 1989). Outros autores, contudo, não verificaram relação do regime de temperatura (noite/dia: 18/24 °C, 16/22 °C, 15/21 °C e 13/19 °C) com aumentos de produção (Uffelen e Maswinkel, 1989). Ainda em pimento verifica-se, relacionando a temperatura noturna e a humidade do solo no viveiro, que as melhores colheitas iniciais se obtiveram quando as plantas foram criadas com as combinações temperatura noturna/humidade do solo de: 23 °C/ 30%, 18 °C/ 25%, 13 °C/ 25% (Choe *et al.*, 1989).

2.2.5.4. Avaliação da qualidade das plantas

Pode definir-se a ‘qualidade’ das plantas de viveiro em função da sua capacidade de suportar condições adversas de meio, de se instalar nesse meio e de proporcionar elevado rendimento no mais curto período de tempo. Deste modo, uma ‘boa’ planta de viveiro é a que:

- (i) suporta bem o transporte e as manipulações de plantação,
- (ii) se adapta facilmente ao novo ambiente,
- (iii) retoma rapidamente o crescimento,
- (iv) entra em produção mais cedo.

As características ‘ideais’ de uma planta de viveiro são, não só características intrínsecas da planta, mas resultam também do grau de adversidade do novo meio.

De um modo geral, as ‘melhores’ plantas são:

- (i) relativamente duras, pois suportarão melhor as manipulações e a adversidade do novo ambiente;
- (ii) vigorosas, pois além de suportarem melhor a mudança, retomarão mais facilmente o crescimento;

-
- (iii) com uma boa relação raiz/parte aérea, ocupando a raiz todo o substrato, pronta a colonizar o novo meio em que é plantada, sem terem uma raiz ainda insuficientemente desenvolvida ou, pelo contrário, apresentarem uma raiz demasiado desenvolvida e envelhecida, com menor número de pontos de crescimento;
 - (iv) grandes, pois assim resistem melhor a condições adversas do novo meio e a sua entrada em produção faz-se mais cedo.

O estado nutritivo das plantas de viveiro

O nível de nutrientes aplicado no viveiro ao condicionar o estado nutritivo da planta na altura da transplantação afecta também o seu desenvolvimento posterior.

Verifica-se em melão, que o aumento do nível de fertilização no viveiro aumenta o choque de transplantação, medido pela percentagem de folhas necróticas após 12 dias, mas aumenta também o número de flores femininas, o vingamento e as colheitas iniciais. Contudo, um nível elevado de nutrição no viveiro (250 N, 125 P e 250 K mg L⁻¹) faz ultrapassar mais rapidamente a crise de transplantação, retomar o crescimento e antecipar o início da colheita, relativamente a níveis mais baixos (Dufault, 1986). Em melancia e abóbora, níveis de N-P-K mais elevados (4 ou 6 vezes: 1300-1000-1435 g L⁻¹ de água, mais 450 g de sulfato de magnésio) originam plantas de melhor qualidade para plantação mecânica, com menos perdas no campo e que com maiores produções relativamente a níveis mais baixos (de 1 ou 2 vezes: 1300-1000-1435 g L⁻¹ de água, mais 450 g de sulfato de magnésio) (Borisov e Kirilov, 1988).

Com a aplicação no viveiro de teores moderados a elevados de azoto, 400 e 200 mg L⁻¹ versus 100 mg L⁻¹, obtêm-se plantas de tomate que em cultura ao ar livre apresentam uma maior produção inicial, mas sem diferenças quanto à produção total. Diferentes níveis de fósforo, 15, 30 ou 60 mg L⁻¹, aplicados no viveiro, não afectam a produção (Weston e Zandstra, 1989). Em pimento, também um nível mais elevado de azoto proporcionou o aumento da produção inicial e da produção total (Weston, 1988).

A forma de aplicação dos nutrientes é importante para o crescimento das plantas. Verifica-se em couve-flor que, de entre 3 modalidades de aplicação de azoto: só azoto solúvel; 70% de azoto solúvel + 30% de azoto de libertação lenta e, azoto solúvel + inibidor da nitrificação, é a primeira a mais eficaz, obtendo-se 19,5 t ha⁻¹ contra 15,2 na última modalidade (Csizinsky e Stanley, 1987).

O tamanho e a idade da planta

Um aspecto muito importante é o tamanho da planta ao transplante o qual, de entre outros factores, depende do tamanho do alvéolo e do tempo de permanência da planta no viveiro.

Em pimento, quanto maior o peso e a área folhear da planta, maior a precocidade e a produção total (Uffelen, 1988; Uffelen e Maswinkel, 1989). O uso de alvéolos maiores originou plantas que deram maiores produções iniciais, que as produzidas em alvéolos mais pequenos, embora não aumentando a produção total (Weston, 1988). Em pimento, de entre plantas com 15, 20, 30, 35 e 40 dias obteve-se a maior produção com as plantas transplantadas como plantas de 25 dias (13,24 t ha⁻¹), sendo a produção das de 15 e de 40 dias, 10,84 e 8,57 t ha⁻¹, respectivamente (Maurya e Singh, 1986). Noutros casos, foram as plantas com 60 dias que produziram significativamente mais que as de 30 a 50 dias (Weston, 1988). Em estufa, no Inverno, num estudo comparando plantas com: 49, 54, 59 e 64 dias obtiveram-se maiores produções com as mais velhas que eram as que possuíam maior peso e área folhear, mais 1,5 kg m⁻¹ em Abril e 1 kg m⁻¹ em Julho (Uffelen, 1988). Outros autores, verificaram também o aumento da produção com a maior idade da planta à transplantação, variando esta de 45 a 90 dias (Choe e Lee, 1989) e particularmente da produção inicial (Uffelen e Maswinkel, 1989).

Em cebola, o tamanho que conduz às maiores produções foi variável com a época do ano (Guimarães *et al.*, 1988). Na cultura de cebola, usando plantas com 1,8 a 6,8 mm de diâmetro do caule, verificou-se que o tamanho óptimo, traduzido por uma maior colheita, foi variando ao longo da época. A maior produção de bolbos comercializáveis foi obtida, com plantas de 4 a 5 mm na plantação de Junho; de 5 a 6 mm na de Agosto e de 6 mm na de Setembro (Guimarães *et al.*, 1988, cultura em Santa Catarina, Brasil.). Quanto ao tamanho do alvéolo obteve-se maior produção com alvéolos de 25 cm³ relativamente a 5 e a 14 cm³ (Bull, 1987).

Em espargos, verifica-se melhor crescimento usando plantas de 11 semanas em relação a plantas de 9 (Burrows e Waters, 1989).

Na cultura de couve, comparando a produção de plantas de viveiro em camas ou em tabuleiros alveolados, a produção foi semelhante em qualidade desde que as plantas não permanecessem demasiado tempo nos tabuleiros. Quando esse período ultrapassava as 4 semanas, aumentava o período cultural e decrescia a produção (Smith, 1986). Na couve repolho, a melhor produção obteve-se com plantas de 5 e 6 semanas relativamente a plantas de 7 (Mangal *et al.*, 1987). Na couve repolho, com tamanho diferente de alvéolos, tanto a produção inicial como a produção total foram superiores com alvéolos maiores, 38,2 *versus* 28,2 mm (Csizinsky e Stanley,

1987), embora esta diferença se possa observar apenas em algumas épocas do ano (Csizinszky e Schuster, 1988). Em couve-flor, plantas com 4 semanas de idade conduziram a maior crescimento, mais elevada percentagem de cabeças comercializáveis e maior produção (21,4 a 22,5 t ha⁻¹) em relação a plantas de 6 semanas (12,5 a 15,8 t ha⁻¹) (Om *et al.*, 1985). Outros autores verificaram que 30 dias de idade é melhor que 20 ou 40 dias (Sharma e Arora, 1987). Com alvéolos variando de 8 a 80,5 cm³, os melhores resultados quanto ao peso seco dos repolhos foram obtidos com os alvéolos maiores, se bem que as dimensões dos repolhos fossem semelhantes (Marsh e Paul, 1988).

Na cultura de alho-francês, o emprego de plantas criadas em tabuleiros alveolados reduziu o período cultural, sendo a colheita efectuada 6 meses após a sementeira. O período de viveiro deve ser limitado a 2 meses (no caso, de 22 de Março a 22 de Maio) para as plantas não entrarem em stress por ficarem demasiado velhas (Benoit e Ceustermans, 1987). A idade óptima das plantas varia também com a data de sementeira. Comparando as idades de 60, 70, 80 e 90 dias, a idade óptima foi a de 80 dias para a sementeira de Fevereiro, 70 dias para a de início de Março e de 60 dias para as sementeiras mais tardias. Usando plantas mais velhas que as de idade óptima, a redução da colheita foi de cerca de 40 % (Maneka, 1989).

Em alface tipo ‘bola de manteiga’, em estufa, plantas maiores originam maior precocidade, embora no caso citado, o maior custo da planta não seja compensado pelo aumento da precocidade (Broek, 1989). Em alface ‘Ithaca’, o uso de alvéolos maiores (125 cm³ *versus* 12 cm³) originou plantas que deram cabeças maiores. O tamanho das cabeças é também maior quando se usam na plantação plantas com maior número de folhas verdadeiras. A variação no tamanho das cabeças é menor com os alvéolos maiores, nas plantas calibradas pelo tamanho e nas plantas maiores à plantação. Isto sugere que o uso de plantas calibradas pela sua idade ou tamanho leva a maior uniformidade e produção na primeira colheita (Hemphill, 1987). Conseguem-se também redução do período cultural quando se empregam plantas maiores. A redução do período cultural foi de 3 a 7 dias com plantas de 1 g; de 6 a 14 dias com plantas de 2 g e de 14 dias com plantas maiores, em relação ao período cultural de plantas com 0,5 g. Em vasos de 5 cm³, o peso máximo alcançado foi com plantas de 4 g (Maaswinkel, 1986). Relativamente à idade obtiveram-se melhores produções na cv. ‘Little marvel’, com plantas de 5 e 6 semanas, relativamente a 7 semanas (Mangal *et al.*, 1987). Observou-se um decréscimo da produção com a idade (1,5 kg/100 plantas) instalando em semanas sucessivas, plantas semeadas na mesma data (Netherlands Proefst. voor Tuinb. onder Glas, 1989).

Na cultura de beringela, também o aumento do volume do alvéolo conduz a uma maior produção inicial, de 0,72 para 1,53 kg m⁻², e da produção total (Gorski e Wertz, 1985).

Em chicória, com a plantação decorrendo de final de Fevereiro a meados de Março, as plantas mais velhas, 35 dias *versus* 25 dias, apresentaram maior sensibilidade às baixas temperaturas, traduzida numa maior tendência para o espigamento. O atraso na plantação melhora a qualidade comercial e, produz um maior número de folhas e peso médio, embora por vezes à custa da redução da colheita inicial (Gianquinto e Pimpini, 1988).

Em tomate, a manutenção das plantas nos tabuleiros por tempo demasiado longo (5 a 7 semanas *versus* 1 a 4 semanas), reduz a colheita total (Marr e Jirak, 1990). Plantas de tomate obtidas em densidades elevadas, superiores a 319 plantas m⁻², conduzem na cultura em estufa, a atraso na floração e colheita, relativamente a plantas obtidas em densidades mais baixas. A produção inicial é inferior em cerca de 50%, embora não se afecte a produção total (Tesi e Tosi, 1989). Em tomate, plantas de 4 ou 5 semanas produziram maior colheita total que as de 3 ou 6 semanas (Weston e Zandstra, 1989).

O efeito positivo do maior tamanho e idade da planta ao transplante sobre a produção, vai-se esbatendo com o decorrer do período de colheita, isto é, nas colheitas iniciais há alguma diferença, mas posteriormente ela desaparece (Klapwijk, 1987).

Reguladores de crescimento

A qualidade, quantidade e precocidade da produção das plantas de viveiro também pode ser alterada pela aplicação de reguladores de crescimento durante o viveiro (Morgan, 1986; Smagina e Ivanova, 1986; Wurr *et al.*, 1987; Zhukova *et al.*, 1987; Baylian, 1988; Berkowitz e Rabin, 1988; Hickman *et al.*, 1989; Pimpini e Gianquinto, 1989; Borkowski e Lipska-Szpunar, 1989; Wang e Gregg, 1990).

Outros tratamentos

Tratamentos como o encharcamento das plantas em solução de glucose ou de glucose e kinetina (Moussa e Doss, 1986), a aplicação de campos magnéticos (Dayal e Singh, 1986), a aplicação de raios gama às sementes ou plantas (Alarkon *et al.*, 1987; Skrybykina e Ivanova, 1987), ou a exposição da semente a raios laser de hélio néon (Cholokov e Kartalov, 1989), contribuiram para aumentos de produção e da sua precocidade. O tratamento das sementes com campo electrostático aumentou a sua resistência a doenças, tendo o ozono produzido actuado

como esterilizador da sua superfície (Yan *et al.*, 1988). O condicionamento osmótico das sementes com sulfato de magnésio, antes da sementeira, alterou várias variáveis, incluindo o número de plantas aptas à transplantação (Martinez e Aljaro, 1987).

2.2.6. Cultura em vasos

Os princípios determinantes para a eleição de um substrato para placas alveoladas como foram descritos em 2.2.5, aplicam-se na generalidade à cultura em vaso. Contudo existem diferenças que é necessário explicar, relacionadas com o maior volume disponível para desenvolvimento do sistema radicular e a maior duração de permanência das plantas nos contentores.

Na cultura em vasos, as restrições de espaço são relativamente menores, facilitando o maior volume de material, a criação de uma maior reserva de água. Assim, podem-se utilizar materiais de relativamente menor capacidade de retenção de água. Contudo, as exigências de alta capacidade de retenção de água podem-se manter, se pretendermos reduzir ao mínimo o número de regas a realizar ou reduzir o risco de ocorrência eventual de condições de stress hídrico. Simultaneamente, o maior volume dos vasos permite utilizar materiais de granulometria mais heterogénea. Pode eventualmente, admitir-se a presença de algumas partículas grosseiras, diminuindo-se a despesa da crivagem do substrato para utilização em cultura.

Devido ao maior tamanho dos seus contentores, as plantas normalmente ficam distribuídas segundo um compasso mais largo, alterando-se o interesse relativo dos vários métodos de rega. Na cultura em vasos e com tempos de cultura mais longos, pode-se tornar interessante a rega por gotejadores individualizados, impraticável na cultura em placas alveoladas.

A maior duração do período de cultura, obriga a prestar particular atenção à degradabilidade do material, no caso dos materiais orgânicos. Se a degradabilidade for excessiva, pode comprometer o desenvolvimento da cultura, por alteração das propriedades físicas ou mesmo químicas, do substrato.

Também o planeamento da fertilização numa cultura em vaso é alterado. De facto, na maior parte dos casos são utilizadas plantas com maior desenvolvimento vegetativo, que suportam níveis relativamente superiores de salinidade no meio. A fertilização de fundo pode pois adquirir uma maior importância, face às maiores necessidade iniciais das plantas e à maior duração das

cultura. Por isso, aumenta também o interesse do uso de fertilizantes de liberação lenta de nutrientes.

3. ESTUDO DA COMPOSTAGEM

3.1. Introdução

Neste capítulo vai-se estudar a compostagem de alguns resíduos vegetais com o objectivo de obter informação que permita a caracterização dos seus processos de compostagem e dos compostos obtidos. A informação obtida permitirá a eventual melhoria dos processos de compostagem. Permitirá também, determinar de entre um leque alargado, quais as variáveis mais interessantes como caracterizadoras da evolução do processo e da qualidade final dos compostos.

Compostaram-se cinco resíduos vegetais: bagaço de azeitona, bagaço de uva, polpa de alfarroba, casca de pinheiro e casca de eucalipto, seleccionados em função da sua disponibilidade tanto a nível regional como a nível nacional.

Utilizou-se um método de compostagem em caixas, devido à relativa simplicidade de meios necessários, aos bons resultados que de um modo geral se podem obter e ao facto de ser um método interventivo, mais aconselhável nesta situação, em que se desconhece o comportamento dos materiais em estudo, permitindo uma atempada intervenção correctiva (Stentiford, 1993). A compostagem em caixas reduz as necessidades em espaço, matéria prima inicial e mão de obra. Por outro lado, métodos muito sofisticados, conduzindo a processos muito rápidos, podem realizar-se com o desenvolvimento de populações microbianas e ou, processos bioquímicos de natureza diversa (Gray *et al.*, 1971b), sendo por isso os resultados de mais difícil extrapolação, com vista a uma futura aplicação em escala comercial.

Como preparação prévia dos materiais para compostagem previu-se a aplicação de um suplemento azotado. Inicialmente optou-se pelo emprego de ureia, no entanto, tendo-se iniciado o estudo da compostagem com a casca de pinheiro, observou-se um reduzido incremento de temperatura, relativamente ao esperado. Sendo conhecida a dificuldade em conseguir a elevação da temperatura a níveis termofílicos utilizando volumes reduzidos de casca de pinheiro e desconhecendo-se o comportamento da casca de eucalipto, optou-se por no 1º ano, efectuar a compostagem destes dois materiais recorrendo a uma fonte de azoto capaz de favorecer simultaneamente um maior desenvolvimento microbiano (Iglesia *et al.*, 1990). O material escolhido foram as lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas (LETARU), pelo crescente interesse pela sua utilização e pelo menor perigo de contaminação relativamente às

lamas de tratamento de águas residuais industriais (LETARI) (Gouleke, 1991; Biddlestone e Gray, 1986; Nordstedt *et al.*, 1993).

Verificou-se posteriormente que os compostos obtidos da compostagem de casca de eucalipto e de pinheiro, apresentavam uma granulometria fina, resultante das partículas finas das lamas, com características aparentemente menos favoráveis para utilização em contentor. Por outro lado, o uso de LETARU poderia provocar alguma retracção na utilização destes compostos como constituintes de substratos de plantas ornamentais envasadas. Decidiu-se, por isso, no segundo ano realizar uma 2ª compostagem de casca de eucalipto e de casca de pinheiro, com um suplemento azotado fornecido apenas pela aplicação de ureia.

Este estudo permite demonstra que é possível obter produtos interessantes como componentes de substratos, compostando resíduos baratos e disponíveis em quantidade, em instalações muito simples do ponto de vista tecnológico.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Materiais a compostar

Bagaço de azeitona

Utilizou-se bagaço de azeitona após a extracção do óleo, devido ao menor valor económico do material e aos menores riscos de interferência de eventuais resíduos de azeite virgem, no processo de compostagem.

O material obtido era proveniente da extracção recente de azeite, num lagar da zona de Loulé, onde se encontrava armazenado em pilha ao ar livre. Segundo o responsável do lagar, o bagaço termina o processo industrial com um teor de humidade muito baixo, de 3 a 5%, que vai aumentando posteriormente de acordo com as condições atmosféricas. Apresentava-se constituído essencialmente pelas sementes trituradas e resíduos de polpa dos frutos.

Bagaço de uva

Utilizou-se bagaço de uva não destilado proveniente do fabrico de vinhos tintos.

O bagaço encontrava-se disposto em pilha ao ar livre após ter sido retirado das cubas de fermentação, cerca de 1 mês antes, numa adega na zona de Lagoa. Apresentava-se constituído essencialmente pelas grainhas, películas e por alguns resíduos de engaços.

Polpa de alfarroba

A polpa de alfarroba, resíduo da extracção de xarope de alfarroba, era proveniente de uma empresa localizada em Castelo de Vide. A polpa extractada apresentava-se bastante húmida, indicando pelo seu aspecto, nomeadamente estrutura e cor, ter sofrido muito recentemente o tratamento industrial.

Casca de eucalipto

O material utilizado nas duas compostagens, proveio das instalações da Soporcel em Aveiro e era resultante do descasque de toros para o fabrico de pasta para papel. Tratava-se de material proveniente de descasque muito recente, constituído por troços de casca com as fibras bastante desagregadas, pela acção do equipamento de descasque, apresentando uma estrutura semelhante à de uma turfa grosseira pouco decomposta.

Casca de pinheiro

A casca utilizada proveio de uma serração na zona de Alcácer do Sal.

No 1º ano, foi adquirida através de uma empresa que efectuou a sua moenda, não sendo possível controlar a mistura de espécies de que era proveniente, admitindo-se tratar de uma mistura de casca de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) e de pinheiro manso (*P. pinea* L.), eventualmente já com algum período de armazenamento na serração.

No 2º ano, a casca foi extraída apenas de pinheiro manso, no próprio dia em que foi adquirida e moída posteriormente.

3.2.2. Metodologia de compostagem

A casca de pinheiro como apresentava partículas demasiado grandes, foi previamente moída com moinho de martelos, com 2 cm de distância entre as barras do crivo de saída do material crivado (Diaz *et al.*, 1982). Quando o material inicial apresenta partículas demasiado grandes, a sua decomposição pode ser mais lenta. A redução de tamanho, aumenta a superfície exposta ao ataque microbiano, reduz a espessura para difusão de oxigénio e a entrada de microrganismos nas partículas, facilita a homogeneização e aumenta o isolamento térmico (Gray *et al.*, 1971a; Golueke, 1991). Pelo contrário, materiais com uma granulometria muito fina poderão apresentar problemas de deficiência de oxigénio, por redução da circulação de ar entre as partículas. Os restantes resíduos vegetais foram utilizados sem alteração da sua granulometria.

O bagaço de azeitona foi suplementado com ureia. A casca de eucalipto e a casca de pinheiro receberam um suplemento de azoto na forma de LETARU e ou, de ureia, conforme adiante se explicita. As LETARU utilizadas tiveram duas origens. As primeiras lamas empregues, L₁, foram recebidas de uma unidade de tratamento de águas, não se tendo podido controlar o seu tempo de armazenamento, podendo por isso ter sofrido uma maior mineralização relativamente às lamas empregues posteriormente, L₂. As lamas L₂ foram retiradas directamente dos tanques de sedimentação e utilizadas, após completarem a sua secagem ao ar e sofrerem uma moenda para facilitar a sua mistura com as cascas. As lamas L₁ não necessitaram desta moenda pois desagregavam-se facilmente, permitindo uma mistura mais homogénea. As duas lamas, L₁ e L₂, além de pequenas diferenças visíveis na sua textura, diferiam sobretudo quanto ao teor de matéria orgânica (21,6 e 41,0%) e de azoto (1,15 e 1,62%). Ao bagaço de uva e à polpa de alfarroba não foi aplicado qualquer suplemento azotado.

Encontram-se descritos vários tipos de contentores para efectuar compostagem, vulgarmente caixas quadrangulares em madeira ou contentores cilíndricos em diferentes materiais (Calvet *et al.*, 1994), apontando-se-lhes o inconveniente de um elevado custo (Calvet *et al.*, 1994; Bruce, 1967; Billington e Easy, 1956 e Hills, 1965, *cit. in* Gray *et al.*, 1973). Contudo, as vantagens a nível de menor ocupação de espaço, mais fácil homogeneização do material e redução de perdas, levou a adoptar o método de compostagem em caixas.

A quantidade inicial mínima de material depende da natureza do material a compostar. Em laboratório, encontram-se referidos volumes mínimos de resíduos florestais, estromes ou em mistura, da ordem de 1 L (Iglesia *et al.*, 1990; Martin, 1996). Em condições não laboratoriais, são indicados para resíduos agrícolas volumes mínimos de 0,7 m³, para compostagem em contentor (Gray *et al.*, 1973). Calvet *et al.* (1994) referem a compostagem de bagaço de azeitona em caixas de madeira de forma cúbica, com 125 L de capacidade. Para a compostagem de resíduos de resíduos de jardinagem Biddlestone e Gray (1986) referem 1 t e Handreck e Black (1989) cerca de 1 m³, como mínimo para iniciar a compostagem, para garantir temperatura suficiente para eliminação de microrganismos patogéneos e sementes de infestantes, devido à elevada relação superfície/volume quando o volume é reduzido e, ao facto de uma elevada percentagem do material ter de funcionar como isolante térmico. A compostagem efectuou-se em caixas em polipropileno, com arejamento por ranhuras laterais e orifícios circulares no fundo, térmicamente isoladas por placas de poliestireno expandido de 4 cm de espessura, lateral e superiormente. As caixas apresentavam a altura de 1 m e de largura 1 m por 1,2 m. O volume inicial para cada material foi assim de 1,2 m³. As caixas foram cheias manualmente.

O principio de funcionamento do método de compostagem utilizado é semelhante ao sistema em pilhas com volteio mecânico. À semelhança das pilhas, o arejamento pode ser realizado por volteio ou com forçagem de ar. Devido aos problemas que podiam resultar do emprego de arejamento forçado nas caixas (Sphon, 1970, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a), à necessidade de ajustar os fluxos de ar para cada material (Gouleke, 1991) e à vantagem em usar um sistema interventivo nesta fase inicial de estudo (Stentiford, 1993), optou-se pelo volteio manual.

O controlo do processo foi baseado no seguimento do perfil de evolução da temperatura, obtido pela determinação diária da temperatura, complementado pela colheita regular de amostras (Gray *et al.*, 1973; Keller, 1991). Determinou-se semanalmente o teor de humidade, o pH e a condutividade eléctrica e mensalmente o teor de azoto orgânico e de matéria orgânica.

Para a regulação da temperatura, os pontos de medição distribuíram-se segundo uma linha média de altura do material na caixa, na horizontal (pontos n^{os} 1 e 5: a 10 cm das superfícies

laterais exteriores; n^{os} 2 e 4: a 30 cm destas e n^o 3 no centro) e segundo a linha vertical passando pelo centro da caixa (pontos n^{os} 6 e 9: a 10 cm das superfícies exteriores superior e inferior; n^{os} 7 e 8: a 30 cm destas). Durante compostagem no 1^o ano, a temperatura foi registada com termómetro digital com 2 sondas de tipo termopar, que em cada sessão de leitura iam sendo introduzidas nos pontos pré determinados. No 2^o ano, começou-se por utilizar um termómetro digital com uma sonda PTC (HI 9025C, Hanna Instruments) e posteriormente utilizou-se um termómetro digital com um conjunto de sensores de temperatura (AD590/J, Analog Devices, EUA), fixos em cada um dos 9 pontos de determinação da temperatura de cada caixa.

Os volteios necessários para garantir o adequado desenrolar do processo, foram efectuados manualmente com uma pá, procurando colocar o material da zona central da caixa, na zona exterior e o da parte inferior, na parte superior da caixa. Favoreceu-se deste modo a exposição de todo o material a condições de maior temperatura e uma decomposição uniforme (Diaz *et al.*, 1982). Normalmente, iniciaram-se os volteios quando, após a subida inicial da temperatura, esta baixava dos 45 °C. Posteriormente e de acordo com a evolução da temperatura, repetiu-se o volteio ao atingir-se de novo aquele nível de temperatura. Sempre que necessário, os volteios foram acompanhados de humedecimento do material através da adição de água, aplicada com mangueira com ralo muito fino, de modo a evitar a ocorrência de drenagem (Gouleke, 1991). Tal não foi possível evitar, ao molhar os materiais que se apresentavam inicialmente mais secos. Durante o processo ocorreu alguma drenagem, mas apenas durante poucas horas após o volteio, quando este era acompanhado de humedecimento.

Embora se conhecessem os níveis de temperatura adequados ao processo, deixou-se que esta subisse sem limitação, alcançando nalguns materiais, níveis demasiado elevados, permitindo assim conhecer a sua capacidade de elevação de temperatura.

O método de compostagem empregue, foi tanto quanto se conhecia, adequado aos materiais escolhidos. Contudo nalgumas situações, em que eram previsíveis problemas no desenrolar do processo, optou-se por efectuar a compostagem nas condições mais simples, deixando para uma fase posterior eventuais correcções.

Descrevem-se seguidamente as condições particulares da compostagem de cada material.

Bagaço de azeitona

No início do processo, efectuou-se o suplemento de azoto sob a forma de ureia e a adição de água, a qual se repetiu nos volteios posteriores, à excepção do 3^o volteio, que foi necessário realizar apenas por motivos logísticos devidos à utilização das caixas de compostagem. A

quantidade de ureia a aplicar, na impossibilidade de determinar atempadamente o valor específico, foi calculada de acordo com conhecimento empírico, à razão de 10 g de ureia por kg de MS, correspondente a $3,3 \text{ kg m}^{-3}$ do bagaço utilizado.

O bagaço de azeitona, devido à granulometria das partículas constituintes, indicava poder vir a apresentar problemas de arejamento durante o processo de compostagem (Gouleke, 1991).

No total realizaram-se 4 volteios, o último dos quais ao fim de mais de 4 meses, por o material ainda apresentar uma temperatura elevada.

Bagaço de uva

No bagaço de uva, devido à baixa relação inicial carbono orgânico oxidável/azoto orgânico (C/N), iniciou-se o processo de compostagem ajustando apenas o teor de humidade do material. Sendo este constituído essencialmente pelas grainhas, películas e alguns restos de engaços, apresentava uma textura relativamente fina, embora não tão homogénea como o bagaço de azeitona.

Durante a compostagem efectuaram-se 4 volteios, sempre acompanhados de adição de água. Após a estabilização da temperatura efectuou-se um último volteio para melhorar a homogeneização do material.

Polpa de alfarroba

Este material, devido ao processo industrial a que é submetido, apresentava um teor de humidade muito elevado. A presumível riqueza em hidratos de carbono facilmente decomponíveis, fazia prever a necessidade de corrigir o pH, para evitar uma excessiva acidificação inicial por acção bacteriana (Gouleke, 1991). No entanto, nas 24 h seguintes à chegada do material, verificou-se o aumento substancial da temperatura da pilha em que se depositara, pelo que se decidiu não interromper o processo, colocando-o na caixa de compostagem tal como se encontrava, isto é, sem suplemento azotado nem adição de água.

Durante o processo efectuaram-se 5 volteios com adição de água e posteriormente um último após a estabilização da temperatura, para melhorar a homogeneização do material.

Casca de eucalipto

Para a 1ª compostagem, em que o material inicial apresentava uma relação C/N relativamente baixa (Quadro 15) o suplemento azotado foi fornecido pela incorporação de 25%

(v/v) de LETARU (L2), utilizando a experiência adquirida pelo Laboratório de Química da Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB) e a referida em alguns trabalhos (Handreck e Black, 1991).

Efectuaram-se 3 volteios, antes da temperatura do material começar a estabilizar e posteriormente um quarto volteio para melhoria da homogeneização do composto.

No segundo ano, o suplemento azotado foi fornecido apenas pela aplicação de ureia. Utilizaram-se 3 kg m^{-3} , valor empírico ligeiramente elevado para este tipo de material, a que corresponde um teor de azoto mesmo assim bastante mais baixo que o aplicado na primeira compostagem.

Procedeu-se a 4 volteios durante o processo, sendo os dois últimos sem adição de água, dado o elevado teor de humidade do material.

Casca de pinheiro

Para a 1ª compostagem, o suplemento azotado foi primeiramente fornecido com a aplicação de 13 g de ureia por kg de MS, correspondente a $3,3 \text{ kg m}^{-3}$ de material. Face à reduzida elevação da temperatura, decidiu-se posteriormente, à 10ª semana, realizar uma aplicação de LETARU (L1), de 20% (v/v). Continuando a temperatura praticamente sem alteração e sabendo que as lamas utilizadas poderiam ter sofrido eventualmente uma acentuada mineralização e redução da sua actividade microbiológica, efectuou-se uma segunda aplicação de L₂ à 15ª semana, de 7,5% (v/v), tendo-se observado nítida subida da temperatura (Fig. 10), embora com pouco significado de um ponto de vista prático.

No total, efectuaram-se 4 volteios com adição de água, dois deles com incorporação de lamas. Posteriormente realizou-se um outro volteio para melhoria da homogeneização.

Pelos mesmos motivos referidos para a casca de eucalipto, realizou-se uma segunda compostagem com casca de *Pinus pinea* L., recém extraída, suplementada com ureia à razão de 3 kg m^{-3} de material.

A temperatura atingiu os valores esperados, mas por um período curto, pelo que à 12ª semana se efectuou novo suplemento azotado idêntico ao anterior. Desta operação apenas resultou uma pequena subida da temperatura, por período reduzido.

Efectuaram-se também 4 volteios, não tendo sido necessária, no último, a adição de água.

A idade exacta da casca de pinheiro (período após a extracção), bem como as condições de armazenamento são factores importantes na evolução do processo de compostagem. Apenas

quanto ao material utilizado na 2ª compostagem, se pode garantir que se tratava de material recente.

3.2.3. Observações realizadas

Durante a compostagem, determinou-se a redução de volume dos materiais, medindo o decréscimo de altura nas caixas e tendo em conta a quantidade de material retirado como amostra.

Para caracterizar os materiais iniciais, acompanhar as suas transformações durante a compostagem e caracterizar os respectivos produtos finais, efectuaram-se várias determinações, especificadas nos parágrafos 3.2.3.1 a 3.2.3.4, de acordo com métodos de conhecida aptidão para o tipo de materiais utilizados, regularmente utilizados na ESAB.

Recolheram-se amostras semanais, com cerca de 10 L. Parte da amostra foi analisada na Universidade do Algarve e o restante foi conservado a 4 °C e analisado no Laboratório de Fitotecnia e no Laboratório de Química da ESAB. A amostragem foi realizada com sonda tubular nos materiais de estrutura mais granular ou seja em todos à excepção da casca de eucalipto. Neste material, efectuou-se através da abertura de galerias com uma pá pequena, por forma a obter uma amostra representativa do material contido na caixa, reduzindo o problema de não haver agitação contínua (Gray *et al.*, 1973). No entanto, devido à grande profundidade das caixas, nas fases iniciais da compostagem foi apenas possível colher material na sua metade superior, o que pode explicar alguma oscilação inicial dos valores de algumas das variáveis determinadas. Posteriormente, ao diminuir a altura de material nas caixas e pela acção homogeneizadora dos volteios, este problema desapareceu. Conforme as exigências da variável em estudo, assim se utilizou amostra fresca (recém obtida ou conservada em câmara frigorífica a 4 °C), seca ao ar, seca em estufa a 105 °C e moída ou, o seu extracto em água ou em solução aquosa de CaCl₂ e DTPA (Fig. 4). As análises foram efectuadas em triplicado ou em duplicado, de acordo com o método empregue.

Relacionaram-se os valores das variáveis determinadas com o tempo de duração da compostagem, para avaliar a sua evolução durante o processo. Nos materiais em que não foram analisadas amostras do início do processo (do 1º dia de compostagem), utilizaram-se como valores deste estágio, os valores do material fresco, isto é, tal como foi recebido, por a sua preparação prévia não envolver alteração sensível das suas propriedades. Foi o caso da capacidade de troca catiónica no bagaço de azeitona, das propriedades físicas no bagaço de uva e de todas as variáveis

na polpa de alfarroba. Para efectuar a análise estatística utilizou-se o programa SAS (S.A.S., Inc. Cary, EUA).

Durante o primeiro ano de armazenamento os compostos foram conservados em caixas, nas da compostagens ou em caixas de madeira, num armazém coberto, à temperatura ambiente. No segundo ano, foram conservados a 4 °C, sendo por isso mínima a evolução das suas propriedades, pelo que a avaliação das propriedades dos compostos se refere apenas ao primeiro ano de armazenamento.

A Fig. 4 apresenta esquematicamente a relação entre o tipo de amostra e as determinações subsequentes.

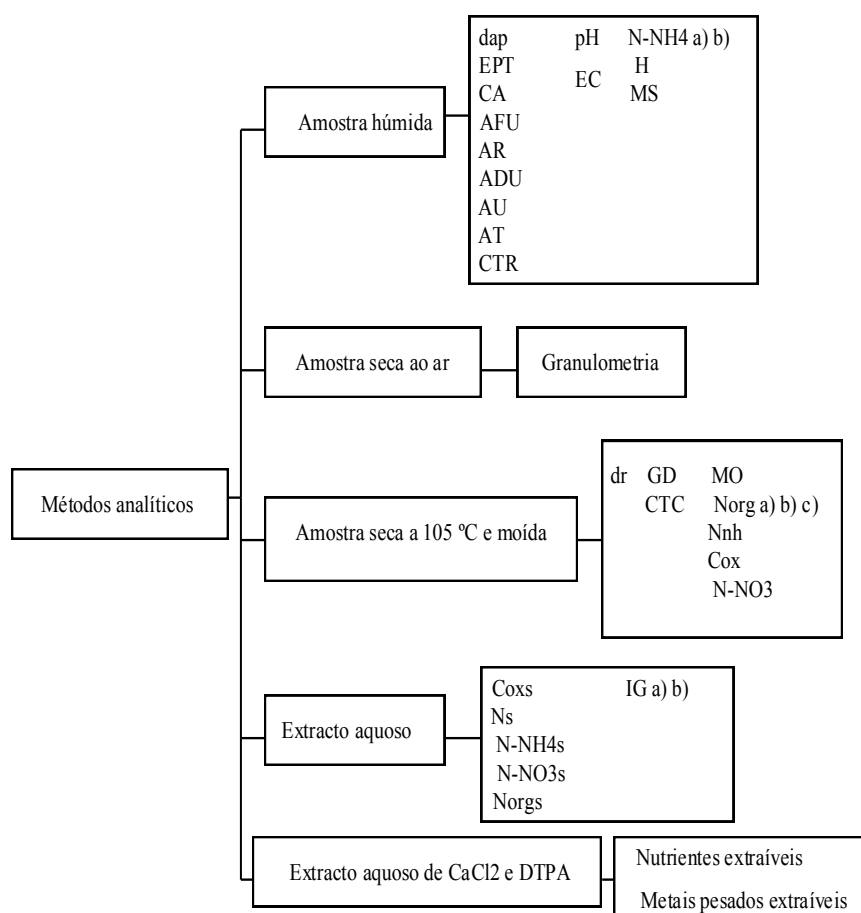


Figura 4 - Determinações efectuadas e tipo de amostra empregue.

3.2.3.1. Métodos para determinação de propriedades físicas

Seguiu-se, de um modo geral, a metodologia proposta por Martinez (1992).

Granulometria

Optou-se por utilizar uma série de crivos com dimensões que pudessem caracterizar adequadamente os compostos a utilizar como substratos, a saber (medida da malha em mm): 40; 25; 16; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,125. Crivaram-se amostras de cerca de 200 g de material fresco seco ao ar, com agitador mecânico (CISA, Espanha), durante 10 minutos, com agitação intermitente em amplitude máxima. Pesou-se o material retido em cada crivo e expressaram-se os resultados em percentagem relativamente ao peso total do material crivado.

Densidade real (dr)

Sendo materiais essencialmente orgânicos, estimou-se o valor da densidade real (dr) a partir dos teores de matéria orgânica total e de cinzas, obtidos por calcinação (Martinez, 1992), de acordo com a fórmula:

$$dr = \frac{100}{\frac{MO}{1,45} + \frac{MM}{2,65}} \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$$

sendo:

dr: densidade real (g cm⁻³)

MO: percentagem de matéria orgânica do material (= 100 - % cinzas)

MM: percentagem de matéria mineral do material (= % cinzas)

Densidade aparente (dap)

Para a determinação da densidade aparente (dap) utilizou-se uma adaptação do método de De Boodt *et al.* (1974), que consistiu em determinar directamente o teor de humidade e o peso seco do material, pesando o cilindro com o material húmido e colocando posteriormente o conjunto em estufa a 105 °C durante 24 horas (no método proposto de De Boodt *et al.*, estas determinações eram efectuadas com 4 amostras do material contido nos cilindros).

Utilizaram-se cilindros em latão, com 7,7 cm de diâmetro interno, em pares constituídos por um cilindro de 3 cm e outro de 4 cm de altura. Cada conjunto era unido por uma faixa de borracha, ficando por baixo o cilindro de 4 cm de altura, ao qual se adaptava uma tela fina na base, fixa por meio de um elástico ao exterior do cilindro. O conjunto enchia-se de material fresco, sem compactar e colocava-se a saturar durante 24 horas. Após este período colocaram-se numa

caixa de areia, a uma tensão de 10 cm de coluna de água. Deixou-se a equilibrar durante 48 horas e separou-se cuidadosamente o material do cilindro superior, com faca ou tesoura, pesando-se o material do cilindro inferior. Relacionando com o volume do cilindro, o peso fresco do material do cilindro e o peso após secagem a 105 °C, obtém-se a d_{ap} e a d_{ap_s} , respectivamente a densidade aparente “húmida” (do material à tensão de 10 cm de coluna de água) e a densidade aparente “seca” (do material seco a 105°C).

Este procedimento permite ainda calcular a contracção de volume registada pelo material (adiante descrito).

Espaço poroso total (EPT)

Seguiu-se o método de De Boodt *et al.* (1974), segundo o qual a percentagem de espaço poroso total (EPT) é determinada por cálculo a partir do conhecimento da densidade aparente “seca” e da densidade real dos substratos orgânicos (que se admite igual a 2,45), através da equação:

$$EPT = \left(1 - \frac{d_{ap_s}}{d_r}\right) \times 100 (\%)$$

Relação ar - água

Para a determinação das características: capacidade de arejamento, água facilmente utilizável e água de reserva, seguiu-se o método de De Boodt *et al.* (1974). Este método baseia-se na determinação do teor de água, em percentagem de volume, retida pelo material, a tensões até 100 cm de coluna de água (aproximadamente 10 kP). Conhecido o espaço poroso total e relacionando a tensão aplicada e a quantidade de água extraída, obtém-se o gráfico denominado curva de libertação de água.

Utilizaram-se copos de filtração nº4, com torneira de 2 vias e encaixe de vidro esmerilado montados sobre rampa, que permite a montagem de 6 copos (AFORA, Espanha). Os copos são cheios com 2 a 3 cm de altura de material, sem compactar, tendo em atenção a tendência de compactação do material. A saturação efectuou-se adicionando água lentamente pela parede interna do copo. O conjunto é coberto com filme plástico para evitar a perda de água por evaporação.

O método de De Boodt *et al.* (1974) permitiu a determinação das seguintes variáveis:

Capacidade de arejamento (CA): calculando a diferença em percentagem de volume, entre o espaço poroso total e o teor de água à tensão de 10 cm de coluna de água.

Água facilmente utilizável (AFU): calculando a percentagem de volume de água libertada pelo substrato, quando aquela tensão aumenta de 10 para 50 cm.

Água de reserva (AR): é a percentagem de volume de água libertada pelo substrato, quando a tensão aumenta de 50 para 100 cm.

Embora não explicitada na metodologia de De Boodt *et al.* (1974), calculou-se ainda:

Água dificilmente utilizável (ADU): é a quantidade de água, expressa em percentagem de volume, retida à tensão de 100 cm de coluna de água.

Com base nas características anteriores foi possível deduzirem-se outras duas, que são a:

Água utilizável (AU): que corresponde à soma da água facilmente utilizável e da água de reserva.

Água total (AT): que corresponde ao somatório da água utilizável com a água dificilmente utilizável.

Contração de volume

Denominou-se por contração de volume (CTR), a perda de volume experimentada por um material, quando após se encontrar em condições normalizadas de humidade, é sujeito a um processo de dessecação.

Conforme proposto por Martinez (1992), esta variável é quantificada registando-se em cada cilindro, a contração ocorrida ao secar o material utilizado na determinação da densidade aparente. Para isso, após a secagem (em estufa a 105°C), mediu-se com craveira a altura do material em 4 pontos equidistantes e o diâmetro segundo duas direcções perpendiculares e relacionou-se este volume com o volume inicial (volume interno do cilindro).

3.2.3.2. Métodos para determinação de propriedades físico-químicas

pH

O pH foi determinado por um método expedito, simplificação do método proposto por Gabriëls e Verdonck (1991). Preparou-se um extracto aquoso 1:2 (v/v), a partir de 100 cm³ de amostra, medidos a uma pressão de 10 gf cm⁻² (Martinez e Casasayas, 1988). Agitou-se com vareta de vidro durante meia hora, deixou-se repousar uma hora, após o que, sem agitar, se mediu o pH com potenciómetro (Crison 2001, Crison Instruments, Espanha).

Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (EC) mediu-se com conductivímetro (Crison 522, Crison Instruments, Espanha), em suspensão obtida do mesmo modo ou, na mesma utilizada para determinação do pH, após filtração com papel de filtro.

Grau de decomposição

Para a determinação do grau de decomposição (GD) utilizou-se o método da hidrólise sulfúrica, descrito em Ramos *et al.* (1987), em que se determina a percentagem de matéria orgânica resistente à hidrólise ácida, relativamente à matéria orgânica total. Este método consta fundamentalmente de duas hidrólises sucessivas, com H₂SO₄ a 72% e com H₂SO₄ diluído a quente, no final das quais se obtém um material resistente, composto por lenhina e substâncias húmicas muito evolucionadas.

Utilizaram-se amostras de 1,5 g de material seco a 105 °C e moído. O valor do grau de decomposição expressou-se em percentagem de matéria orgânica resistente em relação à matéria orgânica total.

Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC) determinou-se pelo método proposto por Harada e Inoko (1979), descrito em Soliva *et al.* (1990). Consta de três fases: saturação (em que ocorre a troca dos iões do complexo de troca pelos protões do ácido clorídrico), deslocamento (em que se dá a troca dos protões por outro catião, com uma solução de Ba) e titulação (na qual se titula a acidez dum volume conhecido da solução obtida da amostra).

Utilizaram-se amostras de 200 a 500 mg de material triturado e seco a 105 °C. Para a titulação, tomou-se uma amostra de 50 mL da solução recolhida, em triplicado e, titulou-se com

NaOH 0,5N, descarboxada e normalizada. Utilizou-se uma bureta de 2 mL e timol como indicador. O resultado expressou-se em relação à matéria seca, à matéria orgânica ou ao volume de material.

Teor de humidade e de matéria seca

Os teores de humidade (H) e de matéria seca (MS) determinaram-se pelo método proposto por Martinez (1992), utilizando 40 a 50 g de matéria seca de material seco em estufa a 105 °C, até peso constante.

3.2.3.3. Métodos para determinação de propriedades químicas

Matéria orgânica total

O teor de matéria orgânica total (MO) determinou-se por gravimetria indirecta (via seca), segundo Ramos *et al.* (1987), pesando 1 a 2 g (com precisão à 4ª casa decimal) de amostra moída, seca em estufa a 105 °C, para um copo de porcelana pré-calcinado a 560 °C durante 30 minutos. Pré-calcinou-se a amostra até cessar libertação de fumos e calcinou-se em mufla a 560 °C durante 3 h.

Azoto orgânico

O teor de azoto orgânico (Norg) foi determinado segundo dois métodos, método de Kjeldahl e método do eléctrodo selectivo de amoníaco (Soliva *et al.*, 1990). O método de Kjeldahl foi aplicado seguindo duas técnicas ligeiramente diferentes.

Método de Kjeldahl (Soliva *et al.*, 1990): técnica a) e técnica b)

Método do eléctrodo selectivo de amoníaco (Soliva *et al.*, 1990): técnica c)

Técnica a): (seguida na UAI)

Colocou-se em cada tubo Kjeldahl de 100 mL, cerca de 1 g (com precisão à 4ª casa decimal) de amostra seca a 105 °C e moída, a que se adicionou 1,5 g de catalisador (obtido pela mistura de 80g de CuSO₄·5H₂O, 4g de Se e 400g de K₂SO₄ finamente moídos). Adicionaram-se lentamente 20 mL de H₂SO₄ concentrado e igual volume de água destilada. Colocaram-se os tubos em digestão (BUCHİ 430, Suíça), durante 1 h a 400 °C, até a solução ficar transparente.

Efectuou-se a destilação simples por arraste de vapor (BUCHİ 315, Suíça) da solução obtida no digestor, após a adição de um excesso de NaOH a 40%, recolhendo-se o destilado num

balão Erlenmeyer com 25 mL de ácido colectador (ácido bórico a 4%, ao qual se adicionaram 2 gotas de indicador misto).

Seguidamente titulou-se o borato de amónio formado com HCl 0,1N. Expressaram-se os resultados em percentagem relativamente à matéria seca.

Técnica b): (seguida na ESAB)

Colocou-se em cada tubo Kjeldahl de 100 mL, de 0,3500 a 0,5000 g de amostra seca a 105 °C e moída, a que se adicionou 1,5 g de catalisador, embrulhados em papel de filtro. Adicionaram-se 10 mL de H₂SO₄ concentrado, agitando até molhar a amostra. Colocaram-se os tubos em digestão durante 1 h a 400 °C (Digester SELECTA, Espanha), após o que se dava por terminado o ataque, ficando a solução transparente.

Efectuou-se a destilação simples por arraste de vapor desta solução (Vapodest, Gerhardt, Alemanha), após a adição de um excesso de NaOH a 40%, recolhendo-se o destilado num balão Erlenmeyer com 25 mL de ácido colectador (HCl 0,1 N, com o indicador vermelho de metilo).

Seguidamente titulou-se com HCl 0,1 N. Expressaram-se os resultados em percentagem relativamente à matéria seca.

Técnica c): (seguida na ESAB)

Só necessita de digestão e quantificação.

Efectuou-se a digestão como anteriormente, fazendo simultaneamente um ensaio em branco só com saco de papel. A solução de leitura de cada amostra foi obtida colocando 10 mL do digerido num tubo Nessler de 50 mL e completando com água destilada. Prepararam-se simultaneamente soluções padrão de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 ppm de N, a partir de uma solução mãe de 1000 ppm de N. Depois de preparado o aparelho de leitura, colocaram-se as soluções de leitura, num copo de precipitados de 50 mL e adicionou-se 2,6 mL de NaOH a 40%, tendo-se lido os valores após a sua estabilização.

A recta padrão ideal obteve-se relacionando os valores das concentrações das soluções de leitura dos padrões (numa escala logarítmica) com os mV lidos no potenciómetro e tem uma inclinação de 57 ± 3 . A partir desta recta, obtiveram-se directamente os valores das concentrações das soluções de leitura das amostras. Expressaram-se os resultados em percentagem relativamente à matéria seca.

Azoto não hidrolizável

Utilizou-se o método descrito por Soliva *et al.* (1990), determinando-se o teor de azoto não hidrolizável (Nnh) no resíduo resistente à hidrólise para determinação do grau de decomposição, determinando-se o Nnh com o eléctrodo selectivo de amoníaco.

Tomou-se cerca de 0,3 g de resíduo seco resistente à hidrólise de determinação do grau de decomposição das amostras e procedeu-se à determinação do respectivo teor de azoto, com o eléctrodo selectivo de amoníaco, como na técnica c) de determinação do azoto orgânico.

Carbono orgânico oxidável

Para a determinação do teor de carbono orgânico oxidável (Cox) utilizou-se uma modificação do método de Suerlandt descrita em Soliva *et al.* (1990), que se baseia em reacções de redução à base de dicromato de potássio em meio ácido. Nesta modificação do método de Suerlandt, fazem-se variar as concentrações de dicromato e de ácido sulfúrico. A reacção efectua-se com excesso de dicromato, quantificando o excesso de dicromato não consumido com Sal de Mohr.

Tomaram-se amostras de 0,1 a 0,25 g (com precisão à 4ª casa decimal) de amostra moída e seca, de acordo com o teor de matéria orgânica esperado. Exprimiram-se os resultados em percentagem relativamente à matéria seca.

Azoto amoniacal

O azoto amoniacal (N-NH₄) foi determinado utilizando duas técnicas, que se diferenciaram pela utilização na destilação de NaOH (técnica a, Soliva *et al.*, 1990) ou MgO (técnica b).

Na segunda técnica, a utilização de MgO em substituição de NaOH, evita a hidrólise de compostos azotados sensíveis, sendo apenas quantificado o azoto amoniacal solúvel e de troca.

Técnica a)

Colocaram-se cerca de 4 g de amostra fresca no tubo do destilador (Vapodest, Gerhardt, Alemanha), adicionou-se hidróxido de sódio a 40% e efectuou-se a destilação por arraste de vapor. Os resultados foram expressos em percentagem relativamente à matéria seca.

Técnica b)

Colocaram-se também cerca de 4 g de amostra fresca no tubo do destilador (Vapodest, Gerhardt, Alemanha), mas adicionou-se-lhe água destilada até cobrir a amostra e cerca de 1 g de MgO (seco em estufa a 600 - 700 °C). Destilou-se durante 4 minutos em baixa potência. Exprimiram-se os resultados em percentagem relativamente à matéria seca.

As variáveis seguintes, ditas “solúveis” foram determinadas num extracto aquoso com a relação 1:5 (p/v). Este extracto foi obtido colocando em recipientes plásticos cerca de 60 g de material fresco e 250 mL de água destilada, deixando em agitador rotativo durante 30 minutos e filtrando posteriormente por papel de filtro.

pH e Condutividade eléctrica do extracto solúvel

Determinaram-se medindo estas variáveis directamente no extracto com o potenciómetro (Crison 2001, Crison Instruments, Espanha) e o condutímetro (Crison 522, Crison Instruments, Espanha).

Carbono oxidável solúvel

O carbono oxidável solúvel (Coxs) determinou-se pelo método descrito em Soliva *et al.* (1990), baseado na oxidação da matéria orgânica por via húmida, com dicromato de potássio em meio ácido.

Utilizaram-se amostras de 2 mL do extracto aquoso. Leram-se as absorvâncias a 590 nm num espectrofotómetro (UV 160, Shimadzu, Japão). Exprimiram-se os resultados em percentagem de carbono oxidável solúvel relativamente à matéria seca.

Azoto solúvel

O azoto solúvel (Ns) determinou-se pelo método descrito em Soliva *et al.* (1990), segundo o qual o seu teor é quantificado pelo método de destilação Kjeldahl.

Engloba o azoto orgânico solúvel e o azoto amoniacal solúvel (não inclui o nítrico solúvel).

Utilizaram-se amostras de 10 mL de extracto aquoso. Exprimiram-se os resultados em percentagem de carbono oxidável solúvel relativamente à matéria seca.

Azoto amoniacal solúvel

No extracto aquoso foi quantificado o teor de azoto amoniacal solúvel (N-NH₄s) por destilação e titulação, segundo o método descrito em Soliva *et al.* (1990).

Utilizaram-se amostras de 10 mL de extracto aquoso. Destilou-se por arraste de vapor num destilador (Vapodest 12, Gerhardt, Alemanha) em potência 2, durante 3 minutos. Exprimiram-se os resultados em percentagem de azoto amoniacal solúvel relativamente à matéria seca.

Azoto nítrico solúvel

Determinou-se o teor de azoto nítrico solúvel (N-NO₃s) do extracto aquoso segundo o método descrito em Soliva *et al.* (1990) que utiliza o eléctrodo selectivo de nitratos, depois de flocular a matéria orgânica solúvel.

As soluções de leitura foram obtidas a partir de 25 mL do extracto aquoso. Exprimiram-se os resultados em percentagem de azoto nítrico solúvel relativamente à matéria seca.

Azoto orgânico solúvel

O teor de azoto orgânico solúvel (Norgs) estimou-se pela diferença entre o valor do azoto solúvel (que inclui o azoto orgânico e o amoniacal solúveis) e o azoto amoniacal solúvel.

Relação carbono/azoto do extracto solúvel

Esta variável, (C/N)_s, foi determinada calculando o quociente do teor de carbono oxidável solúvel (Coxs) e do azoto orgânico solúvel (Norgs).

Nutrientes extraíveis

Determinou-se o teor de nutrientes e de metais pesados extraíveis, num extracto obtido com solução aquosa de CaCl₂ e DTPA (Alt e Peters, 1993).

Para obtenção do extracto utilizou-se amostra fresca contendo 25 g de matéria seca, tomando em conta o teor de humidade do material, a que se adicionaram-se 200 mL de solução extractante. Colocou-se em agitador de movimento transversal (SM 25, Edmund Bühler, Alemanha) durante 1 hora e filtrou-se.

Conforme o método proposto pelos autores, o azoto nítrico e o azoto amoniacal determinaram-se pelo método de destilação, utilizando 50 mL do extracto. O fósforo foi determinado por espectrofotometria a 880 nm (Shimaddzu UV 160-A, Shimaddzu Europa GMBH), a partir de amostras de 5 mL do extracto. O potássio e o sódio determinaram-se

directamente no extracto, por fotometria de chama (Corning Flame Photometer M410, Ciba Corning Diagnostics, Reino Unido) e o magnésio, o ferro, o cobre, o zinco, o manganês, o chumbo, o crómio e o cádmio por espectrofotometria de absorção atómica (Shimadzu AA 680, Shimadzu Europa GMBH), no extracto ou em soluções diluídas.

3.2.3.4. Métodos para determinação de propriedades biológicas

Índice de Germinação

Para a determinação do índice de germinação (IG), utilizaram-se dois métodos: uma adaptação de um teste de Zucconi *et al.* (1985) e uma adaptação do método descrito por Aguirre (1994).

Adaptação de um teste de Zucconi *et al.* (1985).

A adaptação consistiu na utilização de amostra sem ajuste prévio do teor de humidade, colocando 20 g (peso seco) de amostra fresca num balão com 250 mL de água destilada, agitando durante 2 horas em agitador rotativo, colocando durante 2 h na estufa a 40 °C e filtrando por duplo papel de filtro. O extracto foi empregue sem diluição. Efectuaram-se as determinações não só ao fim de 24 h conforme proposto pelos autores, mas também ao fim de 48 h, devido ao facto de no final do período proposto, o insuficiente desenvolvimento das radículas não ter permitido a sua medição.

Adaptação de método descrito por Moreno (1994).

Este método, além do mastruço (*Lepidium sativum* L.), usa como indicadores outras espécies de plantas hortícolas, já que segundo o autor, nas condições do teste de Zucconi *et al.* (1985), esta espécie não foi um bom indicador do efeito fitotóxico, na avaliação de substratos à base de resíduos de cortiça. A adaptação consistiu na obtenção do extracto a partir de adição de água destilada aos compostos na relação 1:1 (v/v), descontando a água presente nos materiais e, no emprego de sementes de mastruço, alface e tomate.

Percentagem de germinação

A partir das contagens efectuadas para a determinação do IG segundo os métodos referidos, calculou-se a respectiva percentagem de germinação (G).

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Evolução do processo de compostagem

3.3.1.1. Bagaço de azeitona

Na Figura 5 observa-se a evolução da temperatura e as operações de volteio e adição de água efectuadas.

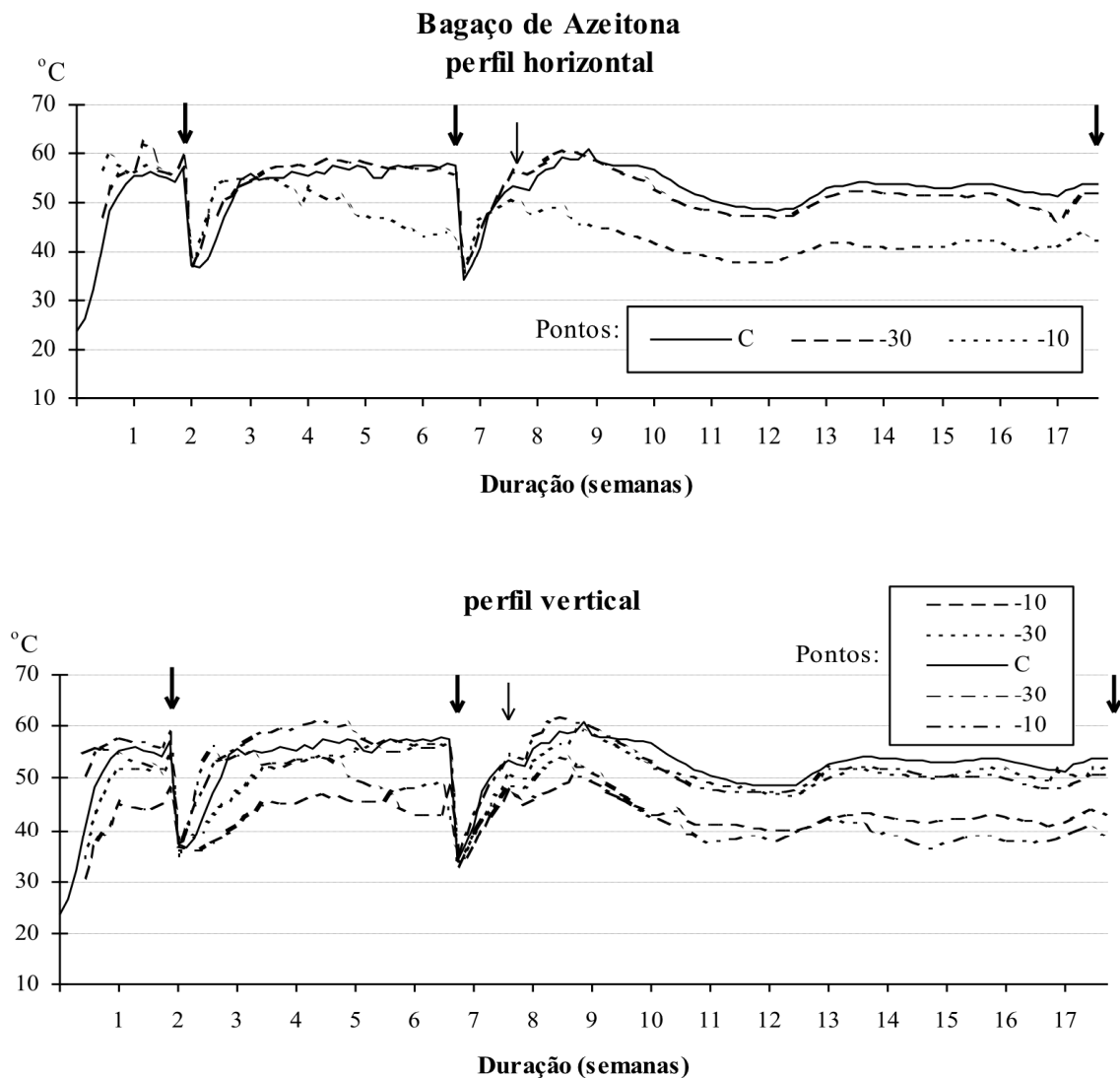


Figura 5 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante o processo. Pontos de registo da temperatura : Perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro do material; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior; Perfil vertical (segundo a vertical passando pelo centro da caixa): C, no centro; -30, a 30 cm da superfície exterior superior e inferior; -10, a 10 cm da superfície exterior superior e inferior. Operações efectuadas: ↓, volteio, ↓↓, volteio e adição de água.

O processo foi acompanhado durante um pouco mais de 4 meses, tendo-se alcançado uma temperatura máxima no centro do material em compostagem de 60,9 °C. Efectuaram-se 4 operações de volteio, três das quais com adição de água (Fig. 5).

A resistência à decomposição apresentada por este material, constituído essencialmente pelas sementes trituradas, impediu uma redução de volume apreciável, que atingiu apenas 16% 112 dias após o início do processo.

Inicialmente desenrolou-se uma fase de decomposição relativamente pouco intensa, mas com temperaturas elevadas durante largo período. Nas primeiras semanas, as temperaturas mais elevadas registaram-se, não no centro, mas nos pontos laterais a 30 cm da superfície, mantendo-se esta situação até cerca da 9ª semana, com uma diferença de 1 a 2 °C. Dada a granulometria relativamente fina do material, supõe-se que tenha ocorrido um insuficiente arejamento do meio. A confirmar-se esta situação, teria sido útil a incorporação de um agente melhorador da porosidade para a compostagem deste material. Calvet *et al.* (1994) verificaram uma acentuada variação da temperatura, entre o centro e o exterior do material, o que não se observou neste ensaio, pelo menos comparativamente com os outros materiais compostados.

No centro da caixa, a temperatura manteve-se a um nível favorável ao processo durante largo período, de pelo menos 4 meses. As últimas determinações de variáveis durante a compostagem foram por isso efectuadas em amostras de material não completamente estabilizado. Na compostagem de bagaço de azeitona em caixas mais pequenas (125 L), a temperatura do material mantém-se na zona termofílica durante três semanas após o que é necessário proceder a volteios, até à estabilização da temperatura, decorridos 2 meses (Calvet *et al.*, 1994). No material estudado, as condições termofílicas mantiveram-se por um período bastante mais largo.

A manutenção de temperatura elevada durante tão largo período pode-se explicar em parte pelas baixas trocas de calor por convecção resultantes da granulometria relativamente fina do material. Assim, por comparação com outros materiais com maior porosidade, nomeadamente a polpa de alfarroba e a casca de eucalipto, verifica-se no bagaço de azeitona uma maior diferença de temperatura segundo o perfil vertical e, menor segundo o horizontal. Este facto sugere que a corrente de ar ascendente, com transferência de calor sensível, tem menos importância neste material. Por outro lado, a menor diferença na horizontal, indica menores perdas de calor (por convecção e por condução) a partir da zona central. A circulação de ar existente permitiria a continuação da actividade aeróbia dos organismos mas seria insuficiente para baixar a temperatura.

A existência no material inicial de resíduos de lípidos (4 a 5% de matérias gordas, em peso fresco segundo Loussert e Brousse, 1978 e, 1% segundo Carola, 1985, *cit. in* Kiritsakys, 1991), com valor de calor de combustão superior em mais do dobro aos dos outros constituintes, podendo contribuir para mais de 75% do calor libertado (Wiley, 1957, *cit. in* Gray *et al.*, 1971a), pode contribuir também para explicar a enorme produção de calor verificada, apesar da pequena, embora estatisticamente significativa, redução de MO (Quadro 9).

A ligeira redução da MO, associada à inalteração do GD (Quadro 9), indica que os compostos orgânicos presentes são pouco degradáveis, evidenciando uma forte resistência do material à decomposição. As formas em que o carbono se apresenta fazem, por isso, com que a alta relação C/N não constitua problema, tanto para o desenrolar do processo como para a sua posterior utilização.

Quanto às restantes características físico químicas e químicas, observa-se a redução da EC. Esta redução pode-se atribuir ao reduzido teor de humidade do material fresco, atendendo à baixa relação material:água (1:2 v/v) do extracto utilizado para a sua determinação. Posteriormente, os valores determinados são bastante aproximados em parte devido à ocorrência de uma reduzida quantidade de lexiviados.

Os parâmetros mais sensíveis à evolução do processo de compostagem são, na fase sólida, a CTC, o Norg, o N-NH₄ e o Nnh (Quadro 9).

Parte do significativo aumento de azoto orgânico, terá resultado da incorporação do azoto amoniacal em substâncias húmicas nomeadamente lenhinas.

O aumento detectado no azoto solúvel (Ns) resulta também da aplicação de ureia, já que no bagaço de azeitona, o efeito de concentração por redução de volume, é muito reduzido. O carbono oxidável e o azoto amoniacal solúveis diminuem, enquanto que a concentração de azoto nítrico aumenta, como ocorre numa evolução normal (Quadro 9). O pH do extracto solúvel aumenta acompanhando a variação de azoto amoniacal solúvel.

O índice de germinação evoluiu favoravelmente, desde níveis impeditivos da utilização, do material fresco, até valores bastante favoráveis, no final do período de compostagem (Quadro 9).

A conservação em armazém à temperatura ambiente ou em câmara frigorífica, praticamente não alterou as características determinadas (Quadros 28 e 32).

Do ponto de vista físico, a variação das propriedades do bagaço de azeitona foi também limitada (Quadro 10). Verificou-se uma diminuição não habitual da daps, que se explica pela maior redução das partículas das classes de 0,5 a 0,25 mm e pelo aumento relativo nas de 2 a 5

mm. Isto é, teriam desaparecido partículas finas mantendo-se uma estrutura constituída pelas partículas maiores, reduzindo-se deste modo o peso de material por unidade de volume.

A ligação da diminuição da daps ao desaparecimento da fracção mais fina registada é suportada também pelo aumento do EPT (Quadro 10).

Observou-se além do aumento do EPT, a melhoria do nível de ADU, relativamente ao material inicial (Quadro 10). O teor de AFU era extremamente baixo, não melhorando com a realização do processo de compostagem. A CA era elevada.

A correlação linear do valor destas variáveis com o período de duração do processo foi significativa apenas para o EPT (Quadro 10). A regressão quadrática foi significativa para a CA e a AT, o que sugere a interacção das características das partículas e do espaço poroso durante o processo.

As características determinadas apontam para a possibilidade de o composto de bagaço de azeitona ser utilizado em misturas como elemento melhorador do arejamento ou, a possibilidade de se melhorar a sua capacidade de retenção de água, com o recurso a mistura com material adequado, de acordo com o interesse do utilizador.

Quadro 9 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas durante a compostagem de bagaço de azeitona

| Em amostra sólida | | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------------------------|------------------|---------------------|------------|
| | | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| H | (%) | 26,4 | 39,4 | 34,8 | 43,8 | 23,0 | 34,2 | | |
| MS | (%) | 73,8 | 60,6 | 65,2 | 56,1 | 77,0 | 65,8 | | |
| pH | | 5,09 | 4,57 | 6,22 | 6,74 | 6,62 | 6,44 | 0,738 ns | - |
| EC | (dS m ⁻¹) | 1,126 | 0,762 | 0,662 | 0,441 | 0,603 | 0,640 | -0,410 ns | - |
| MO | (%) | 97,6 | 98,0 | 98,1 | 97,8 | 97,2 | 97,0 | -0,932* | 0,984* |
| Norg ¹ | (%) | 0,70 | 0,76 | 0,70 | 1,07 | 1,37 | 1,51 | 0,955* | 0,999*** |
| GD | (%) | 46,8 | 47,0 | - | 48,6 | - | 46,9 | -0,052ns | - |
| N-NH ₄ ² | (%) | 0,071 | - | 0,200 | 0,144 | 0,048 | 0,070 | -0,900 | 0,956* |
| Nnh | (%) | 0,71 | 0,53 | - | 0,61 | - | 1,03 | 0,931* | - |
| Cox | (%) | 43,1 | 40,2 | 45,8 | 41,1 | - | 47,5 | 0,684ns | - |
| C/N | | 40 | 37 | 35 | - | - | 31 | -0,996*** | - |
| CTC | (meq/100g MS) | 28,6 | - | - | 36,6 | - | 44,8 | 1,000*** | - |
| | (meq/100g MO) | 29,2 | - | - | 37,9 | - | 46,2 | 1,000*** | - |
| IG ³ | | Le, 48 h: 18 | | - | - | - Le, 24h: 65 /48h: 108 | | | |
| G ³ | (%) | Le, 48h: 61 | | - | - | - Le, 24h: 8 / 48h: 49 | | | |
| Em extracto solúvel | | | | | | | | | |
| Coxs | (%) | 0,998 | - | - | 0,465 | - | 0,303 | | |
| Ns | (ppm) | 655 | - | - | 940 | - | 1052 | | |
| N-NH ₄ s | (ppm) | 97 | - | - | 217 | - | 86 | | |
| N-NO ₃ s | (ppm) | 21 | - | - | 14 | - | 37 | | |
| Norgs | (ppm) | 558 | - | - | 723 | - | 966 | | |
| (C/N)s | | 19,2 | - | - | 6,4 | - | 3,1 | | |
| pH | | 5,09 | - | - | 6,95 | - | 6,40 | | |
| EC | (dS m ⁻¹) | 2,060 | - | - | 0,603 | - | 0,495 | | |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material do 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem

¹ Norg: método Kjeldahl, técnicas a) e b).

² N-NH₄: destilação com NaOH.

³ IG e G: adaptação de Zucconi *et al.* (1985); Le, mastruço; 24 e 48 h, duração do teste.

Quadro 10 - Evolução das características físicas durante a compostagem de bagaço de azeitona

| Variável | | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|------|------------------|---------------------|------------|
| | | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| dr | (g cm ⁻³) | 1,466 | 1,463 | 1,463 | 1,464 | - | 1,470 | 0,928 ns | 1,000** |
| daph | (g cm ⁻³) | 0,762 | - | 0,830 | 0,830 | - | 0,736 | -0,376 ns | 0,992 ns |
| daps | (g cm ⁻³) | 0,458 | - | 0,439 | 0,416 | - | 0,401 | -0,967* | 0,996 ns |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | | |
| > 40 | (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 40-25 | (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 25-16 | (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 16-10 | (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 10-5 | (% p/p) | 0,3 | - | 0,4 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | | |
| 5-2 | (% p/p) | 39,3 | - | 39,2 | 42,3 | 50,6 | 52,5 | | |
| 2-1 | (% p/p) | 22,3 | - | 21,9 | 22,8 | 24,7 | 25,0 | | |
| 1-0,5 | (% p/p) | 13,6 | - | 12,9 | 13,2 | 14,4 | 13,4 | | |
| 0,5-0,25 | (% p/p) | 21,3 | - | 20,9 | 18,9 | 6,7 | 5,8 | | |
| 0,25-0,125 | (% p/p) | 2,3 | - | 3,1 | 1,3 | 2,1 | 1,8 | | |
| <0,125 | (% p/p) | 1,0 | - | 1,7 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | | |
| Redução vol. ^r % | | | | 7 | 13 | 15 | 16 | | |
| | | | | | | | | Efeito ^e | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | | linear | quadrático |
| CA | (% v/v) | 41,3 | - | 26,5 | 21,1 | - | 38,6 | -0,001 ns | 1,000*** |
| AFU | (% v/v) | 5,9 | - | 10,9 | 15,0 | - | 3,7 | -0,247 ns | 0,983 ns |
| AR | (% v/v) | 1,0 | - | 0,9 | 1,2 | - | 0,5 | -0,663 ns | 0,884 ns |
| ADU | (% v/v) | 20,6 | - | 31,8 | 34,2 | - | 30,0 | 0,529 ns | 0,987 ns |
| EPT | (% v/v) | 68,8 | - | 70,0 | 71,6 | - | 72,7 | 0,972* | 0,994 ns |
| AU | (% v/v) | 6,9 | - | 11,8 | 16,2 | - | 4,2 | -0,273 ns | 0,9798 ns |
| AT | (% v/v) | 27,5 | - | 43,5 | 50,5 | - | 34,2 | 0,170 ns | 0,9998* |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: amostra do 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^r Redução de volume do material em compostagem, relativa ao volume inicial.

3.3.1.2. Bagaço de uva

Na Fig. 6, apresenta-se a evolução da temperatura durante a compostagem de bagaço de uva e as operações efectuadas.

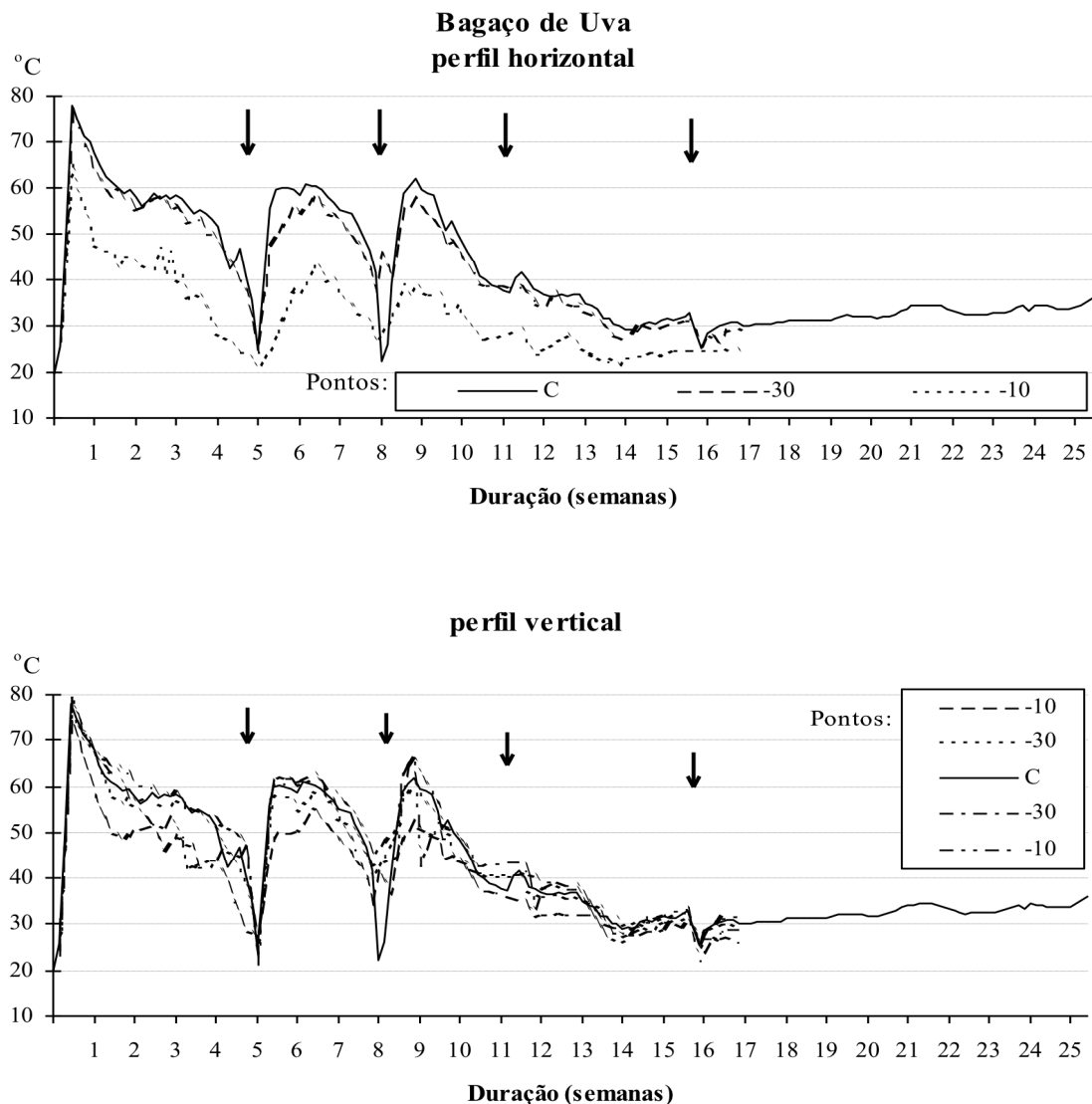


Figura 6 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante o processo de compostagem de bagaço de uva. Pontos de registo da temperatura : perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro do material; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior; perfil vertical (segundo a vertical passando pelo centro da caixa): C, no centro; -30, a 30 cm da superfície exterior superior e inferior; -10, a 10 cm da superfície exterior superior e inferior. Operações efectuadas: ↓, volteio e adição de água.

A temperatura durante a compostagem de bagaço de uva pode-se considerar estabilizada a partir da 16ª semana. Na fase inicial a temperatura alcançou 77,3 °C no centro do

material. Posteriormente a sua evolução foi normal, situando-se acima dos 40 °C durante aproximadamente 3 meses. Efectuaram-se 4 volteios acompanhados de adição de água.

A elevada temperatura alcançada inicialmente pode-se atribuir à presença de resíduos de açúcares uma vez que se tratava de bagaço não destilado. Sabe-se que na fase termofílica a temperatura pode alcançar os 85 °C (Graefe, 1983).

A variação das características físico-químicas, químicas e biológicas durante o processo de compostagem apresenta-se no Quadro 11. Durante o processo verificou-se uma grande diminuição da humidade na zona central, acompanhada de humedecimento da zona exterior, numa espessura de cerca de 20 cm. Nesta zona, a temperatura bastante mais baixa (Fig. 6), parece ter ocorrido a condensação da humidade transportada pela convecção do ar do interior do material. Esta condensação, poderia induzir em erro acerca do teor de humidade do material caso se fizesse uma observação apenas da camada superficial do material.

O pH praticamente não se alterou enquanto que a EC subiu ligeiramente acompanhando a formação de produtos da decomposição, na ausência de lixiviação (Quadro 11).

Tal como no bagaço de azeitona, o teor de MO e o GD registaram uma variação muito reduzida, denotando também elevada resistência à decomposição (Quadro 11). O teor de Cox subiu um pouco durante o processo e depois apresentou tendência para diminuir. Entre o início e o final da compostagem, a relação C/N praticamente não se alterou, partindo já de um valor inicial relativamente baixo.

Somente o N-NH₄ apresentou uma diminuição significativa (Quadro 11). No entanto parte do N-NH₄ resultará também da quantificação do azoto de moléculas azotadas mais simples, hidrolizadas aquando da digestão da amostra fresca.

Embora pareça ter havido uma pequena alteração do material, verifica-se que há uma estabilização, evidenciada pelo decréscimo do teor de N-NH₄ e pelo aumento da CTC e do N-NO₃ (Quadro 11). A estabilização é ainda indicada pela evolução do IG, que inicialmente era demasiado baixo, subindo no final para valores satisfatórios.

Em geral, as variáveis determinadas em extracto solúvel apresentam uma evolução normal. O aumento no teor de azoto solúvel no final do processo, apesar de não se ter adicionado azoto, nem ter ocorrido redução significativa do volume do material, pode-se explicar pelo facto de terem aumentado as partículas finas nesta fase (Quadro 12) parte das quais, passando através dos poros do papel de filtro, iriam aumentar o nível de azoto determinado no extracto aquoso. A relação C/N no extracto aquoso baixou até 2,1.

O facto das partículas, que basicamente constituem o material, serem sementes com elevada resistência à degradação, poderá explicar a pequena alteração da MO e do GD, que são

variáveis associadas à massa total. As variáveis como a CTC e as determinadas em extracto solúvel, mais associadas a alterações da superfície das partículas, apresentaram uma variação nítida.

Do ponto de vista físico, a distribuição granulométrica das partículas registou uma alteração ligeira, devido à fraca degradação das grainhas durante o processo (Quadro 12). Verificou-se a manutenção da matriz inicial constituída pelas grainhas, partículas de 2 a 5 mm, com tendência a aumentar e, a redução das partículas de dimensão superior e algumas partículas de dimensão inferior. Deste equilíbrio, resultou a manutenção de uma mesma CA e AT (Quadro 12).

O composto obtido apresentou uma boa CA (49,3%), mas extremamente baixa AFU (3,1%), a qual diminuiu muito ligeiramente durante o processo.

O bagaço de uva, tal como o bagaço de azeitona, apresenta capacidade potencial como componente melhorador do arejamento em misturas. Como componente de substratos, para fins gerais, necessitará de ser misturado com material que lhe eleve a capacidade de retenção de água.

Quadro 11 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas durante a compostagem de bagaço de uva

| Em amostra sólida | | Nº de dias de compostagem | | | | | | | Efeito ^e | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------|
| | | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 | 140 ^t | linear | quadrático |
| H | (%) | 41,7 | - | 42,0 | 40,2 | 54,8 | 57,6 | 56,7 | | |
| MS | (%) | 58,3 | - | 58,0 | 59,9 | 45,2 | 42,4 | 43,3 | | |
| pH | | 7,27 | - | 6,97 | 7,18 | 6,48 | 6,82 | 7,20 | -0,268 ns | 0,693 ns |
| EC | (dS m ⁻¹) | 0,325 | - | 0,435 | 0,306 | 0,273 | 0,483 | 0,732 | 0,674 ns | 0,894* |
| MO | (%) | 88,8 | - | 91,2 | 91,5 | 90,0 | 89,5 | 88,8 | -0,302 ns | 0,838 ns |
| Norg ¹ | (%) | 2,28 ^a | - | 2,05 ^a | 2,26 ^a | 2,10 ^a | 2,21 ^a | 2,58 ^b | 0,522 ns | 0,857 ns |
| GD | (%) | 65,5 | - | - | 69,4 | - | 69,3 | 67,1 | 0,434 ns | 0,493 ns |
| N-NH ₄ ² | (%) | 0,253 | - | 0,229 | 0,232 | 0,126 | 0,172 | 0,125 | -0,869* | 0,871* |
| Nnh | (%) | 1,17 | - | - | 0,56 | - | 0,91 | 1,84 | 0,456 ns | 0,912* |
| Cox | (%) | 40,9 | - | 39,9 | 45,9 | 46,5 | 42,4 | 42,9 | 0,366 ns | 0,708 ns |
| C/N | | 18 | - | 19 | 20 | 22 | 19 | 17 | -0,093 ns | 0,883* |
| CTC | (meq/100g MS) | 60,4 | - | - | - | - | 91,3 | 87,6 | 0,955 ns | 0,838 ns |
| | (meq/100g MO) | 68,0 | - | - | - | - | 102,0 | 97,7 | 0,953 ns | 0,855 ns |
| IG ³ | | Le, 24h: 0 / 48h: 10 | | | - | - | - | - | Le, 24h: 199 / 48h: 151 | |
| G ³ | (%) | Le, 48h: 21 | | - | - | - | - | - | Le, 24h: 27 / 48h: 60 | |
| Em extracto solúvel | | | | | | | | | | |
| Coxs | (%) | 0,500 | - | - | - | - | 0,300 | 0,296 | - | - |
| Ns | (ppm) | 1645 | - | - | - | - | 999 | 1495 | - | - |
| N-NH _{4s} | (ppm) | 557 | - | - | - | - | 197 | 53 | - | - |
| N-NO _{3s} | (ppm) | 11 | - | - | - | - | 16 | 58 | - | - |
| Norgs | (ppm) | 1088 | - | - | - | - | 802 | 1442 | - | - |
| (C/N)s | | 4,6 | - | - | - | - | 3,7 | 2,1 | - | - |
| pH | | 7,36 | - | - | - | - | 7,18 | 6,90 | - | - |
| EC | (dS m ⁻¹) | 1,720 | - | - | - | - | 2,500 | 0,775 | - | - |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: amostra do 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

¹ Norg: método Kjeldahl, ^atécnica a) e ^btécnica b).

² N-NH₄: destilação com NaOH.

³ IG e G: adaptação de Zucconi *et al.* (1985); Le, mastruço; 24 e 48 h, duração do teste.

Quadro 12 - Evolução das características físicas durante a compostagem de bagaço de uva

| Variável | Nº de dias de compostagem | | | | | | | | Efeito ^e | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|---------------------|--|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 | 140 ^t | linear | quadrático | |
| dr (g cm ⁻³) | 1,528 | - | 1,510 | 1,508 | 1,518 | 1,522 | 1,527 | 0,259 ns | 0,844 ns | |
| daph (g cm ⁻³) | 0,530 | - | 0,546 | 0,507 | 0,560 | 0,598 | 0,602 | 0,809 ns | 0,871 ns | |
| daps (g cm ⁻³) | 0,242 | - | 0,250 | 0,235 | 0,236 | 0,237 | 0,231 | -0,747 ns | 0,748 ns | |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | | | |
| > 40 (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | |
| 40-25 (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | |
| 25-16 (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | |
| 16-10 (% p/p) | 5,1 | - | 4,7 | 3,0 | 3,0 | 4,9 | 1,8 | | | |
| 10-5 (% p/p) | 8,7 | - | 8,3 | 6,8 | 3,9 | 4,9 | 6,7 | | | |
| 5-2 (% p/p) | 67,5 | - | 69,4 | 72,4 | 73,8 | 73,9 | 70,3 | | | |
| 2-1 (% p/p) | 7,4 | - | 8,7 | 7,8 | 12,2 | 9,1 | 12,4 | | | |
| 1-0,5 (% p/p) | 3,7 | - | 4,1 | 3,6 | 4,1 | 2,9 | 5,0 | | | |
| 0,5-0,25 (% p/p) | 5,5 | - | 2,4 | 5,0 | 1,7 | 3,5 | 2,0 | | | |
| 0,25-0,125 (% p/p) | 1,5 | - | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 0,5 | 1,2 | | | |
| <0,125 (% p/p) | 0,7 | - | 0,9 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | | | |
| Redução vol. ^r % | - | 14 | 15 | 15 | 16 | 17 | - | | | |
| | | | | | | | | Efeito ^e | | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | | linear | quadrático | |
| CA (% v/v) | 49,0 | - | 50,8 | 53,3 | 52,2 | 46,6 | 49,3 | -0,270 ns | 0,625 ns | |
| AFU (% v/v) | 4,8 | - | 2,5 | 2,4 | 3,4 | 4,8 | 3,1 | -0,030 ns | 0,410 ns | |
| AR (% v/v) | 0,7 | - | 1,4 | 0,4 | 1,7 | 1,3 | 0,9 | 0,221 ns | 0,405 ns | |
| ADU (% v/v) | 29,7 | - | 28,7 | 28,3 | 27,2 | 31,7 | 31,7 | 0,518 ns | 0,831 ns | |
| EPT (% v/v) | 84,2 | - | 83,4 | 84,4 | 84,5 | 84,4 | 84,9 | 0,708 ns | 0,738 ns | |
| AU (% v/v) | 5,5 | - | 3,9 | 2,8 | 5,1 | 6,1 | 4,0 | 0,062 ns | 0,245 ns | |
| AT (% v/v) | 35,2 | - | 32,6 | 31,1 | 32,2 | 37,9 | 35,7 | 0,405 ns | 0,711 ns | |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^r Redução de volume do material em compostagem, relativa ao volume inicial.

3.3.1.3. Polpa de alfarroba

Na Figura 7 representa-se o perfil de evolução da temperatura e as operações efectuadas durante a compostagem de polpa de alfarroba.

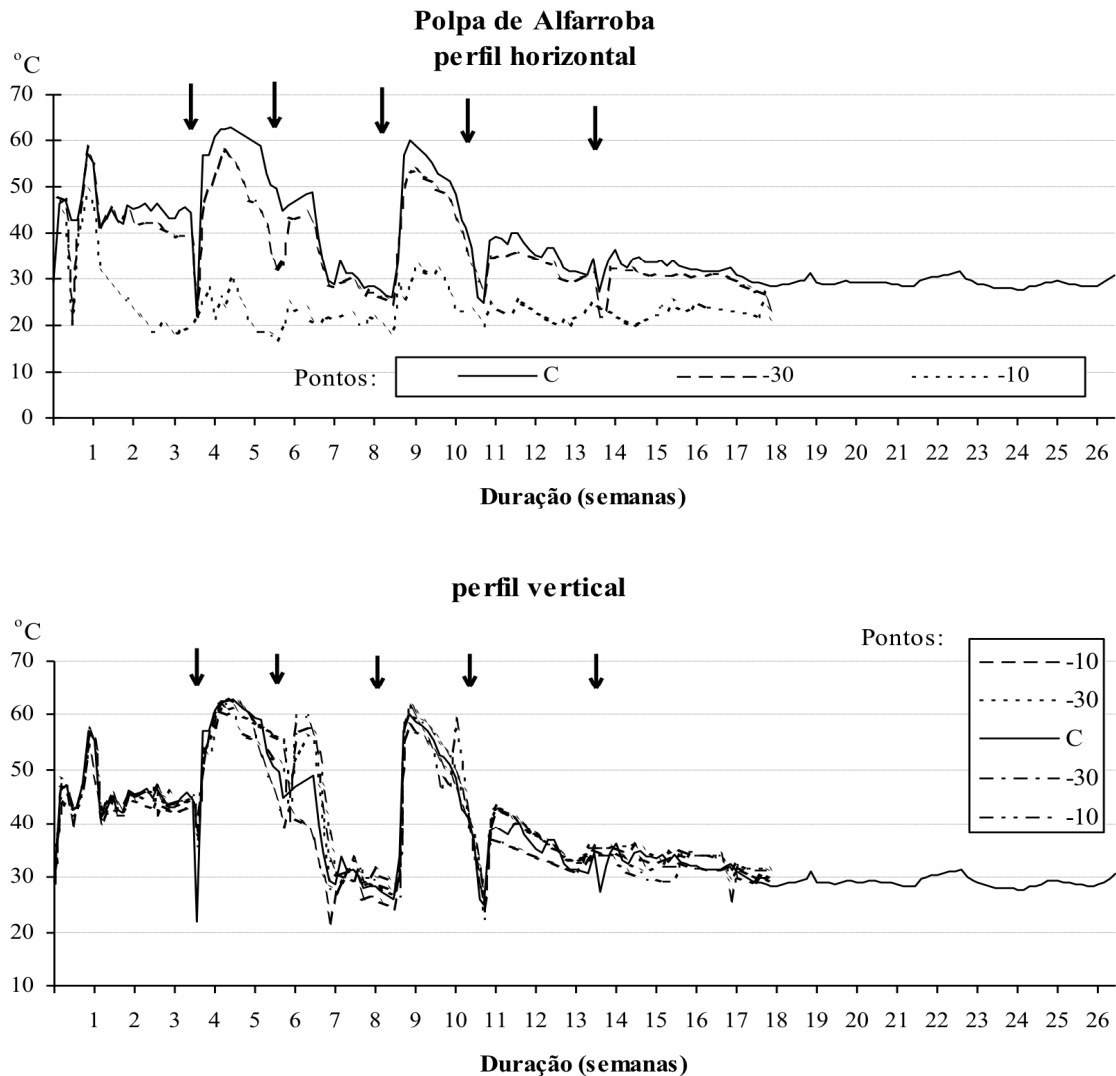


Figura 7 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a compostagem de polpa de alfarroba. Pontos de registo da temperatura: perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro do material; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior; perfil vertical (segundo a vertical passando pelo centro da caixa): C, no centro; -30, a 30 cm da superfície exterior superior e inferior; -10, a 10 cm da superfície exterior superior e inferior. Operações efectuadas: ↓, volteio e adição de água.

De acordo com o perfil de temperatura, o processo pode-se considerar estabilizado a partir da 18ª semana. Alcançou-se a temperatura máxima de 62,9 °C, mas apenas depois do primeiro volteio, passadas as primeiras 4 semanas (Fig. 7). Efectuaram-se 5 volteios com adição de água.

O atraso verificado inicialmente na subida da temperatura, parece estar associado ao valor muito baixo do pH inicial, restritivo do desenvolvimento microbiano (Quadro 13). Este facto é consequência da formação inicial de ácidos orgânicos a partir dos compostos hidrocarbonados existentes no material inicial, tais como os resíduos do processo de extracção de açúcares. Durante o processo o valor de pH aumentou, terminando a um nível adequado ao emprego do composto como componente de substratos.

Observou-se uma diferença muito acentuada do valor de temperatura, segundo o perfil horizontal, entre os pontos mais exteriores (-10 cm) e os restantes (Fig. 7). Segundo o perfil vertical, esta diferença quase não existiu, o que evidencia rápida transferência de calor por convecção. Para a manutenção de temperaturas elevadas durante a compostagem de polpa de alfarroba, poderá ser interessante a construção de pilhas relativamente maiores e ou a aplicação de outra técnica adequada de conservação do calor.

Tal como com o bagaço de uva, verificou-se o dessecamento do núcleo central da polpa de alfarroba na caixa, mantendo-se no entanto, a camada exterior com humidade elevada. Este facto sugere a ocorrência da condensação do vapor de água, transportado pela convecção do ar, na camada exterior bastante mais fria. Em alguns dias observaram-se diferenças superiores a 20 °C, entre o centro e o exterior do material (Fig. 7).

Observou-se um declínio gradual de temperatura entre a 4ª e a 8ª semana, período em que o teor de humidade baixou até cerca de 45%. Sabendo-se que em materiais como a polpa de alfarroba, com partículas grosseiras, se torna necessário uma humidade mais elevada e, que nesta fase da compostagem, os organismos são mais exigentes em água (Zucconi e Bertoldi, 1987), supõe-se que o declínio da temperatura se deva atribuir ao decréscimo da humidade do material.

A temperatura só baixou de 40 °C, sem recuperação, a partir aproximadamente das 14 semanas.

A EC variou ligeiramente, terminando com um valor mais elevado, como se poderia esperar (Quadro 13).

Em amostra sólida, observou-se um decréscimo significativo da MO e da relação C/N e o incremento do GD, do Norg e da CTC, evidenciando a maior degradabilidade da polpa de alfarroba relativamente aos materiais anteriores, BA e BU (Quadro 13). No entanto, na compostagem da polpa de alfarroba os processos de estabilização são mais evidentes relativamente aos de decomposição. Assim, verificou-se um acentuado aumento do GD e da CTC, perante um relativamente reduzido decréscimo da MO. A elevada temperatura alcançada, sintoma de forte decomposição, será devida à riqueza dos materiais em açúcares solúveis

facilmente degradáveis e, às características físicas do material que permitem uma certa capacidade de conservação de calor, sobretudo devido ao tamanho (Quadro 14) e homogeneidade das partículas.

A redução de volume durante a compostagem de polpa de alfarroba foi a mais elevada, reduzindo-se ao fim de 20 semanas a 55% do seu volume inicial, como resultado da diminuição do tamanho das partículas e do seu rearranjo (Quadro 14). Esta redução de volume contribuiu para o aumento do teor de Norg durante o processo e provoca o aumento do custo do produto final.

De destacar, a elevada fitotoxicidade do material fresco, que já não se manifesta no final do processo (Quadro 13).

As variáveis determinadas em extracto aquoso apresentaram uma evolução sensível e globalmente de acordo com o padrão normal, à excepção da EC que regista um decréscimo muito marcado (Quadro 13). O tratamento industrial a que o material esteve sujeito poderia proporcionar a presença de solutos responsáveis pelo elevado valor inicial da EC, o que também se manifesta através do alto teor inicial de Coxs. O aumento do teor de Ns no final da compostagem, pode-se explicar como no caso do BU, pela diminuição do tamanho das partículas, influenciando a determinação laboratorial do teor de N e, o valor da relação C/N no extracto aquoso, que baixou a 1,3.

Ao contrário dos materiais anteriores, foi acentuado o decréscimo de tamanho das partículas na polpa de alfarroba (Quadro 14). De início, estavam maioritariamente compreendidas nas classes de 5 a 10mm e de 10 a 16 mm e no final, nas de 5 a 10mm e de 2 a 5 mm. Esta redução da granulometria foi acompanhada de ligeira redução do EPT, de redução da CA e do aumento da retenção de água.

No composto final a CA foi também elevada e a AFU reduzida (Quadro 14).

Quadro 13 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas, durante a compostagem de polpa de alfarroba

| Em amostra sólida | | Nº de dias de compostagem | | | | | | | Efeito ^e | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|---------------------|------------|
| | | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 | 140 ^t | linear | quadrático |
| H | (%) | 73,8 | - | 53,8 | 45,0 | 60,7 | 64,0 | 60,6 | | |
| MS | (%) | 26,6 | - | 46,3 | 55,0 | 39,3 | 36,1 | 39,4 | | |
| pH | | 3,41 | - | 3,75 | 5,81 | 6,41 | 6,13 | 6,22 | 0,868* | 0,950* |
| EC | (dS m ⁻¹) | 0,481 | - | 0,730 | 0,424 | 0,247 | 0,467 | 0,703 | 0,042 ns | 0,550 ns |
| MO | (%) | 96,4 | - | 95,8 | 95,1 | 94,5 | 93,1 | 93,8 | - | 0,954* |
| | | | | | | | | | 0,939** | |
| Norg ¹ | (%) | 0,75 | - | 0,96 | 1,20 | 1,41 | 1,32 | 1,46 | 0,933** | 0,978** |
| GD | (%) | 57,9 | - | - | 73,2 | - | 78,2 | 77,6 | 0,923 ns | 0,9997** |
| | | | | | | | | | * | |
| N-NH ₄ ² | (%) | 0,134 | - | 0,083 | 0,101 | 0,108 | 0,171 | 0,092 | 0,100 ns | 0,177 ns |
| Nnh | (%) | 0,51 | - | - | 0,77 | - | 0,90 | 1,10 | 0,985* | 0,985 ns |
| Cox | (%) | 41,1 | - | 38,8 | 44,6 | 44,2 | 38,8 | 46,8 | 0,453 ns | 0,463 ns |
| C/N | | 55 | - | 40 | 37 | 31 | 29 | 32 | -0,861* | 0,985** |
| CTC | (meq/100g MS) | 36,5 | - | - | - | - | 96,8 | 106,0 | 0,998* | - |
| | (meq/100g MO) | 37,9 | - | - | - | - | 104,0 | 113,0 | 0,997* | - |
| IG ³ | | Le, 48h: 0 | - | - | - | - | - | Le, 24h: 148 / 48h: 166 | | |
| G ³ | (%) | Le, 48h: 0 | - | - | - | - | - | Le, 24h: 16 / 48h: 62 | | |
| <u>Extracto solúvel</u> | | | | | | | | | | |
| Coxs | (%) | 7,631 | - | - | - | - | 0,152 | 0,230 | | |
| Ns | (ppm) | 1904 | - | - | - | - | 1115 | 1931 | | |
| N-NH ₄ s | (ppm) | 277 | - | - | - | - | 225 | 101 | | |
| N-NO ₃ s | (ppm) | 60 | - | - | - | - | 37 | 82 | | |
| Norgs | (ppm) | 1627 | - | - | - | - | 890 | 1830 | | |
| (C/N)s | | 46,9 | - | - | - | - | 1,7 | 1,3 | | |
| pH | | 3,79 | - | - | - | - | 6,53 | 6,11 | | |
| EC | (dS m ⁻¹) | 2,080 | - | - | - | - | 0,670 | 0,528 | | |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: amostra do 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

¹ Norg: método Kjeldahl, técnica a).

² N-NH₄: destilação com NaOH.

³ IG e G: adaptação de Zucconi *et al.* (1985); Le, mastruço; 24 e 48 h, duração do teste.

Quadro 14 - Evolução das características físicas durante a compostagem de polpa de alfarroba

| Variável | | Nº de dias de compostagem | | | | | | | Efeito ^e | |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|------------|
| | | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 | 140 ^t | linear | quadrático |
| dr | (g cm ⁻³) | 1,476 | - | 1,478 | 1,483 | 1,487 | 1,497 | 1,492 | 0,928** | 0,933* |
| daph | (g cm ⁻³) | 0,494 | - | 0,506 | 0,494 | 0,536 | 0,393 | 0,537 | -0,083 ns | 0,151 ns |
| daps | (g cm ⁻³) | 0,156 | - | 0,168 | 0,187 | 0,187 | 0,186 | 0,180 | 0,730 ns | 0,978** |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | | | |
| > 40 | (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 40-25 | (% p/p) | 0,0 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 25-16 | (% p/p) | 0,2 | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | | |
| 16-10 | (% p/p) | 45,7 | - | 30,2 | 27,4 | 16,4 | 22,8 | 14,1 | | |
| 10-5 | (% p/p) | 42,5 | - | 50,8 | 44,5 | 37,8 | 33,4 | 34,7 | | |
| 5-2 | (% p/p) | 7,1 | - | 13,9 | 15,2 | 24,5 | 26,2 | 27,3 | | |
| 2-1 | (% p/p) | 1,5 | - | 2,3 | 3,7 | 9,8 | 9,2 | 10,9 | | |
| 1-0,5 | (% p/p) | 0,9 | - | 1,2 | 3,5 | 5,0 | 3,9 | 4,9 | | |
| 0,5-0,25 | (% p/p) | 1,4 | - | 0,7 | 3,4 | 2,9 | 1,1 | 3,0 | | |
| 0,25-0,125 | (% p/p) | 0,4 | - | 0,5 | 1,1 | 1,4 | 1,0 | 2,3 | | |
| <0,125 | (% p/p) | 0,3 | - | 0,4 | 1,1 | 2,1 | 2,1 | 2,9 | | |
| Redução vol. ^r | % | | - | 25 | 32 | 33 | 41 | 45 | | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | | | | |
| CA | (% v/v) | 56,7 | - | 62,2 | 55,5 | 47,3 | 50,3 | 52,5 | -0,661 ns | 0,693 ns |
| AFU | (% v/v) | 1,1 | - | 0,9 | 1,5 | 7,8 | 4,6 | 5,4 | 0,737 ns | 0,758 ns |
| AR | (% v/v) | 0,4 | - | 0,5 | 0,4 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,874 ns | 0,874 ns |
| ADU | (% v/v) | 31,3 | - | 25,0 | 29,9 | 31,4 | 31,6 | 28,9 | 0,197 ns | 0,198 ns |
| EPT | (% v/v) | 89,4 | - | 88,6 | 87,4 | 87,4 | 87,6 | 87,9 | -0,702 ns | 0,976** |
| AU | (% v/v) | 1,5 | - | 1,4 | 1,9 | 8,9 | 5,7 | 6,5 | 0,759 ns | 0,776 ns |
| AT | (% v/v) | 32,8 | - | 26,4 | 31,9 | 40,2 | 37,3 | 35,4 | 0,602 ns | 0,613 ns |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^r Redução de volume do material em compostagem, relativa ao volume inicial.

3.3.1.4. Casca de eucalipto

Representa-se na Fig. 8 a evolução da temperatura e as operações efectuadas durante a primeira compostagem de casca de eucalipto.

1ª compostagem

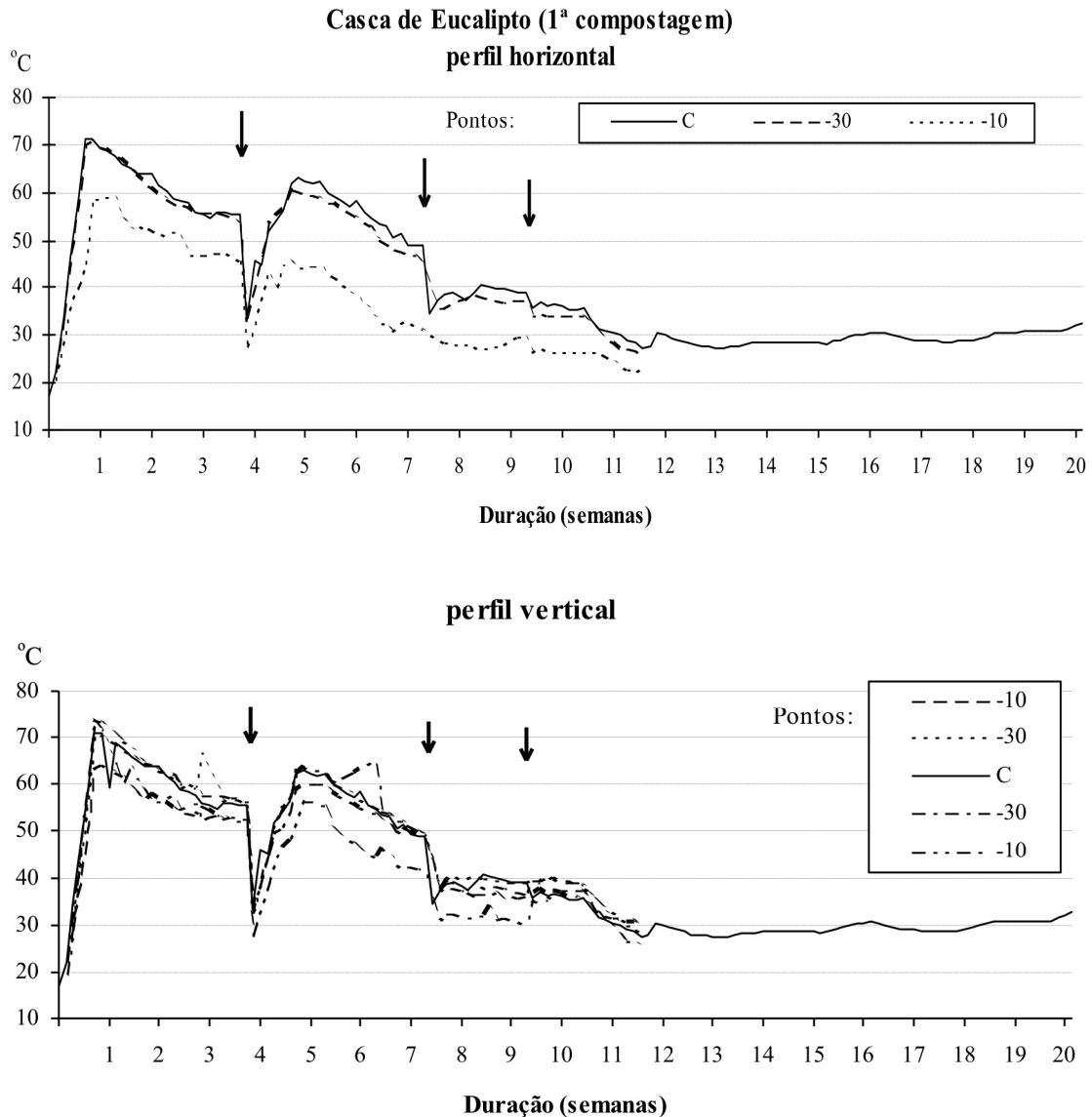


Figura 8 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a primeira compostagem de casca de eucalipto. Pontos de registo da temperatura: perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro do material; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior; perfil vertical (segundo a vertical passando pelo centro da caixa): C, no centro; -30, a 30 cm da superfície exterior superior e inferior; -10, a 10 cm da superfície exterior superior e inferior. Operações efectuadas durante o processo: ↓, volteio e adição de água.

A temperatura estabilizou após cerca de 12 semanas, tendo alcançado no centro da caixa com a casca de eucalipto um valor máximo de 71,6 °C (Fig. 8). A evolução da temperatura foi normal, situando-se durante quase 2 meses acima dos 45°C. Observou-se uma menor amplitude térmica entre o ponto no centro da caixa e os restantes, tanto segundo o perfil horizontal como o perfil vertical, indicando menores trocas de calor por convecção com o exterior, relativamente a outros materiais. Efectuaram-se 3 volteios com adição de água.

Nas análises às amostras sólidas, observou-se a subida do pH durante o processo, atingindo um valor final próximo da neutralidade. Deu-se uma subida importante da EC, sem atingir valores excessivos (Quadro 15).

Verificou-se a descida significativa do teor de MO, do Cox e da relação Cox/N, e a subida do Norg e da CTC (Quadro 15). Uma parte do aumento do azoto orgânico deve-se à acentuada redução de volume do material (Quadro 16).

No extracto solúvel, o Cods não diminuiu como era de esperar, situação que deverá estar relacionada com o seu já baixo valor inicial. Verificou-se que este valor se situou inicialmente, abaixo do valor final determinado em BA, BU e PA. A subida do Cods, contra o que é habitual, é observada na compostagem de outros materiais, sendo consequência da conversão de formas orgânicas ricas em carbono mas insolúveis, em formas solúveis, pela acção microbiana (Jacas, 1985). O azoto solúvel registou um aumento explicável por um processo de concentração. As formas de azoto solúveis, nítrica e a amoniacal, evoluíram normalmente, tal como o pH e a EC. A relação (C/N)s final atingiu o valor de 2,1.

O IG, que inicialmente já apresentava um valor adequado, aumentou durante o processo (Quadro 15).

Do ponto de vista físico, a forte redução do volume inicial, em cerca de 45%, é atribuível não só ao rearranjo das partículas mas sobretudo à degradação das fibras mais finas da casca de eucalipto (Quadro 16). Os valores da densidade aumentaram significativamente durante a primeira compostagem da casca de eucalipto.

Analisando a evolução da distribuição granulométrica durante a compostagem de casca de eucalipto, verificou-se uma aparente perda de partículas de grandes dimensões (Quadro 16). Estas fracções granulométricas eram constituídas por fibras bastante compridas mas finas, que não atravessavam a malha dos crivos. Devido à sua natureza e espessura, estas fibras compridas e finas foram facilmente decompostas durante o processo, daí o desaparecimento das fracções mais grossas de partículas, durante a compostagem de casca de eucalipto da primeira compostagem.

Quadro 15 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas, durante a 1ª compostagem de casca de eucalipto (com LETARU)

| Em amostra sólida | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|------------------------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| H (%) | - | 56,5 | 52,0 | 65,4 | 67,8 | 64,2 | | |
| MS (%) | - | 43,5 | 48,1 | 34,6 | 32,2 | 35,8 | | |
| pH | - | 6,49 | 6,74 | 7,04 | 7,33 | 7,05 | 0,838 ns | 0,948 ns |
| EC (dS m ⁻¹) | - | 0,186 | 0,378 | 0,263 | 0,450 | 1,477 | 0,795 ns | 0,939 ns |
| MO (%) | - | 66,1 | 65,0 | 51,8 | 46,6 | 37,6 | -0,978 ns | 0,982* |
| Norg ¹ (%) | - | 1,34 | 1,40 | 1,42 | 1,54 | 1,68 | 0,959 ns | 0,993** |
| GD (%) | - | 33,8 | 40,0 | - | 48,2 | 39,8 | 0,624 ns | 0,947 ns |
| N-NH ₄ ² (%) | - | 0,130 | 0,308 | 0,181 | 0,182 | 0,139 | -0,240 ns | 0,637 ns |
| Nnh (%) | - | 0,53 | 0,69 | - | 0,74 | 0,88 | 0,948 ns | 0,949 ns |
| Cox (%) | - | 30,7 | 31,2 | 26,2 | 21,3 | 18,5 | -0,964** | 0,976* |
| Cox/N | - | 23 | 22 | 18 | 14 | 11 | -0,987** | 0,992** |
| CTC (meq/100g MS) | - | 37,5 | - | - | 61,0 | 54,7 | 0,875 ns | |
| CTC (meq/100g MO) | - | 56,3 | - | - | 130,9 | 145,4 | 0,996*** | |
| IG ³ | - | Le, 48h: 99 | - | - | - | Le, 24h:208/ 48h: 168 | | |
| G ³ (%) | - | Le, 48h: 54 | - | - | - | Le, 24h: 25 / 48h: 70 | | |
| Em extracto solúvel | | | | | | | | |
| Coxs (%) | - | 0,209 | - | - | 0,269 | 0,254 | | |
| Ns (ppm) | - | 924 | - | - | 1232 | 1282 | | |
| N-NH ₄ s (ppm) | - | 171 | - | - | 276 | 43 | | |
| N-NO ₃ s (ppm) | - | 19 | - | - | 32 | 824 | | |
| Norgs (ppm) | - | 753 | - | - | 956 | 1239 | | |
| (C/N) _s | - | 2,8 | - | - | 2,8 | 2,1 | | |
| pH | - | 7,00 | - | - | 7,40 | 6,50 | | |
| CE (dS m ⁻¹) | - | 0,716 | - | - | 0,925 | 1,514 | | |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

¹ Norg: método Kjeldahl, técnica a) e b).

² N-NH₄: destilação com NaOH.

³ IG e G: adaptação de Zucconi *et al.* (1985); Le, mastruço; 24 e 48 h, duração do teste.

Quadro 16 - Evolução das características físicas durante a 1ª compostagem de casca de eucalipto com LETARU

| Variável | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| dr (g cm ⁻³) | - | 1,684 | 1,708 | 1,900 | 1,974 | 2,105 | 0,980** | 0,986* |
| daph (g cm ⁻³) | - | 0,410 | 0,480 | 0,680 | 0,760 | 0,790 | 0,967** | 0,977* |
| daps (g cm ⁻³) | - | 0,130 | 0,170 | 0,210 | 0,220 | 0,240 | 0,972** | 0,995** |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | |
| > 40 (% p/p) | - | 6,2 | 2,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 40-25 (% p/p) | - | 1,9 | 0,9 | 2,7 | 7,0 | 0,0 | | |
| 25-16 (% p/p) | - | 6,8 | 3,3 | 0,0 | 1,9 | 0,7 | | |
| 16-10 (% p/p) | - | 14,1 | 9,0 | 7,9 | 15,5 | 8,1 | | |
| 10-5 (% p/p) | - | 9,6 | 8,0 | 10,6 | 9,6 | 10,1 | | |
| 5-2 (% p/p) | - | 18,9 | 19,7 | 23,1 | 19,6 | 25,0 | | |
| 2-1 (% p/p) | - | 13,0 | 15,7 | 17,2 | 16,2 | 22,6 | | |
| 1-0,5 (% p/p) | - | 9,7 | 12,7 | 13,3 | 10,5 | 19,3 | | |
| 0,5-0,25 (% p/p) | - | 16,8 | 22,9 | 21,9 | 17,6 | 10,7 | | |
| 0,25-0,125 (% p/p) | - | 2,2 | 3,8 | 2,4 | 1,6 | 2,6 | | |
| <0,125 (% p/p) | - | 0,8 | 1,4 | 0,8 | 0,5 | 0,9 | | |
| Redução vol. ^r % | - | - | 30 | - | 44 | 45 | | |
| | | | | | | | Efeito ^e | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | linear | quadrático |
| CA (% v/v) | - | 63,7 | 36,2 | 14,2 | 5,3 | 30,9 | -0,677 ns | 0,978* |
| AFU (% v/v) | - | 9,6 | 22,5 | 11,3 | 10,0 | 11,4 | -0,261 ns | 0,417 ns |
| AR (% v/v) | - | 1,1 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,7 | 0,837 ns | 0,874 ns |
| ADU (% v/v) | - | 18,0 | 29,3 | 36,6 | 42,8 | 43,7 | 0,961** | 0,999*** |
| EPT (% v/v) | - | 92,4 | 90,1 | 64,4 | 60,3 | 88,1 | -0,394 ns | 0,809 ns |
| AU (% v/v) | - | 10,7 | 24,7 | 13,5 | 12,1 | 14,1 | -0,165 ns | 0,378 ns |
| AT (% v/v) | - | 28,7 | 54,0 | 50,1 | 55,0 | 57,8 | 0,797 ns | 0,897 ns |

^e O seu coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^r Redução de volume do material em compostagem, relativa ao volume inicial.

No Quadro 16 pode-se observar a evolução das características físicas durante a 1ª compostagem de casca de eucalipto. O acentuado aumento da AFU ao 28º dia, acompanhou o acentuado aumento das fracções inferiores a 2 mm, ocorrido nesta fase. Posteriormente,

decreceram as fracções inferiores a 0,5 mm e aumentaram as fracções de 2 a 10 mm, reduzindo-se a AFU.

Durante a primeira compostagem de casca de eucalipto, a CA reduziu-se acentuadamente (Quadro 16). A redução mais drástica observou-se logo após o início do processo de compostagem, motivada pelo rearranjo das partículas de casca e das lamas. Na amostra colhida no início do processo, a separação destes componentes, casca e lamas, é muito marcada, determinando-se um valor de CA atribuível sobretudo às características da casca. O valor final da CA foi aceitável (30,9%) e o da AFU baixo (11,4%).

2ª Compostagem

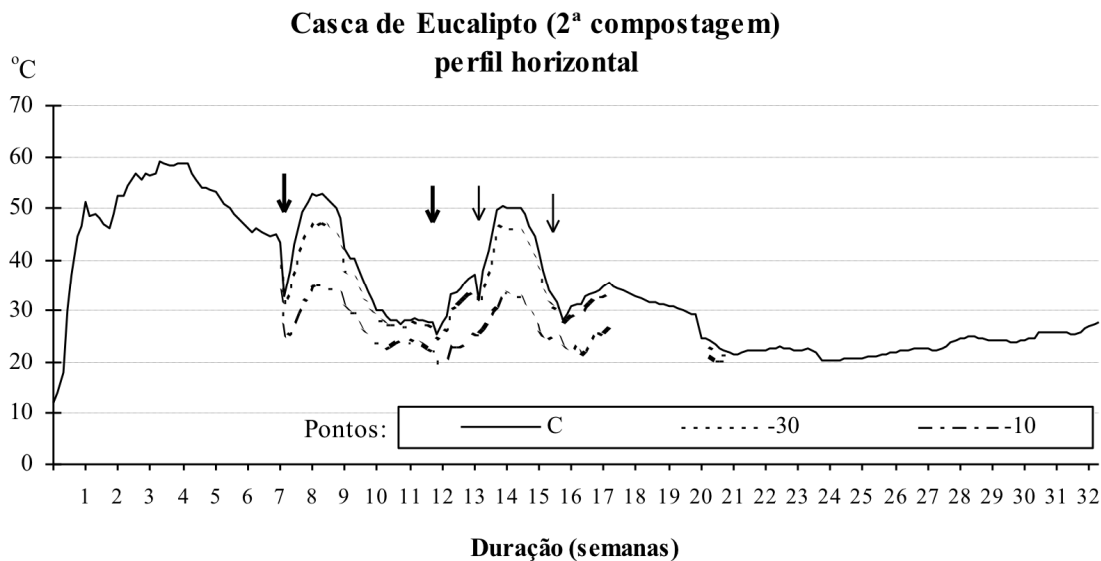


Figura 9 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a segunda compostagem de casca de eucalipto. Pontos de registo da temperatura : perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro do material; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior; perfil vertical (segundo a vertical passando pelo centro da caixa): C, no centro; -30, a 30 cm da superfície exterior superior e inferior; -10, a 10 cm da superfície exterior superior e inferior. Operações efectuadas durante o processo: ↓, volteio e adição de água; ↓, volteio.

Na 2ª compostagem da casca de eucalipto, a estabilização da temperatura atingiu-se ao fim de cerca de 20 semanas (Fig. 9). No centro do material, o período com temperatura acima dos 45°C, aproximou-se de 16 semanas, cerca do dobro do alcançado na 1ª compostagem, embora com uma temperatura máxima na fase termofílica mais baixa (59,1 para 71,6 °C), mas dentro do intervalo óptimo. Efectuaram-se 4 volteios, com adição de água apenas nos dois primeiros.

As diferenças de temperatura entre o centro e a parte exterior do material, foram um pouco mais acentuadas, embora com menores amplitudes que noutros materiais, como a polpa de alfarroba.

A água adicionada aquando do segundo volteio não foi naturalmente eliminada em quantidade suficiente, pelo que no final da compostagem, o material se encontrava ainda com um teor de humidade elevado (73,6 %). Esta situação, reduzindo a capacidade de arejamento no meio, poderá explicar o aumento de N-NH₄ no período final.

O teor de azoto amoniacal foi determinado efectuando a destilação com NaOH e com MgO. Conforme esperado, o valor determinado com destilação com MgO foi inferior, devido à não contabilização como N-NH₄, de formas azotadas hidrolizadas pela NaOH, mais agressiva.

O pH durante a segunda compostagem de casca de eucalipto subiu a nível desfavorável devido à acumulação de N-NH₄ no meio. A EC também subiu, sem alcançar nível excessivo, provavelmente associada também a este aumento de azoto amoniacal.

O teor de MO desceu significativamente e aumentou o de Norg, Nnh e a CTC. A subida de azoto orgânico, como em processos anteriores, deve-se a um efeito de concentração por redução de volume e à hidrólise da ureia aplicada.

O GD manifestou um pequeno aumento. O Cox praticamente não diminuiu como se esperaria, o que se poderá explicar pela lenta mas continua transformação do carbono de formas insolúveis a formas solúveis, não se reduzindo por isso acentuadamente a presença das formas solúveis no meio.

A CTC aumentou, como ocorre normalmente durante um processo de compostagem.

A relação Cox/N diminuiu acentuadamente, para valor satisfatório.

O IG, que já atingia um valor praticamente satisfatório no início, registou uma subida a meio do processo, mas baixou no final, para níveis demasiado baixos. Esta variação anómala, foi confirmada pela repetição do ensaio de germinação segundo a técnica a), referida em 3.2.3.4. No período final da compostagem, a germinação das sementes terá sido afectada pelo aumento do nível de N-NH₄ associado às deficientes condições de arejamento, que terão proporcionado o desenvolvimento de processos anaeróbios, produzindo-se ácidos orgânicos. Esta situação, seria contudo passageira, sendo estes produtos rapidamente degradados logo que se restabeleceram condições aeróbias, o que foi confirmado em análises posteriores (Quadro 31).

A evolução geral das variáveis físico-químicas, químicas, físicas e biológicas, reflectiu a evolução acentuada da casca de eucalipto durante o processo de compostagem.

Quadro 17 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas, durante a 2ª compostagem de casca de eucalipto (com ureia)

| Em amostra sólida | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| H (%) | 59,8 | 70,6 | 64,7 | 73,6 | 74,6 | 73,6 | | |
| MS (%) | 40,2 | 29,4 | 35,3 | 26,4 | 25,4 | 26,4 | | |
| pH | 7,18 | 8,13 | 8,66 | 8,81 | 9,17 | 8,77 | 0,754 ns | 0,955* |
| EC (dS m ⁻¹) | 0,233 | 0,258 | 0,408 | 0,523 | 1,024 | 1,667 | 0,944* | 0,996** |
| MO (%) | 88,6 | 86,8 | 86,6 | 84,2 | 83,9 | 80,7 | -0,951* | 0,973* |
| Norg ¹ (%) | 0,19 | 0,57 | 0,77 | 1,11 | 1,92 | 1,54 | 0,884* | 0,899 ns |
| GD (%) | - | 30,3 | - | 37,3 | - | 36,2 | 0,784 ns | |
| N-NH ₄ ² (%) | 0,016 ^a | 0,585 ^a | 0,274 ^a | 0,443 ^a | 2,198 ^a | 0,814 ^a | 0,488 ns | 0,497 ns |
| (%) | - | 0,030 ^b | - | 0,018 ^b | - | 0,034 ^b | 0,240 ns | |
| Nnh ² (%) | - | 0,40 | - | 0,81 | - | 0,97 | 0,969** | |
| Cox | - | 39,7 | - | 40,5 | - | 38,4 | -0,613 ns | |
| Cox/N | - | 70 | - | 37 | - | 25 | -0,966** | |
| CTC (meq/100g MS) | 42,2 | 39,3 | 72,5 | 89,1 | 76,0 | 68,9 | 0,540 ns | 0,967* |
| (meq/100g MO) | 47,6 | 45,3 | 83,7 | 105,8 | 90,6 | 84,1 | | |
| IG ³ | - | F: (29/54/88) ^b [1,6]* | | F: (92/81/106) ^b [2,1]* | | F: (25/13/39) ^b [3,8]* | | |
| | - | Q: (54/68/122) ^b [1,7]* | | Q: (80/62/121) ^b [2,5]* | | Q: (14/21/20) ^b [6,3]* | | |
| | | | Le, 48h: 50 ^a | | Le, 48h: 31 ^a | | | |
| G ³ (%) | - | F: (89/88/64,7) ^b | | F: (93/73/70) ^b | | F: (92/33/49) ^b | | |
| | | Q: (88/81/68) ^b | | Q: (96/63/70) ^b | | Q: (89/53/44) ^b | | |
| | | | Le, 48h: 91 ^a | | Le, 48h: 88 ^a | | | |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material do 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

¹ Norg: Método Kjeldahl, técnica c).

² N-NH₄: ^a destilação com NaOH; ^b destilação com MgO.

³ IG e G: ^a adaptação de Zucconi *et al.* (1985); Le, mastruço; 24 e 48 h, duração do teste; ^b adaptação de Aguirre (1994), Q, obtenção do extracto a 70 °C; F, obtenção do extracto à temperatura ambiente; (a/b/c), valores referentes à seguinte sequência de espécies: Alface/Tomate/Mastruço; * [] Condutividade eléctrica do extracto utilizado (dS m⁻¹).

O volume inicial da casca de eucalipto, da segunda compostagem, reduziu-se para metade, aumentando os valores de densidade (Quadro 18).

Observou-se, tal como na primeira compostagem de casca de eucalipto, a diminuição das partículas de maiores dimensões e o enriquecimento em partículas mais finas (Quadro 16). Como na primeira compostagem, as partículas incluídas nas fracções mais grossas, eram fundamentalmente formadas por troços compridos de fibras finas, podendo-se também encontrar algum troço de casca mais endurecida ou de madeira. A evolução observada na

distribuição granulométrica determinou a redução da CA, agora progressivamente, quando comparada com a redução da CA durante 1ª compostagem e, o enorme aumento da retenção de água, sendo de destacar o aumento do valor final de AFU.

Quadro 18 - Evolução das características físicas durante a 2ª compostagem de casca de eucalipto (com ureia)

| Variável | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|------------------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| dr (g cm ⁻³) | 1,529 | 1,542 | 1,544 | 1,562 | 1,564 | 1,589 | 0,950* | 0,973* |
| daph (g cm ⁻³) | 0,248 | 0,198 | 0,348 | 0,335 | 0,317 | 0,432 | 0,822 ns | 0,831 ns |
| daps (g cm ⁻³) | 0,051 | 0,052 | 0,064 | 0,075 | 0,065 | 0,089 | 0,857 ns | 0,857 ns |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | |
| > 40 (% p/p) | - | 5,3 | 0,0 | 0,0 | 2,5 | 0,0 | | |
| 40-25 (% p/p) | - | 17,9 | 13,1 | 1,9 | 4,7 | 4,8 | | |
| 25-16 (% p/p) | - | 29,8 | 27,2 | 11,0 | 33,1 | 9,9 | | |
| 16-10 (% p/p) | - | 9,9 | 4,9 | 28,8 | 10,3 | 26,6 | | |
| 10-5 (% p/p) | - | 7,5 | 6,7 | 14,5 | 10,2 | 14,1 | | |
| 5-2 (% p/p) | - | 14,1 | 16,4 | 19,8 | 18,4 | 23,3 | | |
| 2-1 (% p/p) | - | 6,4 | 10,6 | 10,2 | 7,4 | 10,3 | | |
| 1-0,5 (% p/p) | - | 3,8 | 7,2 | 5,9 | 9,4 | 4,9 | | |
| 0,5-0,25 (% p/p) | - | 2,9 | 6,5 | 4,7 | 2,4 | 4,5 | | |
| 0,25-0,125 (% p/p) | - | 1,6 | 5,1 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | | |
| <0,125 (% p/p) | - | 0,8 | 2,2 | 1,2 | 0,5 | 0,5 | | |
| Redução vol ^l . % | - | - | 24 | 40 | 30 | 52 | | |
| | | | | | | | Efeito ^e | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | linear | quadrático |
| CA (% v/v) | - | 82,8 | 76,9 | 61,8 | 58,1 | 63,8 | -0,847 ns | 0,952* |
| AFU (% v/v) | - | 2,9 | 5,0 | 13,1 | 17,5 | 5,7 | 0,463 ns | 0,823 ns |
| AR (% v/v) | - | 0,9 | 0,6 | 1,7 | 1,5 | 3,1 | 0,865 ns | 0,932 ns |
| ADU (% v/v) | - | 9,6 | 13,0 | 18,1 | 18,3 | 21,4 | 0,970* | 0,982* |
| EPT (% v/v) | 96,7 | 96,6 | 95,9 | 95,2 | 95,8 | 93,9 | -0,858 ns | 0,873 ns |
| AU (% v/v) | - | 3,8 | 5,6 | 14,8 | 19,0 | 8,8 | 0,581 ns | 0,841 ns |
| AT (% v/v) | - | 13,4 | 18,5 | 32,9 | 37,3 | 30,2 | 0,821 ns | 0,939 ns |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p≤ 0,05; ** p≤ 0,01; *** p≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^l Redução de volume do material em compostagem, relativamente ao volume inicial.

3.3.1.5. Casca de pinheiro

Na Fig. 10 representa-se a evolução da temperatura e operações efectuadas durante a primeira compostagem de casca de pinheiro.

1ª Compostagem

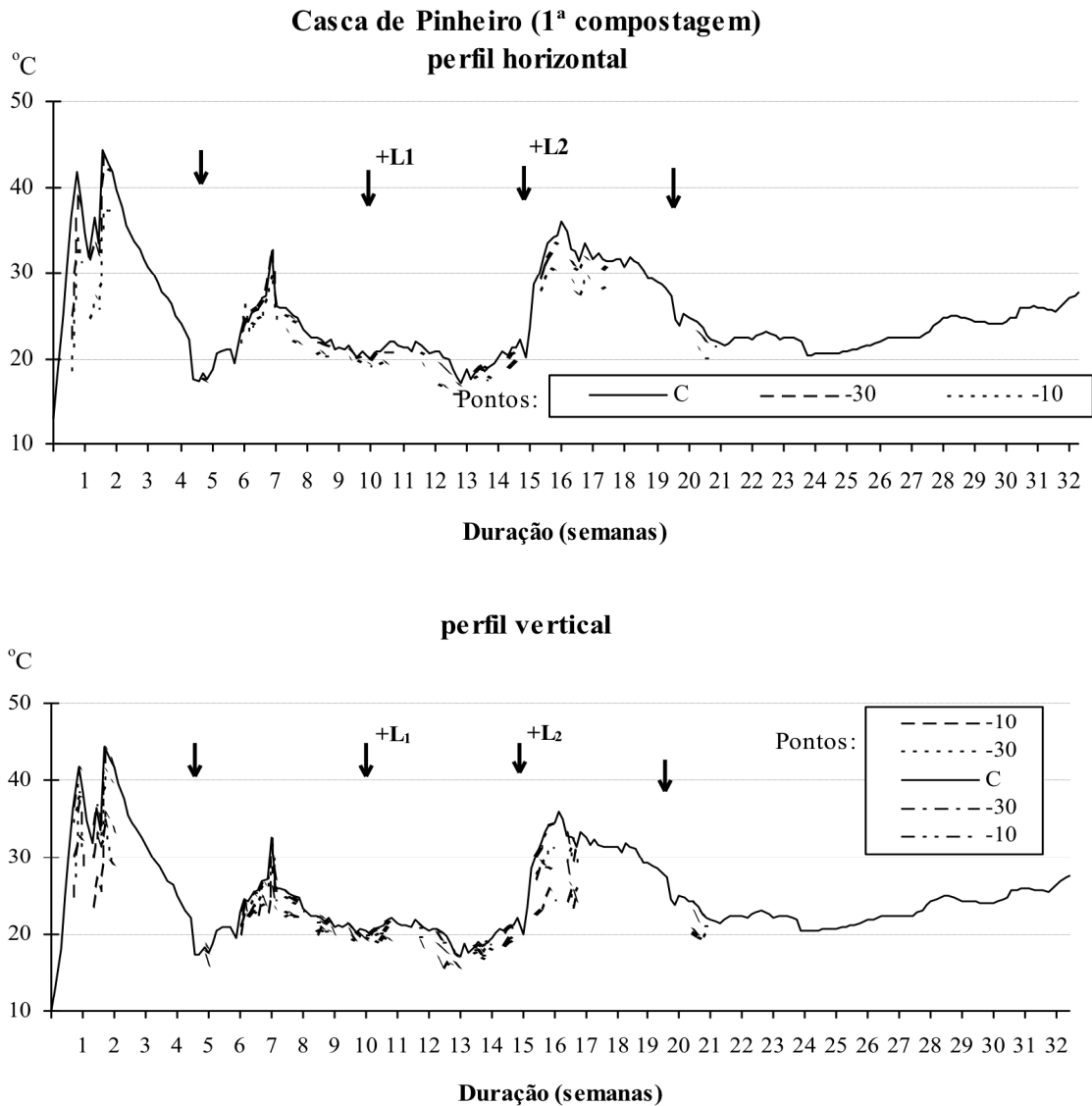


Figura 10 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a primeira compostagem de casca de pinheiro. Pontos de registo da temperatura: perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro do material; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior; perfil vertical (segundo a vertical passando pelo centro da caixa), C, no centro; -30, a 30 cm da superfície exterior superior e inferior; -10, a 10 cm da superfície exterior superior e inferior. Operações efectuadas durante o processo: ↓, volteio e adição de água; +L₁ e +L₂, adição de LETARU de duas origens.

A temperatura durante a primeira compostagem de casca de pinheiro atingiu apenas 44,3 °C, ao fim de duas semanas, mantendo-se posteriormente pouco acima da temperatura ambiente. Efectuaram-se 4 volteios, com adição de água (Fig. 10).

É sabido que a temperatura durante a compostagem de misturas de casca de pinheiro com LETARU pode atingir valores entre os 57 e os 67 °C durante período mais longo (Burés, 1983). Conhecem-se situações na região algarvia em que, com casca de pinheiro suplementada apenas com ureia, a temperatura se manteve, durante cerca de três meses, próxima ou acima dos 60 °C (Andrew Welsh, comunicação pessoal).

Durante o processo, o teor de matéria orgânica reduziu-se acentuadamente, devido sobretudo à interferência da aplicação de LETARU, efeito visível na diminuição acentuada do teor de matéria orgânica ao 84º dia (Quadro 19).

O GD praticamente não se alterou, revelando uma elevada estabilidade inicial do material (Quadro 19).

Verificou-se a diminuição significativa do Cox e da relação Cox/N, a par do aumento de Norg, Nnh e CTC, evolução normal de um processo de compostagem (Quadro 19). O N-NH₄ apresentou variação pouco sensível. O aumento de azoto orgânico foi devido apenas aos suplementos azotados efectuados, sobretudo de LETARU, pois a redução de volume do material foi muito limitada, cerca de 11% (Quadro 20).

O IG era já satisfatório no início do processo de compostagem e aumentou no final.

A evolução das variáveis azoto nítrico e ao azoto solúvel, determinadas no extracto solúvel, foi normal. Quanto às outras variáveis no extracto solúvel, a sua evolução foi menos habitual. O teor de Coxs inicialmente baixo, manteve-se, como em CEa, onde provavelmente terá ocorrido um processo semelhante. O Ns aumentou como consequência da aplicação de LETARU. Parece ter ocorrido uma grande retenção microbiana do azoto suplementado, que terá sido convertido em formas orgânicas solúveis. O valor final da relação (C/N)_s foi de 1,4.

A fraca subida da temperatura pode estar em parte associada ao desenvolvimento de condições anaeróbias, o que é sugerido pelo decréscimo do valor do pH, a partir da 4ª semana. O facto de se tratar de um volume relativamente pequeno de material, com uma altura inferior a 1 m, terá contribuído para a criação deste tipo de condições, por aumentar a relação área/volume e por reduzir a drenagem no meio.

Quadro 19 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas, durante a 1ª compostagem de casca de pinheiro (com LETARU)

| Em amostra sólida | Nº de dias de compostagem | | | | | | | | | Efeito ^e | |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 | 140 | 168 | 196 ^t | linear | quadrático |
| H (%) | 43,5 | 40,5 | 49,2 | 56,8 | 49,3 | 50,3 | 47,9 | 49,8 | 48,2 | - | - |
| MS (%) | 56,5 | 59,3 | 50,8 | 43,2 | 50,7 | 49,5 | 52,1 | 50,2 | 51,9 | - | - |
| pH | 6,88 | 7,08 | 7,90 | 5,35 | 5,28 | 5,94 | 5,62 | 5,79 | 5,70 | -0,593 ns | 0,743ns |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,088 | 0,120 | 0,097 | 0,534 | 0,911 | 0,898 | 1,082 | 1,481 | 2,870 | 0,910** | 0,952*** |
| MO (%) | 70,5 | 70,4 | 77,2 | 79,0 | 53,9 | 53,7 | 49,0 | 50,2 | 50,7 | -0,837** | 0,907** |
| Norg ¹ (%) | 0,20 | 0,22 | 0,88 | 0,55 | 0,82 | 0,79 | 0,76 | 0,80 | 0,98 | 0,678 ns | 0,717ns |
| GD (%) | 62,8 | 61,4 | 64,6 | 59,3 | 60,3 | 62,6 | 61,4 | 62,5 | 62,5 | 0,105 ns | 0,338 ns |
| N-NH ₄ ² (%) | 0,103 | 0,046 | 0,225 | 0,083 | 0,084 | 0,093 | 0,087 | 0,102 | 0,066 | -0,245 ns | 0,289 ns |
| Nnh (%) | - | 0,28 | 0,50 | 0,38 | 0,60 | 0,39 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,380 ns | 0,546 ns |
| Cox (%) | 33,9 | 35,6 | 41,8 | 39,7 | 29,7 | 28,4 | 27,2 | 25,9 | 27,4 | -0,828* | 0,832* |
| Cox/N | 170 | 162 | 48 | 72 | 36 | 36 | 36 | 32 | 28 | -0,731* | 0,870* |
| CTC (meq/100g MS) | -44,2 | - | - | 47,7 | - | - | 47,0 | 49,1 | | 0,859** | 0,891** |
| (meq/100g MO) | -62,8 | - | - | 90,2 | - | - | 93,7 | 96,7 | | 0,920** | 0,991*** |
| IG ³ | - | Le, 24h: 0/ 48h: 94 | | | - | - | Le, 24h:882/ 48h: 209 | | | | |
| G ³ (%) | - | Le, 24h: 0/ 48h: 94 | | | - | - | Le, 24h: 53/ 48h: 74 | | | | - |
| Em extracto solúvel | | | | | | | | | | | |
| Coxs (%) | - | 0,128 | - | - | - | - | - | 0,102 | 0,125 | - | - |
| Ns (ppm) | - | 653 | - | - | - | - | - | 816 | 936 | - | - |
| N-NH _{4s} (ppm) | - | 107 | - | - | - | - | - | 132 | 41 | - | - |
| N-NO _{3s} (ppm) | - | 16 | - | - | - | - | - | 1827 | 2441 | - | - |
| Norgs (ppm) | - | 546 | - | - | - | - | - | 684 | 895 | - | - |
| (C/N)s | - | 2,3 | - | - | - | - | - | 1,5 | 1,4 | - | - |
| pH | - | 7,12 | - | - | - | - | - | 5,96 | 5,86 | - | - |
| CE (dS m ⁻¹) | - | 0,391 | - | - | - | - | - | 2,340 | 2,450 | - | - |

^eO coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p≤ 0,05; ** p≤ 0,01; *** p≤ 0,001; ns, não significativo.

^fMaterial tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱInício: material no 1º dia de compostagem.

^tFinal: material no final da compostagem.

¹Norg: método Kjeldahl, técnica a).

²N-NH₄: destilação com NaOH.

³IG e G: adaptação de Zucconi *et al.* (1985); Le, mastrução; 24 e 48 h , duração do teste.

Durante a compostagem a redução de volume foi pouco acentuada (11%), aumentando a densidade do material Quadro 20).

Quadro 20 - Evolução das características físicas durante a 1ª compostagem de casca de pinheiro (com lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas)

| Variável | Nº de dias de compostagem | | | | | | | | | Efeito ^c | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 | 140 | 168 | 196 ^t | linear | quadrático |
| dr (g cm ⁻³) | 1,628 | 1,630 | 1,530 | 1,505 | 1,868 | 1,871 | 1,939 | 1,923 | 1,915 | 0,829 ns | 0,837* |
| daph (g cm ⁻³) | 0,700 | - | - | - | 0,810 | - | - | 0,850 | 0,860 | 0,999* | - |
| daps (g cm ⁻³) | 0,280 | - | - | - | 0,360 | - | - | 0,370 | 0,370 | 0,971 ns | - |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | | | | |
| > 40 (% p/p) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 40-25 (% p/p) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 25-16 (% p/p) | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 16-10 (% p/p) | 10,3 | 7,4 | 8,2 | 8,3 | 5,5 | 6,4 | 4,6 | 5,4 | 6,1 | | |
| 10-5 (% p/p) | 14,1 | 16,1 | 12,9 | 13,2 | 9,6 | 12,8 | 11,8 | 9,1 | 9,6 | | |
| 5-2 (% p/p) | 23,5 | 22,8 | 24,4 | 25,3 | 21,3 | 25,3 | 28,5 | 19,0 | 23,8 | | |
| 2-1 (% p/p) | 11,8 | 15,9 | 16,0 | 16,6 | 15,7 | 19,6 | 24,3 | 15,5 | 20,7 | | |
| 1-0,5 (% p/p) | 12,9 | 13,6 | 13,5 | 13,5 | 18,7 | 17,0 | 17,7 | 24,4 | 20,1 | | |
| 0,5-0,25 (% p/p) | 16,7 | 10,3 | 10,7 | 9,9 | 21,6 | 10,5 | 7,2 | 21,9 | 12,2 | | |
| 0,25-0,125 (% p/p) | 5,5 | 7,5 | 8,3 | 7,0 | 4,1 | 4,6 | 3,0 | 2,8 | 4,4 | | |
| <0,125 (% p/p) | 5,3 | 5,8 | 6,0 | 6,1 | 3,5 | 3,7 | 2,8 | 1,9 | 3,0 | | |
| Redução vol. ^r % | - | - | - | 4 | 8 | 11 | - | - | - | | |
| | | | | | | | | | | Efeito ^c | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | | | | linear | quadrático |
| CA (% v/v) | 35,1 | - | - | - | 33,3 | 30,8 | - | 28,8 | 30,0 | -0,825 ns | 0,998* |
| AFU (% v/v) | 10,1 | - | - | - | 12,2 | 12,6 | - | 12,3 | 12,4 | 0,107 ns | 0,518 ns |
| AR (% v/v) | 1,4 | - | - | - | 2,2 | 2,9 | - | 0,9 | 3,2 | 0,000 ns | 0,451 ns |
| ADU (% v/v) | 36,3 | - | - | - | 33,0 | 34,5 | - | 38,8 | 35,1 | 0,630 ns | 0,876 ns |
| EPT (% v/v) | 82,8 | - | - | - | 80,7 | 80,8 | 81,4 | 80,8 | 80,7 | 0,000 ns | 0,725 ns |
| AU (% v/v) | 11,5 | - | - | - | 14,4 | 15,5 | - | 15,2 | 15,6 | 0,705 ns | 0,797 ns |
| AT (% v/v) | 47,7 | - | - | - | 47,5 | 50,0 | - | 52,0 | 50,7 | 0,811 ns | 0,997* |

^c O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p≤ 0,05; ** p≤ 0,01; *** p≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^r Redução de volume do material em compostagem, relativa ao volume inicial.

A redução na proporção de partículas entre 5 e 16 mm foi acompanhada do aumento das de 0,5 a 2 mm. Apesar disso, as variações nas características relacionadas com a curva de retenção de água foram muito reduzidas. Apenas a CA e a AT apresentam um variação significativa, decrescendo a primeira e aumentando a segunda, embora esta ultima sem importância do ponto de vista prático.

A CA do material era aceitável (30,0%), mas a AFU era baixa (12,4%).

A elevada resistência à degradação manifestada pelo reduzido aumento do GD, o elevado IG inicial e a pequena elevação de temperatura durante o processo, fazem supor que a casca utilizada não tivesse sido extraída recentemente, tendo sofrido já alguma estabilização durante o armazenamento na serração.

2ª Compostagem

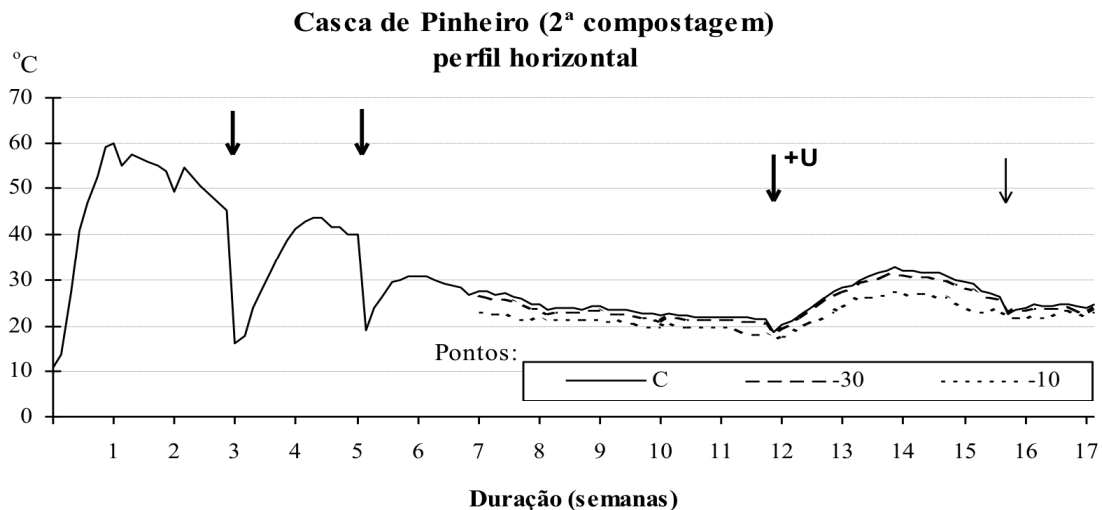


Figura 11 - Evolução da temperatura e operações efectuadas durante a segunda compostagem de casca de pinheiro. Pontos de registo da temperatura : perfil horizontal (segundo a linha da altura média, na horizontal), C, no centro; -30, temperatura média a 30 cm do exterior; -10, temperatura média a 10 cm do exterior. Operações efectuadas durante o processo: ↓, volteio e adição de água; +U, adição de ureia, ↓, volteio.

A temperatura estabilizou ao fim de 12 semanas, tendo-se atingido a temperatura 59,8°C durante a fase termofílica (Fig. 11). Durante este período efectuaram-se três volteios com adição de água.

Sabendo-se que o material inicial era de extracção muito recente e tendo-se alcançado temperaturas na zona termófila por um período relativamente curto, aplicou-se à 12ª semana um novo suplemento azotado que ocasionou nova subida da temperatura, mas sem atingir valores significativos. A posterior estabilização da temperatura demorou cerca de 4 semanas (Fig. 11).

O pH registou um aumento significativo (Quadro 21), ultrapassando um pouco a neutralidade, reflectindo a presença de azoto amoniacal. A EC subiu bastante em termos

absolutos, mas ficando muito aquém de valores problemáticos. As restantes variáveis apresentaram normalmente uma variação ligeira.

A MO e a relação Cox/N praticamente não diminuíram (Quadro 21). O Norg aumentou um pouco, em consequência da aplicação de ureia.

Quadro 21 - Evolução das características físico-químicas, químicas e biológicas determinados durante a 2ª compostagem de casca de pinheiro (com ureia)

| Em amostra sólida | | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------|
| | | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| H | (%) | 22,6 | 39,8 | 54,9 | 59,3 | 65,0 | 63,8 | | |
| MS | (%) | 77,4 | 60,2 | 45,9 | 41,7 | 35,0 | 36,2 | | |
| pH | | 4,25 | 4,28 | 6,75 | 7,28 | 8,65 | 7,33 | 0,789 ns | 0,969* |
| CE | (dS m ⁻¹) | 0,046 | 0,052 | 0,155 | 0,138 | 0,271 | 0,539 | 0,912* | 0,973* |
| MO | (%) | 96,9 | 97,1 | 97,2 | 96,3 | 97,1 | 97,0 | -0,130 ns | 0,494 ns |
| Norg ¹ | (%) | 0,20 ^a | 0,65 ^c | 0,21 ^c | 0,52 ^c | 1,59 ^c | 0,70 ^c | 0,363 ns | 0,647 ns |
| GD | (%) | - | 63,7 | - | 64,0 | - | 61,5 | -0,806 ns | - |
| N-NH ₄ ² | (%) | 0,009 ^b | 0,500 ^b | 0,163 ^b | 0,270 ^b | 1,562 ^b | 0,495 ^b | 0,393 ns | 0,399 ns |
| | (%) | | 0,029 ^a | - | 0,017 ^a | - | 0,025 ^a | -0,327 ns | - |
| Nnh | (%) | - | 0,47 | - | 0,45 | - | 0,64 | 0,814 ns | - |
| Cox | (%) | - | 46,9 | - | 47,6 | - | 47,2 | 0,427 ns | - |
| Cox/N | | - | 73 | - | 91 | - | 68 | -0,207 ns | - |
| CTC | (meq/100g MS) | 47,9 | 42,6 | 48,3 | 39,9 | 51,2 | 42,3 | 0,077 ns | 0,281 ns |
| | (meq/100g MO) | 49,5 | 43,9 | 49,7 | 41,4 | 52,7 | 43,7 | 0,087 ns | 0,296 ns |
| IG ³ | | | F: (3/3/4) [2,7]* | F: (155/201/95) [-]* | F: (122/185/86) [1,8]* | | | | |
| | | | Q: (1/0/6) [2,9]* | Q: (138/145/97) [1,1]* | Q: (165/122/107) [1,9]* | | | | |
| G ³ | (%) | - | F: (25/11/10) | F: (93/83/44) | F: (90/84/33) | | | | |
| | | | Q: (11/0/5) | Q: (76/86/50) | Q: (91/78/47) | | | | |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

¹ Norg: Método Kjeldahl. Técnicas, ^a a) e ^c c).

² N-NH₄: ^a, destilação com NaOH; ^b, destilação com MgO.

³ IG e G: adaptação de Aguirre (1994), Q, obtenção do extracto a 70 °C; F, obtenção do extracto à temperatura ambiente; (a/b/c), valores referentes à seguinte sequência de espécies: Alface/Tomate/Mastruço; * [], condutividade eléctrica do extracto utilizado (dS m⁻¹).

Outras variáveis apresentaram uma aparente evolução contrária ao normal (Quadro 21). Assim, embora com pequena diferença, o GD apresentou valor mais baixo no final e o Cox um valor mais elevado. No GD a diferença foi pequena e poder-se-à atribuir à dificuldade de aplicação do método analítico, não sendo o decréscimo observado significativo.

Quadro 22 - Evolução das características físicas durante a 2ª compostagem de casca de pinheiro (com ureia)

| Variável | Nº de dias de compostagem | | | | | | Efeito ^e | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|------------|
| | 0 ^f | 1 ⁱ | 28 | 56 | 84 | 112 ^t | linear | quadrático |
| dr (g cm ⁻³) | 1,471 | 1,469 | 1,469 | 1,475 | 1,469 | 1,470 | 0,121 ns | 0,527 ns |
| daph (g cm ⁻³) | 0,503 | 0,504 | 0,506 | 0,534 | 0,546 | 0,526 | 0,734 ns | 0,858 ns |
| daps (g cm ⁻³) | 0,189 | 0,182 | 0,179 | 0,181 | 0,173 | 0,170 | -0,905* | 0,929 ns |
| Granulometria (mm) | | | | | | | | |
| > 40 (% p/p) | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 40-25 (% p/p) | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 25-16 (% p/p) | - | 1,1 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | | |
| 16-10 (% p/p) | - | 14,0 | 16,2 | 14,0 | 15,0 | 11,5 | | |
| 10-5 (% p/p) | - | 19,9 | 19,3 | 19,0 | 18,2 | 17,6 | | |
| 5-2 (% p/p) | - | 32,7 | 33,3 | 34,2 | 34,1 | 33,2 | | |
| 2-1 (% p/p) | - | 13,2 | 13,8 | 13,9 | 14,2 | 16,0 | | |
| 1-0,5 (% p/p) | - | 9,4 | 9,1 | 9,7 | 10,0 | 11,2 | | |
| 0,5-0,25 (% p/p) | - | 5,3 | 4,9 | 5,3 | 5,0 | 5,7 | | |
| 0,25-0,125 (% p/p) | - | 2,7 | 2,1 | 2,7 | 2,2 | 2,8 | | |
| <0,125 (% p/p) | - | 1,6 | 0,8 | 1,3 | 1,2 | 1,5 | | |
| Redução vol. ^r % | - | - | 2 | - | 3 | - | | |
| | | | | | | | Efeito ^e | |
| Curva de retenção de água | | | | | | | linear | quadrático |
| CA (% v/v) | - | 55,8 | 62,0 | 53,3 | 53,0 | 53,7 | -0,555 ns | 0,562 ns |
| AFU (% v/v) | - | 2,3 | 3,3 | 4,5 | 3,2 | 5,3 | 0,791 ns | 0,791 ns |
| AR (% v/v) | - | 0,6 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,417 ns | 0,673 ns |
| ADU (% v/v) | - | 29,0 | 22,3 | 29,3 | 31,5 | 28,8 | 0,402 ns | 0,421 ns |
| EPT (% v/v) | 87,2 | 87,6 | 87,6 | 87,6 | 88,2 | 88,4 | 0,892* | 0,956* |
| AU (% v/v) | - | 2,9 | 3,6 | 5,1 | 3,7 | 6,0 | 0,792 ns | 0,792 ns |
| AT (% v/v) | - | 31,9 | 25,9 | 34,4 | 35,2 | 34,8 | 0,616 ns | 0,628 ns |

^e O coeficiente de regressão linear com o tempo (efeito), é afectado pelos símbolos indicados quando apresenta valor significativo para * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; ns, não significativo.

^f Fresco: material tal como foi recebido, antes de iniciar a compostagem.

ⁱ Início: material no 1º dia de compostagem.

^t Final: material no final da compostagem.

^r Redução de volume do material em compostagem, relativa ao volume inicial.

O Nnh, determinado a partir do material utilizado no cálculo do grau de decomposição, apresentou um aumento (Quadro 21). A CTC não diminuiu com habitualmente, mas os valores determinados apresentaram grande oscilação. O N-NH₄ apresentou um decréscimo normal durante o processo, mas um valor mais elevado no final, devido à aplicação tardia de ureia, ainda insuficientemente mineralizada nesta altura.

O IG extremamente baixo de início, elevou-se para valores satisfatórios (Quadro 21).

A casca de pinheiro na segunda compostagem manifestou uma elevada resistência a decomposição, manifestada no modo de evolução das variáveis indicadoras, embora o resultado da compostagem seja positivo, pelo menos devido ao aumento do IG.

A redução do volume casca de pinheiro na segunda compostagem foi ainda menor que a do material da primeira compostagem, apenas 3% (Quadro 22). Ocorreu um ligeiro aumento das partículas de 0,25 a 5 mm e decréscimo das de 5 a 25 mm, sem que as relações ar - água se tivessem alterado de modo significativo. Apenas o EPT apresentou um aumento significativo, embora sem qualquer efeito a nível prático.

3.3.2. Evolução geral dos processos de compostagem

Referem-se em seguida as observações gerais relativas à variação de algumas das variáveis relacionadas com a evolução dos processos de compostagem, cuja análise mais detalhada se efectuou no capítulo anterior (3.3.1.). A análise das restantes variáveis, devido à sua particular importância, será abordada no capítulo seguinte (cap. 3.3.3).

Durante a compostagem, a temperatura máxima alcançada aproximou-se ou ultrapassou os 60 °C em todos os materiais, à excepção da casca de pinheiro na 1ª compostagem. O período durante o qual a temperatura se manteve acima de 45 °C, e tomando como referência valores habitualmente citados neste tipo de condições, variou entre relativamente curto, na casca de pinheiro (2 e 4,5 semanas, respectivamente na 1ª e 2ª compostagem) a aceitável, nos restantes materiais (superior a 17 semanas no bagaço de azeitona, a 10 semanas no bagaço de uva e polpa de alfarroba e, a 7 e 14 semanas, respectivamente na 1ª e na 2ª compostagem de casca de eucalipto). Com o bagaço de azeitona, não sendo inicialmente previsto um período tão longo de compostagem, não foi possível acompanhar o decréscimo da temperatura durante a fase de estabilização, por necessidade de se proceder às análises laboratoriais na ESAB, das amostras de material entretanto recolhidas.

No referente às características químicas, físico-químicas e biológicas, tomando em consideração os valores iniciais e os do suposto final do processo, pode ser definida uma tendência global para algumas das variáveis.

Nas análises em amostra sólida, verificou-se uma subida do valor do pH, no sentido de valores mais favoráveis à sua utilização como substratos, à excepção da 2ª compostagem de casca de eucalipto, em que o pH aumentou bastante, afastando-se de valores iniciais mais

favoráveis. A única excepção verificou-se na 1ª compostagem de casca de pinheiro, onde o pH decresceu ligeiramente.

A condutividade eléctrica normalmente aumentou durante o processo, baixando apenas ligeiramente no bagaço de azeitona. O valor mais elevado foi atingido na casca de pinheiro da primeira compostagem ($2,9 \text{ dS m}^{-1}$), situando-se nos restantes casos, próximo ou abaixo de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$.

O teor de carbono oxidável apresentou uma descida na casca de eucalipto e na casca de pinheiro das primeiras compostagens, mas praticamente não se alterou nas segundas compostagens ou mesmo subiu no bagaço de azeitona, bagaço de uva e polpa de alfarroba.

O IG melhorou com o decorrer do processo, surgindo apenas uma situação anómala na casca de eucalipto da segunda compostagem, o qual apresentou uma valor mais baixo no final da compostagem.

Nas variáveis determinadas em extracto aquoso registou-se uma subida dos teores de azoto total, azoto nítrico e azoto orgânico e a descida do teor de azoto amoniacal. O pH subiu ou desceu, aproximando-se de valores mais favoráveis. A condutividade eléctrica decresceu no bagaço de azeitona, de uva e na polpa de alfarroba e aumentou nas duas cascas, de pinheiro e de eucalipto, compostadas com LETARU.

Quanto às propriedades físicas, verificou-se que a CA diminuiu sempre, mas praticamente não evoluiu no bagaço de uva e ligeiramente na casca de pinheiro da segunda compostagem.

A AFU manifestou um aumento normal, à excepção do bagaço de azeitona e bagaço de uva em que diminuiu, tal como a AR.

A ADU apresentou um aumento, importante no bagaço de azeitona e casca de eucalipto. Apenas na polpa de alfarroba o valor final da ADU foi ligeiramente inferior ao inicial.

O EPT também apresentou pequena alteração, decrescendo ligeiramente, à excepção de bagaço de azeitona em que se verificou um aumento.

O valor de AU normalmente aumentou, mas diminuiu no bagaço de azeitona e bagaço de uva. Por sua vez, a AT aumentou sempre, embora muito ligeiramente no bagaço de uva.

De um modo global, constatou-se que a maioria dos materiais estudados manifestaram uma acentuada resistência à degradação, à excepção da polpa de alfarroba e da casca de eucalipto.

O processo de compostagem pareceu não afectar de modo muito sensível, a maioria dos materiais compostados, a nível das suas propriedades físicas.

Registou-se de um modo geral, o normal aumento dos valores da densidade real, densidade aparente húmida e densidade aparente seca, embora por vezes insignificante como no bagaço de uva e casca de pinheiro da segunda compostagem. A exceção ocorreu no bagaço de azeitona, em que a densidade aparente húmida e a seca decresceram e, no bagaço de uva e casca de pinheiro da segunda compostagem, em que decresceu a daps, embora na casca de pinheiro da segunda compostagem a redução fosse pequena.

A granulometria dos materiais apresentou reduzida variação, excepto na polpa de alfarroba, casca de eucalipto e casca de pinheiro da segunda compostagem, onde a variação da composição percentual das partículas constituintes foi mais acentuada. Em parte por este motivo, observaram-se também variações pouco acentuadas nas variáveis determinadas a partir da determinação da curva de retenção de água, à exceção daqueles materiais (polpa de alfarroba, casca de eucalipto e casca de pinheiro da segunda compostagem).

As maiores alterações, no sentido do aumento da capacidade de retenção de água, observaram-se especialmente na casca de eucalipto na 2ª compostagem (Quadro 18).

Comparando a evolução de algumas das variáveis físicas, em valores absolutos, pode-se verificar que o espaço poroso total, normalmente muito elevado, registou ligeira variação, negativa ou positiva, inferior a 6%, durante os processos de compostagem (Quadro 23).

Quadro 23 - Variação, absoluta¹ e relativa², das características físicas dos materiais durante a compostagem

| | BA | | BU | | PA | | CEa | | CEb | | CPa | | CPb | |
|-----|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| | abs. ¹ | % ² | abs. ¹ | % ² | abs. ¹ | % ² | abs. ¹ | % ² | abs. ¹ | % ² | abs. ¹ | % ² | abs. ¹ | % ² |
| CA | -2,7 | -7 | 0,3 | 1 | -4,2 | -7 | -32,8 | -51 | -19,0 | -23 | -5,1 | -23 | -2,1 | -4 |
| AFU | -2,2 | -37 | -1,7 | -35 | 4,3 | 391 | 1,8 | 19 | 2,8 | 97 | 2,3 | 97 | 3,0 | 130 |
| AR | -0,5 | -50 | 0,2 | 29 | 0,7 | 175 | 1,6 | 145 | 2,2 | 244 | 1,8 | 244 | 0,1 | 17 |
| ADU | 9,4 | 46 | 2,0 | 7 | -2,4 | -8 | 25,7 | 143 | 11,8 | 123 | -1,2 | 123 | -0,2 | -1 |
| EPT | 3,9 | 6 | 0,7 | 1 | -1,5 | -2 | -4,3 | -5 | -2,8 | -3 | -2,1 | -3 | 1,2 | 1 |
| AU | -2,7 | -39 | -1,5 | -27 | 5,0 | 333 | 3,4 | 32 | 5,0 | 132 | 4,1 | 132 | 3,1 | 107 |
| AT | 6,7 | 24 | 0,5 | 1 | 2,6 | 8 | 29,1 | 101 | 16,8 | 125 | 3,0 | 125 | 2,9 | 9 |

A capacidade de arejamento diminuiu sempre, de um modo acentuado em casca de eucalipto, 33 e 19% respectivamente na primeira e na segunda compostagem, associada à variação do tamanho das partículas. Na polpa de alfarroba, também se observou uma variação forte na distribuição granulométrica, mas o decréscimo relativo da capacidade de arejamento foi muito menor, de 4,2%.

A água facilmente utilizável registou pequeno aumento na maioria dos materiais, com um máximo de 4,3% na polpa de alfarroba.

A água de reserva sempre em níveis muito baixos, aumentou muito ligeiramente, atingindo um aumento máximo de 1,8% na casca de pinheiro da primeira compostagem.

A água dificilmente utilizável aumentou ligeiramente pela compostagem, excepto na casca de eucalipto (25,7 e 11,8%, respectivamente na primeira e na segunda compostagem) e no de bagaço de azeitona (9,6%), materiais em que se observou um aumento sensível. Na polpa de alfarroba a água dificilmente utilizável praticamente não variou.

A água utilizável quase não variou no bagaço de azeitona e bagaço de uva (2,7 e 1,5%) e apresentou um pequeno aumento, que atingiu os 5%, em valor absoluto, na polpa de alfarroba e casca de eucalipto da segunda compostagem.

A água total reflectindo a variação das variáveis anteriores, aumentou, mais acentuadamente na casca de eucalipto (29 e 17%, respectivamente na primeira e na segunda compostagem).

A menor alteração das propriedades físicas observou-se no bagaço de uva, onde em termos práticos as propriedades não se alteraram.

No bagaço de azeitona, polpa de alfarroba e nas cascas de pinheiro observou-se alguma alteração, mas de significado prático pouco importante, uma vez que por exemplo a água útil aumentou apenas 5%, na polpa de alfarroba e a água total, 6,7% no bagaço de azeitona.

Somente as cascas de eucalipto manifestaram uma evolução apreciável das propriedades físicas, a nível da redução da CA e do aumento de ADU e, por consequência, de AT. A AFU e AR aumentaram muito pouco, menos de 3%, pelo que o aumento de AU foi também pouco significativo, 3,4 e 5%.

Do ponto de vista da sua utilização como substratos, o processo de compostagem não conduziu nos materiais estudados, à melhoria significativa das propriedades físicas consideradas, com excepção para a casca de eucalipto.

Recorde-se, em relação às compostagens de casca de eucalipto e de pinheiro com e sem LETARU, que embora a variação tenha sido relativamente semelhante para cada material nas diferentes condições, os resultados finais foram bastante diferentes. A incorporação das lamas determinou a obtenção de compostos com um menor EPT (88 para 94% e 81 para 88%, respectivamente em casca de eucalipto e de pinheiro), uma CA bastante inferior (31 para 64% e 30 para 54%, respectivamente), mas com uma maior retenção de água, por exemplo de AFU (11 para 6% e 12 para 5%, respectivamente).

3.3.3. Evolução de variáveis indicadoras de estabilidade ou maturação

3.3.3.1. Relação entre variáveis

Compararam-se algumas das variáveis utilizadas habitualmente como indicadores do grau de estabilização ou que poderiam apresentar interesse para este fim.

A maioria dos processos de compostagem apresentou um perfil normal de evolução de temperatura. Como excepções, recorde-se, a compostagem de bagaço de azeitona, que na altura da colheita das últimas amostras de acompanhamento do processo, ainda apresentava uma temperatura elevada, na zona termofílica; a polpa de alfarroba, em que a fase termofílica se atrasou cerca de um mês e a casca de pinheiro da primeira compostagem, em que a temperatura não alcançou a zona termofílica.

Determinou-se a regressão linear da evolução das variáveis com o tempo de duração do processo de compostagem (Quadro 24).

Quadro 24 - Coeficientes de regressão linear¹ das variáveis determinadas durante a compostagem e a duração do processo

| Material | Variável ² | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|-------------------|---------|
| | MO | GD | Nnh | Cox/N | (C/N)s | CTC/MO | CTC/L | Coxs | Norg | N-NH ₄ | Norg/MM |
| BA | -0,932* | -0,052 | 0,931 | -0,996 | -0,947 | 0,997 | 0,997* | -0,956 | 0,952* | -0,900 | -0,592 |
| BU | -0,945* | 0,434 | 0,479 | -0,093 | -0,881 | 0,953 | 0,929 | -0,985 | 0,522 | -0,869* | 0,025 |
| PA | -0,939** | 0,923 | 0,985* | -0,861 | -0,983 | 0,997 | 0,993 | -0,980 | 0,933** | 0,100 | 0,079 |
| CEa | -0,978** | 0,624 | 0,948 | -0,987** | -0,693 | 0,996 | 0,963 | 0,885 | 0,959** | -0,240 | -0,914* |
| CEb | -0,951* | 0,784 | 0,969 | -0,966 | - | 0,598 | 0,746 | - | 0,884* | -0,699 | -0,595 |
| CPa | -0,828* | 0,105 | 0,380 | -0,731* | -0,9995* | 0,920 | 0,905 | -0,477 | 0,678 | -0,643 | -0,190 |
| CPb | -0,130 | -0,806 | 0,814 | -0,240 | - | 0,087 | -0,183 | - | 0,454 | 0,393 | -0,427 |

¹ O valor de r é afectado pelos símbolos indicados, quando apresenta valor significativo para: *p≤ 0,05, **p≤0,01; sem indicação, não significativo. O número de observações variou entre 3 e 8.

² GD, grau de decomposição; Nnh, azoto não hidrolizável; Cox/N, relação do carbono orgânico oxidável e do azoto orgânico; (C/N)s; relação do carbono oxidável e do azoto orgânico, solúveis em extracto aquoso; CTC/MO, capacidade de troca catiónica em meq por 100g de matéria seca; CTC/L, capacidade de troca catiónica em meq por litro de substrato; Coxs, carbono oxidável em extracto aquoso; Norg, azoto orgânico e N-NH₄, azoto amoniacal; relação do azoto orgânico e da matéria mineral.

Dado que o número de observações foi reduzido, de 3 a 8, apenas se podem avaliar as tendências esboçadas para cada caso. Verificaram-se evoluções estatisticamente significativas das variáveis durante a compostagem, em MO, Nnh, Cox/N, (C/N)s, CTC/L, Norg, N-NH₄ e Norg/MM. Com a CTC/MO também se atingiram valores elevados do coeficiente de regressão linear, sem se chegarem a atingir valores significativos.

Pode-se caracterizar a evolução destas variáveis, mas o nível final da maioria, depende do respectivo nível inicial, dos suplementos azotados aplicados e das condições em que decorreu o processo de compostagem. Somente a relação (C/N)s, partindo de valores iniciais muito distintos chegou a valores finais num intervalo relativamente estreito.

Em termos práticos, observou-se que uma evolução estatisticamente significativa nem sempre revela um maior interesse da variável. De facto, a diferença entre o valor inicial e o valor final da variável pode ser muito pequena, bastante próxima do valor do erro na colheita das amostras ou na determinação laboratorial da variável.

Um maior número de regressões significativas foram observadas, como é normal, nos materiais com uma alteração mais acentuada durante a compostagem: casca de eucalipto da primeira compostagem, casca de pinheiro da primeira compostagem e polpa de alfarroba, embora também noutros com uma menor alteração, como o bagaço de azeitona.

3.3.3.2. Matéria orgânica

Observou-se o decréscimo estatisticamente significativo da matéria orgânica (MO) durante a compostagem em todos os materiais, à excepção da casca de pinheiro da segunda compostagem (Fig. 12). No entanto, o decréscimo da MO em valores absolutos, é bastante diferenciado. Em BA, BU e casca de pinheiro da segunda compostagem, o teor de MO praticamente não variou durante o processo. Para estes materiais, por isso, o teor de MO é um indicador pouco sensível do andamento do processo de compostagem, mas já terá interesse para os restantes materiais.

Para avaliar o grau de estabilidade alcançado, haverá sempre que conhecer o valor inicial do teor de MO e o seu modo particular de evolução.

A matéria orgânica apresentou correlação elevada com várias outras variáveis, em diferentes materiais.

Os materiais em que a sua correlação com as demais variáveis foi mais elevada foram os compostos com LETARU e, em PA.

Embora considerando as limitações devidas ao baixo número de observações, pareceu estabelecer-se uma correlação mais elevada com a CTC.

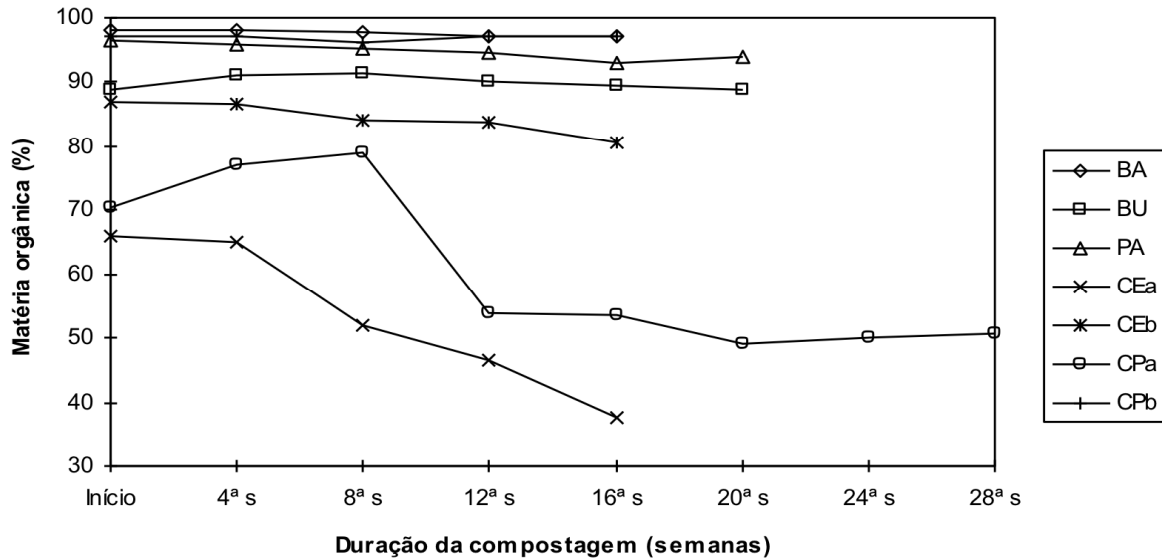


Figura 12 - Evolução do teor de matéria orgânica durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, -0,932*; BU, -0,945*; PA, -0,939**; CEa, -0,978 ; CEB, -0,951; CPa, -0,828*; CPb -0,130. Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

Determinou-se a variação relativa do teor de matéria orgânica (Var. MO) relativamente ao seu teor inicial (Var. MO = (MO da amostra / MO inicial) x 100) (Quadro 25). Referiu-se o valor obtido de Var. MO ao teor de matéria mineral (MM), assumindo a quantidade de MM constante ao longo do processo de compostagem. Obteve-se deste modo a percentagem de “conservação” da matéria orgânica (% de conservação MO = (Var. MO x MM inicial) / MM amostra). O valor da percentagem de conservação da MO obtido, pode-se entender como “a quantidade de matéria orgânica por unidade de matéria mineral”.

Quadro 25 - Evolução relativa da matéria orgânica durante a compostagem

| Composto | MO (%) | MM (%) | Variação relativa ao teor inicial de matéria orgânica (Var MO, %) | Variação relativa ao teor de matéria mineral (Conservação MO, %) |
|------------------|--------|--------|---|--|
| BA | 97,0 | 3,0 | 99,0 | 66,0 |
| BU ¹ | 88,8 | 11,2 | 97,4 | 76,5 |
| PA | 93,8 | 6,2 | 97,3 | 56,5 |
| CEa | 37,6 | 62,4 | 56,9 | 30,9 |
| CEb | 80,7 | 19,3 | 93,0 | 63,6 |
| CPa ² | 50,2 | 49,8 | 71,3 | 42,4 |
| CPb | 97,0 | 3,0 | 99,9 | 96,6 |

¹ Em BU utilizaram-se para valores iniciais os referentes ao 28º dia, por não se dispor do valor no início da compostagem e teor de MO no material fresco apresentar um valor anómalo.

² Em CPa os valores calculados, em itálico, são apenas estimativas, por se terem efectuado duas adições intermédias de LETARU, que alteraram sensivelmente o teor de matéria mineral.

Observada deste modo, a aparente pequena redução do teor de matéria orgânica, torna-se agora apreciável, justificando a elevada temperatura alcançada em alguns materiais, onde o valor absoluto da matéria orgânica pouco diminuiu, nomeadamente em BA, BU e PA. Nos materiais em que se observou um mais acentuado processo de decomposição, a “conservação” da matéria orgânica foi naturalmente mais reduzida (PA e CE).

3.3.3.3. Azoto orgânico

O teor de azoto orgânico aumentou em todos os processos de compostagem, como consequência da aplicação de suplementos azotados e da redução da massa de material. A regressão linear do teor de azoto orgânico com a duração do processo foi significativa em BA, PA, CEa e CEb (Fig. 13).

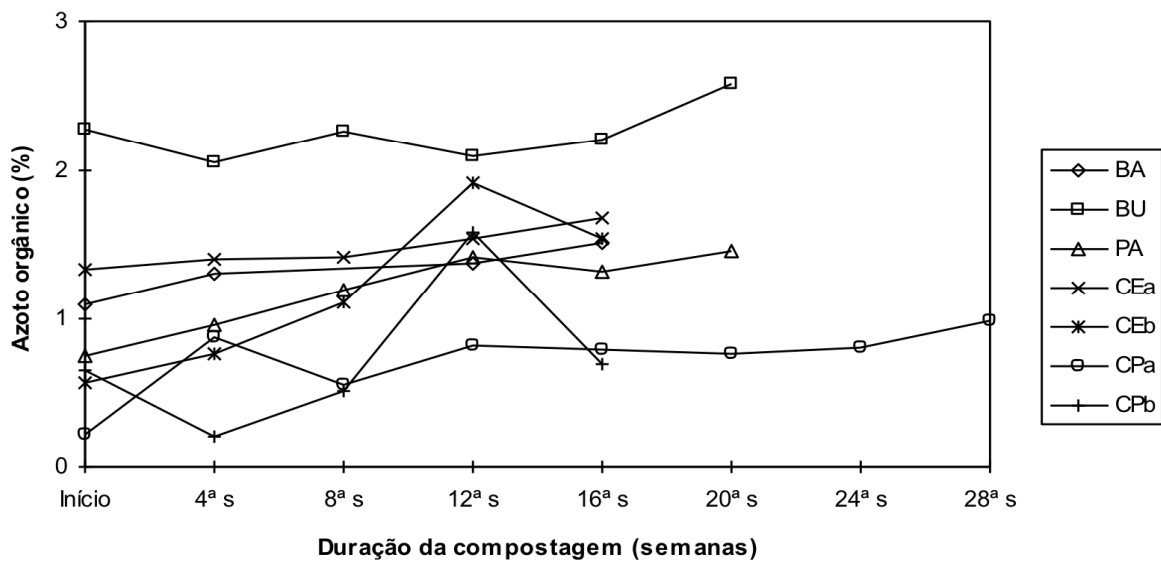


Figura 13 - Evolução do azoto orgânico durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, 0,955*; BU, 0,522; PA, 0,933**; CEa, 0,959* ; CEb, -0,884*; CPa, 0,678; CPb 0,454. Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

O aumento mais acentuado do teor de azoto orgânico, ocorrido durante a segunda compostagem das cascas de eucalipto e de pinheiro, sugere um melhor aproveitamento do azoto aplicado na forma de ureia, relativamente à sua aplicação na forma de LETARU, nas primeiras compostagens destes materiais, provavelmente por através das lamas se ter aplicado maior quantidade de azoto.

A evolução do valor absoluto do azoto orgânico em BU, material compostado sem suplemento azotado, com um elevado teor inicial de azoto e sem perda de massa apreciável

durante o processo, deu-se num intervalo estreito, o que pode dificultar a interpretação desta variável.

O teor de azoto orgânico apresentou uma correlação elevada com outras variáveis em diferentes materiais, nomeadamente com a relação Cox/N, indicando a importância do aumento do teor de azoto orgânico no decréscimo da relação Cox/N.

Calculou-se a percentagem de “conservação” do azoto durante o processo (Quadro 26). Para isso, determinou-se a variação relativa do azoto orgânico (Var. Norg) relativamente ao valor inicial (Var. Norg = (Norg da amostra / Norg inicial) x 100) e referiu-se o valor obtido ao teor de matéria mineral, que se assumiu constante ao longo do processo, obtendo-se assim a percentagem de “conservação” do azoto orgânico (conservação N = Var. Norg x MM inicial) / MM amostra).

Quadro 26 - Evolução relativa do azoto orgânico durante a compostagem

| Composto | Norg (da amostra final) (%) | MM (%) | Varição relativa ao seu teor inicial (Var Norg, %) | Varição relativa ao teor de MM (Conservação N, %) |
|------------------|-----------------------------------|-----------|--|---|
| BA | 1,51 | 3,0 | 137,3 | 91,5 |
| BU | 2,58 | 11,2 | 113,2 | 88,9 |
| PA | 1,46 | 6,2 | 194,7 | 113,0 |
| CEa | 1,68 | 62,4 | 125,4 | 68,1 |
| CEb | 1,54 | 19,3 | 270,2 | 184,8 |
| CPa ¹ | 0,98 | 49,8 | <i>122,5</i> | 72,8 |
| CPb | 0,70 | 3,0 | 107,7 | 104,1 |

¹ Em CPa os valores calculados, em itálico, são apenas estimativas, por se terem efectuado duas adições intermédias de LETARU que alteraram sensivelmente o teor de matéria mineral.

De um modo geral, as “perdas” de azoto nos materiais compostados, com elevado teor de compostos carbonados foram reduzidas. Esta “perda” foi mais acentuada nos materiais compostados com LETARU, em parte devido ao mais elevado teor de azoto aplicado nestes casos. Nos outros materiais, sem adição de LETARU, a tendência foi a de uma conservação acentuada do azoto aplicado, ou mesmo do aumento do azoto orgânico, pela incorporação do azoto suplementado em compostos orgânicos.

3.3.3.4. Relação azoto orgânico / matéria mineral

A variação da relação azoto orgânico/matéria mineral ao longo dos processos de compostagem não foi estatisticamente significativa (Fig. 14), excepto na primeira compostagem de casca de eucalipto. A variável relação azoto orgânico/matéria mineral, só

estabeleceu correlações significativas com outras variáveis nas cascas de eucalipto e de pinheiro. As variáveis com que estabeleceu mais correlações significativas foi com o N-NH₄, o Norg e a CTC/MO.

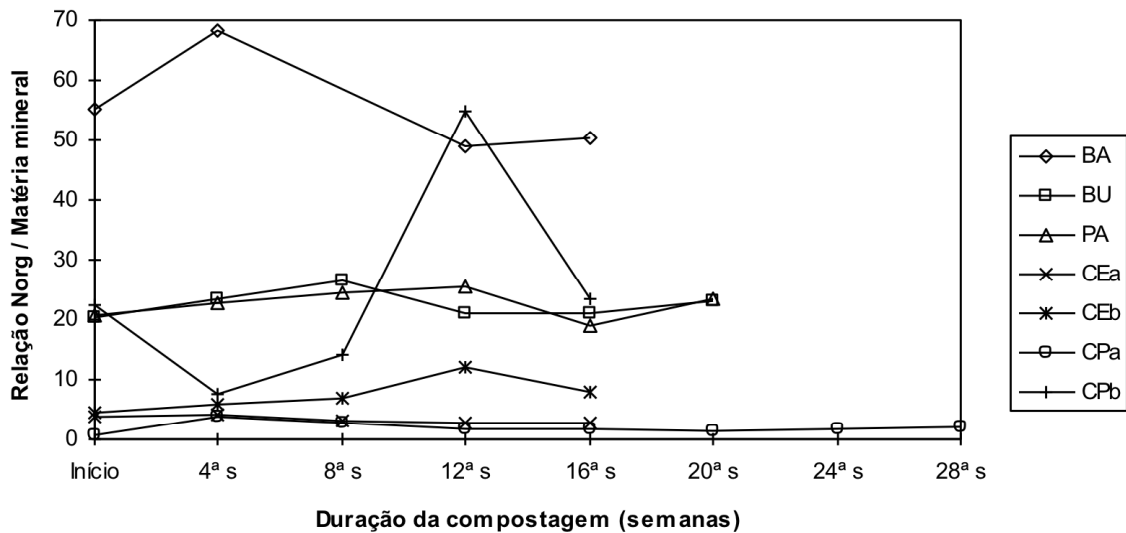


Figura 14 - Evolução da relação do azoto orgânico e da matéria mineral durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, -0,592; BU, 0,025; PA, 0,080; CEa, -0,914*; CEb, -0,595; CPa, -0,190; CPb 0,427. Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

3.3.3.5. Azoto amoniacal

O teor de azoto amoniacal tende a decrescer num processo normal de compostagem e manifestou essa tendência significativa em BU (Fig. 15).

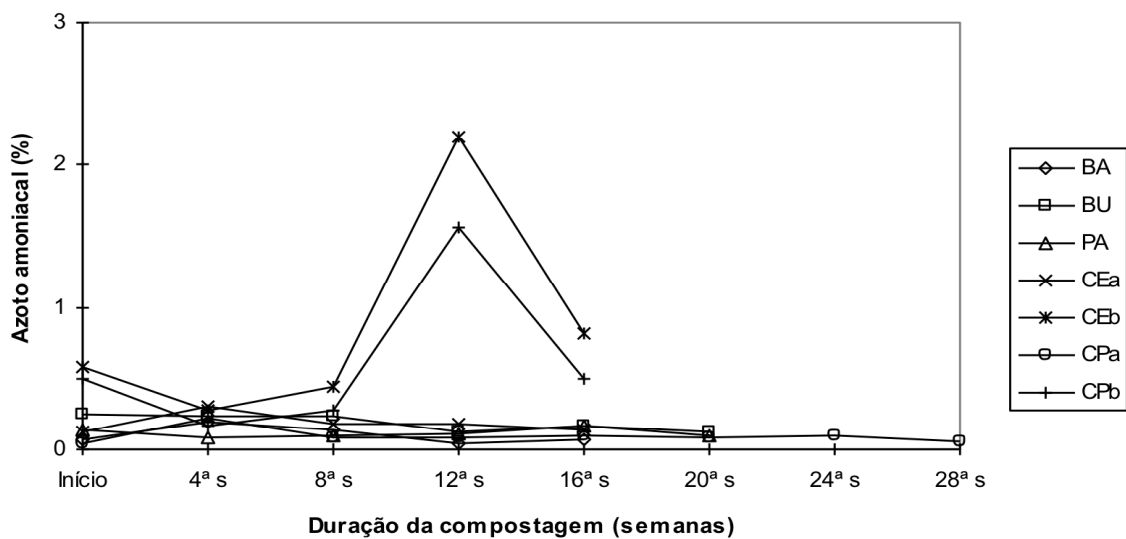


Figura 15 - Evolução do azoto amoniacal durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, 0,900; BU, -0,869*; PA, 0,100; CEa, -0,240 ; CEb, -0,819; CPa, -0,643; CPb 0,393. Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

Observou-se uma exceção a esta descida em dois dos materiais, por motivos distintos. Em CEB, a ocorrência de condições de anaerobiose na parte final do processo, terá sido a causa da acumulação de azoto amoniacal. Em CPb, a presença de azoto amoniacal detectou-se em maior quantidade na fase final da compostagem devido à aplicação tardia de ureia.

A variação dos valores iniciais e finais, do teor de azoto amoniacal, foi reduzida, sendo o decréscimo significativo somente em BU. Os valores finais situaram-se no intervalo de 0,060 a 0,129%, nos materiais em condições normais, isto é, excluindo-se CEB e CPb.

A correlação do teor de azoto amoniacal com as restantes variáveis foi geralmente baixa, sendo significativa em relação à relação Norg/MM em três compostos, CEB, CPa e CPb.

Apesar da reduzida variação do teor de azoto amoniacal e da sua baixa correlação com as restantes variáveis, parece-nos mesmo assim uma variável de muito interesse. Através da sua diminuição progressiva mostra a evolução do processo. Pode, principalmente, apontar problemas surgidos com a actividade microbiana, motora do processo, a que outras variáveis não são sensíveis, como por exemplo, o caso da falta de arejamento na fase final da 2ª compostagem de casca de eucalipto.

3.3.3.6. Grau de decomposição

O grau de decomposição, normalmente crescente com o avanço da estabilização da matéria orgânica, praticamente não variou em BA e BU e CPb (Fig. 16).

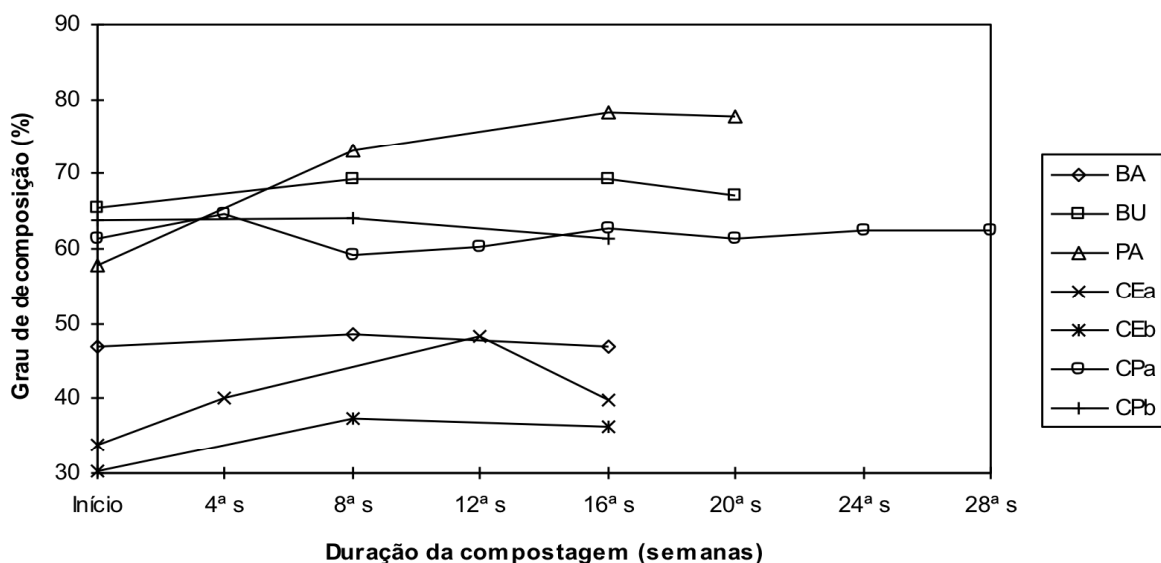


Figura 16 - Evolução do grau de decomposição. Coeficientes de regressão linear: BA, -0,052; BU, -0,434; PA, 0,923; CEa, 0,624 ; CEB, -0,784; CPa, 0,105; CPb -0,806. Valores de r não significativos. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

Como se concluiu ao analisar os resultados dos processos de compostagem, alguns dos materiais, BU, CPa e CPb, apresentavam uma grande estabilidade, sendo por isso a evolução do grau de decomposição, em valor absoluto, reduzida. Em BA também se observou um reduzido aumento, mas neste material o processo estava incompleto. Em PA, CEa e CPb, o aumento foi mais acentuado, apresentando por isso maior interesse na avaliação da evolução da compostagem destes materiais.

O GD apresentou baixa correlação com as restantes variáveis, com excepção em PA, onde parece poder constituir bom indicador da evolução da maturação.

De um modo geral, o grau de decomposição apresentou menos interesse nos materiais em que já era inicialmente alto e que, por isso, sofreram uma reduzida decomposição durante a compostagem.

3.3.3.7. Azoto não hidrolizável

Como resultado da estabilização da MO, o teor de azoto não hidrolizável aumentou sempre durante a compostagem, sendo este incremento estatisticamente significativo em PA (Fig. 17). A menor variação observou-se em CP, material bastante resistente à decomposição.

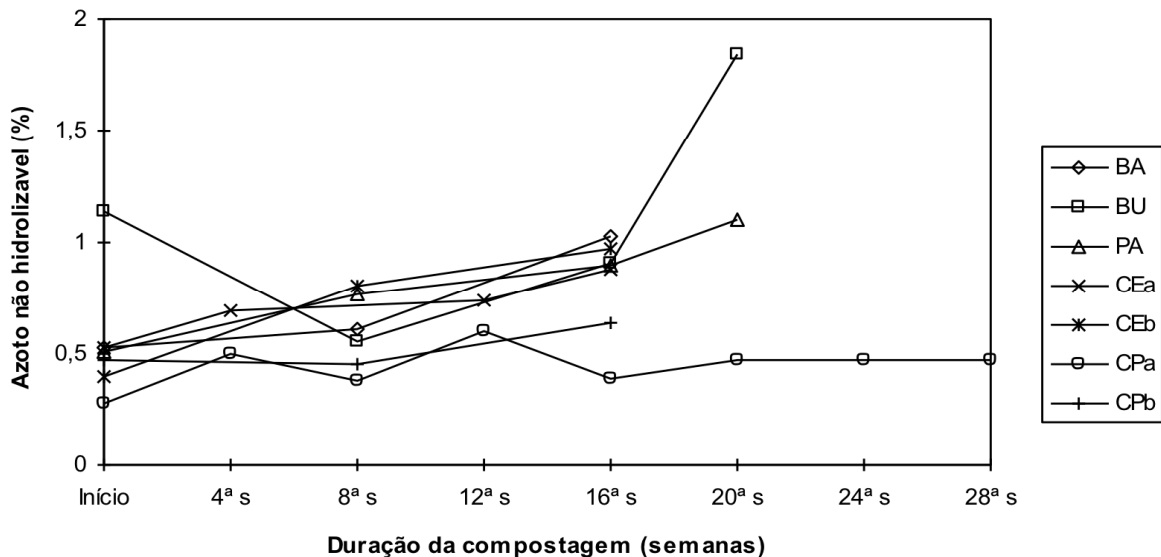


Figura 17 - Evolução do teor de azoto não hidrolizável durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, 0,931; BU, 0,479; PA, 0,985*; CEa, 0,948 ; CEB, 0,969; CPa, 0,380; CPb 0,814. Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

O teor de azoto não hidrolizável apresentou correlações relativamente elevadas com outras variáveis em todos os materiais, significativas em alguns casos e, de um modo global mais elevadas em CEa, CEB e PA.

O teor de Nnh apresentou um apreciável aumento relativamente ao valor inicial, podendo constituir uma variável de interesse no acompanhamento do processo, sempre que se conheça o seu valor inicial.

3.3.3.8. Relação carbono/azoto

O valor da relação carbono orgânico oxidável/azoto orgânico (Cox/N), decresceu durante o processo de forma estatisticamente significativa em CPa e CEa, mas praticamente não se alterou em BU e muito pouco em CPb (Fig. 18). Os valores finais apresentaram uma grande amplitude, compreendida entre 11 (CEa) a 67 (CPb).

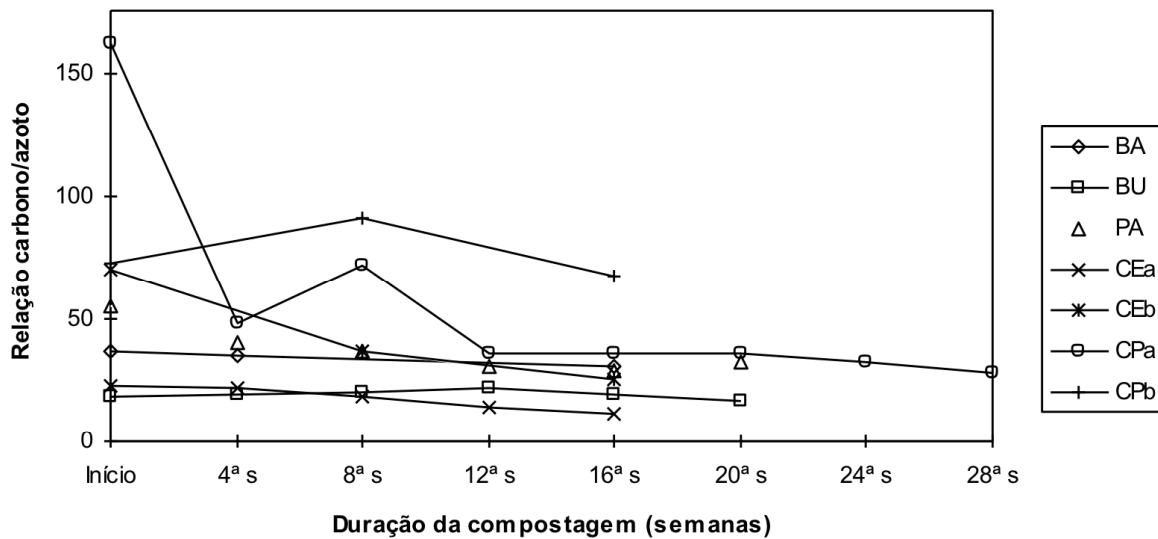


Figura 18 - Evolução da relação carbono orgânico oxidável/ azoto orgânico, durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, -0,996; BU, -0,093; PA, -0,861; CEa, -0,987** ; CEb, -0,966; CPa, -0,731*; CPb -0,240. Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” em BU e PA utilizaram-se os do material fresco.

Na maioria dos compostos, os valores finais foram superiores a 30, teoricamente um valor demasiado elevado. No entanto, se considerarmos a elevada estabilização da matéria orgânica atingida nos compostos, evidenciada ao analisar os resultados dos processos de compostagem, não serão de prever os problemas habitualmente associados a valores elevados de relação Cox/N.

A relação Cox/N correlacionou-se significativamente com várias outras variáveis, em quase todos os compostos, particularmente em CEa e CPa.

3.3.3.9. Relação carbono/azoto do extracto solúvel

Os valores da relação carbono oxidável/azoto orgânico, determinados em extracto aquoso, (C/N)s, apresentaram um comportamento global de acordo com o observado por outros

autores em compostos de RSU e LETAR (Chanyasak e Kubota, 1981; Chanyasak *et al.*, 1982 *cit. in* Sana e Soliva, 1987; Hirai *et al.*, 1983; Katayama, 1985, *cit. in* Chen, 1993). De valores iniciais bastante diferentes (de 1,4 a 51,3) atingiram-se valores finais entre 1,3 e 3,1 (Fig. 19).

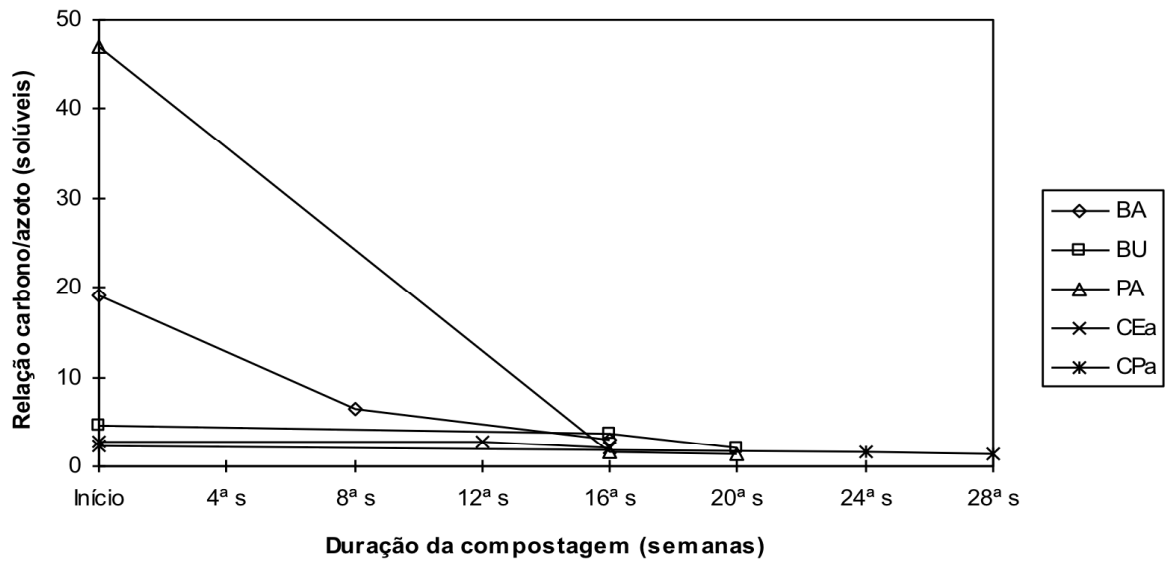


Figura 19 - Evolução da relação carbono/azoto no extracto aquoso durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, -0,947; BU, -0,881; PA, -0,983*; CEa, -0,693; CPa, -0,999. Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” utilizaram-se os do material fresco.

A relação carbono/azoto no extracto aquoso apresentou valores relativamente baixos quando comparados com os habitualmente citados na bibliografia, situados entre 5 e 6 (Chanyasak e Kubota, 1981). Contudo, observou-se que esta diferença se pode relacionar com a forma de preparação da amostra, nomeadamente a filtragem do extracto e o método para a determinação do carbono orgânico oxidável, (Jacas, 1985). Ao usar-se papel de filtro normal em vez do filtro tipo ‘milipore’ utilizado por Chanyasak e Kubota (1981), pode-se dar a passagem de partículas microscópicas que vão sobretudo elevar a percentagem de azoto determinada, baixando a relação (C/N)s. Por outro lado, o método utilizado de determinação do carbono, por via húmida por oxidação com dicromato de potássio, apenas quantifica uma percentagem deste elemento, que varia entre 60 a 90% do total (Sana, 1985, *cit. in* Jacas, 1985). Confirmou-se a dupla influência da moenda e da filtragem, na redução da relação carbono/azoto no extracto aquoso, pois os valores obtidos foram idênticos ao obtidos por Jacas (1985), seguindo o mesmo método.

Verificou-se ainda, que nos materiais com baixo valor inicial da relação carbono/azoto no extracto aquoso, não se alcançava um valor final no intervalo de 5 a 6 (Chanyasak e Kubota,

1981), o que poderia explicar os baixos valores observados, praticamente constantes, nas cascas compostadas com LETARU (Fig. 19).

Chanyasak e Kubota (1981) verificaram uma elevada correlação da relação carbono/azoto no extracto aquoso com a CTC, que não se observou em compostagem de bagaço de uva (Inbar *et al.*, 1990). Confirmaram-se as observações de Inbar *et al.* (1990), relativas à baixa correlação com a CTC em bagaço de uva, verificando-se que com a casca de pinheiro da primeira compostagem esta correlação foi significativa.

3.3.3.10. Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC/100g de MO) apresentou um aumento importante em valor absoluto na maior parte dos materiais compostados, mas sem atingir valores significativos na regressão linear com a duração do processo (Fig. 20). Só em CPa não houve praticamente alteração do valor da capacidade de troca catiónica (CTC/100g de MO). O maior número de correlações significativas com outras variáveis verificou-se em CPa, CEa e PA. De uma forma global, os vários materiais partiram de valores de capacidade de troca catiónica entre 30 e 60 meq/100 g de MO e atingiram-se valores finais entre 50 e 145 meq/100 g de MO.

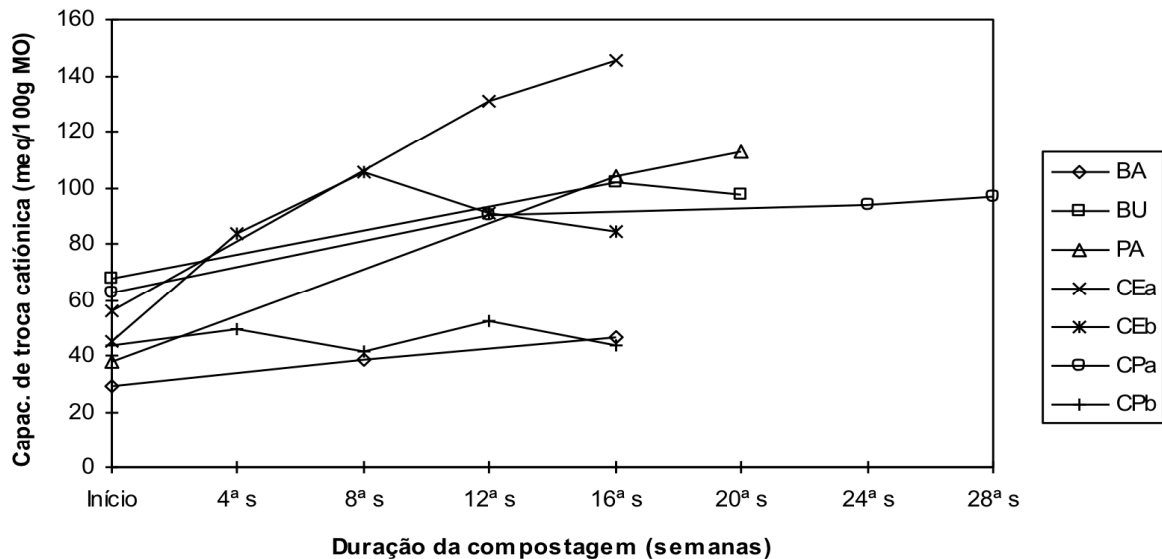


Figura 20 - Evolução da capacidade de troca catiónica, relativamente à matéria orgânica, durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, 0,997; BU, 0,953; PA, 0,997; CEa, 0,996; CEb, 0,598; CPa, 0,920; CPb 0,087. Valor de r não significativo. Para os valores de “Início” utilizaram-se os do material fresco.

Expressando a CTC relativamente ao volume (CTC/L), verificou-se uma variação estatisticamente significativa em BA e, a não alteração em CPb (Fig. 21). Os valores finais mais baixos registaram-se em CEb e CPb.

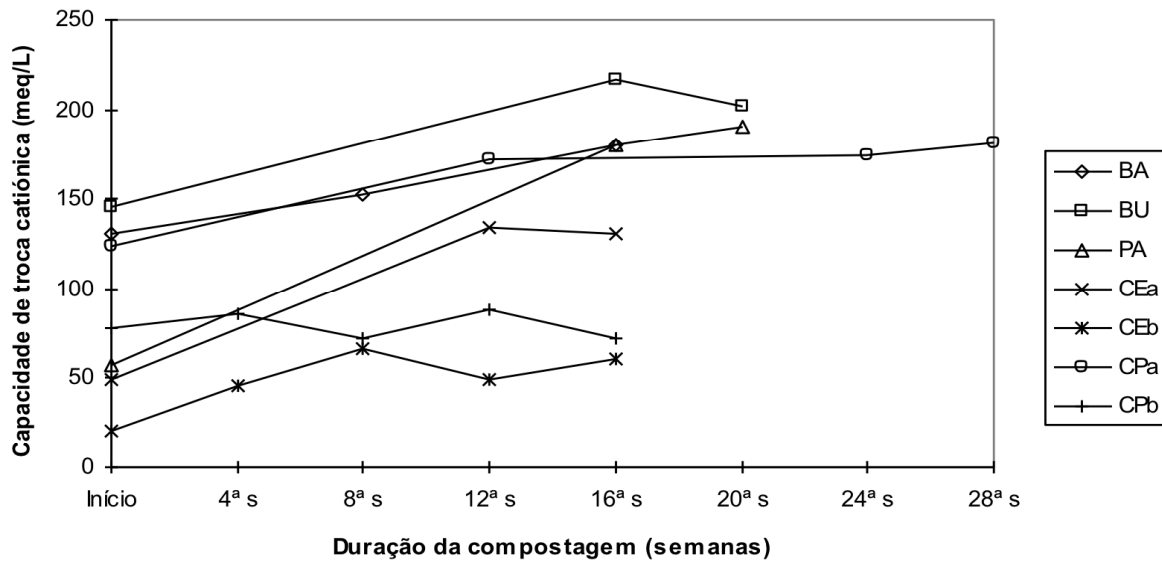


Figura 21 - Evolução da capacidade de troca catiónica, relativamente ao volume, durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, 0,997*; BU, 0,929; PA, 0,993; CEa, 0,963; CEb, 0,746; CPa, 0,905; CPb -0,183. Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$; sem indicação, não significativo. Para os valores de “Início” utilizaram-se os do material fresco.

A CTC/L apresentou coeficientes de correlação significativos com maior número de variáveis em vários materiais, nomeadamente em PA e CPa.

3.3.3.11. Carbono oxidável solúvel

O teor de carbono oxidável solúvel (Coxs) normalmente decresceu (Fig. 22). A tendência para aumentar em CEa foi pouco importante se atendermos aos valores absolutos. Os valores finais situaram-se entre 0,125 e 0,303%, partindo de teores iniciais entre 0,209 e 7,63%.

O decréscimo do valor absoluto do carbono oxidável solúvel foi apreciável nos materiais em que inicialmente o seu valor era mais alto. Dado que em CPa, o valor inicial era muito baixo, inferior aos valores finais atingidos nos outros materiais, este facto poderia explicar o pequeno decréscimo observado durante a compostagem de CPa.

A subida do teor de carbono oxidável em CEa, foi observada também noutros materiais, onde apesar do alto teor inicial de carbono, este se encontrava em formas insolúveis verificando-se que pela acção microbiana o seu nível ia aumentando pela conversão destas formas insolúveis em formas solúveis (Jacas, 1985).

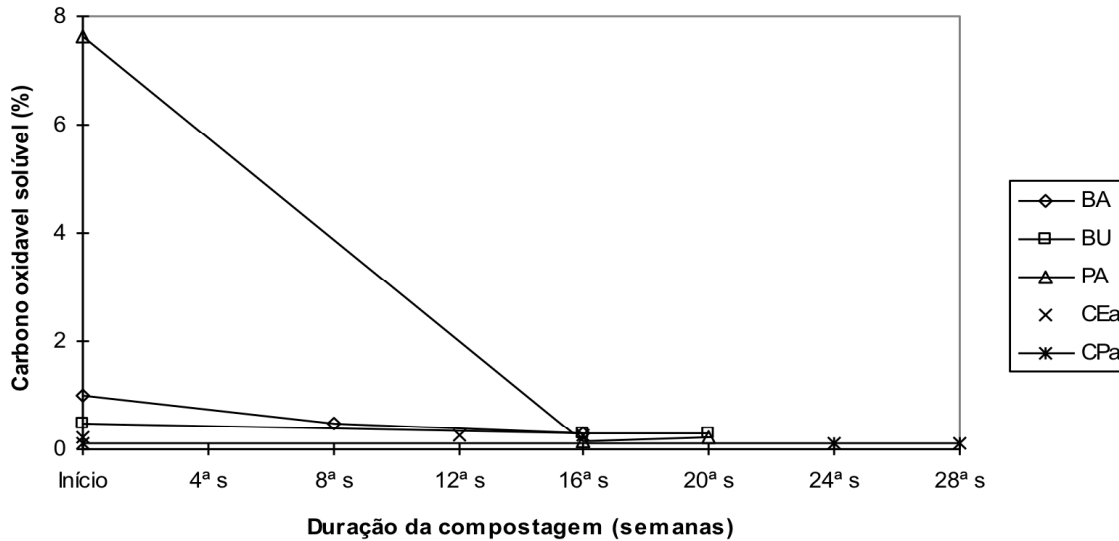


Figura 22 - Evolução do teor de carbono oxidável solúvel, durante a compostagem. Coeficientes de regressão linear: BA, -0,956; BU, -0,985; PA, 0,980; CEa, 0,885; CPa, -0,477. Valores de r não significativos. Para os valores de “Início” utilizaram-se os do material fresco.

O teor de carbono oxidável estabeleceu correlações significativas com outras variáveis sobretudo em PA. A relação entre o carbono solúvel e o azoto orgânico, é um índice recentemente referido como indicador da estabilidade de um composto (Hue e Liu, 1995). O composto estará estável quando o valor deste índice for igual ou menor que 0,7. Segundo este critério, todos os compostos obtidos teriam alcançado uma adequada estabilidade (Quadro 27). Contudo, alguns dos materiais, como o bagaço de uva e as cascas de eucalipto e de pinheiro das primeiras compostagens, apresentavam já um valor inicial abaixo de 0,7. Dado que com a casca de eucalipto e o bagaço de uva havia a certeza de serem materiais frescos ou relativamente frescos, a relação entre o carbono solúvel e o azoto orgânico revelou-se, por isso, um índice inadequado nestes materiais. Relativamente à casca de pinheiro, houve a possibilidade de o material já ter sofrido alguma alteração durante o armazenamento na serração, pelo que, o baixo valor obtido no índice, poderia reflectir já esta evolução.

Quadro 27 - Evolução da relação do carbono solúvel e do azoto orgânico

| Material | Fresco | Início da compostagem | Final da compostagem |
|-------------------------------------|--------|-----------------------|----------------------|
| Bagaço de azeitona | 9,92 | - | 0,20 |
| Bagaço de uva | 0,22 | - | 0,12 |
| Polpa de alfarroba | 10,2 | - | 0,16 |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem) | - | 0,16 | 0,16 |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem) | 0,64 | - | 0,13 |

3.3.4. Características finais dos materiais e sua evolução durante o armazenamento

A evolução das variáveis durante a compostagem foi já referida (cap. 3.3.1. a 3.3.3.). Analisam-se neste capítulo, os valores finais das variáveis nos compostos inteiros (não crivados), com interesse para a sua posterior utilização como substratos (Quadros 35 a 37) e a respectiva evolução durante o armazenamento.

De um modo geral, a alteração das propriedades dos compostos foi muito reduzida, verificando-se as maiores variações na condutividade eléctrica e no índice e percentagem de germinação (Quadro 28).

O valor do pH no final da compostagem situou-se abaixo ou próximo da neutralidade, excepto em CEb, em que atingiu 8,8, valor excessivo (Quadro 28). Durante o armazenamento o pH apresentou tendência para diminuir, normalmente para níveis mais favoráveis à sua utilização como substratos, subindo ligeiramente apenas em CPa.

A EC na maioria dos compostos situou-se abaixo de 1 dS m^{-1} , atingindo apenas em CPa o valor relativamente elevado de $2,9 \text{ dS m}^{-1}$ (Quadro 28). Durante o armazenamento a EC aumentou na maioria dos compostos, atingindo um valor máximo de 3 dS m^{-1} em CEa, mas praticamente não se alterou em BA e CPa.

O teor de MO situou-se acima dos 80%, valor indicado como adequado para materiais alternativos à turfa (Raviv *et al.*, 1986), excepto nos materiais compostados com LETARU em que, devido à adição de lamas com elevado teor mineral, baixou para 38 e 51%, respectivamente em CEa e CPa (Quadro 28). Durante o armazenamento o teor de MO dos compostos baixou ligeiramente e, de um modo mais acentuado em CEb.

A relação Cox/N situou-se na maioria dos compostos entre 15 e 30, excepto em CEa, com o valor de 11 e em CPb, com 68 (Quadro 28). A relação Cox/N aumentou durante o armazenamento, excepto em PA em que não se alterou. Os valores extremos da relação Cox/N, entre 11 e 68, não constituem obstáculos à utilização dos compostos como substratos, devido à estabilidade dos compostos, manifestada pela análise das variáveis determinadas durante os processos de compostagem.

Quadro 28 - Características físico-químicas, químicas e biológicas, dos materiais (inteiros) antes e depois de compostar, utilizados nos ensaios em placas alveoladas e em vasos

| Composto | Variável | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|-----|--------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|----------|----------|-------|-------------------------|-------|----------------------|---------------------|
| | H % | pH | CE dS m ⁻¹ | MO % | Norg ⁵ % | GD % | N-NH ₄ % | Nnh % | Cox % | Cox/N | CTC (meq/-) 100 g MS | litro | IG ⁶ % | G ⁶ % |
| BA | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 26,4 | 5,1 | 1,13 | 97,6 | 0,70 ^a | 46,8 | 0,467 | 0,71 | 43,1 | 40 | 28,6 | 130,9 | 18 ^a | 61 ^a |
| pronto ² | 34,2 | 6,4 | 0,64 | 97,0 | 1,51 ^b | 46,9 | 0,070 | 1,03 | 47,5 | 31 | 44,8 | 179,7 | 108 ^a | 49 ^a |
| 1º ano ³ | 35,9 | 6,1 | 0,60 | 96,9 | 1,20 ^a | - | 0,087 | 1,06 | 46,8 | 39 | - | - | 108 ^b | 72 ^b |
| 2º ano ⁴ | 35,9 | - | - | 96,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BU | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 41,7 | 7,3 | 0,33 | 88,8 | 2,28 ^a | 65,5 | 2,244 | 1,17 | 40,9 | 18 | 60,4 | 146,2 | 10 ^a | 21 ^a |
| pronto ² | 56,7 | 7,2 | 0,73 | 88,8 | 2,58 ^b | 67,1 | 0,125 | 1,84 | 42,9 | 17 | 87,6 | 202,4 | 151 ^a | 60 ^a |
| 1º ano ³ | 44,0 | 6,3 | 2,44 | 87,4 | 2,04 ^a | - | 0,319 | 1,61 | 42,9 | 21 | - | - | 16 ^b | 51 ^b |
| 2º ano ⁴ | 48,6 | - | - | 86,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PA | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 73,8 | 3,4 | 0,48 | 96,4 | 0,75 ^a | 57,9 | 0,719 | 0,51 | 41,1 | 55 | 36,5 | 56,9 | 0 ^a | 0 ^a |
| pronto ² | 60,6 | 6,2 | 0,73 | 93,8 | 1,46 ^a | 77,6 | 0,092 | 1,10 | 46,8 | 32 | 106,0 | 190,8 | 166 ^a | 62 ^a |
| 1º ano ³ | 46,8 | 5,7 | 1,32 | 93,3 | 1,25 ^a | - | 0,080 | 1,08 | 40,0 | 32 | - | - | 79 ^b | 83 ^b |
| 2º ano ⁴ | 48,7 | - | - | 91,6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CEa | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹⁻⁷ | 56,5 | 6,5 | 0,19 | 66,1 | 1,34 ^a | 33,8 | 0,850 | 0,53 | 30,7 | 23 | 37,5 | 48,8 | 99 ^a | 54 ^a |
| pronto ² | 64,2 | 7,1 | 1,48 | 37,6 | 1,68 ^b | 39,8 | 0,140 | 0,88 | 18,5 | 11 | 54,7 | 121,3 | 168 ^a | 70 ^a |
| 1º ano ³ | 47,9 | 6,9 | 3,06 | 35,6 | 1,36 ^a | - | 0,126 | 0,82 | 17,3 | 13 | - | - | 6 ^b | 33 ^b |
| 2º ano ⁴ | 55,7 | - | - | 34,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CEb | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 59,8 | 7,2 | 0,23 | 88,6 | 0,19 ^a | 30,3 | 0,016 | 0,40 | 39,7 | 70 | 42,2 | 21,5 | 68 ^b | 81 ^b |
| pronto ² | 73,6 | 8,8 | 1,67 | 80,7 | 1,54 ^a | 36,2 | 0,814 | 0,97 | 38,4 | 25 | 68,9 | 61,3 | 21 ^b | 53 ^b |
| 1º ano ³ | 51,6 | - | - | 66,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CPa | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 43,5 | 6,9 | 0,09 | 70,5 | 0,20 ^a | 62,8 | 0,093 | 0,28 | 33,9 | 170 | 44,2 | 123,8 | 94 ^a | 51 ^a |
| pronto ² | 48,2 | 5,7 | 2,87 | 50,7 | 0,98 ^a | 62,5 | 0,066 | 0,47 | 27,4 | 28 | 49,1 | 181,7 | 209 ^a | 74 ^a |
| 1º ano ³ | 36,3 | 6,0 | 2,62 | 48,8 | 0,63 ^a | - | 0,054 | 0,75 | 28,8 | 46 | - | - | 91 ^c | 64 ^c |
| 2º ano ⁴ | 33,4 | - | - | 48,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CPb | | | | | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 22,6 | 4,3 | 0,05 | 96,9 | 0,20 ^a | 63,7 | 0,009 | 0,47 | 46,9 | 73 | 47,9 | 90,5 | 0 ^b | 0 ^b |
| pronto ² | 63,8 | 7,3 | 0,54 | 97,0 | 0,70 ^c | 61,5 | 0,495 | 0,64 | 47,2 | 68 | 42,3 | 71,9 | 122 ^b | 78 ^b |
| 1º ano ³ | 50,6 | - | - | 95,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

¹ antes de compostar.

² no final do processo de compostagem.

³ após 1 ano de conservação em armazém á temperatura ambiente ou em câmara frigorífica.

⁴ após 1 ano de conservação em armazém, seguido de 1 ano em câmara frigorífica.

⁵ Norg determinado segundo as técnicas a), b) e c) descritas em 3.2.3.3.

⁶ IG e G determinados segundo as adaptações dos métodos de ^a Zucconi (1985) e ^b Aguirre (1994).

⁷ não existindo dados relativos ao material fresco apresentam-se os valores no início da compostagem.

A CTC, expressa em meq L⁻¹, situou-se acima de 60, atingindo em quatro dos sete compostos, valores superiores a 150. Estes valores, situam-se um pouco abaixo dos determinados por outros autores em bagaço de uva, mas são bastante semelhantes em casca de pinheiro (Quadro 29). O elevado valor de CTC pode constituir uma vantagem na utilização destes compostos como substratos. O valor recomendado para a CTC em substratos orgânicos, deve ser superior a 20 meq/100 g (Raviv *et al.*, 1986) ou situar-se entre 50 e 100 meq L⁻¹ (Handreck e Black, 1991; Bunt, 1976).

Quadro 29 - Valores de CTC (Inbar *et al.*, 1993)

| Material | meq 100 g ⁻¹ | meq l ⁻¹ | Referência |
|------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Bagaço de uva | 94 | 282 | Inbar <i>et al.</i> , 1986, 1981 |
| Casca de pinheiro fresca | 55 | 120 | Brown e Pokorny, 1975 |
| Casca de pinheiro fresca | 52 | - | Jacas, 1985 |
| Casca de pinheiro compostada | 69 | - | Jacas, 1985 |

O IG atingiu níveis favoráveis em todos os compostos à excepção de CEb. Neste composto determinou-se um valor final de IG muito baixo, mas de carácter transitório, conforme discutido ao avaliar o seu processo de compostagem (3.3.1.4.).

O IG determinado nos compostos após um ano de armazenamento, apresentou sempre resultados inferiores ao do material no final da compostagem, nalguns casos com valores muito baixos (Quadro 30). Utilizou-se na determinação do IG dos compostos após o armazenamento, um método diferente do utilizado anteriormente, devido ao interesse que apresentava. Seguiu-se o método descrito por Aguirre (1994), com uma adaptação que consistiu em empregar apenas extracto obtido a quente e tomate como espécie indicadora.

Quadro 30 - Valores do índice de germinação (IG), percentagem de germinação (G) e condutividade eléctrica dos extractos utilizados para a sua determinação, determinados no material da 1ª compostagem, após 1 ano de conservação em armazém

| Variável | Composto | | | | |
|--------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|
| | BA | BU | PA | CEa | CPa |
| EC (dS m ⁻¹) | 2,2 | 7,4 | 3,9 | 7,8 | 6,4 |
| IG | 108 | 16 | 79 | 6 | 91 |
| G (%) | 72 | 51 | 83 | 33 | 64 |

Durante o armazenamento dos compostos, sabe-se que não terão ocorrido condições que propiciassem o aparecimento de substâncias com capacidade fitotóxica. Por outro lado, verificou-se um paralelismo entre os valores da EC dos extractos e os valores do IG e da G (Quadro 30). Por isso, supõe-se que os baixos valores observados nestas variáveis, deverão estar associados ao elevado nível de condutividade eléctrica dos extractos empregues. Neste

caso, o IG dos compostos após o armazenamento não deverá na realidade ter sido afectado, sendo os baixos valores obtidos consequência apenas da elevada EC dos extractos dos compostos.

Determinaram-se os nutrientes extraíveis em extracto aquoso de CaCl₂ e DTPA (Alt e Peters, 1993), para avaliar a capacidade nutritiva dos compostos e a eventual presença de metais pesados (Quadro 31).

Quadro 31 - Teor de nutrientes e de metais pesados extraíveis dos compostos (mg l⁻¹)

| Composto | Macronutrientes | | | | | Micronutrientes | | | | Metais pesados | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|----|----|----|----------------|----|----|----|
| | N-(O ₃ +H ₄) | N-NO ₃ | N-NH ₄ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | Cu | Mn | Zn | Fe | Cd | Pb | Cr |
| BA | 30 | 12 | 19 | 57 | 1746 | 55 | 1 | 3 | 3 | 14 | - | - | - |
| BU | 19 | 10 | 9 | 45 | 2041 | 18 | 1 | 3 | 2 | 4 | - | - | - |
| PA | 212 | 194 | 18 | 71 | 2008 | 57 | <1 | 3 | 4 | 16 | - | - | - |
| CEa | 522 | 511 | 11 | 34 | 445 | 383 | 14 | 10 | 70 | 39 | <1 | 1 | <1 |
| CEb | 403 | 368 | 35 | 2 | 664 | 342 | <1 | 23 | 1 | 1 | <1 | <1 | <1 |
| CPa | 794 | 749 | 45 | 62 | 182 | 226 | 4 | 14 | 49 | 25 | <1 | 1 | <1 |
| CPb | 685 | 304 | 381 | 30 | 85 | 31 | <1 | 5 | 2 | 3 | <1 | <1 | <1 |

Do ponto de vista da caracterização do processo de compostagem, destacou-se o elevado teor de azoto nítrico e amoniacal ainda existentes em CPb, indicadores de que o composto ainda não estaria estabilizado (Quadro 31). De referir ainda, que o elevado teor de azoto amoniacal existente no final da 2^a compostagem de casca de eucalipto, já não se detectou, conforme esperado (cap. 3.3.1.4.).

No Quadro 32 apresenta-se a caracterização dos compostos do ponto de vista físico, no final dos processos de compostagem e após o armazenamento. Durante o armazenamento, ocorreu alguma variação, associada à diminuição do tamanho das partículas (Quadro 33), nomeadamente nos compostos dos materiais que haviam apresentado maior degradabilidade, PA e CEa.

A daps dos compostos obtidos apresentou valores adequados, não ultrapassando em nenhum dos compostos o valor recomendado de 0,4 g cm⁻³ (Raviv *et al.*, 1986). Nos compostos, destacaram-se os elevados valores de EPT acima de 80%, com excepção para o BA (72,7%). A percentagem de EPT dos compostos situou-se por isso, muito próximo ou acima do valor óptimo, considerado acima de 70% (Raviv *et al.*, 1986) ou 85% (De Boodt e Verdonck, 1972; Arnold, 1983 e Boertje, 1984, *cit. in* Bunt, 1976). Durante o armazenamento o EPT aumentou, ou, diminuiu ligeiramente.

Quadro 32 - Características físicas dos materiais (inteiros) antes e depois de compostados

| Material | dap (g cm ⁻³) | | dr (g cm ⁻³) | Curva de retenção de água (% v/v) | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------------|------|------|-----|------|------|------|
| | húmida | seca | | EPT | CA | AFU | AR | ADU | AU | AT |
| BA | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,762 | 0,458 | 1,466 | 68,8 | 41,3 | 5,9 | 1,0 | 20,6 | 6,9 | 27,5 |
| pronto ² | 0,736 | 0,401 | 1,470 | 72,7 | 38,6 | 3,7 | 0,5 | 30,0 | 4,2 | 34,2 |
| 1º ano ³ | 0,692 | 0,338 | 1,471 | 77,0 | 41,7 | 5,8 | 0,4 | 29,1 | 6,2 | 35,3 |
| BU | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,530 | 0,242 | 1,528 | 84,2 | 49,0 | 4,8 | 0,7 | 29,7 | 5,5 | 35,2 |
| pronto ² | 0,602 | 0,231 | 1,527 | 83,3 | 49,3 | 3,1 | 0,9 | 31,7 | 4,0 | 35,7 |
| 1º ano ³ | 0,573 | 0,226 | 1,538 | 85,3 | 53,9 | 1,9 | 0,9 | 26,6 | 2,8 | 29,4 |
| PA | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,494 | 0,156 | 1,476 | 89,4 | 56,7 | 1,1 | 0,4 | 31,3 | 1,5 | 32,8 |
| pronto ² | 0,537 | 0,180 | 1,492 | 87,9 | 52,5 | 5,4 | 1,1 | 28,9 | 6,5 | 35,4 |
| 1º ano ³ | 0,543 | 0,218 | 1,495 | 85,4 | 48,7 | 7,0 | 1,1 | 28,6 | 8,1 | 36,7 |
| CEa | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,410 | 0,130 | 1,708 | 92,4 | 63,7 | 9,6 | 1,1 | 18,0 | 10,7 | 28,7 |
| pronto ² | 0,790 | 0,240 | 2,021 | 88,1 | 30,9 | 11,4 | 2,7 | 43,7 | 14,1 | 57,8 |
| 1º ano ³ | 0,878 | 0,277 | 2,047 | 86,5 | 21,2 | 14,4 | 4,9 | 46,1 | 19,3 | 65,4 |
| CEb | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,248 | 0,051 | 1,529 | 96,7 | 83,2 | 2,9 | 0,9 | 9,6 | 3,8 | 13,4 |
| pronto ² | 0,432 | 0,089 | 1,589 | 93,9 | 63,8 | 5,7 | 3,1 | 21,4 | 8,8 | 30,2 |
| CPa | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,700 | 0,280 | 1,630 | 82,8 | 35,1 | 10,1 | 1,4 | 36,3 | 11,5 | 47,7 |
| pronto ² | 0,860 | 0,370 | 1,915 | 80,7 | 30,0 | 12,4 | 3,2 | 35,1 | 15,6 | 50,7 |
| 1º ano ³ | 0,800 | 0,343 | 1,943 | 82,4 | 27,2 | 12,7 | 4,1 | 37,4 | 16,8 | 54,2 |
| CPb | | | | | | | | | | |
| fresco ¹ | 0,503 | 0,189 | 1,471 | 87,2 | 55,8 | 2,3 | 0,6 | 29,0 | 2,9 | 31,8 |
| pronto ² | 0,526 | 0,170 | 1,470 | 88,4 | 53,7 | 5,3 | 0,7 | 28,8 | 6,0 | 34,8 |

¹ material antes de compostar.

² material no final do processo de compostagem.

³ material após 1 ano de conservação em armazém à temperatura ambiente (compostos da 1ª compostagem) ou em câmara frigorífica (compostos da 2ª compostagem).

A CA dos compostos variou aproximadamente entre 30 e 50%, valores considerados satisfatórios. Durante o armazenamento a CA aumentou ligeiramente em BA e BU e decresceu nos restantes compostos, de modo acentuado em CEa (9,7%).

A AFU apresentou valores baixos na generalidade dos compostos, já que apenas em 2 dos compostos ultrapassou ligeiramente os 10%. Alguns autores consideram 20% como limite inferior aconselhável para esta variável (Handreck e Black, 1991; De Boodt e Verdonck, 1972). A AFU manifestou um leve aumento durante o armazenamento, mas em BU apresentou uma diminuição muito ligeira, de 2,1%.

O teor de AR foi muito baixo, variando de 0,5% em BA a 3,2% em CPa, sendo este o único composto em que se aproxima de 4%, valor mínimo aconselhável segundo De Boodt e Verdonck (1972). Durante o armazenamento a AR manteve-se ou subiu muito ligeiramente.

A ADU variou de 21% em CEB a 44% em CEa e registou pequena alteração durante o armazenamento.

Os teores de AU variaram de 4,2% em BA a 16,6% em CPa e pouca alteração sofreram durante o armazenamento. Somente em CEa se observou um aumento de aproximadamente 5%.

Os teores de AT variaram de 34% em BA a 58% em CEa. Esta variável apresentou também um valor baixo, excepto para CEa e CPa (Arnold, 1983 e Boertje, 1984, *cit. in* Bunt, 1976). Durante o armazenamento a AT registou pequeno aumento, mais importante (7,6%) em CEa. A excepção verificou-se em BU em que o valor de AT decresceu um pouco durante o armazenamento.

A densidade real variou de 1,47 g cm⁻³ em BA e CPb, a 2,02 g cm⁻³ em CEa, e mantêve-se ou aumentou ligeiramente durante o armazenamento.

A densidade aparente seca (daps) variou de 0,09 g cm⁻³ em CEB a 0,40 g cm⁻³ em BA. Durante o armazenamento a daps aumentou apenas em PA e CEa, compostos onde houve maiores alterações de distribuição granulométrica neste período (Quadro 33). Nos restantes compostos a daps decresceu ligeiramente durante o armazenamento.

A densidade aparente húmida (daph) variou de 0,43 g cm⁻³ em CEB a 0,86 g cm⁻³ em CPa, tendo registado uma evolução idêntica à da daps. O decréscimo da daps e da daph observado nos compostos, à excepção de PA e CEa, não é explicado claramente pela variação das respectivas distribuições granulométricas. Isto leva a supor que o decréscimo dos valores de densidade aparente se possam atribuir a uma menor capacidade de molhabilidade dos compostos, devida ao armazenamento, resultante da sua relativa secagem durante este período.

Os compostos obtidos apresentaram como características mais marcantes um elevado arejamento e uma reduzida capacidade de retenção de água. Durante o armazenamento, mesmo à temperatura ambiente, houve uma pequena alteração das propriedades dos compostos, aliás com uma tendência para ligeira melhoria, do ponto de vista da sua utilização como componentes de substratos.

Quadro 33 - Distribuição granulométrica nos compostos da 1ª compostagem (inteiros), antes de ser preparado para a compostagem, no final e, após 1 ano de conservação em armazém

| Granulometri a | Composto | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | % p/p (mm) | BA | | | BU | | | PA | | | CEa | | | CPa | | |
| | | fresco | pronto | 1 ano | fresco | pronto | 1 ano | fresco | pronto | 1 ano | fresco | pronto | 1 ano | fresco | pronto | 1 ano |
| > 40 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 40-25 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 25-16 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 6,8 | 0,7 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 16-10 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 5,1 | 1,8 | 2,5 | 45,7 | 14,1 | 7,5 | 14,1 | 8,1 | 19,8 | 10,3 | 6,1 | 4,9 | |
| 10-5 | 0,3 | 0,5 | 1,4 | 8,7 | 6,7 | 5,1 | 42,5 | 34,7 | 29,9 | 9,6 | 10,1 | 10,6 | 14,1 | 9,6 | 12,8 | |
| 5-2 | 39,3 | 52,5 | 53,5 | 67,5 | 70,3 | 73,1 | 7,1 | 27,3 | 29,3 | 18,9 | 25,0 | 15,0 | 23,5 | 23,8 | 27,3 | |
| 2-1 | 22,3 | 25,0 | 23,3 | 7,4 | 12,4 | 8,9 | 1,5 | 10,9 | 14,6 | 13 | 22,6 | 14,2 | 11,8 | 20,7 | 17,3 | |
| 1-0,5 | 13,6 | 13,4 | 12,1 | 3,7 | 5,0 | 5,1 | 0,9 | 4,9 | 6,5 | 9,7 | 19,3 | 15,0 | 12,9 | 20,1 | 16,5 | |
| 0,5-0,25 | 21,3 | 5,8 | 5,8 | 5,5 | 2,0 | 2,7 | 1,4 | 3,0 | 3,6 | 16,8 | 10,7 | 12,5 | 16,7 | 12,2 | 10,6 | |
| 0,25-0,125 | 2,3 | 1,8 | 2,0 | 1,5 | 1,2 | 1,6 | 0,4 | 2,3 | 3,0 | 2,2 | 2,6 | 6,4 | 5,5 | 4,4 | 5,5 | |
| <0,125 | 1,0 | 1,0 | 1,4 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,3 | 2,9 | 5,5 | 0,8 | 0,9 | 3,6 | 5,3 | 3,0 | 5,2 | |

4. TESTAGEM DOS SUBSTRATOS

4.1. Introdução

Este capítulo trata da testagem como substratos, dos materiais cuja compostagem foi apresentada no cap. 3. Vai-se procurar demonstrar o interesse dos compostos como substratos

A determinação das características dos materiais permite avaliar o seu potencial como substratos, mas não substitui a realização de ensaios com plantas (Jimenez e Garcia, 1992; Chen e Inbar, 1993). Os compostos obtidos foram testados na sua aptidão como constituintes de substratos hortícolas, aplicação mais exigente dos compostos (Inbar *et al.*, 1990; Inbar *et al.*, 1993; Robinson e Stentiford, 1993). Realizaram-se ensaios de cultura em placas de sementeira e em vaso, duas das principais utilizações dos substratos.

É habitualmente indicada a incorporação até 30%, nalguns casos atingindo-se 60% de composto, na formulação de substratos, com obtenção de resultados comparáveis às misturas à base de turfa (Logan *et al.*, 1984). Nos ensaios efectuados, testaram-se os compostos em níveis de incorporação de 25, 50, 75 e 100%, para um melhor conhecimento da sua influência no comportamento das misturas, permitindo determinar os níveis máximos de composto a empregar.

Cada um dos compostos foi testado em misturas binárias com um componente complementar comum. Não obstante, poderão ser utilizadas misturas de dois ou mais dos produtos obtidos, se tal se revelar interessante em função das características individuais. Neste trabalho, estudámos cada material sem recorrer a misturas entre si, por se ter constatado que os compostos não apresentavam propriedades físicas complementares, nomeadamente quanto à capacidade de retenção de água e, por se considerar serem as misturas binárias a forma de utilização mais simples e acessível a uma posterior divulgação.

O material complementar utilizado nas misturas foi turfa de *sphagnum*, pouco decomposta, para melhoria do teor de água facilmente utilizável, característica em que os compostos obtidos apresentavam limitações. Não se utilizaram componentes inorgânicos. As vantagens apontadas à incorporação de componentes inorgânicos, sobretudo areia, na formulação de substratos (Handreck e Black, 1991), nomeadamente, o aumento da maneabilidade, menor tendência ao tombar dos vasos, redução de volume do substratos por decomposição do material e melhoria da capacidade de rehumedecimento, podem ser ultrapassadas. Assim, verifica-se que a presença de areia, embora aumenta a maneabilidade, pode contribuir para um maior desgaste de partes mecânicas sensíveis nos semeadores automáticos de placas alveoladas. A espécie empregue na cultura em vaso, o pelargónio, tem

um pequeno crescimento em altura, logo com menor problema de tombar. Os materiais orgânicos estavam estabilizados biologicamente e seriam utilizados por um período relativamente curto, pelo que os riscos de acentuada decomposição dos materiais eram menores. Por último, o sistema de rega utilizado permitia ultrapassar eficazmente o problema do rehumedecimento dos substratos, que se pode colocar por vezes em substratos orgânicos.

Efectuaram-se os ensaios de cultura em épocas com condições ambientais distintas, para determinar a variação de comportamento como substratos, dos compostos e das suas misturas.

Utilizaram-se como plantas indicadoras, o tomate, nos viveiros em placas de sementeira alveoladas e o pelargónio, na cultura em vaso. São ambas espécies muito comuns, sobre as quais existe ampla informação e relativamente fáceis de trabalhar.

Ao testarem-se os materiais através da resposta das plantas, podem-se determinar um grande número de variáveis nas plantas. A bibliografia refere nomeadamente a área foliar, o diâmetro do colo, a altura e o peso fresco e seco da parte aérea e da parte radical. A determinação de todas estas variáveis torna-se um trabalho difícil e excessivamente demorado. Tornou-se, por isso, necessário, decidir quais as variáveis a observar. Na prática, o factor tempo é importante na hora de avaliar os resultados, particularmente em viveiros, dada a elevada taxa de crescimento das plantas e, a rapidez com que manifestam alterações de crescimento por alteração das condições em que se encontravam durante o ensaio. As determinações sobre a parte radical são particularmente demoradas, embora de interesse fundamental ao avaliar um substrato. Assim, trabalhando em condições relativamente conhecidas, a substituição das variáveis sobre a parte radical, simplificaria bastante a recolha de dados. A aérea foliar é outra variável cuja substituição seria bastante útil para a redução do período de recolha de dados. Deste modo, a fim de avaliar a importância relativa das variáveis e, tendo simultaneamente em vista a redução do tempo de processamento das amostras, decidiu-se observar no primeiro ano, o número máximo possível de variáveis, para posteriormente por análise estatística adequada, escolher as variáveis chave para determinação da resposta das plantas ao tipo de substrato. Nos ensaios seguintes só as variáveis-chave seriam observadas, com evidente economia de tempo.

Embora sabendo-se que o comportamento exibido pelas diferentes variáveis, poderá ser diferente em função da natureza dos substratos, das condições de utilização e das espécies empregues, admitiu-se neste trabalho, poder-se tomar como boas indicadoras, variáveis que fossem inequivocamente postas em evidência mediante a análise estatística, uma vez que as condições dos ensaios no 2º ano seriam muito semelhantes às do 1º ano.

Para determinar a influência das propriedades dos substratos no crescimento das plantas em viveiro, determinaram-se as regressões lineares dos valores das suas características com as variáveis determinadas nas plantas.

Para fechar o ciclo de avaliação dos substratos, as plantas obtidas foram empregues no fim a que se destinavam isto é, plantaram-se ao ar livre e em estufa, avaliando-se a sua produção.

4.2. Material e métodos

4.2.1. Cultura em placas de sementeira alveoladas

4.2.1.1. Caracterização dos substratos utilizados

Caracterização física

Nos ensaios de cultura de plantas em viveiro de placas de sementeira alveoladas, utilizaram-se substratos formulados com base nos compostos obtidos.

Os compostos obtidos durante o Inverno de 1992-93, foram guardados em armazém até à realização do primeiro viveiro de tomate e posteriormente em câmara frigorífica, a 4 °C, até à realização dos ensaios no segundo ano. No Inverno seguinte, os compostos obtidos pela repetição da compostagem de casca de eucalipto e de casca de pinheiro, foram conservados a 4 °C e utilizados também nos ensaios do 2º ano.

Os compostos foram utilizados pela primeira vez em cultura, aproximadamente um ano após se terem iniciado os respectivos processos de compostagem. Dos compostos da 1ª compostagem, guardou-se material crivado para a repetição dos ensaios no ano seguinte (Quadro 34).

Quadro 34 - Conservação dos compostos utilizados nos viveiros em placas de sementeira

| Composto | Compostagem: suplemento azotado | Conservação: armazém à T ambiente | Utilização: nos 1º e 2º viveiros | Conservação: a 4 °C | Utilização: nos 3º e 4º viveiros |
|----------|---------------------------------------|---|--|------------------------|--|
| BA | ureia | • | • | • | • |
| BU | não | • | • | • | • |
| PA | não | • | • | • | • |
| CEa | LETARU | • | • | • | • |
| CPa | ureia + LETARU | • | • | • | • |
| CEb | ureia | | | • | • |
| CPb | ureia | | | • | • |

À excepção do bagaço de azeitona (BA), os restantes compostos, apresentavam partículas demasiado grandes para o tamanho dos alvéolos, pelo que foram previamente crivados por um crivo com malha de 5 mm, determinando-se o seu rendimento na crivagem (φ), entendido como a percentagem de material que passava pelo crivo de malha de 5 mm (Quadro 35).

A caracterização física dos materiais base (compostos crivados), efectuou-se no 2º ano de ensaios de cultura (Quadro 35 e Quadro 36). Neste 2º ano de ensaios, além dos materiais base caracterizaram-se também todas as misturas utilizadas (Quadro 37).

Quadro 35 - Características físicas dos compostos inteiros e crivados

| Composto | dap (g cm ⁻³) | | dr (g cm ⁻³) | EPT (% v/v) | Curva de retenção de água (% v/v) | | | | | φ (%) | | |
|----------|---------------------------|-------|--------------------------|-------------|-----------------------------------|------|------|-----|------|-------|------|-------|
| | húmida | seca | | | CA | AFU | AR | ADU | AU | | AT | |
| BA | inteiro | 0,692 | 0,338 | 1,471 | 77,0 | 41,7 | 5,8 | 0,4 | 29,1 | 6,2 | 35,3 | |
| | crivado | 0,694 | 0,345 | 1,471 | 76,6 | 41,2 | 6,5 | 1,3 | 27,5 | 7,8 | 35,3 | 100,0 |
| BU | inteiro | 0,573 | 0,226 | 1,538 | 85,3 | 53,9 | 1,9 | 0,9 | 26,6 | 2,8 | 29,4 | |
| | crivado | 0,634 | 0,249 | 1,543 | 83,9 | 47,7 | 4,7 | 1,1 | 30,3 | 5,8 | 36,1 | 92,4 |
| PA | inteiro | 0,543 | 0,218 | 1,495 | 85,4 | 48,7 | 7,0 | 1,1 | 28,6 | 8,1 | 36,7 | |
| | crivado | 0,722 | 0,245 | 1,507 | 83,7 | 35,7 | 12,9 | 3,0 | 32,1 | 15,9 | 48,0 | 62,6 |
| CEa | inteiro | 0,878 | 0,277 | 2,047 | 86,5 | 21,2 | 14,4 | 4,9 | 46,1 | 19,3 | 65,4 | |
| | crivado | 0,946 | 0,308 | 2,058 | 85,0 | 22,7 | 16,4 | 4,1 | 41,8 | 20,5 | 62,3 | 66,5 |
| CPa | inteiro | 0,800 | 0,343 | 1,943 | 82,4 | 27,2 | 12,7 | 4,1 | 37,4 | 16,8 | 54,2 | |
| | crivado | 0,893 | 0,377 | 1,893 | 80,1 | 28,8 | 18,8 | 4,7 | 27,8 | 23,5 | 51,3 | 44,4 |
| CEb | inteiro | 0,432 | 0,089 | 1,589 | 93,9 | 63,8 | 5,7 | 3,1 | 21,4 | 8,8 | 30,2 | |
| | crivado | 0,530 | 0,153 | 1,713 | 91,1 | 55,3 | 9,7 | 1,3 | 24,8 | 11,0 | 35,8 | 82,3 |
| CPb | inteiro | 0,526 | 0,170 | 1,470 | 88,4 | 53,7 | 5,3 | 0,7 | 28,8 | 6,0 | 34,8 | |
| | crivado | 0,529 | 0,176 | 1,482 | 88,1 | 51,8 | 9,9 | 1,0 | 25,5 | 10,9 | 36,4 | 70,3 |

Nota: A determinação das características físicas foi efectuada em anos distintos: no 1º ano determinaram-se nos compostos inteiros e no ano seguinte determinaram-se nos compostos crivados, utilizando amostras conservadas a 4°C.

Quadro 36 - Distribuição granulométrica nos compostos crivados

| Granulometria (mm) | Composto | Composto | | | | | | |
|--------------------|----------|----------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | BA | BU | PA | CEa | CPa | CEb | CPb |
| 5-2 % p/p | | 54,5 | 79,2 | 46,9 | 22,5 | 33,1 | - | - |
| 2-1 % p/p | | 23,8 | 9,6 | 23,4 | 21,3 | 21,0 | - | - |
| 1-0,5 % p/p | | 12,3 | 5,5 | 10,4 | 22,5 | 20,0 | - | - |
| 0,5-0,25 % p/p | | 5,9 | 2,9 | 5,8 | 18,7 | 12,9 | - | - |
| 0,25-0,125 % p/p | | 2,0 | 1,7 | 4,8 | 9,6 | 6,7 | - | - |
| <0,125 % p/p | | 1,4 | 1,0 | 8,8 | 5,4 | 6,3 | - | - |

Nota: Esta distribuição granulométrica foi determinada no 2º ano de ensaios de cultura em placas alveoladas.

Quadro 37 - Características físicas das misturas utilizadas no 2º ano de ensaios de cultura em viveiro

| Substrato | dap (g cm ⁻³) | | dr (g cm ⁻³) | CTR (%) | EPT (% v/v) | Curva de retenção de água (% v/v) | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-------|--------------------------|---------|-------------|-----------------------------------|------|-----|------|------|------|
| | húmida | seca | | | | CA | AFU | AR | ADU | AU | AT |
| Traysubstrat ¹ | 0,888 | 0,122 | 1,516 | 30,7 | 92,0 | 17,3 | 33,5 | 5,2 | 35,9 | 38,7 | 74,6 |
| (Comp. % ²) | | | | | | | | | | | |
| BA 100 | 0,694 | 0,345 | 1,471 | 19,2 | 76,6 | 41,2 | 6,5 | 1,3 | 27,5 | 7,8 | 35,4 |
| 75 | 0,705 | 0,286 | 1,476 | 13,5 | 80,6 | 36,3 | 13,4 | 1,5 | 29,5 | 14,9 | 44,4 |
| 50 | 0,742 | 0,217 | 1,475 | 20,8 | 85,3 | 29,0 | 23,1 | 4,1 | 29,1 | 27,2 | 56,3 |
| 25 | 0,824 | 0,156 | 1,480 | 28,1 | 89,5 | 15,1 | 36,7 | 5,7 | 31,9 | 42,4 | 74,3 |
| BU 100 | 0,634 | 0,249 | 1,543 | 20,7 | 83,9 | 47,7 | 4,7 | 1,1 | 30,3 | 5,8 | 36,2 |
| 75 | 0,720 | 0,216 | 1,531 | 22,5 | 85,9 | 36,7 | 16,0 | 2,8 | 30,4 | 18,8 | 49,2 |
| 50 | 0,793 | 0,172 | 1,524 | 23,4 | 88,7 | 26,7 | 26,1 | 4,5 | 31,3 | 30,7 | 62,0 |
| 25 | 0,851 | 0,130 | 1,509 | - | 91,4 | 12,2 | 38,9 | 6,3 | 34,0 | 45,2 | 79,2 |
| PA 100 | 0,722 | 0,245 | 1,507 | 21,5 | 83,7 | 35,7 | 12,9 | 3,0 | 32,1 | 15,9 | 48,0 |
| 75 | 0,772 | 0,204 | 1,504 | 18,5 | 86,4 | 30,6 | 19,0 | 4,3 | 32,5 | 23,3 | 55,9 |
| 50 | 0,765 | 0,164 | 1,503 | 24,3 | 89,1 | 26,4 | 25,5 | 5,1 | 32,1 | 30,6 | 62,7 |
| 25 | 0,821 | 0,120 | 1,497 | 29,0 | 92,0 | 17,5 | 36,8 | 6,3 | 31,4 | 43,1 | 74,5 |
| CEa 100 | 0,946 | 0,308 | 2,058 | 31,5 | 85,0 | 22,7 | 16,4 | 4,1 | 41,8 | 20,5 | 62,3 |
| 75 | 0,995 | 0,258 | 2,002 | 35,2 | 87,1 | 12,9 | 28,0 | 5,9 | 40,4 | 33,9 | 74,2 |
| 50 | 0,936 | 0,195 | 1,916 | 32,8 | 89,8 | 15,5 | 31,5 | 5,8 | 37,0 | 37,3 | 74,3 |
| 25 | 0,891 | 0,133 | 1,754 | - | 92,4 | 14,7 | 36,6 | 6,1 | 35,0 | 42,7 | 77,8 |
| CPa 100 | 0,893 | 0,377 | 1,893 | 9,0 | 80,1 | 28,8 | 18,8 | 4,7 | 27,8 | 23,4 | 51,3 |
| 75 | 0,827 | 0,288 | 1,852 | 14,1 | 84,5 | 28,7 | 22,7 | 4,8 | 28,2 | 27,5 | 55,8 |
| 50 | 0,813 | 0,218 | 1,778 | 21,0 | 87,7 | 20,6 | 32,3 | 5,9 | 29,1 | 38,1 | 67,2 |
| 25 | 0,882 | 0,147 | 1,693 | 27,9 | 91,3 | 16,7 | 37,6 | 6,2 | 30,9 | 43,7 | 74,6 |
| CEb 100 | 0,530 | 0,153 | 1,713 | 16,3 | 91,1 | 55,3 | 9,7 | 1,3 | 24,8 | 10,9 | 35,7 |
| 75 | 0,585 | 0,139 | 1,682 | 19,6 | 91,7 | 44,2 | 17,8 | 2,7 | 27,1 | 20,5 | 47,6 |
| 50 | 0,708 | 0,122 | 1,629 | 21,7 | 92,5 | 35,6 | 24,0 | 3,8 | 29,1 | 27,8 | 56,9 |
| 25 | 0,824 | 0,100 | 1,573 | - | 93,6 | 21,0 | 36,7 | 5,4 | 30,6 | 42,1 | 72,7 |
| CPb 100 | 0,529 | 0,176 | 1,482 | 17,3 | 88,1 | 51,8 | 9,9 | 1,0 | 25,5 | 10,8 | 36,3 |
| 75 | 0,614 | 0,153 | 1,486 | - | 89,7 | 42,6 | 18,8 | 3,4 | 24,9 | 22,2 | 47,1 |
| 50 | 0,667 | 0,129 | 1,484 | 18,9 | 91,3 | 40,7 | 24,5 | 4,7 | 21,5 | 29,2 | 50,7 |
| 25 | 0,854 | 0,113 | 1,482 | 46,4 | 92,4 | 19,5 | 35,8 | 6,7 | 30,2 | 42,5 | 72,7 |
| Floratorf ³ | 0,836 | 0,078 | 1,482 | 33,0 | 94,7 | 17,3 | 39,7 | 6,8 | 31,0 | 46,5 | 77,5 |

¹ Substrato testemunha.

² Percentagem de composto na mistura.

³ Turfa empregue para a preparação das misturas.

Os compostos crivados apresentaram um EPT próximo ou acima de 85%, valor mínimo recomendado para esta variável (De Boodt e Verdonck, 1972), à excepção do BA em que se só

atingiu 77% (Quadros 35 e 37). A maioria possuía uma elevada capacidade de ar, superior a 20 - 30%, conforme recomendado por De Boodt e Verdonck (1972). Os compostos com incorporação de LETARU foram os que apresentaram valores mais baixos de capacidade de ar (23 e 29%, respectivamente em CEa e CPa), mesmo assim dentro de limites satisfatórios.

A AFU era de um modo geral muito baixa, sendo superior a 15% apenas nos compostos com LETARU, CEa e CPa, respectivamente com 16 e 19% (Quadros 35 e 37). Estes valores estavam abaixo do recomendado, situado entre 20 e 30% (De Boodt e Verdonck, 1972). A AR, também apenas em CEa e CPa, atingiu o valor mínimo aconselhável de 4%.

Apesar da eliminação das fracções granulométricas mais grossas pela crivagem (Quadro 36), não houve uma melhoria muito sensível das propriedades relacionadas com a retenção de água (Quadro 35 e 37).

Comparando a AFU e a AT, duas características muito importantes, observou-se que o aumento da AFU só ocorreu com algum significado prático em PA, CPa e CPb (Quadro 35 e 37). A AT, aumentou em BU e PA, variou pouco noutros compostos e decresceu mesmo em CEa e CPa. A explicação para a variação da AT baseada na granulometria do material não é possível, por não se dispor dos dados da distribuição granulométrica relativos ao material nas mesmas condições. Isto é, o material crivado manualmente pelo crivo de 5 mm, para obter os materiais base para as misturas, possui uma composição granulométrica relativamente diferente da calculável a partir do respectivo material inteiro, no intervalo de 0 a 5 mm, por duas razões: (i) a crivagem para preparação das misturas foi feita com o material húmido e (ii) a agitação do material é menos intensa que a efectuada mecânicamente em laboratório, por isso com um diferente grau de separação de partículas.

Os compostos foram utilizados em misturas com turfa de *sphagnum* pouco decomposta, “Floratorf” (Torfstreuverband GMBH, Alemanha, Quadro 37 e, Anexo 1 Quadro 78), com pH 3,9 e condutividade eléctrica de 0,174 dS m⁻¹. Previamente, procedeu-se a um ensaio de calagem da turfa “Floratorf” (Anexo 2) com um calcário comercial, crivado por crivo de 1 mm. Determinou-se ser necessário adicionar 2,0 g L⁻¹ de calcário à turfa para elevar o pH a 5,8, valor situado entre os normalmente apontados como óptimos para substratos orgânicos (5,0 a 5,5, Lucas e Davis, 1961, *cit. in* Bunt, 1976; 5,0 a 6,0 Handreck e Black, 1991). Na turfa “Floratorf” salientou-se uma muito elevada capacidade de AFU e uma CA ligeiramente abaixo do mínimo habitualmente recomendado.

Obtiveram-se as misturas incorporando 25, 50 e 75% (v/v) de turfa no total de turfa + composto. O volume dos componentes das misturas foi medido sujeitando-os a uma pressão de 10 gf cm⁻². Após a obtenção das misturas, o volume final foi medido de novo e aplicado, em igual quantidade, o mesmo fertilizante de base existente no substrato testemunha.

A mistura dos compostos com a turfa “Floratorf”, com características complementares da generalidade dos compostos, conduziu a uma melhoria sensível das propriedades das misturas obtidas (Quadro 37). Verificou-se, que apenas com 25% de turfa, todas as misturas se aproximaram ou ultrapassaram o nível de 20% de água facilmente utilizável, à exceção de BA e BU. Com 50%, já todas se situaram no intervalo de 20 a 30% de água facilmente utilizável. Com 50% de incorporação de turfa, a capacidade de arejamento baixou, mas apenas num caso (CEa) decresceu do valor mínimo de 20%. Com 75% de turfa na mistura, a capacidade de arejamento situou-se abaixo deste limite, à exceção da CEb e CPb.

Como substrato testemunha utilizou-se um produto comercial, resultado da mistura de turfas, “Triohum Traysubstrat” (Klasmann - Deilmann, Alemanha, Anexo 1, Quadro 77). É um substrato indicado para viveiros, com um bom comportamento em viveiros efectuados anteriormente. Apresentou elevado EPT, uma CA relativamente baixa (17%) e elevado teor de AFU (33%) e de AT (75%). Os valores destas variáveis eram semelhantes aos da turfa para preparação das misturas (Floratorf), à exceção da AFU, que em “Triohum Traysubstrat” foi um pouco mais baixa.

Correlacionaram-se os valores das propriedades físicas das misturas utilizadas, determinadas no 2º ano de ensaios, com os respectivos valores obtidos por cálculo a partir das características dos componentes. Para este cálculo tomou-se o valor das variáveis físicas em cada um dos componentes da mistura, multiplicou-se pela respectiva percentagem de incorporação na mistura, obtendo-se o valor final na mistura por adição dos valores das variáveis para os componentes. Verificaram-se elevados coeficientes de correlação, ao considerarem-se todas as misturas em conjunto (Figura 23). Tomando apenas as misturas com cada composto, a correlação foi significativa apenas em alguns compostos relativamente ao EPT, devido ao baixo número de observações. A correlação de algumas destas variáveis tinha já sido observada por outros autores, em misturas de resíduos florestais e turfa (Burés *et al.*, 1991).

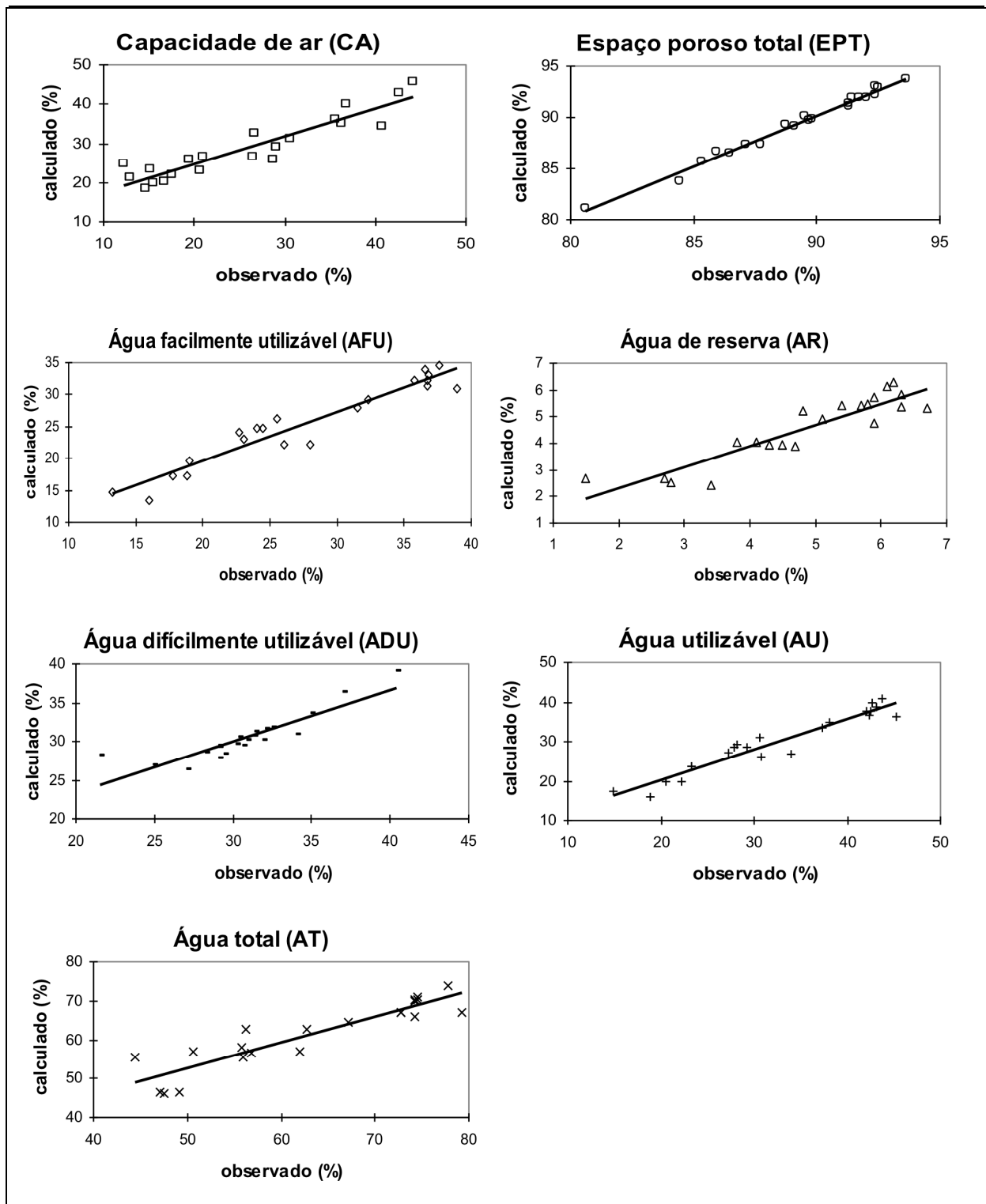


Figura 23 - Correlação das características físicas determinadas nas misturas e das calculadas a partir das propriedades dos respectivos componentes. Valores dos coeficientes de correlação para a variável: CA, 0,93; AFU, 0,96; AR, 0,91; AU, 0,96; AT, 0,92; ADU, 0,89; EPT, 0,99, significativos para $p \leq 0,001$.

Caracterização química

Determinou-se o pH e a EC dos compostos crivados (Quadro 38). No 2º ano de ensaios de cultura, ano em que se procedeu à caracterização individual das misturas, determinou-se também a MO dos compostos crivados.

Quadro 38 - Valores de algumas propriedades físico-químicas dos compostos e do substrato testemunha, empregues nos viveiros em placas alveoladas

| Composto | MO ¹ (%) | pH ² | | EC (dS m ⁻¹) ² | | CTC ³ (meq/MS) |
|--------------|------------------------|-----------------|--------|---------------------------------------|--------|------------------------------|
| | | 1º ano | 2º ano | 1º ano | 2º ano | |
| BA | 96,8 | 6,7 | 6,1 | 0,48 | 0,60 | 44,8 |
| BU | 86,7 | 7,5 | 6,3 | 0,54 | 0,24 | 87,6 |
| PA | 91,6 | 5,7 | 5,7 | 1,31 | 1,32 | 106,0 |
| CEa | 34,7 | 7,1 | 6,9 | 2,39 | 3,06 | 54,7 |
| CPa | 48,3 | 6,0 | 6,0 | 2,23 | 2,62 | 49,1 |
| CEb | 66,1 | - | 7,8 | - | 3,80 | 68,9 |
| CPb | 95,2 | - | 6,3 | - | 0,79 | 42,3 |
| Traysubstrat | 90,4 | 5,8 | - | 1,04 | - | - |

¹ Determinado nos compostos crivados, no 2º ano de ensaios em placas alveoladas.

² Determinado nos compostos crivados, no 1º e o 2º ano de ensaios em placas alveoladas.

³ Determinado nos compostos inteiros, no final do processo de compostagem.

O pH mais elevado observou-se nas cascas de eucalipto e em bagaço de uva. O pH inicial dos substratos variou de 6,0 a 7,5 no 1º ano de ensaios de cultura e, de 5,7 a 7,8 no 2º ano.

A EC nunca apresentou valores demasiado elevados, à excepção do composto de casca de eucalipto da 2ª compostagem (CEb), em que de início o valor foi 3,8 dS m⁻¹. Nas misturas estudadas, a EC variou de 0,54 a 2,39 dS m⁻¹ no 1º ano de ensaios de cultura e, de 0,24 a 3,80 dS m⁻¹ no 2º ano.

Devido à sua importância no crescimento das plantas no viveiro, determinou-se o teor dos principais nutrientes extraíveis e, o de alguns metais pesados de possível ocorrência nos compostos com LETARU (Quadro 39). Observou-se que os compostos BA e BU apresentaram níveis muito baixos de azoto e de fósforo, mas muito altos em potássio. Em CE e CP, os teores de azoto foram elevados e, os de potássio elevados em CE mas baixos em CPb. Em CE e CP, o fósforo situou-se num nível relativamente baixo, sendo muito baixo em CEb.

Quadro 39 - Teor de nutrientes e de metais pesados extraíveis (mg l⁻¹), dos compostos, do substrato testemunha e da turfa para preparação das misturas

| Material ¹ | Macronutrientes | | | | | | Micronutrientes | | | | Metais pesados | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----------------|----|-----|----|----------------|-----|-----|
| | N-(O ₃ +H ₄) | N-NO ₃ | N-NH ₄ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | Cu | Mn | Zn | Fe | Cd | Pb | Cr |
| BA | 30 | 12 | 19 | 57 | 1746 | 55 | 1 | 3 | 3 | 14 | - | - | - |
| BU | 19 | 10 | 9 | 45 | 2041 | 18 | 1 | 3 | 2 | 4 | - | - | - |
| PA | 212 | 194 | 18 | 71 | 2008 | 57 | < 1 | 3 | 4 | 16 | - | - | - |
| CEa | 522 | 511 | 11 | 34 | 445 | 383 | 14 | 10 | 70 | 39 | < 1 | 1 | < 1 |
| CEb | 403 | 368 | 35 | 2 | 664 | 342 | < 1 | 23 | 1 | 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| CPa | 794 | 749 | 45 | 62 | 182 | 226 | 4 | 14 | 49 | 25 | < 1 | 1 | < 1 |
| CPb | 685 | 304 | 381 | 30 | 85 | 31 | < 1 | 5 | 2 | 3 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Traysub. | 197 | 193 | 4 | 27 | 147 | 80 | 2 | 7 | 1 | 11 | - | - | - |
| Floratorf | 14 | 3 | 11 | < 1 | 2 | 58 | < 1 | 2 | < 1 | 8 | - | - | - |

¹ Compostos, substrato testemunha (Traysubstrat) e turfa para as misturas (Floratorf).

O composto PA apresentou um teor intermédio de azoto, elevado de fósforo e muito elevado em potássio.

Os teores de Mg foram elevados em CE e CPa.

Os micronutrientes apresentaram valores relativamente elevados nos compostos com LETARU. O Mn apresentou um nível elevado na CEb e o Fe também ocorreu em quantidades apreciáveis nos compostos, à excepção da CEb, CPb e do BU. Foi bastante apreciável o efeito enriquecedor em micronutrientes proporcionado pela adição de LETARU.

Dos metais pesados, apenas o chumbo foi detectado, mas a um nível muito baixo (Bertoldi, 1993; Richard *et al.*, 1993).

O substrato testemunha (Triohum Traysubstrat) apresentou teores médios em macronutrientes, embora relativamente baixos em fósforo. Os micronutrientes apresentaram valores normais, mas ligeiramente baixos em Cu e Zn.

A turfa para preparação das misturas (Floratorf), apresentou teores baixos de macro e de micronutrientes, com excepção para o teor de Mg que era relativamente elevado.

No Quadro 40, apresenta-se o resultado da soma dos nutrientes extraíveis nos compostos e dos aplicados na forma de adubo mineral, em quantidade igual ao presente no substrato testemunha e, a composição da solução de rega empregue.

Quadro 40 - Soma dos nutrientes extraíveis determinados nos compostos e dos aplicados na forma de adubo sólido (mg l^{-1} de substrato) e, nutrientes fornecidos na solução de rega (mg l^{-1} de solução)

| Material ¹ | Macronutrientes | | | | | | Micronutrientes | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----------------|----|----|----|
| | N-(O ₃ +H ₄) | N-NO ₃ | N-NH ₄ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | Cu | Mn | Zn | Fe |
| BA | 212 | 83 | 129 | 265 | 1980 | 64 | 2 | 5 | 3 | 15 |
| BU | 201 | 82 | 119 | 253 | 2275 | 27 | 2 | 5 | 2 | 6 |
| PA | 394 | 266 | 129 | 279 | 2242 | 66 | 2 | 5 | 5 | 17 |
| CEa | 704 | 583 | 121 | 242 | 679 | 392 | 15 | 12 | 70 | 40 |
| CEb | 585 | 440 | 146 | 210 | 898 | 351 | 2 | 25 | 1 | 2 |
| CPa | 976 | 821 | 156 | 270 | 416 | 235 | 5 | 16 | 50 | 26 |
| CPb | 867 | 375 | 492 | 238 | 319 | 40 | 2 | 7 | 3 | 4 |
| Solução de rega | 266 | 260 | 5 | 28 | 122 | 28 | <0,03 | 0 | 0 | 0 |

¹ Compostos, substrato testemunha (Traysubstrat) e turfa para as misturas (Floratorf).

Através da fertilização de base das misturas com composto e do emprego de uma solução de rega com nutrientes, procurou-se reduzir as diferenças de fertilidade química entre os diferentes compostos e o substrato testemunha.

4.2.1.2. Selecção de variáveis

De acordo com os objectivos definidos, efectuou-se um tratamento estatístico específico aos resultados finais dos 1º e 2º viveiros de tomate. Este tratamento estatístico consistiu numa análise em Componentes Principais (ACP, Principal Component Analysis) e numa análise Discriminante “passo a passo” (AD, Stepwise Discriminant Analysis), utilizando as variáveis seleccionadas na ACP. Analisaram-se as 8 variáveis determinadas no final dos 1º e

2º viveiros de tomate: diâmetro do colo, altura, número de folhas, área foliar, peso fresco e peso seco da parte aérea e da parte radical.

Na análise em Componentes Principais, admitiram-se como relevantes apenas as componentes com proporções superiores ao quociente do número de componentes pelo total (100%). Nas componentes nestas condições, observaram-se os valores dos índices das variáveis de crescimento das plantas, verificando a sua importância relativa. Utilizou-se o gráfico resultante da projecção das componentes mais importantes, para seleccionar as variáveis mais afastadas entre si. Na selecção final, quando duas variáveis estavam muito correlacionadas (pela análise da matriz de correlações), optou-se pela que fosse de mais fácil observação nas plantas.

Através da análise Discriminante determinou-se em que grau as variáveis determinadas explicavam os resultados obtidos. Tomou-se como indicador, a ordem de inclusão no modelo final e o respectivo coeficiente de determinação, igual a: $1 - \text{Lambda de Wilk}$.

Além destas análises estatísticas específicas, tomou-se também em linha de conta para a selecção das variáveis, a frequência com que na análise da variância manifestavam diferenças significativas entre misturas.

Por último, em igualdade de importância, consideraram-se as que, pela sua rapidez, simplicidade e fiabilidade, se prestavam à obtenção da informação necessária e suficiente no menor período de tempo.

4.2.1.3. Viveiros de tomate em placas de sementeira

Para testar os materiais na cultura em placas alveoladas, realizaram-se 4 viveiros, em duas épocas sucessivas: Dezembro-Fevereiro e Fevereiro-Março em 1993/94 e, Dezembro-Março e Abril-Maio, em 1994/95.

1º Viveiro de tomate

O primeiro ensaio de cultura em placas de sementeira consistiu na comparação de 21 tratamentos (20 misturas + 1 testemunha), correspondendo a diferentes misturas de materiais, utilizados como substratos num viveiro de tomate. Os 5 compostos estudados no cap. 3.3.4., BA, BU, PA, CEa e CPa, foram passados pelo crivo com malha de 5 mm e misturados com turfa simples (Floratorf) com o pH previamente corrigido (Anexo 1, Quadro 78) em proporção de 25, 50 75 e 100% (v/v) dos compostos, originando 20 misturas. Como testemunha utilizou-se um substrato comercial (Triohum Traysubstrat). As misturas serão designadas de acordo

com a respectiva percentagem de composto. O primeiro ensaio de cultura em placas de sementeira decorreu de 13/12/93 a 7/2/94 (56 dias).

Os 21 tratamentos obtidos foram estabelecidos em 4 blocos casualizados. Em cada bloco, cada tratamento foi instalado em duas linhas contíguas de alvéolos (num total de 16 plantas), ficando assim 7 tratamentos por placa alveolada. De cada tratamento e bloco tomaram-se 6 plantas ao acaso, nas quais se efectuaram as observações. A análise estatística efectuou-se com o programa SAS (S.A.S., Inc. Cary, EUA).

Para a medição dos volumes de material, tanto para a correcção do pH da turfa como para a preparação das misturas, utilizou-se um sistema volumétrico, em que mediante um recipiente com um êmbolo, a turfa e os restantes materiais foram sujeitos a uma pressão de 10 gf cm⁻². Após a obtenção das misturas, o volume final foi medido de novo e aplicado um fertilizante de base idêntico ao existente no substrato testemunha e na mesma concentração, 1,3 g L⁻¹ (PG Mix, Windmill, Holanda; Anexo 3, Quadro 81). Guardaram-se amostras de cerca de 10 L de material, para a caracterização dos compostos crivados e dos substratos “Triohum Traysubstrat” e “Floratorf”.

Semeou-se manualmente, uma semente nua não desinfectada por alvéolo, da cultivar 'Edison' F1 TmC5VF2N (Leen de Moos, Holanda), em placas alveoladas de poliestireno expandido de 128 alvéolos (8 x 16), com forma de tronco de pirâmide, com 34 cm³ de volume (3,5 cm de largura do lado superior, por 5,5 cm de altura). Colocaram-se as placas na bancada, inundou-se totalmente e deixaram-se saturar durante algumas horas, após que se passou ao regime previsto de rega.

Após a emergência, fez-se uma repicagem de algumas plantas em falta, com plantas do mesmo substrato, utilizando plantas em excesso de alvéolos em que haviam nascido duas ou de plantas de zonas de bordadura.

As placas alveoladas foram instaladas numa bancada metálica, com 3 m de comprimento por 1,6 de largura, previamente preparada para a rega por inundação.

Regou-se pelo sistema de inundação parcial temporária (IPT). Embora a dotação e frequência de rega devam ser ajustadas às características de cada mistura, tornava-se tecnicamente difícil a instalação de outro sistema de rega compatível com um tão elevado número de misturas. Com o sistema utilizado, garantiu-se o fornecimento de água de um modo uniforme às diferentes misturas. Acresce ainda, ser um método de rega hoje em dia bastante frequente neste tipo de cultura em condições tecnológicas mais avançadas.

A solução nutritiva utilizada na rega foi calculada com base numa solução de referência (Anexo 3, Quadro 80). A rega efectuou-se mediante uma bomba eléctrica que enchia a bancada até metade da altura dos alvéolos, cerca de 2,5 cm, mantinha a água a esse nível durante mais 2

minutos, após o que cessava o seu funcionamento mantendo-se apenas a drenagem para o depósito. No final, o tempo de contacto do substrato com a água de rega era de cerca de 15 minutos, incluindo o tempo de enchimento, manutenção de nível e drenagem. No início do ensaio efectuou-se a rega apenas com água, sendo esta substituída por solução nutritiva após a expansão dos cotilédones. Efectuaram-se duas regas diárias durante o ensaio. Após as duas primeiras semanas de utilização de solução nutritiva, esta foi renovada por solução idêntica, quando já se havia estabilizado a libertação de partículas de substrato das placas de sementeira. Posteriormente, apenas se corrigiu o pH e a EC da solução nutritiva, para os níveis adequados.

O 1º viveiro decorreu numa estufa metálica com tecto em arco, de 3,5 m de altura ao nível das paredes laterais, arejamento superior estático por elevação de metade do tecto no sentido longitudinal e cobertura em filme de PVC. O arejamento efectuou-se automaticamente através de um termostato regulado para abrir a estufa quando a temperatura interior ultrapassava os 24 °C e a fechar quando descia de 20 °C.

Durante o ensaio registou-se a temperatura máxima e a temperatura mínima diária do ar com um termómetro de máxima e mínima (Quadro 41). Efectuaram-se medições da radiação PAR a diferentes horas do dia, em vários dias de céu limpo, com um aparelho portátil da marca SKE 500, com sensor SKE 510 (Anexo 4, Quadro 84).

Fizeram-se observações nas plantas aos 31, 38, 45 e 56 dias após a sementeira, referindo-se este período por “idade da planta”, apresentando-se os valores apenas do final do viveiro (56 dias). Observaram-se 9 variáveis nas plantas: comprimento dos cotilédones, diâmetro do colo, altura, número de folhas, área foliar, peso fresco e peso seco da parte aérea e peso fresco e peso seco da parte radical. O comprimento dos cotilédones determinou-se, unindo-os e medindo desde o seu ponto inserção até à extremidade do maior, com régua graduada. O diâmetro do colo obteve-se cortando a planta ao nível do substrato, medindo na parte destacada, o diâmetro do caule com uma craveira electrónica (Digimatic, Mitutoyo). A altura tomou-se na planta cortada ao nível do substrato, medindo o seu comprimento até ao ponto de inserção da última folha visível, com uma régua graduada. O número de folhas determinou-se por contagem das folhas com mais de 2 cm de comprimento. Para a análise estatística das variáveis obtidas por contagem utilizou-se o seu transformado pela equação: $y = x^{0.5}$. A área foliar mediu-se com um sistema de vídeo (Delta T Área Meter). O peso fresco determinou-se por gravimetria: o da parte aérea, pesando toda a planta acima do corte; o da parte radical, após a sua cuidadosa lavagem, seguida de enxugo entre folhas de papel absorvente. O peso seco, tanto da parte aérea como da radical, determinou-se por gravimetria, após secagem a 105 °C, até peso constante. Com os valores obtidos, determinou-se o valor da relação do peso fresco e do peso seco, da parte aérea e radicular.

Os valores das variáveis foram submetidos a análise da variância e ao teste de Tukey, para avaliação do desempenho dos substratos, para além das análises referidas para a selecção de variáveis.

Determinou-se o efeito linear e quadrático, da incorporação de composto na mistura, indicado pelo coeficiente de regressão linear e quadrática, da percentagem de incorporação de composto na mistura e do valor determinado das variáveis seleccionadas.

2º Viveiro de tomate

No segundo ensaio em placas alveoladas utilizaram-se 21 tratamentos (20 misturas + 1 testemunha) idênticos aos do 1º viveiro. O 2º ensaio decorreu de 15/2/94 a 28/3/94 (42 dias).

Os 21 tratamentos foram instalados em 4 blocos casualizados. Todas as observações foram realizadas em 6 plantas por tratamento e bloco, à excepção da área foliar para a qual se utilizaram 3 plantas por bloco. Neste ensaio, cada tratamento foi instalado em duas linhas contíguas, em alvéolos alternados (num total de 8 plantas), obtendo-se deste modo um espaçamento duplo do espaçamento no 1º viveiro, por forma a eliminar possíveis restrições de luz.

Utilizou-se neste viveiro e nos seguintes, a cultivar de tomate 'Radja' F1TmVF2NS (Sluis and Groot, Holanda).

O 2º viveiro, assim como o 3º e o 4º, decorreu numa estufa de madeira, com tecto de uma água, com 4 m de largura e 7,4 m de comprimento, estando a parede mais alta voltada a Sul. Esta parede mais alta tinha 3 m de altura e a oposta, a Norte, 2,4 m. O arejamento estático efectuou-se através das janelas com varão de enrolar localizadas nas duas paredes, a Sul e a Norte. A janela do lado Norte abria desde a altura de 0,45 m até à zona superior da parede (2,4 m) e, a do lado Sul abria desde a altura de 1,9 m até à zona superior (3m). Era possível assim, criar uma corrente de ar controlável ao nível das plantas e, garantir deste modo, um máximo arejamento quer por "efeito térmico" quer por "efeito eólico". O controlo do arejamento efectuou-se manualmente através da abertura das janelas de acordo com as condições atmosféricas. A cobertura era em filme de PVC na parede a Sul e nos dois topos e de PE térmico no tecto e na parede a Norte.

O viveiro foi instalado sobre uma bancada construída no local, com 1,8 m de largura e 2,6 m de comprimento. O fundo da bancada era em chapa ondulada de ferro zincado e as paredes laterais em madeira, sendo o conjunto revestido interiormente com filme negro de PE. Por debaixo do fundo da bancada, colocaram-se duas placas eléctricas de aquecimento, (Hostatherm, de 125 Wm^{-2}), controladas por termostato TTDP, com sonda PTC-1. O

termostato foi inicialmente regulado para manter o substrato à temperatura de 25°C, decrescendo posteriormente.

Regou-se por IPT como no primeiro viveiro, inundando-se a bancada até metade da altura dos alvéolos, mantendo-se a esse nível durante mais 2 minutos, após o que cessava o funcionamento da bomba, mantendo-se apenas a drenagem para o depósito. No final, o tempo de contacto do substrato com a água de rega foi de cerca de 8 minutos (durante o enchimento: 4' 30"; manutenção de nível constante: 1' 30"; esvaziamento da bancada: 2'), duração menor que no 1º Viveiro. Efectuaram-se inicialmente duas regas diárias, às 10 e às 14 horas, tendo à 5ª semana passado a apenas uma, às 10 h, por os substratos se apresentarem aparentemente suficientemente humedecidos.

Após a sementeira, o conjunto das placas foi coberto com uma rede de polipropileno de cor branca, de modo a conservar a humidade e a temperatura, mantendo alguma circulação de ar. A percentagem de germinação foi próxima de 100%. A partir desta altura, a temperatura do substrato foi regulada para 8 °C (mínimo biológico, Tesi, 1969, *cit. in* Tesi, 1993), o que, dadas as condições meteorológicas, exigia o funcionamento do aquecimento apenas durante a noite e, tornando-se desnecessário no período final do viveiro

A bancada encontrava-se instalada perpendicularmente à janela a Sul pelo que, para reduzir as diferenças de iluminação entre as plantas mais próximas da janela e as do extremo Norte da bancada, foi colocada uma superfície reflectora no topo Norte, consistindo numa placa de poliestireno expandido de cor branca, com a largura da bancada e a altura de 1 m. A utilização da superfície reflectora permitiu aumentar a radiação recebida pelas plantas mais afastadas da parede (Anexo 4, Quadro 86). Além disso, protegia-as da entrada directa de ar que se fazia pela janela a Norte.

Mediu-se a temperatura do ar e do substrato com termómetro digital (Hanna HEI 9025) (Anexo 6, Quadro 91).

Efectuaram-se medições da radiação PAR a diferentes horas do dia, em vários dias de céu limpo, com um aparelho portátil da marca SKE 500, com sensor SKE 510 (Anexo 4, Quadro 85).

Determinou-se o pH e a condutividade eléctrica dos diferentes substratos no início e no final do viveiro (Anexo 5, Quadros 88 e 89).

Fizeram-se observações nas plantas com a idade de 28, 35 e 42 dias, apresentando-se os valores apenas do final do viveiro (42 dias). Determinaram-se as mesmas variáveis que no 1º Viveiro, que se submeteram a uma análise estatística semelhante, à excepção do comprimento dos cotilédones que não foi observado, porque no 1º Viveiro não tinha apresentado diferenças entre tratamentos.

3º Viveiro de tomate

Utilizaram-se as mesmas misturas que nos 1º e 2º Viveiros, acrescidas das obtidas pela repetição da compostagem das cascas de pinheiro e eucalipto (CEb e CPb), num total de 29 tratamentos (28 misturas + 1 testemunha). O 3º Viveiro decorreu de 14/12/94 a 15/3/95 (63 dias).

Os tratamentos foram instalados em 4 blocos casualizados, sendo cada tratamento instalado numa fila transversal de alvéolos da placa, num total de 8 plantas. As determinações das variáveis efectuaram-se nas 6 plantas centrais de cada linha de alvéolos.

Efectuou-se apenas uma rega diária, às 10 horas, pelo método descrito anteriormente, que se suprimiu alguns dias, sempre que os substratos visualmente apresentavam um teor elevado de humidade.

O 3º Viveiro decorreu na mesma estufa e com a mesma técnica cultural do 2º Viveiro.

No final do viveiro mediu-se o pH e a CE de cada tratamento (Anexo 5, Quadro 90)

No final do viveiro determinaram-se as variáveis previamente seleccionadas: altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea, que foram submetidas a uma análise estatística idêntica às dos viveiros anteriores, para avaliação do desempenho das misturas.

4º Viveiro de tomate

O 4º Viveiro de tomate efectuou-se em condições idênticas às do 3º Viveiro. Decorreu de 15/4/94 a 17/5/95 (32 dias).

Como alterações ao 3º Viveiro são de referir a realização de uma rega diária, às 10 horas e a regulação do termostato da bancada para a temperatura de 25 °C, condições que se mantiveram durante todo o ensaio.

No final do viveiro determinaram-se as mesmas variáveis que anteriormente: diâmetro do colo, altura, peso fresco da parte aérea e peso seco da parte aérea.

Tendo-se verificado ao colher as plantas da amostra, que algumas apresentavam raízes de dimensão apreciável em desenvolvimento no exterior dos alvéolos, foram estas plantas eliminadas no tratamento estatístico. A análise estatística foi idêntica à do 3º Viveiro.

No Quadro 41 sintetizam-se alguns aspectos relativos à realização dos ensaios de cultura em placas alveoladas. Verificou-se a maior duração do primeiro ensaio de cada ano, com mais 14 e 31 dias, respectivamente no 1º e no 2º ano de ensaios. Esta diferença resultou das condições ambientais mais desfavoráveis nos primeiros viveiros de cada ano, nomeadamente quanto à temperatura média (menos 4,9 e 6,0 °C, respectivamente no 1º e no 2º ano de ensaios) e, à radiação recebida.

Quadro 41 - Resumo das condições dos viveiros de tomate em placas de sementeira alveoladas

| | Viveiros | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | 1º ano | | 2º ano | |
| | 1º viveiro | 2º viveiro | 3º viveiro | 4º viveiro |
| Início | 13-12-93 | 15-2-94 | 14-12-94 | 15-4-95 |
| Final | 07-02-94 | 28-3-94 | 15-3-95 | 17-5-95 |
| Duração (dias) | 56 | 42 | 63 | 32 |
| Temperatura média diária do ar (°C) | 14,7 | 19,6 | 16,9 | 22,9 |
| Média das temp. mínimas do ar (°C) | 3,3 | 10,6 | 6,8 | 12,2 |
| Média das temp. máximas do ar (°C) | 26,4 | 28,5 | 27,1 | 33,6 |
| Compostos testados | BA, BU, PA, CEa, CPa | BA, BU, PA, CEa, CPa | BA, BU, PA, CEa, CEB, CPa, CPb | BA, BU, PA, CEa, CPb, CPa, CPb |
| Densidade das plantas (m ⁻²) | 570 | 285 | 570 | 570 |
| Cultivar | “Edison” | “Radja” | “Radja” | “Radja” |
| Aquecimento da bancada (°C) ^a | Não | 25 → 8 | 25→18→16→ 12→8 | 25 |

^a →, indica a evolução da regulação da temperatura no substrato.

4.2.2. Cultura de pelargónio em vasos

4.2.2.1. Caracterização dos substratos utilizados

Os materiais testados foram os compostos de bagaço de azeitona, de bagaço de uva, de polpa de alfarroba, de casca de eucalipto e de casca de pinheiro, estes dois últimos materiais com e sem a adição de LETARU (Quadro 42).

Nos ensaios em vaso, empregaram-se os compostos sem crivagem, para aumentar o seu rendimento de utilização e simultaneamente testar as capacidades dos compostos em diferentes condições de cultura. Não houve, por isso, alteração da sua granulometria, à excepção da casca de eucalipto, que se crivou apenas com um crivo de 50 mm de malha, para eliminar algumas partículas de grandes dimensões que existiam em pequena quantidade, estimada em menos de 10% (v/v). Numa crivagem laboratorial, estas partículas poderiam passar num crivo de malha mais apertada.

Quadro 42 - Compostos utilizados nos ensaios de cultura em vaso

| Composto | Compostagem: suplemento azotado | Conservação: armazém, à T ambiente | Utilização: no 1º ensaio | Conservação: a 4°C | Utilização: no 2º ensaio |
|----------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| BA | ureia | • | • | • | • |
| BU | não | • | • | • | • |
| PA | não | • | • | • | • |
| CEa | LETARU | • | • | • | • |
| CPa | ureia + LETARU | • | • | • | • |
| CEb | ureia | | | • | • |
| CPb | ureia | | | • | • |

As características físicas dos compostos base das misturas foram, por isso, semelhantes às indicadas para os compostos inteiros, discutidas ao analisar os compostos no final dos respectivos processos de compostagem (Quadro 35), tal como as características físico-químicas e químicas, das quais se apresenta uma síntese no Quadro 43.

A turfa para preparar as misturas e o substrato testemunha foram os mesmos que os utilizados nos viveiros em placas alveoladas. As misturas foram efectuadas com o mesmo sistema volumétrico empregue anteriormente, pelo qual se mediu o volume dos materiais sujeitos a uma pressão de 10 gf cm⁻².

Quadro 43 - Valores de propriedades físico-químicas dos compostos (inteiros) e do substrato testemunha, empregues nos ensaios de cultura de pelargónio em vaso

| Composto | MO ¹ (%) | CTC ² (meq/MS) | pH ¹ | EC ¹ (dS m ⁻¹) |
|----------------------|------------------------|------------------------------|------------------|--|
| BA | 96,9 | 44,8 | 6,1 | 0,60 |
| BU | 87,4 | 87,6 | 6,3 | 2,44 |
| PA | 93,3 | 106,0 | 5,7 | 1,32 |
| CEa | 35,6 | 54,7 | 6,9 | 3,06 |
| CPa | 48,8 | 49,1 | 6,0 | 2,62 |
| CEb | 80,7 ¹ | 68,9 | 8,8 ² | 1,67 ² |
| CPb | 95,4 | 42,3 | 7,3 ² | 0,54 ² |
| Triohum Traysubstrat | 90,4 | - | 5,8 | 1,04 |

¹Determinadas nos compostos inteiros, no 1º ano de ensaios de cultura em vaso.

²Determinada nos compostos inteiros, no final do processo de compostagem.

4.2.2.2. Selecção de variáveis

Tal como em relação aos viveiros em placas sementeira, efectuaram-se análises estatísticas específicas aos resultados do 1º ensaio de cultura de pelargónio em vaso, a fim de a

avaliar a importância relativa das variáveis determinadas na explicação dos resultados obtidos, tendo em vista a redução do tempo de observação das plantas no ensaio seguinte.

Estas análises estatísticas consistiram também, numa análise em Componentes Principais e numa análise Discriminante das variáveis determinadas no final do ensaio: diâmetro do colo, grau de cobertura do vaso pela folhagem, número de folhas, área foliar, nº de flores abertas, nº de lançamentos axilares, nº de pedúnculos de gomos florais ou flores, pesos fresco dos caules, flores, folhas, total e da raiz; e os pesos secos da parte aérea e da parte radical.

Na análise em Componentes Principais (ACP), admitiram-se como relevantes apenas as componentes com proporções superiores ao quociente do número de variáveis pelo total (100%). Nestas componentes, observaram-se os valores dos índices das variáveis utilizadas, verificando a sua importância relativa. Efectuou-se o gráfico resultante das componentes mais importantes, para seleccionar variáveis mais afastadas entre si.

A análise Discriminante foi efectuada de dois modos. Considerando para cada variável apenas 60 observações (4 plantas x 1 bloco x 15 tratamentos) e considerando todas as 240 observações (4 plantas x 4 blocos x 15 tratamentos). Este procedimento ficou a dever-se ao facto de a determinação da área foliar se ter efectuado apenas nas plantas de um dos blocos e de o programa empregue utilizar nos cálculos apenas as observações comuns a todos os blocos. Deste modo, na análise estatística com 60 observações incluem-se todas as variáveis, enquanto que na análise com 240 observações por variável é excluída a área foliar. Através da análise Discriminante determinou-se em que grau as variáveis determinadas explicavam os resultados. Tomou-se como indicador a ordem de inclusão no modelo final e o respectivo coeficiente de determinação, igual a: $1 - \text{Lambda de Wilk}$.

Tomou-se também em consideração para a selecção das variáveis, a frequência com que na análise da variância manifestavam diferenças significativas.

Por último, em igualdade de importância, consideraram-se as que, pela sua rapidez, simplicidade e fiabilidade, se prestavam à obtenção de resultados necessários e suficientes no menor período de tempo.

4.2.2.3. Ensaio de cultura de pelargónio em vaso

Para a testagem dos compostos na cultura em vaso realizaram-se 2 culturas, de Março a Maio de 1994 e, de Fevereiro a Abril de 1995.

1º Ensaio de cultura de pelargónio

O 1º ensaio de cultura de pelargónio consistiu na comparação entre 15 tratamentos (14 misturas + 1 testemunha), correspondendo a diferentes misturas de materiais, utilizados como substratos na cultura de pelargónio. Os 5 compostos, foram misturados com turfa simples (Floratorf), com pH previamente corrigido (Anexo 1, Quadro 78), em proporção de 25, 50, 75 e 100% (v/v) dos compostos PA e CPa e, de 50 e 100% (v/v) dos compostos BA, BU e CEa, originando 14 misturas. Como testemunha utilizou-se um substrato comercial (Triohum Trausubstrat). As misturas serão designadas de acordo com a percentagem de composto respectiva. O 1º ensaio de cultura de pelargónio decorreu de 18/3/94 a 6/5/94 (49 dias).

Os 15 tratamentos obtidos foram estabelecidos em 4 blocos casualizados, com 4 plantas por tratamento, todas utilizadas na determinação das variáveis. A análise estatística efectuou-se com o programa SAS (S.A.S., Inc. Cary, EUA). As variáveis de crescimento foram determinadas no final do ensaio, decidido este com base no aspecto das plantas mais desenvolvidas, ou seja, quando as plantas mais desenvolvidas alcançaram o tamanho comercial: uma flor aberta, várias em desenvolvimento e uma boa cobertura do vaso pela folhagem. É considerado particularmente desejável que, na fase de comercialização, a planta apresente além de uma flor aberta e várias em vias de atingir este estágio, bastantes folhas não muito grandes (Miguel Menezes, comunicação pessoal).

Após a realização das misturas o volume final foi novamente medido e aplicado um fertilizante de fundo (Anexo 3, Quadro 81) idêntico ao existente no substrato testemunha e na mesma concentração ($1,3 \text{ g L}^{-1}$). A todos os substratos foi ainda efectuada uma fertilização de fundo com um adubo de libertação lenta, na dose de 4 g L^{-1} (Anexo 3, Quadro 82).

A plantação efectuou-se em vasos de polipropileno, castanhos, de tamanho 12 baixo, utilizando-se estacas enraizadas em vasos de papel, da cultivar de *Pelargonium x hortorum* 'Meridonna', fornecidas por uma empresa especializada. Plantou-se uma estaca por vaso.

Regou-se por inundação parcial temporária, enchendo a bancada até metade da altura dos vasos, cerca de 3,5 cm. A duração total do contacto dos substratos com a água foi de cerca de 8 minutos. Efectuou-se uma rega diária, às 9 horas.

A solução nutritiva foi calculada de modo a fornecer 200 ppm de N, utilizando-se um adubo solúvel de equilíbrio: 15 - 15 - 15 (Anexo 3, Quadro 83).

Utilizou-se a mesma estufa, bancada, sistema de rega e de aquecimento utilizados no 2º, 3º e 4º viveiros de tomate. O sistema de aquecimento do fundo da bancada foi regulado para manter o substrato à temperatura mínima de $16 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tesi, 1969, *cit. in* Tesi, 1993).

Para aumentar a compactação das plantas, um factor de qualidade, aplicou-se cloromequato (CÊ-CÊ-CÊ Extra, SAPEC), em solução aquosa na proporção de 1:80, por duas vezes, 8 e 15 dias após a plantação (Shanks, 1982).

Durante o ensaio registou-se a temperatura máxima e mínima diária do ar com termómetro de máxima e mínima (Quadro 44). Efectuaram-se medições da radiação PAR a diferentes horas do dia, em dias de céu limpo, com um aparelho portátil (SKE 500, com sensor SKE 510) (Anexo 4, Quadro 87).

Determinaram-se as variáveis: diâmetro do colo, grau de cobertura do vaso pela folhagem, número de folhas, área foliar, nº de flores abertas, nº de lançamentos axilares, nº de pedúnculos de gomos florais ou flores, pesos fresco dos caules, flores, folhas, total e da raiz e pesos secos da parte aérea e da parte radical, nas 16 plantas de cada tratamento.

O diâmetro do colo mediu-se com craveira electrónica, na planta cortada ao nível do substrato. O grau de cobertura do vaso pela folhagem determinou-se pela relação entre o diâmetro médio do conopeu e o diâmetro do vaso ao nível da “boca”, até se alcançar a cobertura total. O número de folhas, inclui as folhas com mais de 1 cm de comprimento. A área foliar mediu-se apenas nas plantas de um dos blocos, com sistema de vídeo (Delta T Area Meter). Para determinar o número de flores abertas contaram-se todas aquelas em que já era visível a cor. O número de lançamentos axilares obteve-se contando todos os lançamentos laterais visíveis e o número de pedúnculos de gomos florais ou de flores, contando todos os lançamentos com pelo menos gomo floral diferenciado. Para a análise estatística das variáveis obtidas por contagem ou em percentagem, utilizou-se o seu transformado pela equação: $y = x^{0.5}$.

Os pesos fresco dos caules, flores e das folhas, determinaram-se pesando os respectivos constituintes. O peso fresco da raiz, pesando-a após cuidadosa lavagem com chuveiro de água sobre rede de malha fina. O peso fresco total calculou-se pela soma dos anteriores. O peso seco da parte aérea e da parte radical, por pesagem após secagem a 105 °C, até peso constante.

Para avaliar o desempenho dos substratos, os dados relativos aos valores das variáveis foram submetidos a análise da variância e ao teste de separação de médias de Tukey, Determinou-se o efeito linear e quadrático, da incorporação de composto na mistura, indicado pelo coeficiente da regressão linear e quadrática, da percentagem de incorporação de composto na mistura e do valor determinado das variáveis.

Para a selecção de variáveis efectuou-se uma análise Discriminante e uma análise em Componentes Principais, referidas anteriormente (cap. 4.2.2.2.).

2º Ensaio de cultura de pelargónio em vaso

No 2º ensaio de cultura de pelargónio utilizaram-se os compostos testados no 1º Ensaio, acrescidos dos obtidos pela repetição das compostagens de casca de eucalipto e de pinheiro (CEb e CPb), em misturas nas proporções de 25, 50, 75 e 100% (v/v), num total de 29 tratamentos. O 2º Ensaio de cultura de pelargónio decorreu de 21/2/95 a 11/4/95 (49 dias).

Devido à necessidade de instalar as plantas no mesmo espaço até então utilizado, o 2º Ensaio foi delineado com 8 plantas por tratamento, casualizadas, utilizadas todas na determinação das variáveis.

Previu-se a realização de uma rega diária, às 10 horas, mas tendo em atenção as condições de humidade observadas nos substratos, houve dias em que não se regou.

A plantação efectuou-se no final de Fevereiro de 1995, aproximadamente 1 mês mais cedo que o primeiro ensaio (Quadro 44).

Durante o ensaio registou-se a temperatura do ar e do substrato (Quadro 52), com um termómetro registador digital (Platinum RTD Recorder & Thermometer, modelo #37262, Atkins).

Determinaram-se as variáveis previamente seleccionadas: número de folhas, número de pedúnculos e peso fresco da parte aérea.

No Quadro 44 resumem-se as condições durante os ensaios de cultura em vaso, salientando-se a diferença de temperatura média, mais elevada no 1º Ensaio (1,8 °C), plantado mais cedo na época.

Quadro 44 - Resumo das condições dos ensaios de cultura de pelargónio em vaso

| | Ensaio de cultura em vaso | |
|--|---------------------------|--------------------------------|
| | 1º ano | 2º ano |
| Início | 18-03-94 | 21-02-95 |
| Final | 06-05-94 | 11-04-95 |
| Duração (dias) | 49 | 49 |
| Temperatura média diária do ar (°C) | 20,4 | 18,6 |
| Média das temp. mínimas do ar (°C) | 10,6 | 9,4 |
| Média das temp. máximas do ar (°C) | 30,1 | 27,8 |
| Compostos testados | BA, BU, PA, CEa, CPa | BA, BU, PA, CEa, CEb, CPa, CPb |
| Densidade (nº de plantas m ⁻²) | 51,3 | 49,6 |
| Cultivar | ‘Meridonna’ | ‘Meridonna’ |
| Aquecimento da bancada ^a | 16 °C | 16 °C |

^a Temperatura mínima no substrato

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Cultura em placas alveoladas

4.3.1.1. Seleção de variáveis

1º Viveiro de tomate

Das 9 variáveis observadas nas plantas, apenas o diâmetro do colo apresentou diferenças significativas entre misturas, com todos os compostos, surgindo deste modo como uma variável interessante para a avaliação das diferenças devidas aos diferentes substratos.

A análise Discriminante “passo a passo” (AD), incluiu no modelo final 7 das 8 variáveis consideradas (Quadro 45), excluindo-se o comprimento dos cotilédones por só apresentar diferenças significativas nas misturas com BA.

Quadro 45- Análise Discriminante no 1º viveiro de tomate

| Variáveis entradas ² | Ordem de entrada | R ² Parcial | Valor de F | Signif. ¹ de F | Lambda de Wilk | Signif. ¹ Lambda | Average Squared Canonical Correlation | Signif. ASCC | Coef. de determinação (1- Lambda de Wilk) |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|--|-----------------|--|
| 1 H | 1 | 0,738 | 14,3 | *** | 0,262 | *** | 0,009 | *** | 0,738 |
| 2 D | 2 | 0,391 | 3,2 | *** | 0,159 | *** | 0,013 | *** | 0,841 |
| 3 AF | 3 | 0,365 | 2,9 | *** | 0,101 | *** | 0,018 | *** | 0,899 |
| 4 PFPR | 4 | 0,418 | 3,6 | *** | 0,059 | *** | 0,022 | *** | 0,941 |
| 5 PFPA | 5 | 0,284 | 2,0 | *** | 0,042 | *** | 0,026 | *** | 0,958 |
| 6 PSPA | 6 | 0,315 | 2,3 | *** | 0,029 | *** | 0,029 | *** | 0,971 |
| 7 PSPR | 7 | 0,256 | 1,7 | ** | 0,022 | *** | 0,031 | *** | 0,978 |

¹ Significância de F para a variável: *** p < 0,001; ** p < 0,01.

² H, altura; D, diâmetro; AF, área foliar; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical.

Usando o critério do coeficiente de determinação, igual a: 1 - Lambda de Wilk, as duas primeiras variáveis, altura (H) e diâmetro do colo (D), apresentaram um coeficiente de determinação de 0,841 um valor bastante elevado (Quadro 45). Com a terceira variável, a área foliar (AF), atingiu-se 0,899. Na análise em Componentes Principais (ACP) verificou-se uma elevada correlação da AF e do peso fresco da parte aérea, 0,910 (Quadro 46).

Tomando como proporção relevante na ACP a proporção superior a 12,5% (100% : 8 variáveis = 12,5%), verificou-se que apenas a primeira componente (PRIN1) apresentou proporção relevante, com uma “proporção” de 72,7% (Quadro 47). Nesta 1ª componente, PRIN1, os índices de cada variável (Eigenvectors) variaram entre 0,317 e 0,399 ou seja, as variáveis apresentam um “peso” semelhante na componente (Quadro 48). As componentes seguintes já apresentam uma proporção demasiado baixa, inferior a 12,5% (Quadro 47).

Verificou-se uma elevada correlação dos valores do peso fresco da parte aérea com o peso fresco (0,789) e o peso seco (0,760) da raiz (Quadro 46).

Quadro 46 - Análise em Componentes Principais no 1º viveiro de tomate

| Variáveis ¹ | Matriz de correlações | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | H | AF | tNF | PFPA | PFPR | PSPA | PSPR |
| D | 0,674 | 0,606 | 0,544 | 0,724 | 0,604 | 0,616 | 0,588 |
| H | - | 0,699 | 0,549 | 0,774 | 0,578 | 0,623 | 0,516 |
| AF | | - | 0,714 | 0,910 | 0,667 | 0,766 | 0,658 |
| tNF | | | - | 0,698 | 0,560 | 0,640 | 0,544 |
| PFPA | | | | - | 0,789 | 0,875 | 0,760 |
| PFPR | | | | | - | 0,806 | 0,846 |
| PSPA | | | | | | - | 0,823 |

¹ D, diâmetro do colo; H, altura; AF, área foliar; tNF, transformado do número de folhas; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical.

Quadro 47 - Eigenvalues da matriz de correlações obtida na análise em Componentes Principais no 1º viveiro de tomate

| Componentes | Eigenvalue | Diferença | Proporção | Cumulativo |
|-------------|------------|-----------|-----------|------------|
| PRIN1 | 5,820 | 5,144 | 0,728 | 0,728 |
| PRIN2 | 0,677 | 0,193 | 0,085 | 0,812 |
| PRIN3 | 0,484 | 0,082 | 0,060 | 0,873 |
| PRIN4 | 0,402 | 0,140 | 0,050 | 0,923 |
| PRIN5 | 0,262 | 0,099 | 0,032 | 0,956 |
| PRIN6 | 0,164 | 0,020 | 0,020 | 0,976 |
| PRIN7 | 0,144 | 0,095 | 0,018 | 0,994 |
| PRIN8 | 0,049 | - | 0,006 | 1,000 |

Quadro 48 - Eigenvectors na análise em Componentes Principais no 1º viveiro de tomate

| Variáveis ¹ | Componentes principais | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|
| | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 |
| D | 0,324 | 0,235 | 0,477 | 0,770 |
| H | 0,324 | 0,448 | 0,393 | -0,565 |
| AF | 0,372 | 0,252 | -0,128 | -0,063 |
| tNF | 0,317 | 0,324 | -0,766 | 0,206 |
| PFPA | 0,399 | 0,083 | 0,039 | -0,139 |
| PFPR | 0,358 | 0,071 | -0,045 | -0,045 |
| PSPA | 0,377 | -0,093 | -0,136 | -0,136 |
| PSPR | 0,351 | 0,007 | 0,042 | 0,042 |
| | PRIN5 | PRIN6 | PRIN7 | PRIN8 |
| D | 0,064 | 0,100 | -0,054 | 0,051 |
| H | 0,418 | 0,107 | 0,128 | 0,133 |
| AF | -0,621 | 0,214 | 0,425 | 0,425 |
| tNF | 0,403 | 0,048 | 0,008 | -0,038 |
| PFPA | -0,306 | -0,121 | -0,838 | -0,838 |
| PFPR | 0,331 | -0,436 | 0,111 | 0,111 |
| PSPA | -0,238 | 0,666 | -0,428 | 0,283 |
| PSPR | 0,115 | 0,137 | 0,739 | -0,050 |

¹ D, diâmetro do colo; H, altura; AF, área foliar; tNF, transformado do número de folhas; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical.

Projectando as variáveis segundo as três componentes principais com maior proporção, obtiveram-se as representações na Fig. 24. Segundo a componente principal mais importante (PRIN1) a separação entre variáveis foi muito pequena. Segundo a 2ª e a 3ª componentes principais, já se observou uma maior separação entre as variáveis. Dentre estas destacam-se, por mais afastadas entre si, a H, o D e o tNF.

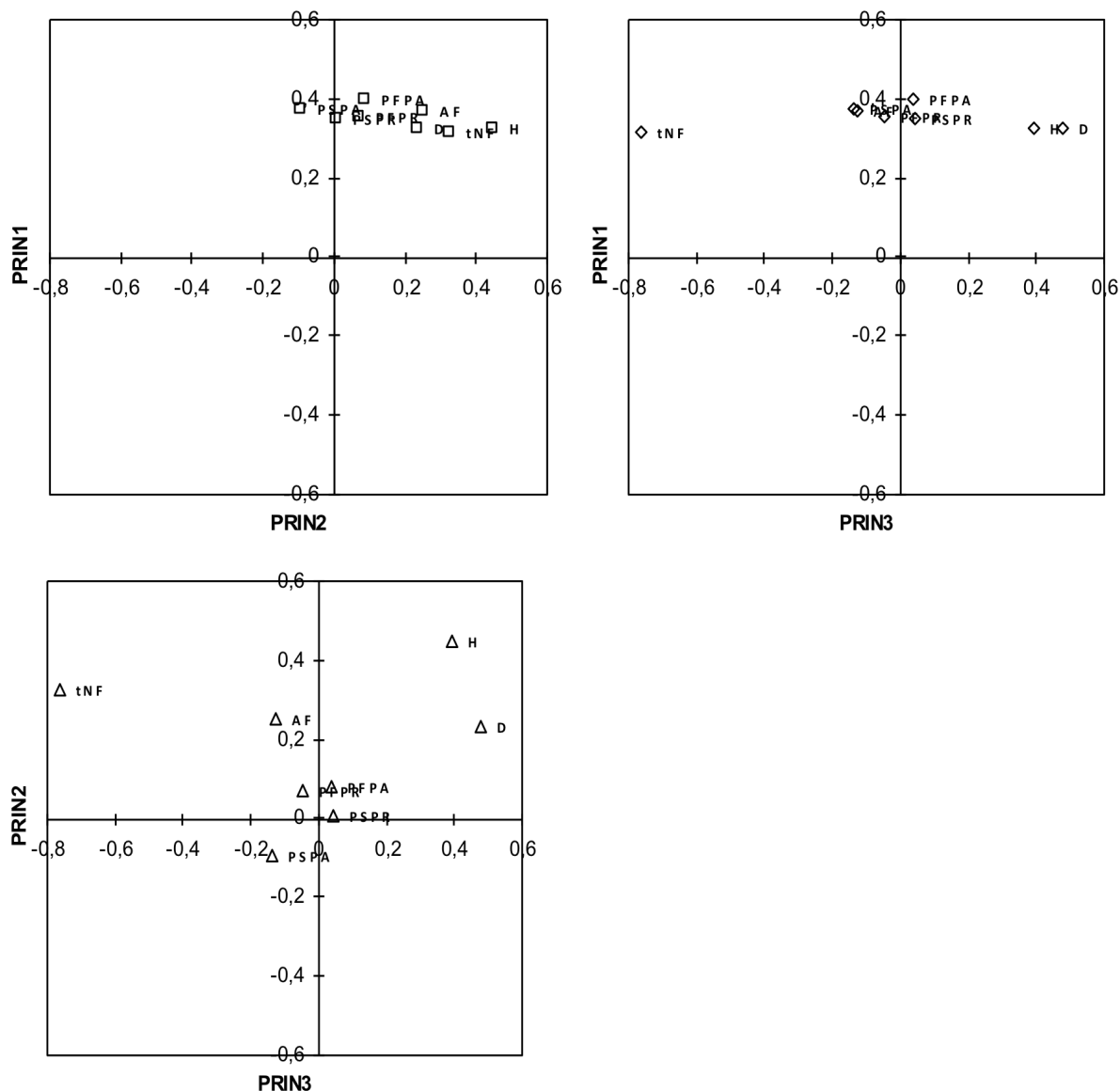


Figura 24 - Distribuição das variáveis segundo as três componentes mais importantes, no 1º viveiro de tomate

Considerando que, na análise da variância o diâmetro do colo foi a única variável que com todos os compostos apresentou diferenças entre as respectivas misturas; que as principais variáveis incluídas no modelo da AD foram a altura, diâmetro do caule, área foliar e peso fresco da parte radical; que se verifica uma elevada correlação da área foliar e do peso fresco da parte radical com o peso fresco da parte aérea; que a ACP, apresenta uma só componente relevante, segundo a qual as variáveis apresentam índices muito semelhantes, com uma

pequena separação entre variáveis quando projectadas segundo as componentes com maior proporção e, finalmente, a facilidade de determinação de cada variável, pareceu ser possível dispensar as variáveis referentes à parte radical e a área foliar e, registar apenas a altura e o diâmetro do colo.

2º Viveiro

Na análise da variância, surgiram três variáveis com diferenças significativas em todos os compostos: o peso fresco da parte aérea, o peso fresco total e o peso seco da parte radical.

No final do 2º Viveiro, a área foliar foi determinada em apenas 3 das 6 plantas que constituíram a amostra para todas as outras variáveis. Por este motivo, efectuou-se a AD e a ACP em duas situações, isto é, considerando todas as variáveis, mas amostras de apenas 3 plantas por tratamento e bloco e, excluindo a área foliar mas tomando amostras de 6 plantas.

A primeira variável seleccionada pela AD foi a altura, tal como anteriormente, com um coeficiente de determinação de 0,881 0,855 (Quadros 49 e 50). Seguiram-se-lhes as duas variáveis referentes à raiz, com as quais se atingiu um coeficiente de determinação de 0,981 e 0,962 respectivamente incluindo ou não a área foliar (Quadros 49 e 50).

Quadro 49 - Análise Discriminante no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar

| Variáveis entradas ² | Ordem de entrada | R ² parcial | Valor de F | Signif. ¹ F ¹ | Lambda de Wilk | Signif. ¹ Lambda ¹ | Average Squared Canonical Correlation | Signif. ¹ ASCC | Coef. de determinação (1- Lambda de Wilk) |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|--|-------------------|---|--|------------------------------|--|
| 1 H | 1 | 0,881 | 15,1 | *** | 0,119 | *** | 0,011 | *** | 0,881 |
| 2 PFPR | 2 | 0,627 | 3,4 | *** | 0,044 | *** | 0,018 | *** | 0,956 |
| 3 PSPR | 3 | 0,573 | 2,9 | *** | 0,019 | *** | 0,024 | *** | 0,981 |
| 4 D | 4 | 0,514 | 2,1 | *** | 0,009 | *** | 0,030 | *** | 0,991 |
| 5 AF | 5 | 0,513 | 2,1 | *** | 0,005 | *** | 0,036 | *** | 0,995 |
| 6 tNF | 6 | 0,416 | 1,4 | * | 0,003 | *** | 0,040 | *** | 0,997 |

¹ Significância do valor de F para a variável: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05.

² H, altura; D, diâmetro; AF, área foliar; PFPR, peso fresco da parte radical; PSPR, p. s. da parte radical; Signif., significância de F para a variável.

Quadro 50 - Análise Discriminante, no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar

| Variáveis entradas ² | Ordem de entrada | R ² Parcial | Valor de F | Signif. F ¹ | Lambda de Wilk | Signif. Lambda ¹ | Average Squared Canonical Correlation | Signif. ASCC ¹ | Coef. de determinação (1- Lambda de Wilk) |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|-------------------|--------------------------------|--|------------------------------|--|
| 1 H | 1 | 0,854 | 29,8 | *** | 0,145 | *** | 0,010 | *** | 0,855 |
| 2 PFPR | 2 | 0,512 | 5,3 | *** | 0,071 | *** | 0,016 | *** | 0,929 |
| 3 PSPR | 3 | 0,460 | 4,3 | *** | 0,038 | *** | 0,021 | *** | 0,962 |
| 4 D | 4 | 0,350 | 2,7 | *** | 0,025 | *** | 0,026 | *** | 0,975 |
| 5 PFPA | 5 | 0,304 | 2,2 | *** | 0,017 | *** | 0,029 | *** | 0,983 |
| 6 tNF | 6 | 0,309 | 2,2 | *** | 0,012 | *** | 0,032 | *** | 0,988 |
| 7 PSPA | 7 | 0,314 | 2,3 | *** | 0,008 | *** | 0,0357 | *** | 0,992 |

¹ Significância do valor de F para a variável: *** p < 0,001.

² H, altura; D, diâmetro; AF, área foliar; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical; tNF, transformado do número de folhas; Signif., significância de F para a variável.

Pela análise em Componentes Principais, a primeira componente apresentou uma proporção muito elevada, 84,9 e 83,2%, conforme se incluiu ou não a área foliar (Quadros 51 e 52).

Quadro 51 - Eigenvalues da matriz de correlações obtida na análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar

| Componentes | Eigenvalue | Diferença | Proporção | Cumulativo |
|-------------|------------|-----------|-----------|------------|
| PRIN1 | 6,79 | 6,38 | 0,849 | 0,849 |
| PRIN2 | 0,41 | 0,10 | 0,051 | 0,899 |
| PRIN3 | 0,30 | 0,12 | 0,038 | 0,937 |
| PRIN4 | 0,18 | 0,03 | 0,023 | 0,960 |
| PRIN5 | 0,15 | 0,07 | 0,019 | 0,979 |
| PRIN6 | 0,09 | 0,04 | 0,011 | 0,990 |
| PRIN7 | 0,05 | 0,03 | 0,007 | 0,997 |
| PRIN8 | 0,02 | - | 0,003 | 1,000 |

Quadro 52 - Eigenvalues da matriz de correlações obtida na análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar

| Componentes | Eigenvalue | Diferença | Proporção | Cumulativo |
|-------------|------------|-----------|-----------|------------|
| PRIN1 | 5,83 | 5,36 | 0,832 | 0,832 |
| PRIN2 | 0,47 | 0,22 | 0,067 | 0,900 |
| PRIN3 | 0,25 | 0,06 | 0,036 | 0,936 |
| PRIN4 | 0,19 | 0,03 | 0,027 | 0,962 |
| PRIN5 | 0,16 | 0,11 | 0,023 | 0,986 |
| PRIN6 | 0,05 | 0,01 | 0,008 | 0,994 |
| PRIN7 | 0,04 | - | 0,007 | 1,000 |

Segundo a componente principal (PRIN1), determinada com inclusão ou não da área foliar, os índices das variáveis variaram num intervalo estreito (Quadros 53 e 54).

Quadro 53 - Eigenvectors obtidos na análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar

| Variáveis ¹ | Componentes principais | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 | PRIN5 | PRIN6 | PRIN7 | PRIN8 |
| D | 0,327 | 0,276 | 0,886 | 0,107 | -0,034 | -0,128 | 0,043 | 0,005 |
| H | 0,337 | 0,596 | -0,295 | 0,324 | -0,349 | 0,462 | -0,027 | 0,056 |
| PFPA | 0,375 | -0,033 | -0,180 | 0,087 | -0,091 | -0,407 | -0,331 | -0,732 |
| PFPR | 0,361 | -0,363 | 0,015 | -0,313 | -0,308 | 0,269 | 0,644 | -0,241 |
| PSPA | 0,348 | -0,371 | -0,062 | 0,651 | 0,519 | 0,118 | 0,146 | 0,091 |
| PSPR | 0,360 | -0,422 | 0,092 | -0,231 | -0,180 | 0,293 | -0,648 | 0,306 |
| AF | 0,370 | 0,036 | -0,255 | -0,046 | -0,194 | -0,650 | 0,182 | 0,549 |
| tNF | 0,349 | 0,343 | -0,130 | -0,546 | 0,660 | 0,101 | 0,004 | -0,010 |

¹ D, diâmetro do colo; H, altura; AF, área foliar; tNF, transformado do número de folhas; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical; tNF, transformado do número de folhas.

Quadro 54 - Eigenvektors obtidos na análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar

| Variáveis ¹ | Componentes principais | | | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | PRIN1 | PRIN2 | PRIN3 | PRIN4 | PRIN5 | PRIN6 | PRIN7 |
| D | 0,363 | 0,284 | 0,865 | 0,196 | -0,036 | 0,020 | 0,002 |
| H | 0,358 | 0,595 | -0,390 | 0,263 | 0,451 | 0,125 | 0,279 |
| PFPA | 0,403 | -0,034 | -0,191 | 0,209 | 0,013 | -0,526 | -0,693 |
| PFPR | 0,384 | -0,382 | 0,045 | -0,327 | 0,450 | 0,560 | -0,286 |
| PSPA | 0,379 | -0,314 | -0,202 | 0,505 | -0,553 | 0,363 | 0,158 |
| PSPR | 0,386 | -0,438 | 0,037 | -0,161 | 0,182 | -0,512 | 0,580 |
| tNF | 0,372 | 0,357 | -0,140 | -0,679 | -0,503 | 0,014 | 0,013 |

¹ D, diâmetro do colo; H, altura; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical; tNF, transformado do número de folhas.

Observou-se também uma elevada correlação do peso fresco da parte aérea com do peso fresco da raiz (0,905 e 0,885, incluindo ou não a área foliar) e com o peso seco da raiz (0,910 e 0,901, incluindo ou não a área foliar) (Quadros 55 e 56).

Quadro 55 - Resultado da análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar

| Variáveis ¹ | Matriz de correlações | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | H | PFPA | PFPR | PSPA | PSPR | AF | tNF |
| D | 0,740 | 0,786 | 0,759 | 0,723 | 0,768 | 0,764 | 0,762 |
| H | - | 0,859 | 0,745 | 0,728 | 0,723 | 0,860 | 0,829 |
| PFPA | | - | 0,905 | 0,888 | 0,910 | 0,966 | 0,868 |
| PFPR | | | - | 0,852 | 0,949 | 0,898 | 0,805 |
| PSPA | | | | - | 0,868 | 0,846 | 0,762 |
| PSPR | | | | | - | 0,878 | 0,796 |
| AF | | | | | | - | 0,868 |

¹ D, diâmetro do colo; H, altura; AF, área foliar; tNF, transformado do número de folhas; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical.

Quadro 56 - Resultado da análise em Componentes Principais no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar

| Variáveis ¹ | Matriz de correlações | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | H | PFPA | PFPR | PSPA | PSPR | tNF |
| D | 0,758 | 0,812 | 0,755 | 0,738 | 0,758 | 0,782 |
| H | - | 0,847 | 0,704 | 0,711 | 0,688 | 0,819 |
| PFPA | | - | 0,885 | 0,907 | 0,901 | 0,846 |
| PFPR | | | - | 0,839 | 0,942 | 0,771 |
| PSPA | | | | - | 0,879 | 0,758 |
| PSPR | | | | | - | 0,768 |

¹ D, diâmetro do colo; H, altura; PFPR, peso fresco da parte radical; PFPA, p. f. da parte aérea; PSPA, p. seco da parte aérea; PSPR, p. s. da parte radical.

Da projecção das variáveis segundo as três componentes principais com maior proporção, obtiveram-se as representações das Fig. 25 e 26. Segundo a componente principal mais importante (PRIN1) a separação entre variáveis foi muito pequena. Segundo a 2ª e a 3ª

componentes principais, já se observou uma maior separação entre as variáveis, nomeadamente em relação à 2ª componente. De entre as variáveis destacam-se, por mais afastadas entre si, a H e o D.

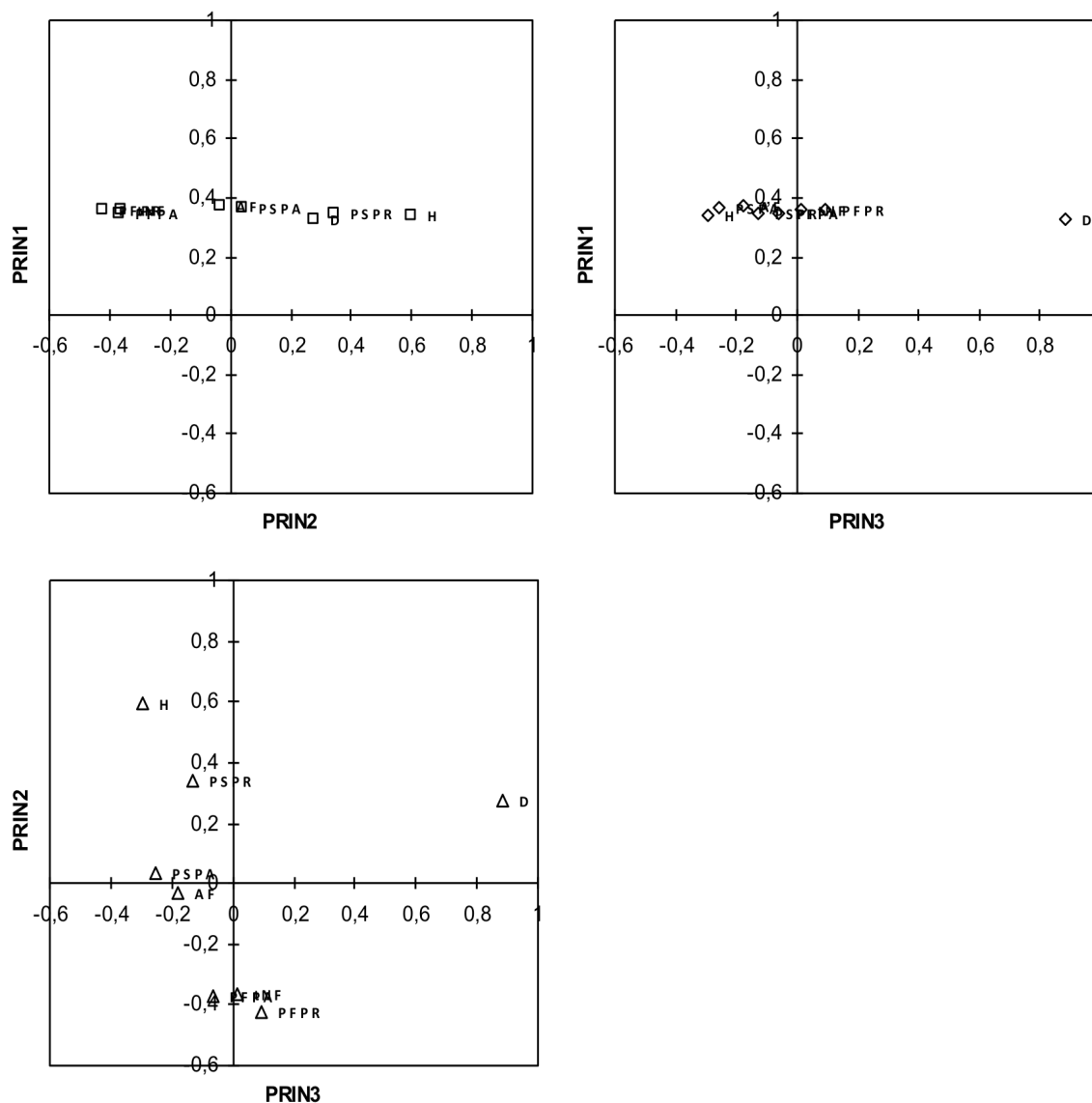


Figura 25 - Distribuição das variáveis segundo as componentes mais importantes, no 2º viveiro de tomate, incluindo a área foliar

Deste modo, tendo em conta a variação do peso fresco da parte aérea na análise da variância; o elevado coeficiente de determinação da altura na AD; a elevada correlação do peso fresco da parte aérea com os pesos fresco e seco da raiz (variáveis seleccionadas em 2º e 3º lugar na AD) e, por último, a separação obtida na projecção das variáveis segundo as componentes mais importantes, pareceu ser suficiente a determinação da altura e do peso fresco da parte aérea para avaliar a resposta das plantas nas diferentes misturas.

Conjugando os resultados obtidos no 1º e no 2º viveiro, relativos à relevância das variáveis, considerou-se suficiente para a avaliação dos efeitos dos diferentes substratos no crescimento das plantas, a determinação das variáveis: altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea nos ensaios a realizar posteriormente em idênticas condições, nomeadamente no referente à natureza dos substratos, condições de utilização e espécies cultivadas.

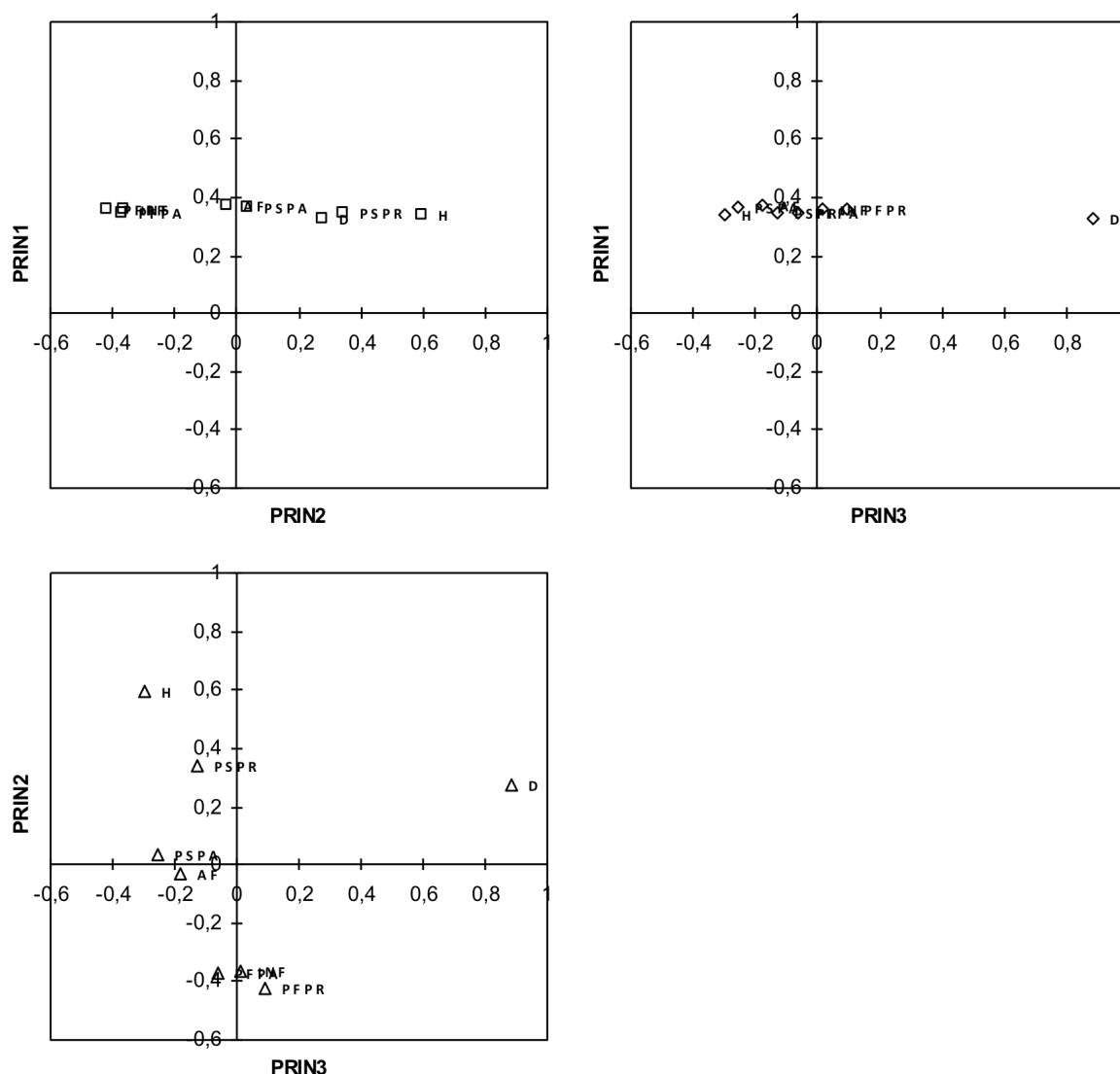


Figura 26 - Distribuição das variáveis segundo as componentes mais importantes, no 2º viveiro de tomate, não incluindo a área foliar

4.3.1.2. Avaliação da resposta das plantas

1º Viveiro de tomate

No Quadro 57 apresentam-se os valores das variáveis seleccionadas, altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea, nas misturas utilizadas.

Quadro 57 - Altura (H), diâmetro do colo (D) e peso fresco da parte aérea (PFPA) das plantas de tomate, no final do 1º viveiro de tomate

| Substrato | Composto % ¹ | Variável | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|------------|----------|------------|--------|------------|
| | | H (cm) | D (mm) | PFPA (g) | | | |
| Testemunha | | 13,5 | 3,1 | 2,3 | | | |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | 13,6 | 3,4 | 2,3 | | | |
| | 50 | 12,6 | 3,0 | 1,8 | | | |
| | 75 | 12,1 | 2,9 | 1,6 | | | |
| | 100 | 9,7 | 2,8 | 1,1 | | | |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | 14,0 | 3,5 | 2,6 | | | |
| | 50 | 14,5 | 3,6 | 2,6 | | | |
| | 75 | 13,9 | 3,6 | 2,5 | | | |
| | 100 | 12,8 | 3,5 | 2,0 | | | |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 14,0 | 3,5 | 2,5 | | | |
| | 50 | 14,8 | 3,6 | 2,9 | | | |
| | 75 | 14,3 | 3,5 | 2,8 | | | |
| | 100 | 13,7 | 3,6 | 2,6 | | | |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | 13,7 | 3,4 | 2,3 | | | |
| | 50 | 14,8 | 3,5 | 2,9 | | | |
| | 75 | 14,4 | 3,5 | 2,7 | | | |
| | 100 | 13,5 | 3,4 | 2,2 | | | |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 12,9 | 3,1 | 2,1 | | | |
| | 50 | 13,1 | 3,4 | 2,3 | | | |
| | 75 | 13,3 | 3,3 | 2,4 | | | |
| | 100 | 13,2 | 3,2 | 2,1 | | | |
| mds (Tukey) ² | | 2,8 | 0,4 | 1,1 | | | |
| ANOVA | | | | | | | |
| Significância ³ | | | | | | | |
| modelo | | *** | *** | *** | | | |
| tratamentos | | *** | *** | *** | | | |
| blocos | | ns | ns | ns | | | |
| | | Efeito ³ | | | | | |
| Misturas com: | | linear | quadrático | linear | quadrático | linear | quadrático |
| BA | | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| BU | | *** | *** | ns | ns | *** | *** |
| PA | | ns | ** | ns | ns | ns | * |
| CEa | | ns | * | ns | ns | ns | ** |
| CPa | | ns | ns | ns | * | ns | ns |

¹%, percentagem de composto na mistura.

² mds, mínima diferença significativa.

³ Significância de F: ns, não significativo; significativo para *p≤0,05; ** p≤0,01; *** p≤0,001.

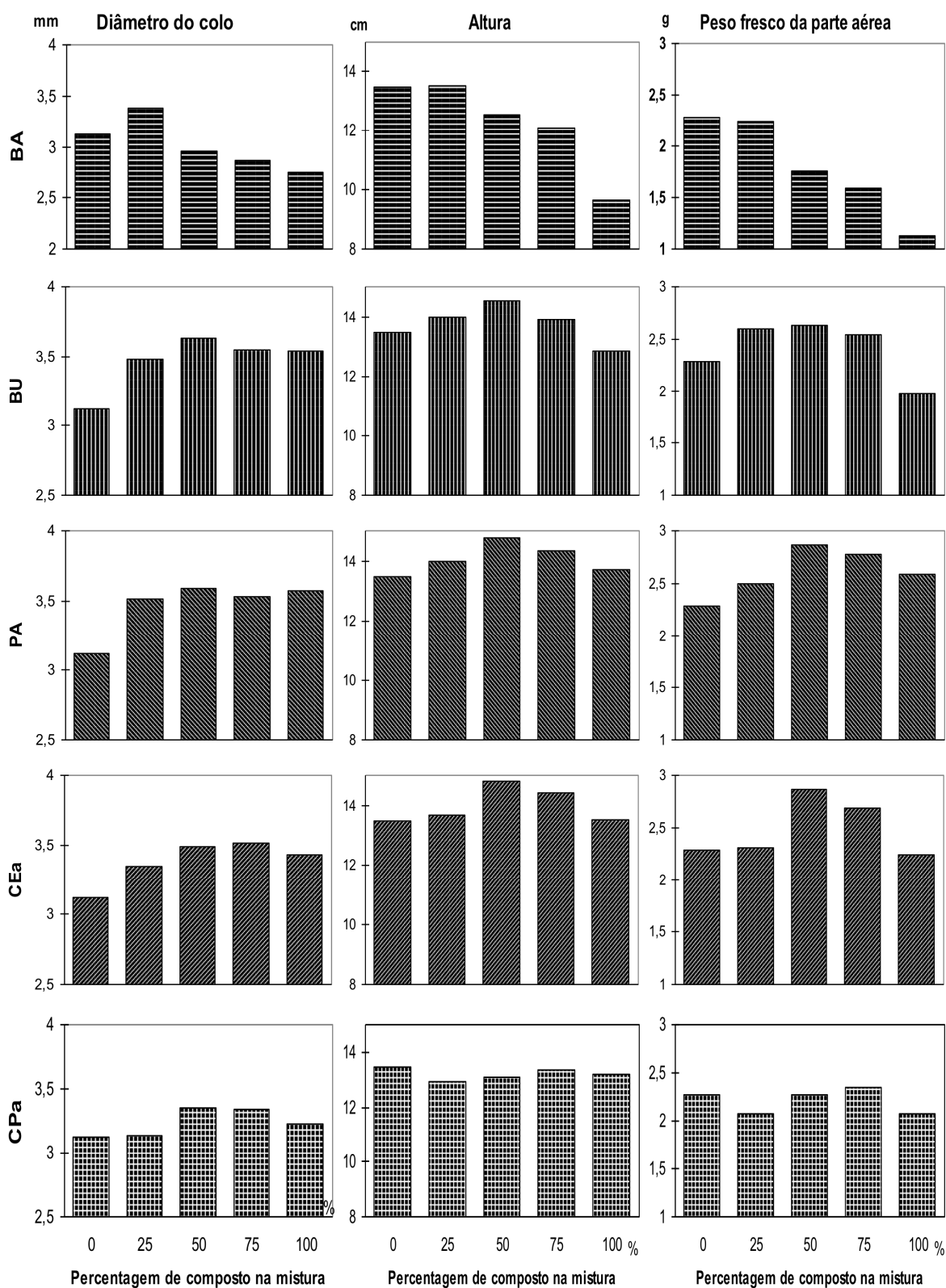


Figura 27 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 1º viveiro de tomate, obtidos no substrato testemunha (0%) e nas misturas com os compostos (25, 50, 75 e 100%)

As plantas produzidas nas várias misturas com compostos tiveram um comportamento superior ao da testemunha, à exceção das plantas nas misturas com 75 e 100% de BA, em

duas das três variáveis seleccionadas (Quadro 57 e Fig. 27). Em geral, as misturas com 50 a 75% de incorporação de composto, foram as que apresentaram melhor comportamento.

Nas misturas com bagaço de azeitona ocorreu um decréscimo gradual e acentuado dos valores de H, D e PFPA, ao aumentar o teor de composto na mistura. No entanto, até à incorporação de 75% de composto, as misturas não apresentaram valores estatisticamente inferiores à testemunha. O comportamento das misturas com 25 e 50 % não se diferenciou do comportamento do melhor tratamento em duas das três variáveis consideradas. O efeito linear e quadrático, do aumento de incorporação de composto nas misturas, foi altamente significativo em todas as variáveis.

Utilizando composto de bagaço de uva em qualquer percentagem, inclusivamente o composto estreme, obteve-se sempre um comportamento idêntico ou superior ao da testemunha. O efeito linear e quadrático, do aumento de incorporação de composto foi significativo relativamente à altura e ao peso fresco da parte aérea.

Também com a polpa de alfarroba o comportamento foi idêntico ou superior ao da testemunha, com qualquer das misturas do composto, apresentando algumas das misturas comportamento significativamente superior. O efeito quadrático, do aumento de incorporação de composto, foi significativo relativamente à altura e ao peso fresco da parte aérea.

Nas misturas com casca de eucalipto, verificou-se igualmente, um comportamento idêntico ou superior ao da testemunha, em qualquer das misturas. Foi significativo o efeito quadrático do aumento de incorporação de composto, relativamente à altura e ao peso fresco da parte aérea.

Nas misturas com composto de casca de pinheiro, em qualquer dos níveis de incorporação, obteve-se um comportamento estatisticamente idêntico ao da testemunha, à excepção do diâmetro do colo. Foi significativo o efeito quadrático do aumento de incorporação de composto, relativamente ao diâmetro do colo e ao peso fresco da parte aérea.

Os bagaços de azeitona e de uva, sobretudo como constituintes únicos do substrato, apresentaram o problema da desagregação do torrão, aspecto determinante na sua utilização.

Nos substratos com bagaços de uva ocorreu a germinação de grainhas, num valor médio inferior a uma por alvéolo, o que mesmo assim pode ser inconveniente. Segundo produtores de plantas em vaso utilizadores deste composto, este problema parece ser evitado por uma compostagem mais longa.

Devido à baixa EC inicial da água, o valor da solução de rega durante o viveiro oscilou entre 1,24 e 1,38 dS m⁻¹.

As misturas empregues, incluindo os compostos base, apresentaram um comportamento na produção de plantas em viveiro em placas alveoladas, que não se diferenciou do comportamento da testemunha, à excepção da mistura com 100% de BA.

2º Viveiro

O 2º Viveiro apresentou uma menor duração que o 1º Viveiro (42 dias *versus* 56), para o que contribuiu ter-se favorecido a germinação das sementes e ter decorrido sob maior duração do dia e intensidade luminosa, quer próprias da época quer devidas às diferentes condições da estufa.

Verificou-se a expansão de raízes através do orifício de drenagem, tal como havia ocorrido em viveiros preliminares, efectuados como preparação para este trabalho. Este facto obrigou a colocar os tabuleiros por duas tardes sobre uma bancada de rede para provocar a dessecação das extremidades das raízes emergentes do orifício de drenagem. Esta situação terá ocorrido por eventualmente se ter usado um tempo de rega excessivo, reduzindo o arejamento nos substratos.

No final do 2º Viveiro, o pH de cada material base tinha-se aproximado do valor médio do pH das suas misturas (Anexo 5, Quadro 88). O pH registou uma subida gradual com o aumento de incorporação de composto, já que a turfa das misturas apresentava um pH mais baixo (Anexo 5, Quadro 89). O valor do pH na parte superior do alvéolo foi normalmente muito próximo ou ligeiramente inferior (0,1 a 0,8) ao pH no restante material do alvéolo (Anexo 5, Quadro 88).

A condutividade eléctrica nos substratos registou uma evolução idêntica à observada no pH (Anexo 5, Quadro 88). Verificou-se um aumento acentuado, de cerca de 30 - 38%, do valor da EC na parte superior do alvéolo relativamente à parte inferior, na testemunha e nas misturas com turfa, e geralmente mais elevado nos materiais simples (BA, 70%; BU, 40%; PA, 66%; CEa, 27% e CPa, 59%). Na parte superior do alvéolo, com compostos estremos, a EC foi mais elevada relativamente às misturas, embora com uma diferença não tão acentuada como entre a parte superior e o restante material do alvéolo. A EC da solução de rega variou entre 1,20 e 1,40 dS m⁻¹.

As plantas dos tratamentos com 100, 75 e 50% de CE apresentaram uma cor mais escura, o que poderá estar relacionado com a sua maior riqueza em azoto e micronutrientes (Quadro 39), apesar de este aspecto não se observar nas misturas com CP, igualmente com teor elevado destes elementos.

Apesar da utilização do sistema de aquecimento, a temperatura do substrato foi inferior à do ar até cerca das 10.00 - 11.00 horas da manhã, tornando-se a meio da tarde bastante mais elevada que a do ar (Anexo 6, Quadro 91).

A altura, diâmetro do colo e peso fresco da parte aérea das plantas do 2º Viveiro, relativamente ao 1º Viveiro, foram mais elevados nos substratos com menor incorporação de material alternativo (Quadro 58 e Fig. 28).

As misturas estudadas apresentaram um comportamento satisfatório, à excepção das misturas com BA e BU, em que ocorreu um decréscimo gradual e acentuado com o aumento da percentagem de composto. Verificou-se que, em todas as misturas, o comportamento foi idêntico ou superior ao manifestado pela testemunha, à excepção das misturas com 50% ou mais de BA, em todas as variáveis e, nas misturas com 75% ou mais de BU, apenas no PFPA. Os compostos cujas misturas apresentaram os melhores resultados, PA, CEa e CPa, mesmo utilizados como componentes únicos do substrato, apresentaram resultados não diferenciáveis dos da testemunha.

No 2º Viveiro, a tendência para um melhor comportamento de outras misturas, relativamente ao 1º Viveiro, sugere que a percentagem de incorporação dos compostos se deve ajustar em função das condições ambientais existentes.

Esta variação do comportamento relativamente ao 1º Viveiro, já tinha sido observada em ensaios com alface com substratos comerciais em épocas do ano consecutivas.

Quadro 58 - Altura (H), diâmetro do colo (D) e peso fresco da parte aérea (PFPA) das plantas no final do 2º viveiro de tomate

| Substrato | Composto % ¹ | Variável | | |
|--|----------------------------|----------|--------|----------|
| | | H (cm) | D (mm) | PFPA (g) |
| Testemunha | | 18,1 | 4,3 | 6,2 |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | 16,9 | 4,1 | 5,1 |
| | 50 | 14,5 | 3,7 | 3,6 |
| | 75 | 12,1 | 3,3 | 2,1 |
| | 100 | 8,8 | 2,8 | 1,1 |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | 18,3 | 4,3 | 6,3 |
| | 50 | 17,6 | 4,1 | 4,8 |
| | 75 | 15,4 | 3,9 | 4,0 |
| | 100 | 12,8 | 3,7 | 2,7 |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 19,6 | 4,4 | 6,9 |
| | 50 | 17,3 | 4,4 | 6,0 |
| | 75 | 18,4 | 4,3 | 6,1 |
| | 100 | 18,3 | 4,1 | 5,0 |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | 18,3 | 4,3 | 7,1 |
| | 50 | 19,5 | 4,3 | 7,6 |
| | 75 | 16,5 | 4,1 | 5,3 |
| | 100 | 15,9 | 4,2 | 5,8 |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 19,1 | 4,4 | 7,2 |
| | 50 | 20,0 | 4,3 | 6,8 |
| | 75 | 19,1 | 4,3 | 6,7 |
| | 100 | 18,6 | 4,1 | 6,0 |
| mds (Tukey) ² | | 3,4 | 0,4 | 1,8 |
| ANOVA | | | | |
| Significância ³ | | | | |
| modelo | | *** | *** | *** |
| tratamentos | | *** | *** | *** |
| blocos | | *** | ns | ns |

| Misturas com: | Efeito ³ | | | | | |
|---------------|---------------------|------------|--------|------------|--------|------------|
| | linear | quadrático | linear | quadrático | linear | quadrático |
| BA | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| BU | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| PA | ns | ** | *** | *** | *** | *** |
| CEa | *** | *** | ns | ns | *** | *** |
| CPa | ns | * | *** | ** | ** | ** |

¹%, percentagem de composto na mistura.

²mds, mínima diferença significativa.

³Significância de F: ns, não significativo; significativo para *p≤0,05; ** p≤0,01 e *** p≤0,001.

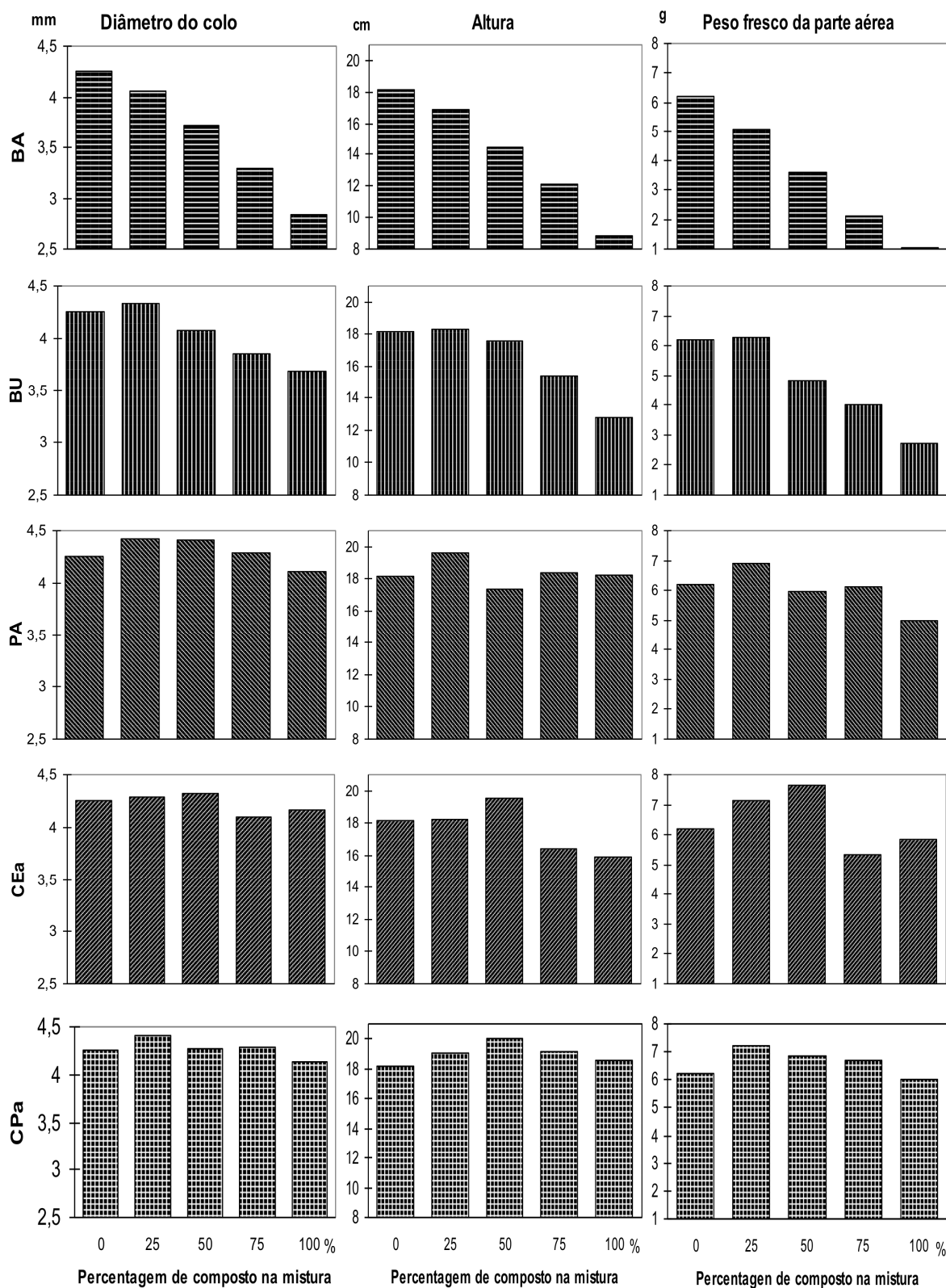


Figura 28 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 2º viveiro de tomate, obtidos no substrato testemunha (0) e nas misturas com composto (25, 50, 75 e 100%)

3º Viveiro

A percentagem de germinação, normalmente cerca de 100% nos viveiros anteriores, registou no 3º Viveiro valores mais baixos em algumas das misturas. Calculando a percentagem de germinação a partir do número de sementes germinadas no ensaio, observaram-se valores inferiores a 100% nas misturas: percentagem de germinação de 95,8% em BA100%, BA50%, PA100%, CEb100%, CEb75% e CPb75%; percentagem de germinação de 87,5% em BU100% e CPb25% (Anexo 7, Quadro 92).

Verificou-se também a expansão das raízes para fora dos alvéolos, como no 2º viveiro, o que obrigou a colocar os tabuleiros por uma tarde sobre uma bancada de rede.

No final do viveiro registou-se o pH e a EC em cada tratamento (Anexo 5, Quadro 90). A EC da solução de rega variou entre 1,15 e 1,57 dS m⁻¹.

Provavelmente devido às baixas temperaturas do ar após a emergência, o tegumento das sementes manteve-se bastante tempo ligado às extremidades das folhas cotiledonares. Além disso, as folhas exibiam ainda no final do viveiro uma coloração arroxeadada na página inferior.

No 3º Viveiro, a maioria dos tratamentos apresentou um comportamento estatisticamente idêntico ao da testemunha apesar desta apresentar os valores mais elevados das variáveis.

O comportamento das misturas com bagaço de azeitona, piorou com o aumento da incorporação de BA na mistura (Quadro 59 e Fig. 29). Apenas o comportamento da mistura com 25% de BA não foi significativamente inferior ao da testemunha. Continuou a verificar-se que o bagaço de azeitona a 100% apresentava dificuldade na transplantação por desagregação do torrão.

Todas as misturas com bagaço de uva, à excepção do composto estreme relativamente à altura, apresentaram um comportamento não diferenciável estatisticamente do da testemunha. Também no bagaço de uva a 100% se notou uma fácil desagregação do torrão.

O comportamento das misturas com polpa de alfarroba não diferiu do da testemunha. A mistura com 25% apresentou valores anormalmente baixos (no 2º Viveiro esta mistura tinha apresentado vantagem em relação à testemunha).

As misturas com CEa apresentaram também um comportamento que não diferiu do da testemunha. O comportamento das misturas com CEb foi ligeiramente inferior ao das misturas com o composto da 1ª compostagem. Apesar disso, todas as misturas com CEb, à excepção do composto estreme, apresentam um comportamento não diferenciável do da testemunha.

Quadro 59 - Altura (H), diâmetro do colo (D) e peso fresco da parte aérea (PFPA) das plantas de tomate, no final do do 3º viveiro de tomate

Testagem dos substratos: Resultados e Discussão

| Substrato ² | Composto % ¹ | Variável | | | |
|--|----------------------------|----------|------------|----------|------------|
| | | H (cm) | D (mm) | PFPA (g) | |
| Testemunha | | 11,9 | 3,0 | 1,9 | |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | 9,5 | 2,7 | 1,2 | |
| | 50 | 7,7 | 2,5 | 0,9 | |
| | 75 | 6,5 | 2,3 | 0,6 | |
| | 100 | 4,4 | 1,9 | 0,3 | |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | 9,6 | 2,7 | 1,2 | |
| | 50 | 10,0 | 2,7 | 1,3 | |
| | 75 | 9,1 | 2,7 | 1,2 | |
| | 100 | 7,5 | 2,7 | 1,0 | |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 10,2 | 2,8 | 1,3 | |
| | 50 | 11,6 | 3,0 | 2,0 | |
| | 75 | 10,7 | 3,0 | 1,6 | |
| | 100 | 10,1 | 3,0 | 1,6 | |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | 10,5 | 2,8 | 1,3 | |
| | 50 | 10,8 | 2,9 | 1,4 | |
| | 75 | 11,1 | 2,9 | 1,7 | |
| | 100 | 10,3 | 2,8 | 1,3 | |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 9,1 | 2,7 | 1,1 | |
| | 50 | 10,3 | 2,8 | 1,4 | |
| | 75 | 10,8 | 2,9 | 1,5 | |
| | 100 | 9,3 | 2,6 | 1,1 | |
| Casca de eucalipto (2ª compostagem, CEb) | 25 | 9,8 | 2,6 | 1,2 | |
| | 50 | 9,7 | 2,6 | 1,2 | |
| | 75 | 11,6 | 2,8 | 1,7 | |
| | 100 | 7,5 | 2,4 | 0,8 | |
| Casca de pinheiro (2ª compostagem, CPb) | 25 | 10,5 | 2,8 | 1,3 | |
| | 50 | 9,8 | 2,8 | 1,2 | |
| | 75 | 11,6 | 2,9 | 1,7 | |
| | 100 | 10,5 | 2,8 | 1,3 | |
| mds (Tukey) ² | | 4,1 | 0,5 | 1,0 | |
| ANOVA | | | | | |
| Significância ³ | | | | | |
| modelo | | *** | *** | *** | |
| tratamentos | | *** | *** | *** | |
| blocos | | ns | ns | ns | |
| Efeito ³ | | | | | |
| Misturas com: | | linear | quadrático | linear | quadrático |
| BA | | *** | *** | *** | *** |
| BU | | ns | * | ns | *** |
| PA | | * | ns | * | * |
| CEa | | ns | ns | ns | ns |
| CPa | | ns | ** | ns | ** |
| CEb | | ns | *** | * | *** |
| CPb | | * | ns | ns | ns |

¹ %, percentagem de composto na mistura.

² mds, mínima diferença significativa.

³ Significância de F: ns, não significativo; significativo para *p≤0,05; ** p≤0,01 e *** p≤0,001.

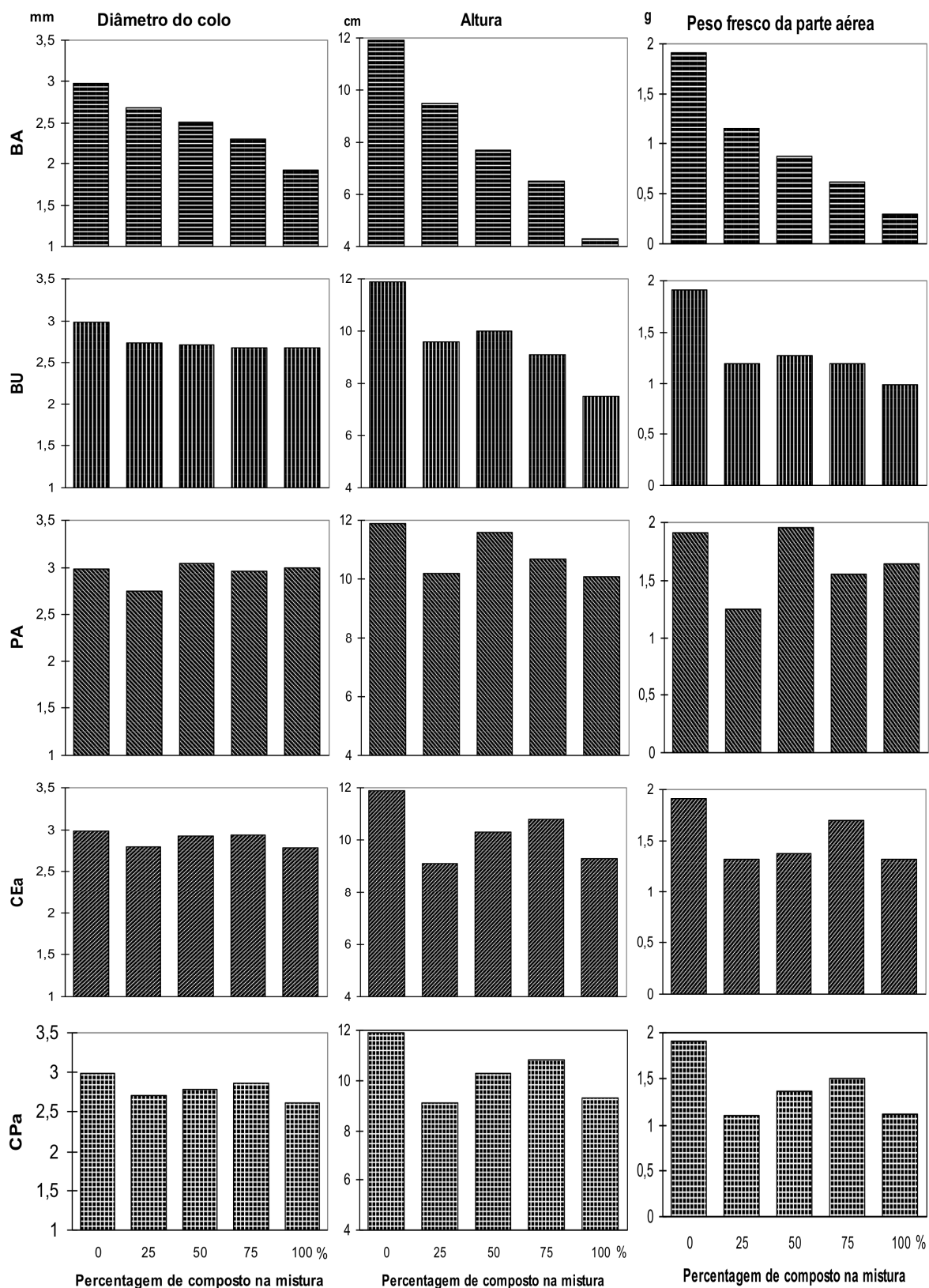


Figura 29- Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 3º viveiro de tomate, obtidos no substrato testemunha (0) e nas misturas com composto (25, 50, 75 e 100%) (continua na pág. seguinte)

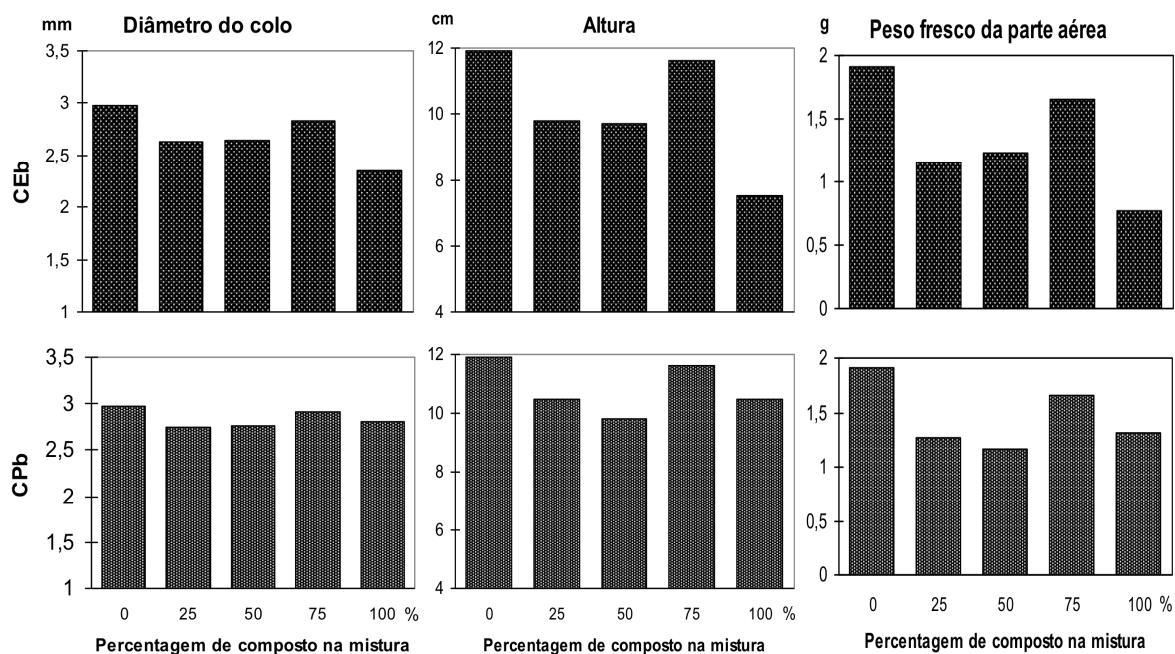


Figura 29 (continuação) - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 3º viveiro de tomate, obtido no substrato testemunha (0) e nas misturas com composto (25, 50, 75 e 100%)

O comportamento das misturas com CPb foi idêntico ao obtido com o composto da 1ª compostagem (Quadro 59 e Fig. 29). Todas as misturas com composto de casca de pinheiro apresentaram um comportamento que não se diferenciou do comportamento da testemunha.

4º Viveiro

Este ensaio durou menos tempo que os anteriores, apenas 32 dias, em consequência dos níveis mais elevados de temperatura e de radiação, próprios da época.

A EC da solução de rega variou entre 1,47 e 1,90 dS m⁻¹.

A percentagem de germinação, calculada a partir do número de sementes germinadas no ensaio, foi bastante afectada em algumas das misturas, nomeadamente as constituídas por alguns dos compostos extremos (Anexo 7, Quadro 92), à semelhança do ocorrido no 3º Viveiro, mas com menor intensidade.

Verificou-se a expansão das raízes fora dos alvéolos como nos 2º e 3º viveiros, mas não se controlou a sua expansão, pelo que houve plantas sobretudo junto às extremidades dos tabuleiros (plantas de bordadura), que desenvolveram raízes no exterior dos alvéolos.

Testagem dos substratos: Resultados e Discussão

Quadro 60 - Altura (H), diâmetro do colo (D) e peso fresco da parte aérea (PFPA) das plantas de tomate no final do 4º viveiro de tomate

| Substrato | Composto % ¹ | Variável | | | | | |
|--|----------------------------|---------------------|------------|----------|------------|--------|------------|
| | | H (cm) | D (mm) | PFPA (g) | | | |
| Testemunha | | 14,1 | 3,2 | 2,2 | | | |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | 11,6 | 3,6 | 2,0 | | | |
| | 50 | 10,7 | 2,7 | 1,2 | | | |
| | 75 | 10,2 | 2,8 | 1,3 | | | |
| | 100 | 5,3 | 1,7 | 0,2 | | | |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | 13,4 | 3,3 | 2,4 | | | |
| | 50 | 12,6 | 3,4 | 2,2 | | | |
| | 75 | 9,2 | 2,9 | 1,1 | | | |
| | 100 | 4,3 | 1,9 | 0,2 | | | |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 12,8 | 3,5 | 2,4 | | | |
| | 50 | 15,0 | 3,6 | 2,9 | | | |
| | 75 | 12,8 | 3,4 | 2,1 | | | |
| | 100 | 9,7 | 2,9 | 1,5 | | | |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | 13,4 | 3,3 | 2,5 | | | |
| | 50 | 13,2 | 3,4 | 2,3 | | | |
| | 75 | 14,3 | 3,2 | 1,9 | | | |
| | 100 | 11,7 | 3,0 | 1,4 | | | |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 12,7 | 3,3 | 2,4 | | | |
| | 50 | 14,6 | 3,2 | 2,2 | | | |
| | 75 | 12,8 | 3,0 | 1,8 | | | |
| | 100 | 11,4 | 2,7 | 1,2 | | | |
| Casca de eucalipto (2ª compostagem, CEb) | 25 | 12,2 | 3,3 | 1,8 | | | |
| | 50 | 9,8 | 2,8 | 1,2 | | | |
| | 75 | 8,8 | 2,6 | 0,9 | | | |
| | 100 | 5,9 | 2,1 | 0,4 | | | |
| Casca de pinheiro (2ª compostagem, CPb) | 25 | 13,1 | 3,6 | 2,7 | | | |
| | 50 | 12,8 | 3,2 | 1,8 | | | |
| | 75 | 10,5 | 3,1 | 1,5 | | | |
| | 100 | 8,9 | 2,8 | 1,1 | | | |
| mds (Tukey) ² | | 5,5 | 0,8 | 1,3 | | | |
| ANOVA | | | | | | | |
| Significância ³ | | | | | | | |
| modelo | | *** | *** | *** | | | |
| tratamentos | | *** | *** | *** | | | |
| blocos | | ns | ns | ns | | | |
| | | Efeito ³ | | | | | |
| Misturas com: | | linear | quadrático | linear | quadrático | linear | quadrático |
| BA | | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| BU | | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| PA | | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| CEa | | ns | ns | ** | * | ns | ns |
| CPa | | ns | * | * | ** | *** | *** |
| CEb | | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| CPb | | *** | *** | *** | *** | *** | *** |

¹ %, percentagem de composto na mistura.

² mds, mínima diferença significativa.

³ Significância de F: ns, não significativo para *p≤0,05; ** p≤0,01 e *** p≤0,001.

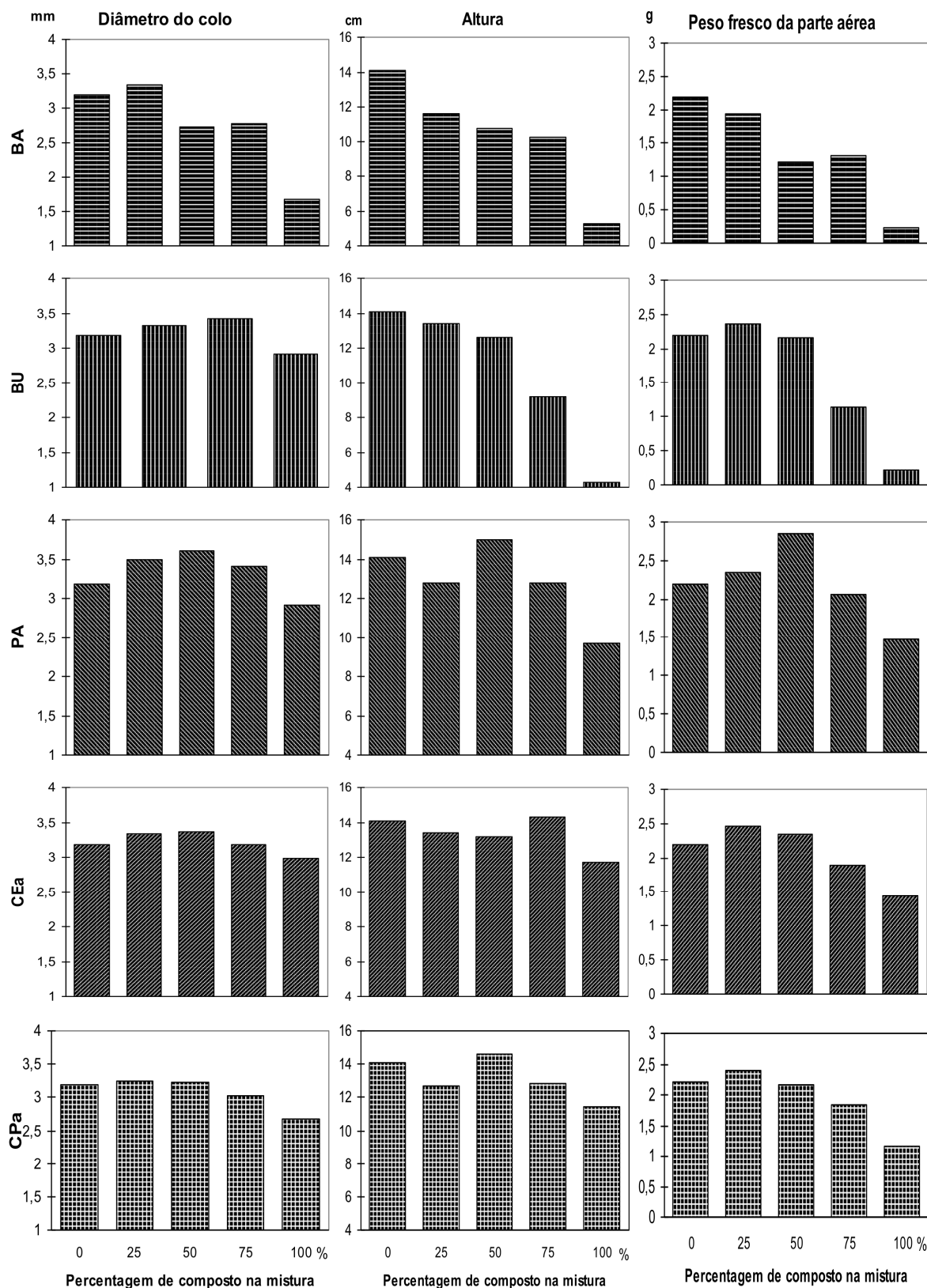


Figura 30 - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 4º viveiro de tomate, obtidos no substrato testemunha (0) e nas misturas com composto (25, 50, 75 e 100%) (continua na pág. seguinte)

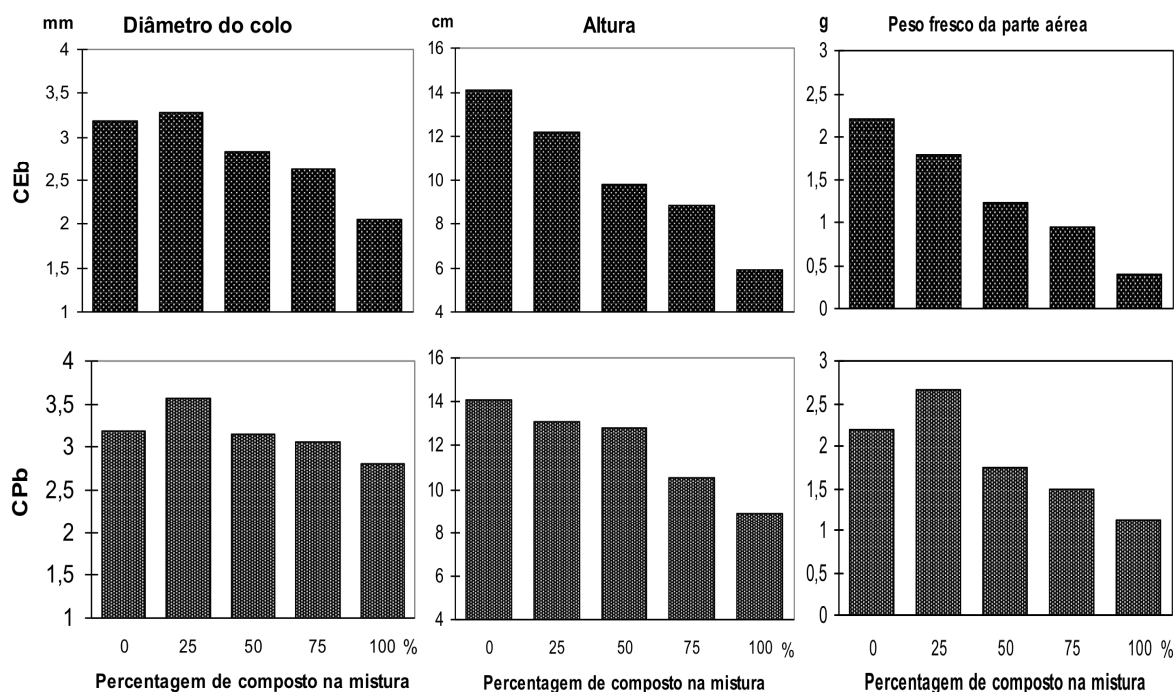


Figura 30 (continuação) - Valor médio do diâmetro do colo, da altura e do peso fresco da parte aérea das plantas do 4º viveiro de tomate, no substrato testemunha (0) e nas misturas com composto (25, 50, 75 e 100%)

Nas misturas com bagaço de azeitona, registou-se o decréscimo gradual dos valores das variáveis determinadas, com o aumento da incorporação de composto, tal como observado nos viveiros anteriores (Fig. 30). O comportamento das misturas com o composto de bagaço de azeitona não se diferenciou estatisticamente do comportamento da testemunha, excepto no substrato constituído pelo composto estreme (Quadro 60). Continuou a verificar-se no composto estreme, o problema da desagregação do torrão.

Tal como com o composto de bagaço de azeitona, as misturas com bagaço de uva até ao nível de 75%, inclusive, apresentaram um comportamento que não se diferenciou do da testemunha. No substrato constituído pelo material estreme notou-se também a fácil desagregação do torrão.

As misturas com polpa de alfarroba apresentaram todas um bom comportamento, não se diferenciando os seus resultados dos da testemunha, tal como sucedeu no 3º Viveiro. A mistura com 50% de PA foi de todos os 29 tratamentos, o que apresentou os valores mais elevados para as variáveis, tal como no 3º Viveiro. No 1º Viveiro tinha-se verificado um comportamento muito semelhante em todas as misturas e, no 2º Viveiro uma vantagem da mistura com 25% de PA.

As misturas com casca de eucalipto da 1ª compostagem, apresentaram um comportamento não diferenciável do da testemunha, tal como no 3º Viveiro. O comportamento das misturas com casca de eucalipto da 2ª compostagem foi inferior ao comportamento das

misturas do composto da 1ª compostagem. No entanto, apenas o substrato constituído pelo composto estreme apresentou valores das variáveis estatisticamente inferiores aos da testemunha.

O comportamento das misturas com casca de pinheiro da 1ª compostagem não se diferenciou do comportamento da testemunha. No 3º viveiro tinha havido um melhor comportamento das misturas com 75 e 50% de CPa, no 2º Viveiro a vantagem foi para as misturas com 25 a 75% e no 1º Viveiro para as misturas com 50 e 75% de CPa. O comportamento das misturas com CPb não se diferenciou do comportamento das misturas com o material da 1ª compostagem. Apenas a mistura com composto estreme apresentou valores mais baixos das variáveis, mas que mesmo assim não se diferenciaram dos da testemunha. Contrariamente ao 3º Viveiro, em que a mistura com 75% de CPb apresentou valores das variáveis um pouco mais elevados, as misturas de 25 e 50% de CPb apresentaram agora valores superiores, embora sem serem estatisticamente diferenciáveis.

Comparando a resposta das plantas nas duas épocas de viveiro em cada ano, observou-se uma flutuação sazonal do número de tratamentos com um comportamento não diferenciável do da testemunha, nas misturas com BA e BU (Quadros 57 a 60). No 1º Viveiro, o número de misturas com BA e BU com um comportamento não diferenciável do da testemunha, foi mais elevado que no ensaio seguinte (2º Viveiro). No primeiro viveiro do segundo ano de ensaios (3º Viveiro), voltou a haver maior número de misturas com BU com um comportamento não diferenciável do da testemunha, mas nas misturas com BA observou-se o contrário. Nos restantes compostos, PA, CEa, CEb, CPa e CPb, o número de misturas com um comportamento não diferenciável do da testemunha foi idêntico no primeiro e no segundo viveiro de cada ano.

Embora não estatisticamente significativa, parece haver uma tendência para as misturas com maior incorporação de composto terem melhor comportamento no primeiro viveiro de cada ano e, as misturas com menor incorporação de composto no viveiro seguinte (Fig. 27 a 30 e Quadros 57 a 60). Esta variação, poderá estar associada às condições ambientais mais exigentes do ponto de vista do fornecimento de água pelos substratos que ocorreram durante os 2º e o 4º viveiros realizados mais tarde.

Comparando os compostos estremos, observou-se um melhor comportamento com PA, CEa e CPa. Os compostos BA e BU apresentaram o pior comportamento e CEb e CPb um comportamento intermédio, um pouco melhor do CPb (Fig. 27 a 30 e Quadros 57 a 60).

4.3.1.3. Influência das características dos substratos no crescimento das plantas em viveiro

No 2º ano de testagem dos compostos (3º e 4º viveiros) correlacionaram-se as propriedades dos substratos com o crescimento das plantas nos viveiros. As características físicas dos substratos foram obtidas por determinação laboratorial nas respectivas amostras de cada mistura. Das características químicas consideraram-se os teores em macronutrientes principais extraíveis e a soma destes com os adicionados na forma de adubo mineral de fundo. Os teores de nutrientes nas misturas foram calculados a partir do teor de nutrientes nos respectivos constituintes.

No 3º Viveiro, considerando os compostos em conjunto, verificou-se que o EPT, a AR e a AT apresentaram sempre um coeficiente de correlação significativo com o crescimento das plantas (Quadro 61). A análise da matriz geral dos valores dos coeficientes de regressão linear de características físicas e químicas das misturas e do crescimento das plantas no 4º Viveiro, revelou uma ainda maior influência das características físicas relacionadas com as relações ar - água.

Quadro 61 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com o crescimento das plantas, nos 3º e 4º viveiros de tomate

| Variável ² | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|--------------------------------------|------------|----------|--------|------------|-----------|-----------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,336 | -0,359 | -0,312 | -0,490** | -0,289 | -0,454* |
| EPT | 0,459* | 0,511** | 0,427* | 0,564** | 0,419* | 0,524** |
| CA | -0,335 | -0,253 | -0,283 | -0,716*** | -0,797*** | -0,794*** |
| AFU | 0,358 | 0,344 | 0,304 | 0,792*** | 0,794*** | 0,841*** |
| AR | 0,466* | 0,427* | 0,401* | 0,816*** | 0,867*** | 0,871*** |
| ADU | 0,359 | 0,225 | 0,334 | 0,369* | 0,431* | 0,409* |
| AU | 0,377* | 0,359 | 0,321 | 0,802*** | 0,811*** | 0,852*** |
| AT | 0,430* | 0,373* | 0,376* | 0,792*** | 0,819*** | 0,847*** |
| N(O ₃ +H ₄) x | 0,206 | 0,347 | 0,208 | -0,080 | 0,062 | -0,132 |
| P ₂ O ₅ x | -0,101 | -0,247 | -0,128 | -0,293 | -0,183 | -0,258 |
| K ₂ O x | -0,289 | -0,487** | -0,291 | -0,463* | -0,550** | -0,455* |
| N(O ₃ +H ₄) t | 0,127 | 0,250 | 0,133 | -0,221 | -0,090 | -0,280 |
| P ₂ O ₅ t | -0,230 | -0,267 | -0,218 | -0,641** | -0,580** | -0,683** |
| K ₂ O t | -0,299 | -0,486** | -0,298 | -0,510** | -0,589** | -0,509** |

¹ Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; sem indicação, não significativo; nº de observações: 29.

² daps, densidade aparente seca; EPT, espaço poroso total; CA, capacidade de ar; AFU, água facilmente utilizável; AR, água de reserva; ADU, água dificilmente utilizável; AU, água utilizável; AT, água total; N-(O₃+H₄), soma do teor de azoto nítrico e amoniacal; P₂O₅, teor de fósforo; K₂O, teor de potássio; x, quantidade extraível; t, soma da quantidade extraível e da adicionada na forma de adubo sólido, ao realizar as misturas.

A análise das correlações das características dos substratos com as variáveis medidas nas plantas, mostrou que as variáveis indicadoras do crescimento (H, D e PFPA), apresentaram, de uma forma global, uma elevada correlação positiva com o espaço poroso total (EPT), à disposição das plantas (Quadro 61).

Ao analisar a distribuição ar-água no EPT, detectou-se uma correlação negativa e altamente significativa, entre o crescimento das plantas (H, D e PFPA) e a capacidade de ar no substrato (CA). Isto é, com um maior volume de ar restringia-se o crescimento. Esta correlação negativa não é um bom índice da restrição do crescimento porque, em nenhum caso, um excesso da capacidade de arejamento pode ser limitante para o crescimento das plantas. O factor básico que actua é a disponibilidade hídrica, que evidentemente está inversamente correlacionada com a CA.

O crescimento das plantas respondeu positivamente ao aumento da AFU, da AR e da AU, características que condicionam a correlação, também altamente significativa, do crescimento das plantas com a AT. Este comportamento indicou, que para a época do ano em que se realizou o 4º Viveiro, com uma taxa de evapotranspiração relativamente mais elevada que durante o 3º Viveiro, o factor limitante do crescimento das plantas foi a percentagem de AU. Como a AU diminuiu com o aumento da percentagem de composto na mistura (Quadro 37), em situações de taxa de evapotranspiração relativamente mais elevada, as misturas deverão possuir uma maior percentagem de turfa.

Verificou-se uma correlação negativa do crescimento das plantas com o fósforo e o potássio totais e extraíveis, significativa no caso do potássio (Quadro 61). Este resultado pode induzir em erro, devido ao facto de os compostos BA, BU e PA terem apresentado elevados teores naqueles elementos, originando um teor mais elevado nas respectivas misturas e, simultaneamente valores mais baixos de AU. O mais elevado teor de fósforo e de potássio nos compostos determinou que ao aumentar a proporção de composto na mistura, se tenha produzido um aumento do teor destes nutrientes e uma diminuição da AU. Nomeadamente nas misturas com BA e BU, ocorreu uma diminuição dos valores das variáveis H, D com o aumento da incorporação de composto na mistura. O factor determinante do comportamento detectado foi a diminuição do teor em água e não o aumento do teor de potássio ou de fósforo nas misturas devido ao aumento da incorporação de composto.

Efectuando as correlações das características dos substratos com as variáveis medidas nas plantas, tomando, não todas as misturas em conjunto, mas apenas as misturas com cada composto, esta pauta geral de comportamento anteriormente descrito foi menos clara (Anexo 9, Quadros 100 a 104). Este facto, deve-se ao pequeno número de observações para o cálculo da

regressão e, ao facto de, eventualmente, nas misturas de alguns compostos, algumas das variáveis não seguirem uma variação linear em função do teor de composto na mistura.

Ao analisar a matriz de correlações das características dos substratos com as variáveis medidas nas plantas, para cada composto, nos 3º e 4º viveiros, observou-se que a CP e a CE das segundas compostagens, seguiram a pauta descrita anteriormente, isto é, o crescimento foi função directa do teor de água útil (Anexo 9, Quadros 103 e 104). O coeficiente de correlação dos nutrientes, totais e extraíveis, com as variáveis medidas nas plantas foi igual, uma vez que, o cálculo do teor de nutrientes em cada mistura conduz, apenas à correlação do valor da percentagem de incorporação de composto, idêntica para todos os compostos, com os valores das variáveis medidas nas plantas. Por isso, com CP e a CE, a correlação negativa entre o teor de potássio e as variáveis medidas nas plantas, observada quando se consideraram todas as misturas em conjunto, passou a ser também negativa com os outros nutrientes, azoto e fósforo. Considerando que os níveis de nutrientes da turfa, são sempre inferiores aos existentes em CP e em CE, a diminuição do conteúdo em turfa nas misturas ocasionaria a diminuição da água disponível, o que actuaría como factor limitante e, simultaneamente, o incremento dos níveis de nutrientes. Nesta situação, a correlação negativa observada com os teores em nutrientes, não seria um factor causal, mas sim uma consequência do aumento de composto na mistura.

Nas misturas com cascas de pinheiro e de eucalipto da primeira compostagem, observou-se um comportamento similar ao manifestado com o material da segunda compostagem, mas de um modo menos acentuado, pois apenas se manifestou relativamente ao peso fresco da parte aérea (Quadros 103 e 104). O amortecimento da correlação nos compostos CEa e CPa, em comparação com os compostos sem LETARU (CEb e CPb), pareceu estar relacionado com o intervalo de variação da AU nas misturas. Nas misturas com CEa e CPa os valores de AU mínimos, correspondentes aos valores de AU dos compostos base das misturas, foram cerca do dobro dos valores de AU observados nos compostos da 2ª compostagem, pelo que a limitação de crescimento associada ao baixo teor de AU seria menos acentuada nas misturas com CEa e CPa.

Com PA não se observou nenhuma tendência clara do crescimento em função do teor de água útil (Quadro 102).

Nas misturas com BU, os baixos teores em AU condicionaram, mesmo assim, o crescimento, sendo significativos apenas para o PFPA no 4º Viveiro (Quadro 101).

Nas misturas com BA, ao contrário da tendência geral, só se verificaram correlações significativas das características dos substratos com as variáveis medidas nas plantas, no 3º Viveiro (Anexo 9, Quadro 100).

Para comprovar a resposta do comportamento das plantas à disponibilidade de água do substrato, determinaram-se também para os 1º e 2º viveiros, as correlações entre as propriedades das misturas e as variáveis de crescimento das plantas, assumindo-se que as misturas utilizadas possuíam características iguais às misturas empregues nos 3º e 4º viveiros. A pequena alteração verificada nas propriedades dos compostos durante o armazenamento a 4°C (Quadro 28) e, o método utilizado na preparação das misturas oferecia garantias de as diferenças reais serem desprezáveis.

Tal como com no 3º e 4º viveiros, observou-se um maior número de correlações significativas no viveiro efectuado mais tarde (2º Viveiro), em condições de maior evapotranspiração (Quadro 62). No 2º Viveiro, as correlações foram quase sempre significativas para $p \leq 0,01$, com excepção da água dificilmente utilizável (ADU).

No 1º Viveiro, a altura e o peso fresco da parte aérea apresentaram correlações significativas com várias propriedades dos substratos, mas o diâmetro do colo só apresentou correlação significativa com o EPT. No 1º Viveiro, na maioria das misturas dos compostos, observou-se uma correlação negativa, não significativa, entre os parâmetros relativos à retenção de água e o crescimento, sendo nestes casos, positiva a correlação com a CA, o que poderia indicar condições de alagamento.

Quadro 62 - Coeficientes de regressão linear¹ de características físicas e químicas das misturas e do crescimento das plantas nos 1º e 2º viveiros de tomate

| Variável ² | 1º Viveiro | | | 2º Viveiro | | |
|---------------------------------------|------------|---------|---------|------------|----------|----------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,341 | -0,509* | -0,482* | -0,558** | -0,482* | -0,481* |
| EPT | 0,458* | 0,672** | 0,622** | 0,773** | 0,685** | 0,729** |
| CA | -0,188 | -0,521* | -0,455* | -0,677** | -0,656** | -0,755** |
| AFU | 0,178 | 0,495* | 0,428 | 0,696** | 0,700** | 0,749** |
| AR | 0,326 | 0,615* | 0,570** | 0,828** | 0,821** | 0,878** |
| ADU | 0,374 | 0,502* | 0,471* | 0,382 | 0,221 | 0,373 |
| AU | 0,200 | 0,515* | 0,451* | 0,720** | 0,723** | 0,773* |
| AT | 0,282 | 0,596** | 0,531* | 0,742** | 0,699** | 0,786** |
| N-(O ₃ +H ₄) x | 0,043 | 0,120 | 0,107 | 0,334 | 0,401 | 0,437* |
| P ₂ O ₅ x | -0,148 | -0,370 | -0,265 | -0,407 | -0,323 | -0,440* |
| K ₂ O x | 0,046 | -0,306 | -0,201 | -0,595** | -0,623** | -0,740** |
| N(O ₃ +H ₄) t | 0,037 | 0,032 | 0,038 | 0,188 | 0,251 | 0,276 |
| P ₂ O ₅ t | -0,038 | -0,351 | -0,266 | 0,488* | -0,456* | -0,511* |
| K ₂ O t | 0,042 | -0,321 | -0,214 | 0,608** | -0,632** | -0,746** |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo; nº de observações: 21.

² daps, densidade aparente seca; EPT, espaço poroso total; CA, capacidade de ar; AFU, água facilmente utilizável; AR, água de reserva; ADU, água dificilmente utilizável; AU, água utilizável; AT, água total; N-(O₃+H₄), soma do teor de azoto nítrico e amoniacal; P₂O₅; teor de fósforo; K₂O, teor de potássio; x., quantidade extraível; t, soma da quantidade extraível e da adicionada na forma de adubo ao substrato.

Efectuando para ambos os viveiros, as correlações das características dos substratos com as variáveis medidas nas plantas, apenas com as misturas de cada composto, verificou-se que os resultados foram pouco claros em virtude do reduzido número de observações e da evolução particular dos valores das variáveis nas plantas para cada composto (Anexo 9, Quadros 95 a 99).

Com PA e CEa não se registaram correlações significativas (Anexo 9, Quadros 97 e 98). No 1º Viveiro, detectou-se alguma influência negativa associada ao teor de água das misturas, AFU, AR, AU e AT, relativamente ao diâmetro do colo e, em alguns casos também ao PFPA e à H, o que poderia ser explicado pelo facto de neste 1º Viveiro se terem realizado duas regas diárias e a evapotranspiração neste período ser mais reduzida.

Com CPa só ocorreram correlações significativas relativamente ao PFPA no 2º Viveiro (Anexo 9, Quadro 99). No 1º Viveiro inverteu-se a relação com a capacidade de arejamento, a qual agora foi positiva. As correlações com as variáveis relativas à água no substrato são sempre negativas, como verificado em alguns casos nos compostos anteriores, CEa e PA.

As misturas com BA e BU seguiram o padrão geral de comportamento, isto é, um maior número de correlações significativas verificadas no viveiro efectuado mais tarde e, correlações negativas com os teores de nutrientes. A correlação com os teores de nutrientes, foi negativa para todos os compostos no 2º Viveiro.

4.3.2. Cultura em vasos

4.3.2.1. Seleção de variáveis

Na análise da variância da 1ª cultura de cultura de pelargônio em vaso (P1), todas as variáveis apresentaram diferenças significativas entre tratamentos, à exceção do “número de flores abertas” (através do transformado, tFA) (Quadro 63). A variável “número de flores abertas” revelou-se por isso sem interesse, para a comparação da resposta das plantas.

Quadro 63- Síntese da análise da variância das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargônio

| Análise da variância ² | Variáveis ¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | D | tNF | tFA | tNA | tNP | PFC | PFF | PFFL | PFPA | PFPR | PFT | PSPA | PSPR | PST | RPF | RPS | CV | AF |
| modelo | *** | *** | ns | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| blocos | * | ns | ns | ns | ns | ns | ns | * | ns | *** | ns | ns | *** | ns | *** | *** | *** | - |
| tratamentos | *** | *** | ns | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |

¹ D, diâmetro do colo (mm); tNF, transformado do número de folhas; tFA, transf. do número de flores abertas; tNA, transf. do número de lançamentos axilares; tNP, transf. do nº de pedúnculos de flores; PFC, peso fresco dos caules (g); PFF, p. f. das flores (g); PFFL, p. f. das folhas (g); PFPA, p. f. da parte aérea (g); PFPR, p. f. da p. radical (g); PFT, p. f. total (g); PSPA, p. seco da p. aérea (g); PSPR, p. s. da parte radical (g); PST, p. s. total (g); RPF, relação PFPA/ PFPR; RPS, relação PSPA/PSPR; CV, transf. de cobertura do vaso (%).

² Valor de F significativo para: *p ≤ 0, 05; ***p ≤ 0, 001; ns, não significativo.

A variável "cobertura do vaso" (CV), calculada a partir da relação entre o diâmetro médio do canopeu e o diâmetro do vaso ao nível da "boca", foi determinada até se alcançar a cobertura total do vaso. Por isso, não conseguiu traduzir por completo as diferenças entre os tratamentos, pois em vários tratamentos, o diâmetro da copa ultrapassou o da "boca" do vaso. Contudo, até este estágio a variável "cobertura do vaso" determinada nas condições descritas, poderá funcionar como variável indicadora, tanto mais que, é uma das variáveis práticas de avaliação do desenvolvimento das plantas. Devido ao modo de determinação de CV em P1, efectuaram-se análises Discriminantes e análises em Componentes Principais incluindo ou não esta variável.

Nos modelos criados pela análise Discriminante, incluindo ou não a variável CV, encontrou-se sempre como primeira variável o "nº de folhas", através dos seu transformado (tNF), variável que por si só explica mais de 72% da variação obtida em P1 (Quadro 64). A CV, quando considerada, aumentou este valor em mais de 11%. Quando não se inclui a CV, surgiu em 2º lugar o peso fresco do caule ou o peso fresco da raiz.

Na análise em Componentes Principais (Quadro 65), das componentes criadas, consideraram-se com interesse, aquelas cuja proporção era superior ao quociente do número de variáveis pelo total (100%). Neste caso, existindo 15 ou 16 variáveis (com ou sem a variável CV) esses valores eram: 6,7 e 6,3% respectivamente.

Quadro 64 - Síntese da análise Discriminante das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargônio

| Incluindo a "cobertura do vaso" | | | | | |
|--|----------------|--------------------------------|---|----------------|--------------------------------|
| Incluindo a área foliar (60 observações) | | | Não incluindo a área foliar (240 observações) | | |
| Variável ¹ | Lambda de Wilk | Coef. de det. (%) ² | Variável ¹ | Lambda de Wilk | Coef. de det. (%) ² |
| tNF | 0,231 | 76,9 | tNF | 0,279 | 72,1 |
| CV | 0,124 | 87,6 | CV | 0,132 | 86,8 |
| PFC | 0,073 | 92,6 | PFPR | 0,059 | 94,1 |
| NP | 0,045 | 95,5 | PSPR | 0,038 | 96,2 |
| | | | NA | 0,025 | 97,5 |

| Não incluindo a "cobertura do vaso" | | | | | |
|--|----------------|--------------------------------|---|----------------|--------------------------------|
| Incluindo a área foliar (60 observações) | | | Não incluindo a área foliar (240 observações) | | |
| Variável ¹ | Lambda de Wilk | Coef. de det. (%) ² | Variável | Lambda de Wilk | Coef. de det. (%) ² |
| tNF | 0,231 | 76,9 | tNF | 0,279 | 72,1 |
| PFC | 0,138 | 86,2 | PFPR | 0,133 | 86,7 |
| NP | 0,084 | 91,6 | RSAS | 0,055 | 91,6 |
| D | 0,051 | 94,9 | PSPR | 0,025 | 94,5 |
| | | | NA | 0,016 | 96,3 |
| | | | D | 0,015 | 97,5 |
| | | | RFAS | 0,010 | 98,4 |
| | | | PFFL | 0,010 | 98,5 |
| | | | PFT | 0,010 | 99,0 |
| | | | PSPA | 0,010 | 99,0 |

¹D, diâmetro do colo (mm); tNF, transformado do número de folhas; NA, número de lançamentos axilares; NP, nº de pedúnculos de flores; PFC, peso fresco dos caules (g); PFFL, peso fresco das folhas (g); PFPR, peso fresco da parte radical (g); PFT, peso fresco total (g); PSPA, peso seco da parte aérea (g); PSPR, peso seco da parte radical (g); RFAS, relação do PFPA e do PFPR.

²Coef. de det. (%), coeficiente de determinação (= 1 - Lambda de Wilk).

A primeira componente apresentou uma proporção próxima de 70% em qualquer das situações analisadas, o que é um valor bastante elevado (Quadro 65). Segundo a 1ª componente, as variáveis mais importantes seleccionadas pela análise Discriminante (tNF, CV, PFC, PFPR e PSPR) apresentaram coeficientes relativamente próximos, sendo geralmente mais baixos os referentes à parte radicular (PFPR e PSPR).

Conjugando os resultados das análises estatísticas efectuadas, verificou-se que na análise Discriminante surgiu como variável mais importante o número de folhas, seguido de cobertura do vaso e de outras, nomeadamente, o peso fresco dos caules, o peso fresco da parte radicular, o número de pedúnculos florais e o número de lançamentos axilares.

Na análise em Componentes Principais verificou-se que as variáveis apresentaram coeficientes muito próximos segundo a 1ª componente principal, a mais importante na explicação dos resultados de P1. Projectando os valores das variáveis (Eigenvectors) segundo a 1ª e a 2ª componentes principais, verificou-se pouca dispersão das variáveis segundo a 1ª

componente principal (Fig. 31 e 32). A dispersão aumentou segundo a 2ª componente principal, que explica apenas cerca de 9% ou menos dos resultados.

Quadro 65 - Síntese da análise em Componentes Principais das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargônio (continua na pág. seguinte)

| Incluindo a "cobertura do vaso" | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|------------------------|-------------|-----------------------------|-----------|------------------------|-------------|
| Incluindo a área foliar | | | | Não incluindo a área foliar | | | |
| Comp. ¹ | Proporção | Variáveis ² | Eigenvalues | Comp. ¹ | Proporção | Variáveis ² | Eigenvalues |
| 1ª | 72,1 | PFT | 0,289 | 1ª | 69,6 | PFT | 0,295 |
| | | PFPA | 0,287 | | | PST | 0,293 |
| | | PST | 0,285 | | | PFPA | 0,293 |
| | | PSPA | 0,282 | | | PSPA | 0,291 |
| | | AF | 0,282 | | | PFF | 0,286 |
| | | PFF | 0,281 | | | PFC | 0,283 |
| | | TNF | 0,275 | | | TNF | 0,280 |
| | | PFC | 0,270 | | | NA | 0,258 |
| | | CV | 0,257 | | | CV | 0,254 |
| | | D | 0,254 | | | NP | 0,246 |
| | | NA | 0,247 | | | D | 0,244 |
| | | NP | 0,220 | | | PFPR | 0,234 |
| | | PSPR | 0,213 | | | PFFL | 0,219 |
| | | PFPR | 0,192 | | | PSPR | 0,215 |
| PFFL | 0,169 | - | - | | | | |
| 2ª | 7,6 | PFFL | 0,430 | 2ª | 9,1 | PSPR | 0,404 |
| | | NP | 0,346 | | | PFPR | 0,344 |
| | | CV | 0,102 | | | PFFL | 0,079 |
| | | NA | 0,063 | | | NP | 0,049 |
| | | PSPA | 0,049 | | | PST | 0,011 |
| | | PFPA | 0,038 | | | NA | 0,007 |
| | | TNF | -0,002 | | | PFT | -0,004 |
| | | AF | -0,006 | | | TNF | -0,031 |
| | | PST | -0,008 | | | PFC | -0,039 |
| | | PFT | -0,035 | | | PSPA | -0,043 |
| | | D | -0,039 | | | PFPA | -0,055 |
| | | PFC | -0,040 | | | PFF | -0,093 |
| | | PFF | -0,076 | | | D | -0,218 |
| | | PSPR | -0,472 | | | CV | -0,272 |
| PFPR | -0,548 | - | - | | | | |

¹ Comp., componente principal.

² D, diâmetro do colo (mm); tNF, transformado do número de folhas; NA, número de lançamentos axilares; NP, nº de pedúnculos de flores; PFC, peso fresco dos caules (g); PFF, peso fresco das flores (g); PFFL, peso fresco das folhas (g); PFPA, peso fresco da parte aérea (g); PFPR, peso fresco da parte radical (g); PFT, peso fresco total (g); PSPA, peso seco da parte aérea (g); PSPR, peso seco da parte radical (g); PST, peso seco total (g); AF, área foliar (cm²).

Quadro 65 (continuação) - Síntese dos resultados da análise em Componentes Principais das variáveis determinadas na 1ª cultura de pelargónio

| Não incluindo a "cobertura do vaso" | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|------------------------|--------------|------------------------------|-----------|------------------------|--------------|
| Incluindo a área foliar" | | | | Não incluindo a área foliar" | | | |
| Comp. ¹ | Proporção | Variáveis ² | Eigenvectors | Comp. ¹ | Proporção | Variáveis ² | Eigenvectors |
| 1ª | 71,9 | PFT | 0,299 | 1ª | 69,6 | PFT | 0,305 |
| | | PFPA | 0,297 | | | PST | 0,302 |
| | | PST | 0,295 | | | PFPA | 0,302 |
| | | PSPA | 0,292 | | | PSPA | 0,300 |
| | | PFF | 0,292 | | | PFF | 0,294 |
| | | AF | 0,291 | | | D | 0,294 |
| | | TNF | 0,283 | | | PFC | 0,292 |
| | | PFC | 0,280 | | | TNF | 0,288 |
| | | D | 0,264 | | | NA | 0,267 |
| | | NA | 0,257 | | | NP | 0,255 |
| | | NP | 0,228 | | | PFPR | 0,244 |
| | | PSPR | 0,221 | | | PFFL | 0,227 |
| | | PFPR | 0,199 | | | PSPR | 0,226 |
| | | PFFL | 0,173 | | | - | - |
| 2ª | 8,0 | PFFL | 0,429 | 2ª | 9,1 | PSPR | 0,412 |
| | | NP | 0,357 | | | PFPR | 0,354 |
| | | NA | 0,080 | | | PFFL | 0,057 |
| | | PSPA | 0,060 | | | NP | 0,020 |
| | | PFPA | 0,050 | | | PST | -0,010 |
| | | AF | 0,005 | | | NA | -0,022 |
| | | PST | 0,002 | | | PFT | -0,030 |
| | | TNF | -0,002 | | | TNF | -0,051 |
| | | PFT | -0,024 | | | PSPA | -0,067 |
| | | PFC | -0,024 | | | PFC | -0,072 |
| | | D | -0,031 | | | PFPA | -0,086 |
| | | PFF | -0,061 | | | PFF | -0,124 |
| | | PSPR | -0,475 | | | D | -0,242 |
| | | PFPR | -0,555 | | | - | - |

¹ Comp., componente principal.

² D, diâmetro do colo (mm); tNF, transformado do número de folhas; NA, número de lançamentos axilares; NP, nº de pedúnculos de flores; PFC, peso fresco dos caules (g); PFF, p. f. das flores (g); PFFL, p. f. das folhas (g); PFPA, p. f. da parte aérea (g); PFPR, p. f. da parte radical (g); PFT, p. f. total (g); PSPA, peso seco da parte aérea (g); PSPR, p. s. da parte radical (g); PST, p. s. total (g); AF, área foliar (cm²).

Como o compasso das plantas pode afectar a determinação da variável “cobertura do vaso”, decidiu-se não incluir esta variável nas variáveis a determinar posteriormente.

Assim, para a avaliação da resposta das plantas, pareceu ser suficiente a determinação de duas variáveis: o número de folhas e o peso fresco dos caules.

Considerando que a determinação do peso fresco dos caules é mais morosa que a do peso fresco da parte aérea e, que estas duas variáveis apresentaram um coeficiente de correlação de 0,95 e 0,96, obtido na matriz de correlações da análise em Componentes

4.3.2.2. Avaliação da resposta das plantas

1ª cultura de pelargônio em vaso

O ensaio durou 7 semanas, período normal para a cultura de pelargônio nesta época.

Verificou-se reduzida expansão das raízes para fora dos alvéolos, situação que tinha ocorrido em alguns dos viveiros de tomate.

Alguns dias após a aplicação do regulador de crescimento (efectuada 15 e 21 dias após a plantação), observou-se o amarelecimento do bordo das folhas. Este sintoma deixou de se observar gradualmente, não se detectando no final da cultura. A causa deste amarelecimento do bordo das folhas, terá sido a acção fitotóxica do cloromequato (Shanks, 1982).

A EC da solução de rega manteve-se entre 1,4 e 1,7 dS m⁻¹.

De uma observação visual ao desenvolvimento da raiz, em que se tiveram em conta a ocupação do volume de substrato e a espessura das raízes, verificou-se que as raízes alcançaram o fundo do vaso, à excepção do composto de bagaço de uva (BU) estreme. Neste substrato, de 16 plantas apenas 10 desenvolveram raízes até metade da altura do vaso e só as raízes de 2 plantas alcançaram a base do vaso. Também em composto de bagaço de azeitona estreme (BA), houve 6 plantas cujas raízes não ultrapassaram a meia altura do vaso e apenas as raízes de 8 plantas chegaram à base. As raízes tenderam a ser mais finas no substrato testemunha e em CEa e mais grossas em PA. Nos restantes tratamentos a espessura foi intermédia.

A mistura com 50% de BA não diferiu da testemunha, mas com 100% obteve-se um número de folhas, número de lançamentos axilares e peso fresco da parte aérea significativamente inferiores (Quadro 66). Com frequência observaram-se plantas em que as raízes apresentavam uma cor acastanhada e quase não se expandiram fora do saco de papel.

Com o composto de bagaço de uva ocorreu uma situação semelhante à do BA, mas com um decréscimo mais acentuado dos valores das variáveis (Fig 33). O comportamento da mistura com 50% de BU foi significativamente inferior ao da testemunha (Quadro 66). Também com frequência houve plantas em que as raízes não se expandiram nas misturas com BU.

Quadro 66 - Transformado do número de folhas (tNF), transformado do número de lançamentos axilares (tNA) e peso fresco da parte aérea (PFPA) das plantas de pelargônio, no final da 1ª cultura em vaso

| Substrato | Composto % ¹ | Variável | | | | | |
|--|----------------------------|----------|------------|----------|------------|--------|------------|
| | | tNF | tNA | PFPA (g) | | | |
| Testemunha | | 7,3 | 2,7 | 92,4 | | | |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | - | - | - | | | |
| | 50 | 6,7 | 2,6 | 74,1 | | | |
| | 75 | - | - | - | | | |
| | 100 | 4,0 | 1,8 | 26,4 | | | |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | - | - | - | | | |
| | 50 | 5,1 | 2,0 | 53,9 | | | |
| | 75 | - | - | - | | | |
| | 100 | 3,2 | 1,5 | 8,1 | | | |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 7,0 | 2,6 | 85,8 | | | |
| | 50 | 7,0 | 2,6 | 86,7 | | | |
| | 75 | 7,0 | 2,7 | 77,5 | | | |
| | 100 | 5,9 | 2,3 | 59,8 | | | |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | - | - | - | | | |
| | 50 | 7,2 | 2,8 | 83,3 | | | |
| | 75 | - | - | - | | | |
| | 100 | 6,4 | 2,6 | 61,7 | | | |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 7,7 | 2,9 | 102,9 | | | |
| | 50 | 7,0 | 2,8 | 83,8 | | | |
| | 75 | 7,0 | 2,8 | 79,3 | | | |
| | 100 | 7,0 | 2,7 | 83,9 | | | |
| mds (Tukey) ² | | 1,3 | 0,5 | 32,9 | | | |
| ANOVA | | | | | | | |
| Significância ³ | | | | | | | |
| modelo | | *** | *** | *** | | | |
| tratamentos | | *** | *** | *** | | | |
| blocos | | ns | ns | ns | | | |
| Efeito ³ | | | | | | | |
| Misturas com: | | linear | quadrático | linear | quadrático | linear | quadrático |
| BA | | *** | - | *** | - | *** | - |
| BU | | *** | - | *** | - | *** | - |
| PA | | ** | ** | ns | ns | * | * |
| CEa | | ** | - | ns | - | *** | - |
| CPa | | * | * | ns | ns | * | * |

¹%, percentagem de composto na mistura.

² mds, mínima diferença significativa.

³ Valor de F: ns, não significativo; significativo para *p≤0,05; ** p≤0,01 e *** p≤0,001.

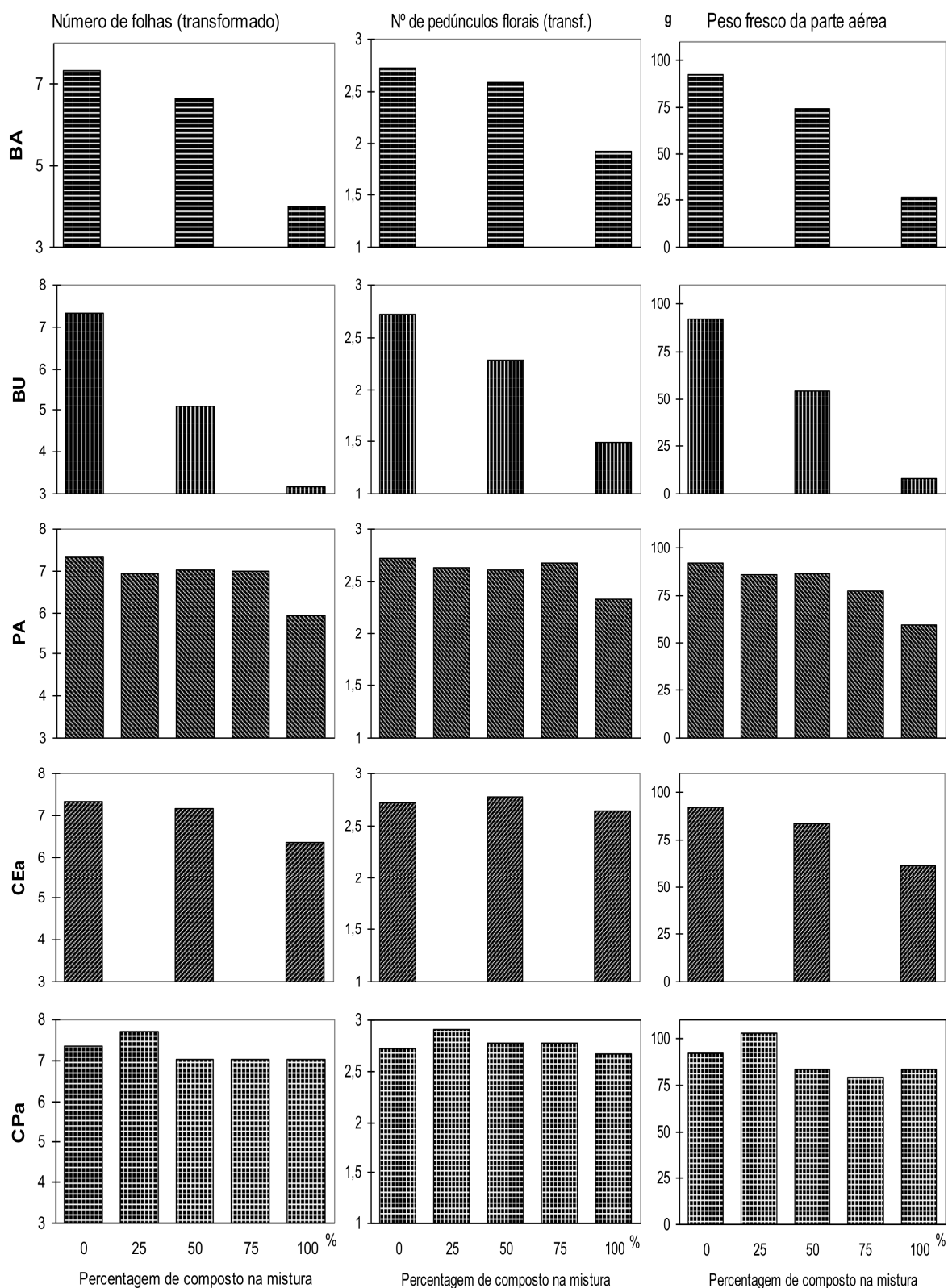


Figura 33 - Valor médio do transformado do número de folhas, do transf. do número de lançamentos axilares e do peso fresco da parte aérea das plantas da 1ª cultura de pelargônio, no substrato testemunha (0) e nas misturas (25, 50, 75 e 100%) com composto de bagaço de azeitona (BA), bagaço de uva (BU), polpa de alfarroba (PA) e, casca de eucalipto (CEa) e de pinheiro (CPa) da 1ª compostagem

O aumento da incorporação de composto de polpa de alfarroba (PA) fez baixar ligeiramente os valores do número de folhas, número de lançamentos axilares e peso fresco da parte aérea (Fig. 33), mas mesmo assim o comportamento das misturas com PA não se diferenciou do da testemunha (Quadro 66).

Com o composto de casca de eucalipto da 1ª compostagem (CEa) ocorreu um ligeiro decréscimo dos valores das variáveis, com o aumento da incorporação de composto (Fig. 33). Mesmo assim o comportamento das misturas com 50 e 100% de CEa, não se diferenciou do comportamento da testemunha.

O mais elevado número de folhas, número de lançamentos axilares e peso fresco da parte aérea foram obtidos na mistura com 25% de composto de casca de pinheiro da primeira compostagem (CPa). Todas as misturas com CPa, apresentaram um bom comportamento, muito semelhante ao da testemunha.

Os compostos BA e BU, estudados apenas em duas misturas (50 e 100%), apresentaram um comportamento inferior aos restantes compostos. Com CEa e com os compostos estudados em quatro misturas, PA e CPa, o comportamento foi diferente. Com PA verificaram-se bons resultados na maioria das misturas, apresentando apenas o composto estreme um comportamento inferior ao da testemunha, numa das três variáveis seleccionadas (Quadro 66). Com CPa, o comportamento observado nas deste composto, foi muito semelhante ao da testemunha.

As condições em que decorreu P1, foram semelhantes às de uma situação real, nomeadamente a época de cultura, tendo-se verificado um bom comportamento das misturas com composto de casca de pinheiro, polpa de alfarroba e casca de eucalipto, não se diferenciando o comportamento de qualquer das misturas destes compostos, do comportamento da testemunha, excepto no substrato com 100% de PA, quanto ao número de folhas (Quadro 66).

O menor crescimento observado em PA e CEa estremes, resultou da menor disponibilidade de AFU destes compostos. Esta diferença não se manifestou em CPa, devido possivelmente ao maior teor de azoto neste composto relativamente à CEa (Whitcomb, 1984) nutriente para o qual a correlação global com as variáveis de crescimento determinadas foi positiva, embora sem atingir valores significativos (Quadros 61 e 62). Com BA o comportamento da mistura com 50% não se diferenciou do da testemunha, mas com BU a 50% já se obteve um comportamento inferior.

2ª cultura de pelargónio em vaso

A 2ª cultura de pelargónio em vaso (P2) iniciou-se cerca de 1 mês mais cedo, do que no primeiro ano, mas durou igualmente 7 semanas. No final de P2, verificou-se, que embora apresentando já cerca de 50% das plantas um aspecto comercial, o seu desenvolvimento vegetativo era relativamente inferior ao das plantas da primeira cultura.

Efectuou-se inicialmente uma rega diária, mas rapidamente se passou a dias alternados, algumas vezes mesmo com intervalo de 2 dias, por se constatar visualmente um excessivo teor de água nos substratos. Este excesso de humidade, com uma aparente maior gravidade nas misturas com maior incorporação de turfa, poderia ter induzido alguma restrição ao crescimento.

A EC da solução de rega manteve-se entre 1,8 e 2,2 dS m⁻¹.

Tal como em P1, observou-se o amarelecimento do bordo das folhas poucos dias após a aplicação do regulador de crescimento, efectuada aos 15 e aos 21 dias após a plantação, situação que se manteve cerca de duas semanas. Este sintoma praticamente não se observava no final da cultura e parece comprovar a acção fitotóxica do cloromequato (Shanks, 1982).

Apresentam-se no Quadro 67 os valores das variáveis seleccionadas.

Nas misturas com BA verificou-se uma melhoria do comportamento, com o aumento da incorporação de composto na mistura (Quadro 67 e Fig. 34). Este comportamento foi o inverso do observado em P1, em que se verificou um decréscimo dos valores das variáveis com o aumento do teor de composto na mistura. Só a mistura com 25% de BA apresentou comportamento inferior ao da testemunha.

O comportamento das misturas com BU foi o pior de todos os compostos, apresentando as misturas com 25 e 50% de BU um comportamento inferior ao da testemunha. Contrariamente ao ocorrido em P1, não se observou o decréscimo dos valores das variáveis com o aumento do teor de composto nas misturas.

Todas as misturas com PA apresentaram um bom comportamento, não se verificando diferenças significativas relativamente à testemunha. As misturas com PA apresentaram um melhor comportamento que em P1, não se observando o efeito depressivo do aumento do teor de incorporação do composto, verificado em P1.

Foram elevados o número de folhas, número de lançamentos axilares e peso fresco da parte aérea, na mistura com 25% de CEa e na testemunha. Nas misturas com CEb, ocorreu uma variação semelhante à verificada com este composto em P1, isto é, o decréscimo dos valores dos variáveis com o aumento da incorporação de composto na mistura. Mesmo assim, nenhum dos tratamentos se diferenciou da testemunha.

Quadro 67 - Transformado do número de folhas (tNF), transf. do número de lançamentos axilares (tNA) e peso fresco da parte aérea (PFPA) das plantas de pelargônio, no final da 2ª cultura em vaso

| Substrato | Composto % ¹ | Variável | | | | | |
|--|----------------------------|---------------------|------------|----------|------------|--------|------------|
| | | tNF | tNA | PFPA (g) | | | |
| Testemunha | | 6,2 | 2,4 | 49,1 | | | |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | 4,3 | 1,7 | 19,3 | | | |
| | 50 | 4,9 | 1,9 | 26,1 | | | |
| | 75 | 5,3 | 2,2 | 37,8 | | | |
| | 100 | 5,7 | 2,2 | 42,2 | | | |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | 3,3 | 1,4 | 9,9 | | | |
| | 50 | 4,1 | 1,7 | 21,4 | | | |
| | 75 | 4,6 | 1,7 | 24,9 | | | |
| | 100 | 3,8 | 1,5 | 15,1 | | | |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 5,6 | 2,0 | 36,0 | | | |
| | 50 | 5,5 | 2,0 | 43,2 | | | |
| | 75 | 5,8 | 2,1 | 46,2 | | | |
| | 100 | 5,6 | 2,3 | 41,2 | | | |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | 6,2 | 2,4 | 53,9 | | | |
| | 50 | 6,3 | 2,2 | 37,8 | | | |
| | 75 | 5,4 | 2,1 | 32,8 | | | |
| | 100 | 5,2 | 2,1 | 33,9 | | | |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 5,4 | 2,2 | 36,9 | | | |
| | 50 | 5,7 | 2,1 | 42,8 | | | |
| | 75 | 5,8 | 2,2 | 41,7 | | | |
| | 100 | 5,5 | 2,2 | 39,1 | | | |
| Casca de eucalipto (2ª compostagem, CEb) | 25 | 6,0 | 2,2 | 48,6 | | | |
| | 50 | 5,6 | 2,1 | 41,6 | | | |
| | 75 | 5,9 | 2,3 | 50,4 | | | |
| | 100 | 5,4 | 2,1 | 36,4 | | | |
| Casca de pinheiro (2ª compostagem, CPb) | 25 | 3,9 | 1,5 | 16,3 | | | |
| | 50 | 5,4 | 1,7 | 38,9 | | | |
| | 75 | 4,2 | 1,6 | 24,4 | | | |
| | 100 | 6,0 | 2,2 | 51,7 | | | |
| mds (Tukey) ² | | 1,8 | 0,8 | 25,1 | | | |
| ANOVA | | | | | | | |
| Significancia ³ | | | | | | | |
| modelo | | *** | *** | | *** | | |
| tratamentos | | *** | *** | | *** | | |
| | | Efeito ³ | | | | | |
| Misturas com: | | linear | quadrático | linear | quadrático | linear | quadrático |
| BA | | * | ns | ns | ns | ** | * |
| BU | | ns | * | ns | ns | ns | * |
| PA | | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CEa | | *** | * | * | * | *** | *** |
| CPa | | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CEb | | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CPb | | ns | ns | * | ns | * | * |

¹%, percentagem de composto na mistura.

² mds, mínima diferença significativa.

³ Valor de F: ns, não significativo; significativo para *p≤0,05; ** p≤0,01 e *** p≤0,001.

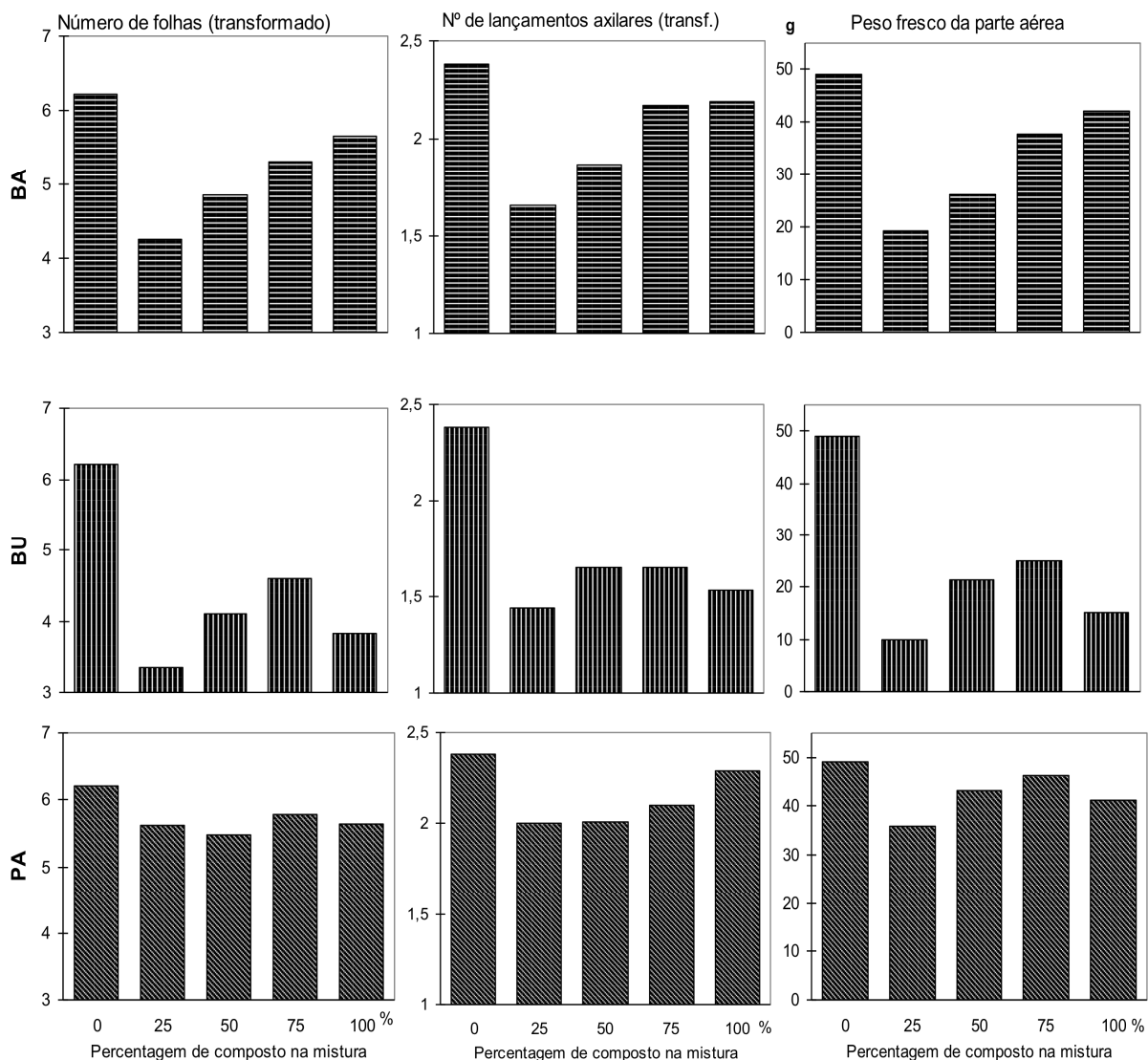


Figura 34 - Valor médio do transformado do número de folhas, do transf. do nº de lançamentos axilares e do peso fresco da parte aérea das plantas na 2ª cultura de pelargônio, no substrato testemunha (0) e nas misturas (25, 50, 75 e 100%) com composto de bagaço de azeitona (BA), bag. de uva (BU), polpa de alfarroba (PA) e, casca de eucalipto (CEa) e de pinheiro (CPa) da 1ª compostagem (cont. na pág. seguinte).

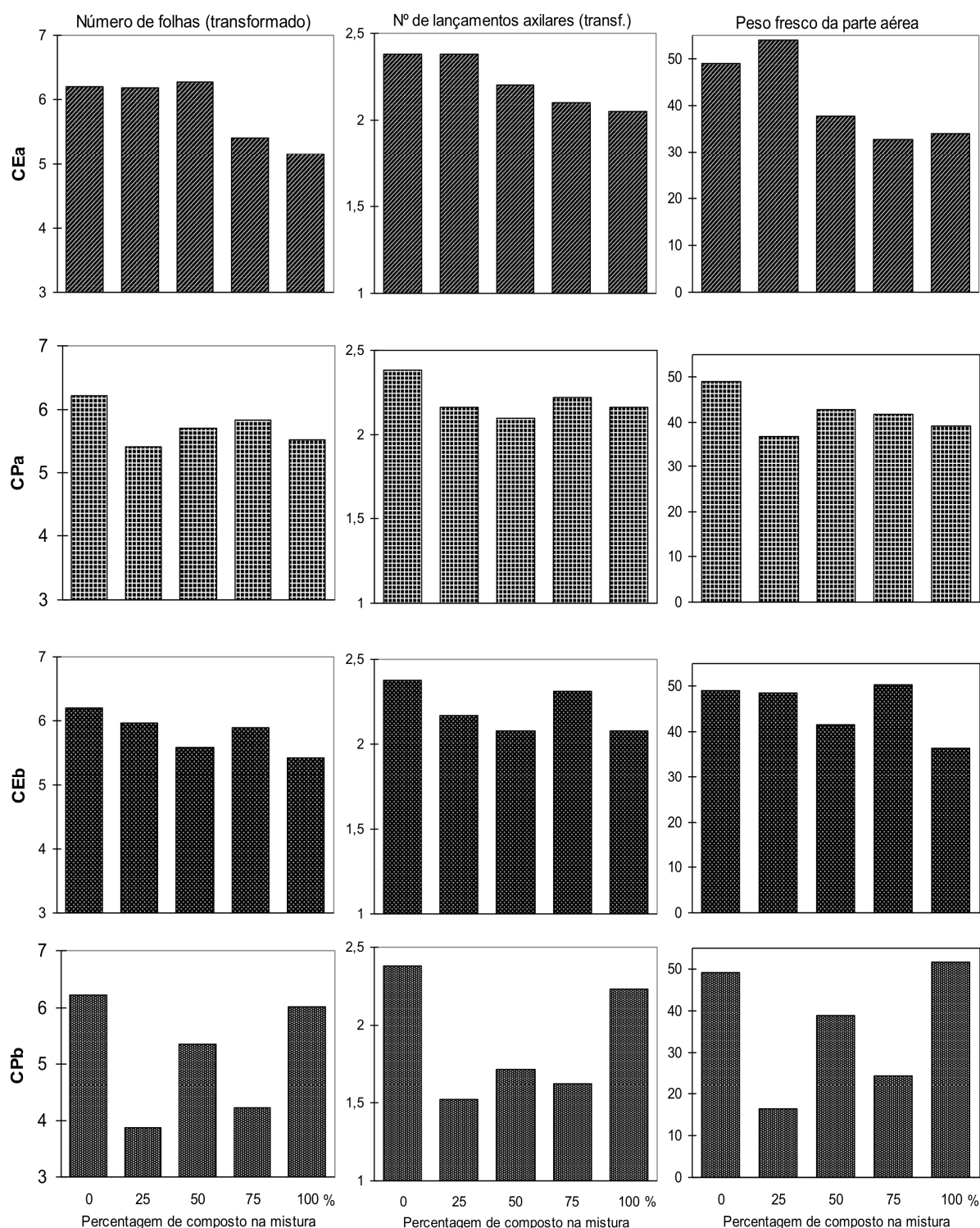


Figura 34 (continuação da pág. anterior) - Valor médio do transformado do número de folhas, do transf. do nº de lançamentos axilares e do peso fresco da parte aérea das plantas da 2ª cultura de pelargônio, no substrato testemunha (0) e nas misturas (25, 50, 75 e 100%) com composto de bagaço de azeitona (BA), bagaço de uva (BU), polpa de alfarroba (PA) e, casca de eucalipto (CEa) e de pinheiro (CPa) da 1ª compostagem.

Verificou-se uma grande homogeneidade no comportamento das misturas com casca de pinheiro da 1ª compostagem, não se diferenciando nenhuma das misturas da testemunha. O comportamento das misturas com composto de casca de pinheiro da 2ª compostagem foi

inferior ao das misturas com composto da 1ª compostagem. Duas das misturas com CPb, com 25 e com 75% de composto, apresentaram um comportamento inferior ao da testemunha.

No segundo ensaio de cultura de pelargônio em vaso, o melhor comportamento observou-se no substrato testemunha e, nas misturas com 25% de CEa e 100% de CPb.

Este diferente comportamento das misturas dos compostos, explica-se pelas diferentes condições climáticas em que os ensaios decorreram. O 2º ensaio de cultura de pelargônio (P2) iniciou-se em 21 de Fevereiro, enquanto que no ano anterior (P1), se tinha iniciado a 18 de Março, aproximadamente 1 mês mais tarde. A temperatura média do ar não foi muito diferente. Em P2 a temperatura média do ar foi 1,8 °C mais baixa que em P1, respectivamente 18,6 e 20,4 °C. Contudo, outros aspectos como a menor duração do dia e intensidade da radiação, são de considerar na explicação das diferentes exigências hídricas. Assim, verificou-se no segundo ensaio a necessidade de reduzir a frequência de rega por se constatar uma humidade excessiva das misturas ao regar diariamente. Estas condições ambientais propiciaram, a nível das misturas, um comportamento relativo aparentemente bom das misturas com mais composto e, sobretudo dos compostos com menor capacidade de retenção de água, BA e BU.

Houve um maior número de tratamentos com resultados idênticos aos da testemunha (Quadro 67), devido às condições de restrição de crescimento durante o ensaio, as quais fizeram sobressair menos, as diferenças entre as misturas.

4.3.2.3. Influência das características dos substratos no crescimento das plantas em vasos

Para tentar compreender o diferente comportamento dos substratos observado nos dois ensaios de cultura de pelargônio, relacionaram-se as características dos substratos com as variáveis relativas ao crescimento das plantas (Quadro 68). As características físicas foram determinadas nos componentes das misturas e, a partir destes valores, por adição dos valores das variáveis físicas de cada um dos componentes de acordo com o seu teor de incorporação, obtiveram-se os valores das características físicas para as misturas. Este cálculo foi possível devido à elevada correlação, verificada anteriormente, entre as características físicas observadas e, as calculadas por este processo (Fig. 23).

O número de variáveis correlacionadas significativamente foi muito superior em P1 que em P2. Assim, é evidente que em condições de maior evapotranspiração (P1), o crescimento das plantas foi mais condicionado pelas características físicas dos substratos, nomeadamente pela disponibilidade de água. Como para um mesmo espaço poroso total, uma maior disponibilidade de água implica uma menor capacidade de arejamento, a correlação do crescimento das plantas com a capacidade de arejamento foi negativa (Quadro 68).

Quadro 68 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas e das variáveis relativas ao crescimento das plantas, nos 1º e 2º ensaios de cultura de pelargónio

| Variável ² | 1º Ensaio ³ | | | 2º Ensaio ³ | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------|----------|------------------------|--------|--------|
| | tNF | tNA | PFPA | tNF | tNA | PFPA |
| daps | -0,354 | -0,306 | -0,432 | 0,071 | 0,178 | -0,005 |
| EPT | 0,564** | 0,548* | 0,617** | -0,001 | -0,105 | 0,029 |
| CA | -0,774** | -0,918** | -0,776** | -0,115 | -0,110 | 0,003 |
| AFU | 0,762** | 0,755** | 0,826** | 0,040 | -0,022 | -0,015 |
| AR | 0,794** | 0,836** | 0,812** | 0,126 | 0,088 | 0,035 |
| ADU | 0,453* | 0,531* | 0,364 | 0,208 | 0,237 | 0,076 |
| AU | 0,784** | 0,781** | 0,838** | 0,054 | -0,005 | -0,007 |
| AT | 0,812** | 0,842** | 0,827** | 0,122 | 0,085 | -0,023 |
| N(O ₃ +H ₄) x | 0,428 | 0,477* | 0,352 | 0,337 | 0,329 | 0,339 |
| P ₂ O ₅ x | -0,347 | -0,386 | -0,412 | 0,087 | 0,174 | 0,074 |
| K ₂ O x | -0,761** | -0,807** | -0,771** | -0,207 | -0,128 | -0,189 |
| N(O ₃ +H ₄) t | 0,376 | 0,435* | 0,296 | 0,257 | 0,222 | 0,304 |
| P ₂ O ₅ t | -0,292 | -0,247 | -0,337 | -0,033 | -0,104 | 0,092 |
| K ₂ O t | -0,760** | -0,800** | -0,772** | -0,224 | -0,158 | -0,179 |
| nº de observações | 15 | 15 | 15 | 29 | 29 | 29 |

¹ Coeficiente de correlação significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; sem indicação, não significativo.

² daps, densidade aparente seca; EPT, espaço poroso total; CA, capacidade de ar; AFU, água facilmente utilizável; AR, água de reserva; ADU, água dificilmente utilizável; AU, água utilizável; AT, água total; N-(O₃+H₄), soma do teor de azoto nítrico e amoniacal; P₂O₅, teor de fósforo; K₂O, teor de potássio; x, quantidade extraível; t, soma da quantidade extraível e da adicionada na forma de adubo sólido ao efectuar as mistura (igual ao presente no substrato testemunha, não inclui o adubo de libertação lenta).

³ tNF, transformado do nº de folhas; tNA, transf. do nº de lançamentos axilares; PFPA, p. fresco da parte aérea.

A correlação negativa com os teores de fósforo e de potássio resultou, como nos viveiros de tomate, do mais elevado teor destes elementos nos compostos, o que determinou que as misturas com mais composto (e menor capacidade de retenção de água) apresentassem um comportamento inferior.

Nas correlações apenas com as misturas de cada composto, tal como anteriormente, o reduzido número de observações reduziu a potência da análise estatística. Ao calcular estas correlações apenas com os valores relativos às misturas com cada composto, estava-se na realidade a relacionar os valores da percentagem de incorporação de composto com as variáveis de crescimento, pelo que os coeficientes de correlação apresentavam o mesmo valor para todas as correlações.

Nas misturas com BU e CP nunca se observaram correlações significativas (Quadro 72).

Em P1, com PA e CPa, substratos com suficiente número de misturas, manteve-se o padrão de comportamento observado para a correlação global, isto é, uma correlação positiva com a retenção de água e negativa com a capacidade de arejamento (Quadros 70 e 72).

Em P2, os substratos considerados globalmente, manifestaram um menor condicionamento do crescimento devido em parte, ao facto de a relação entre propriedades de substratos e o crescimento, tomar sentidos inversos segundo o composto. Por exemplo, a

capacidade de arejamento, que globalmente não se correlacionava significativamente com o crescimento, manifestou correlação significativa e positiva em BA e PA, significativa e negativa em CEa e, não significativa, positiva ou negativa, nos restantes compostos (Quadros 69 a 72).

Quadro 69 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de azeitona e das variáveis determinadas nas plantas das 1ª e 2ª culturas de pelargónio

| Variáveis | 1º Ensaio ² | | | 2º Ensaio | | |
|---------------------------|------------------------|-----|------|-----------|---------|---------|
| | tNF | tNA | PFPA | tNF | tNA | PFPA |
| daps, CA, Nutrientes | - | - | - | 0,992** | 0,958* | 0,987* |
| EPT, AFU, AR, ADU, AU, AT | - | - | - | -0,992** | -0,958* | -0,987* |

¹ Coeficiente de correlação significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; sem indicação, não significativo; n° de observações: 4.

² Sem número suficiente de observações.

Quadro 70- Coeficientes correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de polpa de alfarroba e das variáveis determinadas nas plantas das 1ª e 2ª culturas de pelargónio

| Variável | 1º Ensaio | | | 2º Ensaio | | |
|---------------------------|-----------|--------|--------|-----------|----------|--------|
| | tNF | tNA | PFPA | tNF | tNA | PFPA |
| daps, CA, Nutrientes | -0,754 | -0,679 | -0,902 | 0,377 | 0,992** | 0,560 |
| EPT, AFU, AR, ADU, AU, AT | 0,754 | 0,679 | 0,902 | -0,377 | -0,992** | -0,560 |

¹ Coeficiente de correlação significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; sem indicação, não significativo; n° de observações: 4.

Quadro 71- Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de eucalipto e das variáveis determinadas nas plantas das 1ª e 2ª culturas de pelargónio

| CEa | 1º Ensaio | | | 2º Ensaio | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|---------|--------|
| | tNF | tNA | PFPA | tNF | tNA | PFPA |
| daps, CA, ADU e Nutrientes | -. ² | -. ² | -. ² | -0,917 | -0,966* | -0,859 |
| EPT, AFU, AR, AU e AT | -. ² | -. ² | -. ² | 0,917 | 0,966* | 0,859 |

| CEb | 1º Ensaio | | | 2º Ensaio | | |
|----------------------------|-----------|-----|------|-----------|--------|--------|
| | tNF | tNA | PFPA | tNF | tNA | PFPA |
| daps, CA, Nutrientes | - | - | - | -0,678 | -0,048 | -0,555 |
| EPT, AFU, AR, ADU, AU e AT | - | - | - | 0,678 | 0,048 | 0,555 |

¹ Coeficiente de correlação significativo para: * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; sem indicação, não significativo; n° de observações: 4.

² Sem número suficiente de observações.

Quadro 72- Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com casca de pinheiro e das variáveis determinadas nas plantas das 1ª e 2ª culturas de pelargônio

| CPa | | 1º Ensaio | | | 2º Ensaio | | |
|----------------------------|--|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| Variável | | tNF | tNA | PFPA | tNF | tNA | PFPA |
| daps, CA, ADU e Nutrientes | | -0,790 | -0,947 | -0,756 | 0,309 | 0,316 | 0,268 |
| EPT, AFU, AR, AU e AT | | 0,790 | 0,947 | 0,756 | -0,309 | -0,316 | 0,268 |
| CPb | | | | | tNF | tNA | PFPA |
| daps, CA, e Nutrientes | | - | - | - | 0,690 | 0,833 | 0,755 |
| EPT, AFU, AR, ADU, AU e AT | | - | - | - | -0,690 | -0,833 | -0,755 |

¹ Coeficientes de correlação não significativos; nº de observações: 4.

Conforme se referiu ao avaliar a resposta das plantas no ensaio P2 (cap. 4.3.2.2), o diferente comportamento das misturas estudadas nos dois ensaios em vaso, deve-se às diferentes condições climáticas em que os ensaios decorreram, nomeadamente quanto a nível de temperatura e a radiação recebida.

No entanto, em P2, a interpretação dos resultados culturais baseada nas características físicas determinadas não permite explicar os resultados de algumas das misturas com baixa percentagem de composto, relativamente à testemunha, cujas propriedades físicas apresentaram valores muito próximos. Assim, por exemplo, a mistura com 25% de BA, que apresentava características físicas mais parecidas com as da testemunha (Quadros 35 e 37) do que as restantes misturas deste composto, foi, pelo contrário, a mistura que apresentou maiores diferenças culturais relativamente à testemunha (Quadro 67 e Fig. 34).

Para poder explicar estes resultados pode considerar-se a existência de uma zona de descontinuidade capilar entre o vaso de papel com a estaca enraizada e a mistura do vaso. Admitiu-se, que se tenha estabelecido uma mais completa continuidade capilar entre o material do vaso de papel com a estaca e a turfa do substrato testemunha, do que, com as misturas com BA, BU e CPb, onde se observou uma redução de crescimento com a redução da proporção de composto (Quadro 67 e Fig. 34). Nas misturas com BA, BU e CPb, a continuidade capilar seria incompleta e a um nível semelhante em todas as misturas. Pode-se admitir um incompleto contínuo capilar, se se considerar que os compostos referidos: BA, BU e CPb, têm em comum o facto de serem constituídos por partículas relativamente granulares, que poderão dificultar o estabelecimento do contacto com o vaso de papel. Sabe-se, por outro lado, que após a plantação, se observou uma humidade excessiva nos substratos, que obrigou a reduzir a

frequência de rega, estando as plantas ainda com um reduzido desenvolvimento vegetativo, isto é, poderiam ter-se verificado condições transitórias de asfixia radicular.

Nas condições de P2, de mais baixa temperatura e radiação relativamente a P1, o movimento de água no meio depende mais do gradiente de potencial matricial (capilaridade) do que do gradiente devido à evapotranspiração. O gradiente devido à evapotranspiração é mais importante em condições de temperatura, radiação e desenvolvimento vegetativo elevados das plantas. Então, depois de se regar e de ocorrer a drenagem, caminhar-se-ia para o equilíbrio do conteúdo de água no meio descontínuo formado pelo vaso de papel e pelo restante material, o que é comandado pela capilaridade estabelecida entre estas duas partes. No substrato testemunha, devido à maior eficiência da condutividade capilar estabelecida com o vaso de papel, atingir-se-ia um teor de água no vaso de papel dependente apenas da sua altura manométrica, função da sua posição no vaso, aproximadamente 6 a 9 cm de coluna de água. Os substratos formados por composto a 100%, apresentariam após drenagem, o teor mais baixo de água das misturas, o que levaria a um maior decréscimo do teor de água no vaso de papel. Contudo, como a sua eficiência da condutividade capilar com o vaso de papel era mais baixa que na testemunha, a água no vaso de papel não seria tão extraída, pelo que, o seu teor de água após a drenagem seria superior ao existente na testemunha.

Nas misturas com 75% de composto e teores inferiores, para uma idêntica eficiência da capilaridade entre os dois meios e para uma crescente capacidade de retenção de água, a quantidade de água presente no vaso de papel após a drenagem, seria sucessivamente maior. Isto conduziria, nas condições ambientais de P2, a um mais prolongado efeito de alagamento na mistura com apenas 25% de composto, sucessivamente menor com o aumento da incorporação deste. A testemunha, apesar de possuir a maior capacidade de retenção de água, seria o substrato, que após o processo de reequilíbrio do teor de água entre duas regas consecutivas, apresentaria o mais baixo teor de água no vaso de papel, pelo que, as plantas aí cultivadas teriam sofrido menor restrição de crescimento por asfixia radicular temporária.

Quanto mais prolongado o alagamento temporário após a rega, menor é a taxa de crescimento das plantas (Bradford, 1983). O menor crescimento das plantas acentua o efeito do alagamento, pois a extracção de água do meio, outra forma de se poder reduzir o período de alagamento, será mais reduzida relativamente às misturas que proporcionaram um maior crescimento.

Nas misturas com BU a explicação dos resultados culturais seguiu este padrão de comportamento, mas mesmo nas misturas com maior incorporação de composto o comportamento melhorou pouco (Figura 34). O BU foi o composto com menor teor de AFU, 1,9%, variável que nos outros compostos se situou acima dos 5%. Com um teor de AFU tão

baixo, a recuperação posterior dos efeitos do alagamento, seria restringida nas misturas com maior proporção de BU (75 e 100%) por deficiência de disponibilidade de água no meio.

O padrão de resposta, apoiado na eficiência da continuidade capilar entre o vaso de papel e o substrato em estudo, permite explicar também o relativamente reduzido crescimento observado nas misturas com 25% de PA, CPa e CPb.

Nas misturas com CEa, à luz da teoria proposta, as condições iniciais de restrição de desenvolvimento (deficiente contínuo capilar) não teriam ocorrido, o que se poderá compreender atendendo à diferente natureza física das partículas do composto CEa, que permitiria uma maior eficiência de contacto entre os dois substratos, o do vaso de papel com a estaca enraizada e a mistura do vaso. Nas misturas com CEa, o desenvolvimento das plantas teria sido condicionado pela disponibilidade de água da mistura, sendo favorecidas as misturas com menos composto.

Sendo os resultados culturais consequência dos fenómenos descritos, não se poderá intuir da qualidade intrínseca dos substratos estudados, mesmo limitada às condições do ensaio, uma vez que o comportamento dos substratos não foi uma consequência directa das suas propriedades, mas foi antes, condicionado pela relação estabelecida com o substrato do vaso de papel.

No final de P1 constatou-se um deficiente desenvolvimento radicular em BA e BU extremes, que sugeria condições de asfixia radicular. Estes dois materiais apresentaram no entanto um baixo teor de água disponível e elevada CA.

As condições em que o ensaio P1 decorreu foram relativamente mais exigentes quanto a evapotranspiração e, as plantas alcançaram um maior desenvolvimento vegetativo. Nestas condições de maior evapotranspiração, o movimento da água é accionado sobretudo pela evaporação da água da superfície do substrato e pela absorção pelas plantas, de que resulta um elevado gradiente de potencial de água no meio.

Na distribuição granulométrica das partículas dos compostos BA e BU, predominaram as partículas da classe de 2 a 5 mm, respectivamente em 53 e em 70% (p/p) (Quadros 10 e 12). A predominância de partículas grosseiras origina um espaço poroso caracterizado por poros de relativamente maior dimensão, do que noutros materiais com uma distribuição granulométrica mais equilibrada, em que há maior interposição de partículas.

Na fase inicial da cultura e devido à forte evaporação, a capilaridade seria mais facilmente interrompida nas camadas superficiais das misturas com BA e BU extremes. Consequentemente, ter-se-ia estabelecido uma zona inferior saturada de água, dado que o intervalo de tempo entre regas seria curto para a drenagem completa do meio e, a tensão a que esta água se encontra era bastante baixa, de poucos centímetros de coluna de água. Nos

outros compostos, com uma capilaridade mais fina, a condução de água não é interrompida, a saída de água pela superfície do substrato era maior, homogeneizando-se o teor de água no meio e eliminando-se zonas saturadas de água.

Com o desenvolvimento da cultura, as raízes nas misturas com 100% de BA e de BU, teriam a sua expansão restringida na zona inferior saturada, diminuindo a taxa de crescimento tanto da parte radical como da parte aérea. Com uma reduzida expansão foliar das plantas nas misturas com 100% de BA e de BU, a absorção de água entre regas sucessivas não era suficiente para retirar a água da zona saturada, permanecendo a condição de asfixia radicular até ao final da cultura.

O menor desenvolvimento das plantas observado em PA e, em menor intensidade em CEa estremes, resultou da sua menor disponibilidade de AFU. Esta diferença não se manifestou em CPa, devido possivelmente ao maior teor de azoto neste composto relativamente à CEa (Whitcomb, 1984).

4.4. Aspectos económicos

O preço é um factor que pode ser determinante na escolha do substrato. Por isso calculou-se o custo final dos compostos obtidos, a partir do preço dos materiais iniciais nos locais de onde se obtiveram para este trabalho e da redução de volume verificada durante o processo ou por crivagem. Consideraram-se os teores de humidade dos materiais empregues. Não se consideraram eventuais variações regionais de preço, nem os encargos com o transporte e a realização do processo de compostagem, semelhantes para cada material, mas variáveis em cada caso particular (Quadro 73). Na compostagem de casca de pinheiro em pilhas ao ar livre com volteio mecânico, estes custos podem ascender a 2 a 3 vezes o custo de aquisição do resíduo (André Welsh, comunicação pessoal).

Quadro 73 - Estimativa do custo dos compostos obtidos, considerando o custo dos materiais na origem e a redução de volume durante a compostagem ou por crivagem. Valores em Agosto de 1996

| Material | Preço de aquisição | | Preparação para a compostagem | | Preço final ² | |
|----------|--------------------|-----------|-------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| | por kg | por litro | moenda | suplemento de azoto | Inteiro | Crivado ³ |
| BA | 6\$00 | 3\$72 | não | sim | 4\$43 | 4\$43 |
| BU | 2\$50 | 1\$04 | não | não | 1\$25 | 1\$34 |
| PA | 13\$25 | 2\$95 | não | não | 5\$36 ¹ | 10\$47 |
| CEb | 1\$00 | 0\$13 | não | sim | 0\$27 | 0\$61 |
| CPb | 2\$50 | 0\$61 | sim | sim | 0\$63 | 0\$90 |

¹ Para o cálculo considerou-se um teor de humidade de 30% para o material seco ao ar.

² Preço por litro de composto.

³ Com o crivo de 5 mm.

Os preços de aquisição referidos são os do material fresco, armazenado ao ar livre, no local de obtenção. O custo real do composto dependerá, assim, do teor de humidade que o material entretanto tiver adquirido, sendo por isso tanto mais baixo quanto mais seco este se encontrar. No caso das cascas compostadas, consideraram-se no cálculo de custos, o teor de humidade, densidade aparente, redução de volume durante a compostagem e rendimento à crivagem dos materiais da segunda compostagem.

O bagaço de azeitona é obtido do processo industrial com um teor muito baixo de humidade, entre 3 a 5% no caso do lagar de onde proveio o material utilizado. Pelo contrário, a polpa de alfarroba, é obtida com um teor de humidade muito elevado, o que dificulta inclusivamente a sua comercialização. A casca de eucalipto, segundo a informação recolhida junto da empresa, não é comercializada habitualmente, sendo o preço indicado apenas um valor simbólico, utilizado nas poucas transações efectuadas.

A turfa de *sphagnum* utilizada nas misturas (Floratorf), segundo a informação do respectivo importador, tem um preço actual entre 8\$80 e 10\$64 por litro, embalada em sacos de 300 ou de 250 L.

Actualmente e, considerando que o custo final do material compostado será substancialmente aumentado pelos encargos com o transporte e a compostagem, verifica-se que as cascas de pinheiro e de eucalipto foram os materiais que conduziram a produtos finais mais baratos, a preços competitivos com a turfa (Quadro 73). O bagaço de uva apresentou um preço mais elevado, mas que poderá ser ainda competitivo. O bagaço de azeitona apresentou um custo alto. A polpa de alfarroba apresentou um custo muito elevado, superior ao da turfa.

No custo dos compostos há ainda que considerar os benefícios sociais e ambientais decorrentes da reciclagem dos resíduos. Actualmente, com excepção para a casca de pinheiro que se emprega bastante na cobertura de espaços livres, as alternativas à compostagem dos resíduos estudados são a incineração ou a sua deposição em lixeiras, controladas ou não. Os benefícios sociais e ambientais da reciclagem deverão ser contabilizados e este valor deduzido ao custo final dos compostos.

Ao considerar o custo de um substrato há que atender não apenas ao seu custo absoluto, mas também ao seu custo relativo, ou seja, à importância do custo do substrato no custo final da planta produzida. Deste modo, considerando por exemplo, um substrato que custe 10\$00 por litro e outro que custe o dobro, esta diferença traduz-se na prática por um encargo de \$35 e de \$70 respectivamente, para alvéolos de 35 cm³. Na produção de plantas em placas alveoladas, idênticas às empregues nos viveiros que foram realizados neste trabalho, esta diferença pode ser pouco significativa no custo total de uma planta de viveiro, que, para uma planta de tomate, variou entre 16\$00 e 20\$00 na presente época, no Algarve. Acresce ainda, que o emprego de um substrato mais caro, se lhe corresponder uma melhoria real das suas propriedades, terá um maneio menos exigente e permitirá um crescimento mais rápido e equilibrado das plantas, com vantagens económicas que poderão compensar o maior investimento efectuado.

Outro aspecto com cada vez maior importância é a manifestação de supressividade por parte de compostos, o que também se reflecte economicamente através da redução de perdas de plantas e dos encargos com fungicidas e a sua aplicação.

5. Testagem das plantas no campo

5.1. Material e métodos

As plantas de tomate provenientes do 2º Viveiro foram plantadas ao ar livre, para avaliar a influência das características das plantas de viveiro na produtividade da cultura. Utilizaram-se plantas de todos os 21 tratamentos do ensaio. O ensaio foi delineado em 4 blocos casualizados, com 2 plantas por tratamento. Plantou-se em 21 de Fevereiro de 1994, em camalhões de 0,8 m, afastados 0,4 m, em linha dupla a 0,45 x 0,45 m, a que corresponde a uma densidade de 3,7 plantas m⁻². As plantas foram conduzidas em haste única, utilizando-se fio plástico como tutor. Colheu-se de 14 de Junho a 11 de Julho de 1994. O solo foi previamente mobilizado com cultivador rotativo e aplicou-se uma fertilização de fundo com 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O. Efectuaram-se três fertilizações de cobertura doseando no total 50 kg ha⁻¹ de N. Empregou-se um sistema de rega localizada, com gotejadores de 2 L h⁻¹, espaçados de 0,3 m e realizaram-se os tratamentos fitossanitários necessários.

Determinou-se a produção total, o número de frutos e o peso médio do fruto, utilizando todas as plantas do ensaio. Determinou-se ainda a produção precoce, o número de frutos e, o peso médio dos frutos da produção precoce. Como produção precoce considerou-se a produção das duas primeiras colheitas, de um total de quatro colheitas.

5.2. Resultados e Discussão

A produção total e o número de frutos (frutos totais e precoces) das plantas do 2º Viveiro, transplantadas para o campo, variaram significativamente com o tipo de substrato utilizado no viveiro (Quadro 74).

Com BA e BU, somente as misturas com menor incorporação de composto apresentaram valores estatisticamente semelhantes aos da testemunha, sendo inferiores os das restantes misturas. Com BA, BU e CEa o número total de frutos manifestou alguma tendência para diminuir com o aumento de incorporação de composto.

Podem verificar-se diferenças de produtividade, em função de características das plantas no viveiro, tais como o peso, a altura ou área folhear, observando-se estas diferenças com maior frequência na produção precoce (Uffelen, 1988; Uffelen e Maswinkel, 1989). Ao correlacionarem-se os valores médios das variáveis indicadoras do crescimento das plantas no viveiro com a produção obtida no campo, obtiveram-se sempre correlações significativas, evidenciando a influência do desenvolvimento das plantas de viveiro na produção no campo (Quadro 75 e Fig. 35). Correlações altamente significativas também se obtiveram em relação

ao número total de frutos colhidos. Não se observaram, no entanto, correlações significativas relativamente ao peso médio do fruto, por ser uma característica mais estável.

Quadro 74 - Produção e número de frutos das plantas do 2º viveiro de tomate

| Substrato | Mistura ² | Produção total (g) ¹ | Nº total de frutos ¹ | Nº de frutos precoces ¹ |
|--|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Testemunha | - | 1224 a | 15,5 a | 4,0 ab |
| Bagaço de azeitona (BA) | 25 | 946 abc | 12,5 abc | 1,3 c |
| | 50 | 662 bcd | 10,8 abcd | 2,3 abc |
| | 75 | 399 d | 6,8 d | 2,0 bc |
| | 100 | 635 bcd | 8,5 cd | 3,0 abc |
| Bagaço de uva (BU) | 25 | 890 abc | 13,5 abc | 4,3 a |
| | 50 | 816 abcd | 10,0 bcd | 1,8 c |
| | 75 | 663 bcd | 9,0 bcd | 1,8 c |
| | 100 | 553 cd | 8,5 cd | - |
| Polpa de alfarroba (PA) | 25 | 776 abcd | 11,0 abcd | 2,5 abc |
| | 50 | 1072 ab | 13,8 abc | 2,3 abc |
| | 75 | 594 cd | 9,0 bcd | 2,5 abc |
| | 100 | 877 abc | 12,3 abc | 1,3 c |
| Casca de eucalipto (1ª compostagem, CEa) | 25 | 1155 a | 14,3 ab | 2,8 abc |
| | 50 | 963 abc | 13,5 abc | 2,8 abc |
| | 75 | 910 abc | 12,3 abc | 3,0 abc |
| | 100 | 840 abcd | 11,3 abcd | 2,5 abc |
| Casca de pinheiro (1ª compostagem, CPa) | 25 | 932 abc | 13,5 abc | 2,8 abc |
| | 50 | 922 abc | 12,5 abc | 4,0 ab |
| | 75 | 599 cd | 9,0 bcd | 2,3 abc |
| | 100 | 1013 abc | 13,0 abc | 2,3 abc |
| ANOVA | | | | |
| Significância ³ | | | | |
| modelo | | ** | * | * |
| tratamentos | | ** | * | * |
| blocos | | ns | ns | ns |
| S _e | | 270 | 3,2 | 1,1 |

¹ As médias seguidas da mesma letra não são estatisticamente diferentes para $p \leq 0,05$, pelo Teste de Duncan.

² Percentagem de composto na mistura.

³ Significância de F: ns, não significativo; significativo para * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; s_e, erro padrão.

Quadro 75 - Coeficientes de correlação¹ entre as características das plantas no final do 2º viveiro de tomate e a produção total, considerando apenas os tratamentos com materiais alternativos

| Variável ² | Peso total | Número total de frutos | Peso médio dos frutos |
|-----------------------|------------|------------------------|-----------------------|
| D | 0,614** | 0,675** | 0,234 |
| H | 0,579** | 0,636** | 0,230 |
| PFPA | 0,655** | 0,712*** | 0,266 |
| nº de observações | 20 | 20 | 20 |

¹ Valor do coeficiente de correlação significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo.

² D, diâmetro do colo; H, altura; PFPA, peso fresco da parte aérea.

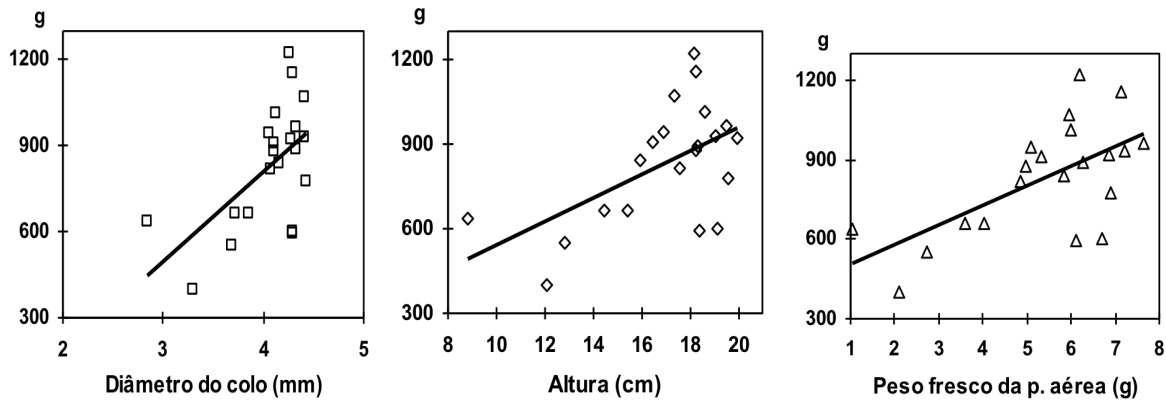


Figura 35 - Correlações das características das plantas no final do 2º viveiro de tomate e da produção total no campo, englobando todas as misturas. Coeficiente de correlação: diâmetro do colo, 0,60; altura, 0,56 e peso fresco parte aérea, 0,63; valores significativos para $p \leq 0,01$.

Os valores das correlações anteriores relativos às misturas com os compostos BA e BU, os que tiveram mais fraco comportamento em viveiro, são mais elevados, embora estatisticamente significativos apenas em BU, do que para as misturas com os outros compostos (Quadro 76).

Quadro 76 - Coeficientes de correlação¹ para cada composto, entre as características das plantas e a produção no final do 2º viveiro de tomate

| Misturas do composto | Produção total | | | Número de frutos | | |
|----------------------|------------------------------------|--------|--------|------------------------------------|--------|--------|
| | Variáveis nas plantas ² | | | Variáveis nas plantas ² | | |
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| BA | 0,652 | 0,628 | 0,744 | 0,801 | 0,772 | 0,859 |
| BU | 0,985* | 0,987* | 0,975* | 0,942 | 0,801 | 0,933 |
| PA | 0,158 | -0,595 | -0,289 | 0,080 | -0,558 | -0,342 |
| CEa | 0,642 | 0,583 | 0,612 | 0,792 | 0,835 | 0,791 |
| CPa | -0,266 | -0,093 | -0,233 | 0,014 | -0,045 | 0,033 |

¹ Coeficiente de correlação significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$; sem indicação, não significativo. N° de observações: 4.

² D, diâmetro do colo; H, altura; PFPA, peso fresco da parte aérea.

Verificou-se que os compostos BA e BU, onde se registou uma correlação positiva, são aqueles em cujas misturas se observou um menor desenvolvimento das plantas. Pelo contrário, observaram-se correlações negativas em misturas de PA, CPa, que conduziram a um maior desenvolvimento vegetativo.

A correlação entre o valor das variáveis diâmetro do colo, altura, peso fresco da parte aérea no viveiro e, a produção total no campo, mostrou duas tendências distintas. A correlação foi positiva até um determinado valor da variável mas, acima desse valor crítico, a correlação foi negativa com excepção das misturas com casca de eucalipto (Fig. 36).

Apesar das correlações anteriormente calculadas não terem sido significativas, existiu uma tendência para uma influência positiva das características físicas das plantas do viveiro na produção no campo. Isto é, um maior desenvolvimento vegetativo no viveiro proporcionou maior produção no campo. Contudo, verificou-se que acima de um determinado valor, o maior crescimento da planta no viveiro influiu negativamente na produção. Os valores críticos para as variáveis determinadas foram de aproximadamente 4 mm para o diâmetro do colo, 17 a 18 cm para a altura e 5 a 6 g para o peso fresco da parte aérea (Fig. 36).

Verificou-se assim, que numa primeira fase a produtividade da cultura aumentou com o aumento do diâmetro, da altura e do peso fresco das plantas no viveiro, mas, quando os valores destas variáveis eram elevados passou a produtividade a diminuir. Esta tendência indica que a máxima qualidade das plantas de viveiro se situa num ponto intermédio dos valores das variáveis observadas. Conforme anteriormente referido (cap. 2.2.5.4), a boa planta de viveiro deverá apresentar um crescimento elevado, mas com algum endurecimento no viveiro, que não comprometa o desenvolvimento após a plantação. Deste modo, a definição do estágio de crescimento óptimo no viveiro será condicionado pelas condições ambientais no local de plantação. No 2º Viveiro a máxima qualidade das plantas terá correspondido aos valores críticos acima referidos

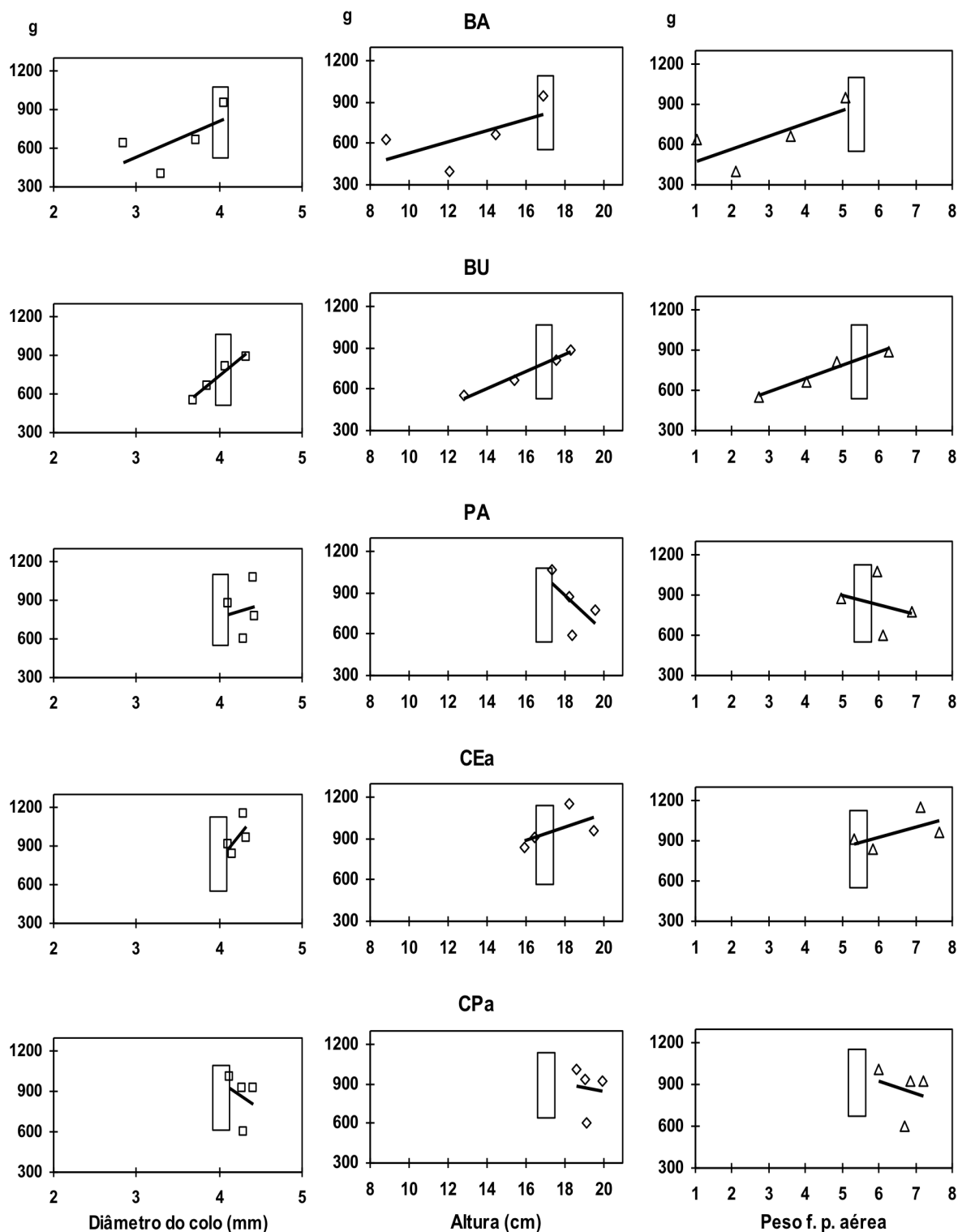


Figura 36 - Correlações das características físicas das plantas no final do 2º viveiro de tomate e da produção total no campo. BA, composto de bagaço de azeitona; BU, composto de bagaço de uva; PA, composto de polpa de alfarroba, CEa, composto de casca de eucalipto da 1ª compostagem e CPa, composto de casca de pinheiro da 1ª compostagem. Valores do coeficiente de correlação, relativamente às variáveis diâmetro do colo, altura e peso fresco da parte aérea, respectivamente: BA, 0,65; 0,63 e 0,74; BU, 0,98*; 0,99* e 0,98*; PA: 0,16, 0,59 e 0,29; CEa, 0,64, 0,58 e 0,61; CPa, 0,26, 0,09 e 0,23; significativo para: * $p \leq 0,05$; sem indicação, não significativo.

6. CONCLUSÕES

6.1. Técnicas de compostagem

Este trabalho permitiu confirmar a possibilidade de utilização de materiais alternativos à turfa como substratos hortícolas. Simultaneamente adquiriu-se um conjunto de conhecimentos práticos e teóricos, relativos à compostagem de resíduos orgânicos e à utilização dos compostos obtidos como componentes de substratos hortícolas, incluindo os respectivos métodos laboratoriais de análise e verificação.

A técnica de compostagem, em caixas de volume relativamente reduzido, isoladas termicamente e com volteio manual, revelou-se capaz de permitir o desenvolvimento de processos normais de compostagem em bagaço de azeitona e de uva, polpa de alfarroba e casca de eucalipto. Para a compostagem de casca de pinheiro e, de acordo com a experiência conhecida, tornam-se necessários volumes bastante superiores, para se alcançarem temperaturas elevadas durante um período razoável. A temperatura relativamente baixa observada durante a compostagem de casca de pinheiro pode ter estado associada a uma redução do oxigénio na atmosfera interna do material. Esta redução de temperatura poderia evitar-se regulando a granulometria na preparação inicial do material e ou, utilizando pilhas mais altas e maior frequência de volteios.

A compostagem utilizando lamas de estação de tratamento de águas residuais urbanas, provocou uma aceleração da fase inicial do processo de compostagem, relativamente ao suplemento azotado na forma de ureia, traduzida num aumento mais rápido e acentuado da temperatura. Em contrapartida, aumentaram as perdas de azoto durante o processo, utilizando lamas como suplemento azotado. Contudo, parte destas perdas poderiam ser devidas a que o suplemento azotado com lamas continha maior quantidade de azoto que o suplemento na forma de ureia. Assim, o suplemento azotado contido nas lamas será vantajoso, desde que se calcule correctamente a quantidade a aplicar para evitar perdas de azoto.

Na compostagem de bagaço de azeitona parece útil a mistura com um agente melhorador da porosidade. Pelo contrário, em casca de eucalipto e polpa de alfarroba, poderá apresentar interesse reduzir as perdas de calor que ocorrem sobretudo por convecção, por exemplo, cobrindo o material em compostagem com composto obtido anteriormente.

O acompanhamento da evolução da temperatura durante o processo de compostagem, apesar de ser um método indirecto, por apenas reflectir a evolução dos factores envolvidos na compostagem, demonstrou ser um valioso indicador do andamento do processo. Quando exista um razoável conhecimento do material inicial e da evolução habitual da temperatura, pode o acompanhamento da evolução da temperatura ser suficiente para o controlo do processo,

complementado com outras determinações em caso de anormalidade ou, para confirmação da evolução observada. As variáveis determinadas em extracto aquoso revelaram-se também bons indicadores do andamento do processo, particularmente a relação do carbono oxidável e do azoto orgânico determinada neste extracto ((C/N)s). À excepção dos materiais que, pela utilização de LETARU, já apresentavam uma baixa relação (C/N)s inicial, nos restantes materiais observou-se um forte decréscimo durante o processo, situando-se os valores finais entre 1,3 e 3,1. Assim, desde que a relação (C/N)s não seja inicialmente muito baixa, como nos materiais compostados com LETARU, os valores finais obtidos poderão servir de referência, sempre que na preparação da amostra e quantificação do carbono se sigam os mesmos procedimentos. O grau de decomposição apresentou interesse apenas em polpa de alfarroba e casca de eucalipto, materiais onde ocorreu maior decomposição. O teor de matéria orgânica relativo ao material total, nos materiais que apresentaram menor alteração: bagaço de azeitona, bagaço de uva e casca de pinheiro da 2ª compostagem, diminuiu de modo pouco significativo. Esta pequena redução aparente torna-se importante, quando se expressa o teor de matéria orgânica relativamente à matéria mineral, permitindo compreender a elevada temperatura atingida em bagaço de azeitona e em bagaço de uva.

O índice de germinação aumentou para níveis favoráveis em todos os materiais, alguns dos quais, de início, se revelaram bastante fitotóxicos como o bagaço de azeitona, o bagaço de uva, a polpa de alfarroba e a casca de pinheiro.

Do ponto de vista físico-químico e químico, as alterações provocadas pela compostagem são bastante favoráveis para a utilização dos resíduos compostados como substratos. O teor de matéria orgânica reduziu-se e esta aumentou a sua estabilidade, evitando problemas na sua utilização em contentor. O teor de azoto orgânico aumentou, por diminuição da massa de material e por incorporação do azoto suplementado, com maior intensidade quando este foi aplicado na forma de ureia. Um aspecto interessante foi a frequente evolução do pH para valores mais favoráveis, com excepção de casca de eucalipto da 2ª compostagem (com ureia). A EC geralmente subiu, mas sem atingir níveis preocupantes, à excepção de casca de pinheiro na 1ª compostagem (com LETARU). A CTC aumentou sensivelmente na maior parte dos materiais.

A nível físico, as variáveis determinadas evoluíram habitualmente de um modo não linear em virtude das interacções que se estabelecem à medida que o processo avança, resultantes principalmente da alteração da distribuição granulométrica das partículas e da sua molhabilidade relacionada com alterações químicas de superfície. No entanto, não se verificaram alterações significativas nas relações ar-água da maioria dos materiais compostados. A excepção observou-se com a casca de eucalipto. Este material registou as

maiores alterações, reduzindo-se a sua capacidade de arejamento e aumentando o teor de água total, devido ao aumento de água dificilmente utilizável.

Paralelamente, em alguns materiais, nomeadamente a polpa de alfarroba e a casca de pinheiro, a compostagem provocou a diminuição substancial do volume de resíduo, embora se tenha valorizado economicamente o produto remanescente, o composto. Esta valorização também se pode referir relativamente à utilização de LETARU como suplemento azotado. Assim, a compostagem contribui para a redução de um problema ambiental e para a valorização de recursos regionais, não ou incorrectamente aproveitados. Para um operador económico dedicado ao fabrico deste tipo de compostos, a redução de volume de material durante o processo será um factor negativo, que agrava os custos de produção, mas que poderá ser compensado pela sociedade, tomando em conta os benefícios ambientais derivados da redução do volume de resíduos poluentes.

Quanto à utilização de LETARU ou ureia na compostagem das cascas de eucalipto e de pinheiro, a evolução das propriedades dos compostos foi no mesmo sentido, mas os valores alcançados nas variáveis químicas, físico-químicas e físicas foram bastante diferentes. A incorporação de LETARU proporcionou a obtenção de compostos com menor EPT, CA bastante inferior, mas com maior retenção de água, nomeadamente de AFU e ADU.

Comprovou-se a reduzida alteração sofrida pelos compostos durante o armazenamento, por períodos de até 1 ano, mesmo quando realizado à temperatura ambiente.

A crivagem dos compostos, para utilização em placas alveoladas com alvéolos relativamente pequenos, não melhorou sensivelmente as propriedades físicas relacionadas com as relações ar-água. Os substratos obtidos caracterizaram-se sobretudo por um espaço poroso total elevado, elevada capacidade de arejamento, baixo teor de água facilmente utilizável e de reserva, de que resultou baixo teor de água útil. A água dificilmente utilizável apresentou um valor relativamente elevado, do que resultou um teor médio a alto de água total.

Relativamente às propriedades físicas, verificou-se elevada correlação dos valores das variáveis calculadas e das observadas, facilitando a sua estimativa nas misturas com os materiais estudados.

A compostagem conduziu deste modo, à obtenção de produtos com maior aptidão como substratos hortícolas e, a possibilidade do desenvolvimento de características supressivas nestes compostos para vários fitopatogéneos, pode oferecer um valor acrescido, determinante para a sua utilização.

Os compostos obtidos apresentaram, de um modo geral, reduzida capacidade de retenção de água, o que limita a sua utilização em condições de elevada evapotranspiração. Esta restrição pode ser ultrapassada realizando misturas com um material de características

complementares, como a turfa de *sphagnum* pouco decomposta e ou, a um ajuste cuidadoso da frequência de rega. Por outro lado, as propriedades destes compostos tornam-os particularmente adequados para condições de utilização em situações de menor evapotranspiração.

Devido à sua elevada capacidade de arejamento, os compostos obtidos poderão funcionar em misturas, como agentes melhoradores desta propriedade, reduzindo os riscos de deficiência de oxigénio, em condições de elevada frequência de rega, como muita vezes sucede em viveiros.

6.2. Testagem dos compostos

Da análise estatística efectuada aos resultados de cultura, destaca-se a possibilidade de caracterizar a reacção das plantas determinando poucas variáveis de crescimento, pois que estas se encontram bastante relacionados entre si. Porém, ao analisar os resultados culturais da utilização de substratos, será sempre conveniente analisar a parte radicular, observação indispensável quando se trate de materiais de comportamento agronómico desconhecido.

Na produção de plantas em placas alveoladas, verificou-se uma maior influência das propriedades do substratos nos viveiros efectuados em períodos de maior exigência hídrica, particularmente das características físicas relacionadas com as relações ar-água.

O crescimento das plantas respondeu positivamente ao aumento da água facilmente utilizável, da água de reserva e em consequência, da água utilizável e da água total. Este comportamento indicou, que para a época do ano com uma taxa de evapotranspiração mais elevada, o factor limitante do crescimento das plantas foi a percentagem de água utilizável, que diminuiu à medida que aumentou a percentagem de material alternativo na mistura, ou seja, que com uma taxa de evapotranspiração mais elevada as misturas deverão possuir uma percentagem relativamente maior de turfa.

A correlação negativa com os macronutrientes, tanto os extraíveis como a soma destes com os adicionados na forma de adubo sólido ao efectuar a mistura, deriva do facto de os compostos apresentarem habitualmente teores mais elevados destes elementos do que a turfa usada nas misturas. Assim, ao aumentar a incorporação de composto na mistura aumenta-se o teor destes nutrientes mas baixa-se a água utilizável, conduzindo a valores inferiores nas variáveis de crescimento.

Após a sua instalação no campo, verificou-se a influência positiva do crescimento das plantas na produção, isto é, um maior valor das variáveis de crescimento seleccionadas, medidas no final do viveiro, conduziu a uma maior produção no campo. No entanto, verificou-

se a existência de um intervalo óptimo para os valores das variáveis, a partir do qual um maior crescimento se traduziu numa menor produção. Esta situação estará associada à capacidade de adaptação e de retoma de crescimento após a plantação. O intervalo óptimo dos valores das variáveis seleccionadas, variará em cada caso com as condições culturais e edafo-climáticas a que as plantas estão sujeitas quando instaladas no campo.

O emprego dos compostos sem crivagem prévia revelou-se possível, com vantagem económica. Ao utilizar os compostos em vasos, confirmou-se a maior importância das características físicas dos substratos, em condições de maior exigência hídrica.

Com alguns dos compostos, nomeadamente bagaço de uva, bagaço de azeitona e casca de pinheiro da 2ª compostagem, detectou-se um problema aparentemente relacionado com a continuidade capilar estabelecida entre o substrato de cultura e o substrato associado ao material de propagação. Os resultados obtidos sugerem que com alguns materiais, a continuidade capilar estabelecida pode ser reduzida, restringindo-se o movimento da água entre os dois meios, com forte influência no crescimento das plantas. Este fenómeno será particularmente sensível em condições de baixa evapotranspiração, nas quais o movimento da água no substrato é condicionado principalmente pelo gradiente de potencial matricial e menos pelo gradiente devido à evapotranspiração, mais importante em condições de elevada temperatura, radiação e desenvolvimento vegetativo das plantas.

Comparativamente aos preços actuais da turfa, a estimativa do custo dos compostos, considerando apenas o preço do material na origem e o seu aumento de custo derivado da redução de volume, apontou para valores elevados no caso do composto de polpa de alfarroba. Os compostos de casca de eucalipto e de pinheiro, apresentaram os valores mais baixos, propiciando a sua utilização, o mesmo sucedendo embora com menos significado, relativamente ao custo do composto de bagaço de uva. O composto de bagaço de azeitona apresentou um custo elevado.

6.3 Viabilidade da utilização dos compostos

6.3.1. Bagaço de azeitona

O bagaço de azeitona existe de uma maneira generalizada por todo o País, com uma produção concentrada no Inverno, embora se possa obter nos lagares durante um período mais alargado.

A temperatura do material durante o processo de compostagem mantém-se em nível termofílico durante um período mais largo que o habitual na compostagem de resíduos

vegetais. A manutenção de elevada temperatura, por longo período, está associada à relativamente baixa percentagem de conservação da MO (66%), à existência de resíduos de lípidos com elevado valor energético e às reduzidas perdas de calor do material por convecção. A evolução da temperatura durante o processo, ao longo do perfil horizontal e vertical considerados, sugere a vantagem de utilizar um agente para aumentar a porosidade do material. A compostagem de bagaço de azeitona, embora não provoque uma alteração muito sensível das propriedades do material inicial, tem o efeito de reduzir o seu efeito fitotóxico. As variáveis químicas mais sensíveis à evolução do material durante o processo de compostagem foram a CTC, o Norg, o N-NH₄ e o Nnh.

O composto de bagaço de azeitona caracteriza-se por um EPT um pouco abaixo de óptimo, uma elevada CA e muito pequena disponibilidade de água, nomeadamente AFU. Estas características propiciam a sua utilização com componente melhorador da porosidade de misturas. Para a utilização de BA, tornar-se-à normalmente necessário a mistura com turfa, para aumentar a disponibilidade de água do substrato, embora o composto estreme, em condições culturais de baixa exigência hídrica e ou, frequência elevada de rega, possa apresentar resultados culturais satisfatórios.

O composto de bagaço de azeitona apresenta uma baixa relação qualidade/preço, com um fraco comportamento agronómico e um custo elevado, calculado nas condições referidas.

6.3.2. Bagaço de uva

O bagaço de uva também apresenta uma distribuição generalizada e relativamente concentrada no tempo.

Para a realização do processo de compostagem não é necessário suplemento de azoto. Durante o processo atingem-se valores muito elevados de temperatura, por um período normal. A compostagem de bagaço de uva favorece também a utilização do material como substrato, pois elimina a fitotoxicidade do material fresco. O bagaço de uva apresenta elevada resistência à decomposição, traduzida na pequena variação das variáveis observadas. A estabilização é mais evidenciada pela diminuição do N-NH₄ e, embora com uma variação não estatisticamente significativa, pelo aumento da CTC e a diminuição do N-NO₃s. Fisicamente ocorre uma variação insignificante das propriedades do material durante a compostagem.

O composto de bagaço de uva caracteriza-se por um EPT óptimo, uma muito elevada CA e muito baixa disponibilidade de água, nomeadamente AFU. Tal como para o BA, estas características propiciam a utilização do composto de bagaço de uva com componente

melhorador da porosidade de misturas. Para a utilização de BU, torna-se à normalmente necessário a mistura com turfa, para aumentar a disponibilidade de água do substrato.

Devido às suas propriedades, o composto de bagaço de uva, pode em condições culturais de baixa exigência hídrica e ou, elevada frequência de rega, apresentar resultados culturais satisfatórios.

A relação qualidade/preço é superior à de BA, relativamente ao qual apresenta um comportamento agronómico ligeiramente superior e um custo de cerca de 25%.

6.3.3. Polpa de alfarroba

A polpa de alfarroba é um resíduo com distribuição muito concentrada, embora com uma disponibilidade mais alargada ao longo do ano. É o resíduo disponível em menor quantidade. Mesmo assim, se toda a polpa de alfarroba fosse compostada, o volume anual potencialmente disponível de composto, corresponderia ao volume da importação média anual de turfa dos últimos 5 anos.

A realização do processo de compostagem não necessita do suplemento de azoto. A subida inicial da temperatura, normal numa compostagem, é atrasada em consequência da descida acentuada do pH, situação que se ultrapassa naturalmente. A granulometria do material favorece as perdas de calor e de humidade durante a compostagem, sendo vantajoso a cobertura das pilhas de material com um produto adequado. Durante a compostagem de polpa de alfarroba eliminou-se a fitotoxicidade do material inicial. A polpa de alfarroba apresenta elevada degradabilidade, traduzida pela evolução significativa das variáveis MO, Norg, N-NH₄ e CTC e, o aumento do GD. Durante a compostagem o volume do material reduz-se a 55% do valor inicial e verifica-se a acentuada alteração da composição granulométrica, embora com pequenos reflexos a nível das propriedades físicas.

O composto de polpa de alfarroba caracteriza-se por um EPT óptimo, uma muito elevada CA e baixa disponibilidade de água, nomeadamente AFU. Pode constituir um componente melhorador da porosidade em misturas. O composto de polpa de alfarroba apresenta resultados culturais bastante satisfatórios. Melhoram-se acentuadamente as suas propriedades físicas mesmo com pequena mistura de turfa, com propriedades complementares.

O composto de polpa de alfarroba exibiu um bom comportamento agronómico mas apresenta um custo elevado, que no composto crivado ultrapassa o da turfa.

6.3.4. Casca de eucalipto

A casca de eucalipto encontra-se disponível para utilização economicamente viável apenas nas unidades industriais em que se procede ao descasque dos toros, estimando-se uma quantidade disponível bastante elevada e com uma oferta regular ao longo do ano.

Na compostagem de casca de eucalipto, a aplicação do suplemento azotado através da mistura com LETARU relativamente à aplicação de ureia, originou uma subida bastante mais rápida e acentuada da temperatura, bem como uma estabilização mais cedo da temperatura. Não se manifestou fitotoxicidade na casca de eucalipto fresca. A casca de eucalipto apresenta elevada degradabilidade, traduzida pela evolução significativa do Cox, C/N e CTC/MO na 1ª compostagem e, da MO, Norg, Nnh e C/N na 2ª compostagem. A distribuição granulométrica das partículas de casca de eucalipto, constituídas por grande percentagem de fibras finas no material inicial, sofre grande alteração durante a compostagem. A alteração da distribuição granulométrica traduz-se no decréscimo da CA e EPT e no aumento da capacidade de retenção de água.

Os compostos de casca de eucalipto caracterizam-se por um EPT ótimo, uma CA satisfatória a muito elevada, conforme se trate de material da 1ª ou da 2ª compostagem e, uma baixa disponibilidade de água, nomeadamente AFU, que atinge 11% no composto da 1ª compostagem. O composto CEB pode ser utilizado como componente melhorador da porosidade. A capacidade de retenção de água dos compostos de casca de eucalipto pode ser melhorada para nível satisfatório, mesmos com pequenos teores de turfa.

Os compostos de casca de eucalipto apresentam a melhor relação qualidade/preço, com o mais baixo custo e um comportamento em cultura satisfatório, particularmente de o composto obtido com adição de LETARU.

6.3.5. Casca de pinheiro

A casca de pinheiro possui uma disponibilidade mais generalizada que a casca de eucalipto e, uma oferta regular ao longo do ano. É o material com a maior disponibilidade potencial.

Na compostagem de casca de pinheiro observaram-se diferenças acentuadas nas duas compostagens realizadas, que se atribuem à diferença de tempo de conservação do material na serração. Assim, não se observaram, como na casca de eucalipto, diferenças sensíveis na rapidez da subida inicial da temperatura. Somente na 2ª compostagem a temperatura atingiu nível termofílico, embora por período relativamente curto. A casca de pinheiro fresca apresenta fitotoxicidade, que desaparece durante o processo de compostagem. O material manifesta

elevada resistência à decomposição, não se alterando praticamente o GD durante a compostagem. A evolução das variáveis na 1ª compostagem é muito influenciada pela existência de LETARU, com elevado teor mineral. Na 2ª compostagem as variáveis praticamente não se alteram durante o processo, o que, apesar da duração relativamente curta comparativamente a um processo normal, denota a elevada estabilidade do material. A redução de volume durante o processo é muito reduzida.

Os compostos de casca de pinheiro caracterizam-se, conforme se trate de material da 1ª ou da 2ª compostagem, por um EPT elevado a óptimo, uma CA adequada a muito elevada e uma baixa disponibilidade de água, nomeadamente AFU. Além da utilização como componentes melhoradores da porosidade, podem constituir componentes único ou maioritários e misturas.

Os compostos de casca de pinheiro apresentam a segunda melhor relação qualidade/preço, a seguir aos compostos de casca de eucalipto, por apresentarem um custo relativamente superior.

Os compostos de, polpa de alfarroba, casca de eucalipto (da 1ª compostagem) e de casca de pinheiro apresentaram um comportamento bastante satisfatório mesmo como componentes únicos do substrato.

AGRADECIMENTOS

Ao terminar, desejo manifestar o meu sincero reconhecimento a todos os que, ao longo dos anos em que o trabalho se desenvolveu, me ajudaram com o seu esforço, exemplo ou conselho. Sendo-me difícil referir todos, gostaria mesmo assim de lembrar algumas das pessoas com influência mais determinante na minha formação e no desenvolvimento dos trabalhos.

Ao Professor António Almeida Monteiro, orientador da dissertação, agradeço de um modo particular pelo acompanhamento extraordinário durante todas as fases do trabalho, e pelo apoio e orientação precisa e preciosa que sempre me dispensou.

À Escola Superior d'Agricultura de Barcelona manifesto o meu profundo reconhecimento pela abertura que manifestou, franqueando-me desinteressadamente as suas portas desde o início do trabalho. Nesta Escola tive o privilégio de trabalhar com o Professor Xavier Martinez, como co-orientador, a quem agradeço o insuperável apoio humano e científico e o seu esforçado empenho para a concretização dos trabalhos. À Professora Montserrat Soliva agradeço o apoio na realização das análises indispensáveis à caracterização dos materiais estudados, disponibilizando o Laboratório de que é responsável, bem como a orientação na interpretação dos valores obtidos. Ao Professor Jordi Valero agradeço a ajuda oportuna e esclarecedora na análise estatística dos resultados. À Engenheira Natália Molina, a ajuda fundamental na realização dos trabalhos de laboratório. O meu agradecimento também ao Professor Manuel Abad, do Departamento de Produção Vegetal da E.T.S.I.A. de Valencia, com quem iniciei, em Espanha, a aproximação ao estudo dos substratos.

Ao Professor Carrasco de Brito, orientador da dissertação pela Universidade do Algarve, agradeço o apoio prestado, nomeadamente pela possibilidade de utilizar o Laboratório de Solos da UCTA para efectuar determinações de acompanhamento das compostagens e a revisão final da dissertação.

Ao Conselho Directivo da Unidade de Ciências e Tecnologias Agrárias agradeço todo o apoio prestado durante a realização deste trabalho. Ao Professor Eugénio Faria, nomeadamente pela concessão de bolsas de curta duração do INIC para a realização dos primeiros trabalhos de laboratório na Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. À Professora Emília Costa e ao Mestre Miguel Freitas, o meu reconhecimento pelo apoio e facilidades concedidas sem as quais, posteriormente, teria sido muito difícil a realização dos trabalhos finais.

Agradeço à JNICT a concessão da bolsa para doutoramento, que apoiou a estada em Barcelona nos dois últimos períodos de trabalho aí realizados.

Ao Professor Abílio Marques da Silva, então Presidente do Conselho Directivo da UCEH, para além do apoio pessoal manifestado, agradeço a possibilidade de utilizar o Laboratório de Química para realização de algumas determinações. Também ao Dr. Hélio Martins, pela ajuda prestada na execução do trabalho laboratorial.

Não posso deixar de recordar a figura profundamente conhecedora do Professor José Batista, que prematuramente nos deixou, com quem comecei a tratar o delineamento experimental e a interpretação dos resultados dos ensaios preliminares efectuados, a quem desde aqui envio o meu saudoso muito obrigado.

Ao Professor Carlos Agro Coelho, do Instituto Superior de Agronomia, agradeço a possibilidade da discussão de alguns dos resultados dos viveiros e a sua interpretação estatística.

Ao Professor José Monteiro agradeço o apoio prestado, em particular a ajuda nos problemas de tratamento estatístico e na recolha de dados sobre a produção de plantas no campo. Aos Mestres Amílcar Duarte e Nuno Loureiro, em particular pela troca de ideias e pelo seu espírito crítico.

Para levar a cabo este trabalho, sem verba própria, foi também fundamental toda a ajuda a nível material. O meu particular agradecimento aos colegas que contribuíram para a obtenção dos resíduos para compostar, nomeadamente ao Eng.º José Graça na obtenção da polpa de alfarroba, ao Eng.º Daniel Matias para a crivagem de casca de pinheiro e empréstimo de caixas para compostagem, ao Eng.º António Guerreiro e ao Senhor Armando Calicho para a obtenção do bagaço de azeitona, ao Eng.º Pedro Simões e à SOPORCEL pelo fornecimento da casca de eucalipto e, ao Eng.º Adolfo Correia, proprietário da adega “Vinhos Caramujeira”, pela cedência do bagaço de uva.

Ao Dr. João Reis, da UCTRA, agradeço o apoio na concepção e na execução dos equipamentos de medição de temperatura e de regulação da rega, pequenos em tamanho mas decisivos para a concretização do trabalho.

À Direcção Regional de Agricultura do Algarve, o meu agradecimento nas pessoas dos Eng.ºs João Costa e António Marreiros, nomeadamente pelo “empréstimo” de sementes de tomate, pela realização de algumas análises químicas aos compostos e pela conservação de reservas de composto em câmara frigorífica.

À firma Sluis & Groot, na pessoa do Eng.º Marco António, pela oferta de sementes para ensaios de cultura de tomate e ao Eng. Miguel Menezes pela oferta de plantas para o primeiro ensaio com pelargónio.

Às Doutoras João Correia e Manuela David por terem permitido “ocupar” e utilizar o equipamento do laboratório de Fisiologia Vegetal para a avaliação das plantas dos ensaios.

À Dr.ª Conceição Mateus e ao Professor João Brandão, da UCEH, agradeço a discussão relacionada com alguns aspectos da Química.

Ao pessoal do Horto, o meu agradecimento em especial à Eng.ª Helena Rodrigues pelo apoio prestado e ao Sr. Fernando Rosa pela ajuda no volteio dos compostos.

Ao aluno Bruno Pedroso, agradeço ter-me tomado conta de um ensaio enquanto me encontrava em Barcelona.

À Susana, porque os últimos são efectivamente os primeiros, pela paciência ao longo dos últimos anos.

Finalmente agradeço, muito sinceramente, a amizade que todos me dispensaram.

BIBLIOGRAFIA

1. A Agricultura Portuguesa em Números. 1991. Direcção-Geral de Planeamento e Agricultura, Ministério da Agricultura. Lisboa.
2. Abad, M., J. Cegarra e J. Martínez-Corts. 1993. El compost de resíduos y subproductos organicos como componente de los medios de cultivo de las plantas ornamentales cultivadas en maceta, p 1191-1196. In: Actas de Horticultura da SECH, 10.
3. Abad, M., P. Noguera, F. Petit, V. Noguera e R. Puchades. 1995. La fibra de coco, un nuevo sustrato horticola para el cultivo sin suelo, p. 77. In: Programa e Resumos das comunicações ao VI Congreso de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas.
4. Adams, J.C. e B.G. Lockaby. 1987. Commercially produced superabsorbent material increases water-holding capacity of soil medium. *Tree Planter's Notes* 38(1):24-25.
5. Adler, P.R. e G. E. Wilcox. 1987. Salt stress, mechanical stress, or chlormequat chloride effects on morphology and growth recovery of hydroponic tomato transplants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112(1), 22-25.
6. Aguirre, M.T.M. 1994. Estudio del residuo de la industria del corcho como sustrato horticola. Tese de doutoramento. Universidade de Sevilla.
7. Alarkon, K., L. Bozova e N. Stoeva. 1987. Studies on the index of earliness in tomato plants from seeds and seedlings irradiated with low doses of gamma rays. Bulgária. *Rasteniev "dni Nauki* 24(2):40-42. Resumo de Horticultural Abstracts 1987, 57(10), p. 824 nº 7819.
8. Allaya, M. 1988. Aperçu sur les marchés non traditionels de l'huile d'olive. *Options mediterraneennes* (Setembro):113-131.
9. Allison, F.E. e R.M. Murphy. 1962. Comparative Rates of Decomposition in Soil of Wood and Bark Particles of Several Hardwood Species. *Soil Science Society Proceedings* 26:463-466.
10. Alt, D e I. Peters. 1993. Analysis of macro and trace elements in horticultural substrates by means of the CaCl₂/DTPA method. *Acta Horticulturae* 342:287-292.
11. Ann, D., A. Channon, S. Melville e D. Antill. 1988. Clubroot control in cabbage and cauliflowers by adding fungicide to the compost used for raising transplants in loose-filled cells. *British Crop Protection Council* 39:395-402.
12. Anstett, A. 1979. Les matières plastiques expansées: caracteristiques et utilisations. *PHM-Revue Horticole* 195:25-32.
13. Antunes, F.E.M. 1988. Produção de um substrato para horticultura de primores. *Vida Rural* 16:32-33.

14. Baden, S.A. e J.G. Latimer. 1992. An effective system for brushing vegetable transplants for height control. *EUA. HortTechnology* 2(3): 412-414.
15. Baeten, D. e W. Verstraete. 1993. In-Reactor Anaerobic Digestion of MSW-Organics p. 111-130. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
16. Bagstam, G. 1978. Population changes in microorganisms during composting of spruce-bark. I. Influence of temperature control. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology* 5:315-333.
17. Bagstam, G. 1979. Population changes in microorganisms during composting of spruce-bark. II. Mesophilic and Thermophilic microorganisms during controlled composting. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology* 6:279-288.
18. Baylian, D.S. 1988. A note on the studies of NAA on tomato seedlings. *India. Haryana Journal of Horticultural Sciences* 17(1-2):121-124. *Resumo de Horticultural Abstracts (1990)* 60(1), p. 44 n° 342.
19. Benoit, F. e N. Ceustermans. 1987. Rationalizing leek culture by the plug-speedling system. *Acta Horticulturae* 198:293-296.
20. Berezovskii, K.K., T.I. Lapteva, R.K. Salyaev e L.V. Dudareva. 1986. Effect of reduced temperature in the root zone on the mineral nutrition of tomato and cabbage transplants. *URSS. Agrofiziologicheskie Osnovy Ovoshchedstva v Plenochnykh Teplitsakh v Vostochnoi Sibiri*:17-34. *Resumo de Horticultural Abstracts (1988)* 58(4), p. 241 n° 2167.
21. Berg, K. van den, P. van Oostveldt e R. van Parijs. 1987. Influence of external conditions on the nucleic acid and protein metabolism and the growth of internodes of *Pisum sativum* L. seedlings. *Bélgica. Medelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent* 53(3b):1311-1320.
22. Berkowitz, G.A. e J. Rabin. 1988. Antitranspirant associated abscisic acid effects on water relations and yield of transplanted bell peppers. *Plant Physiology* 86(2):329-331.
23. Bertoldi, M. de, F. Zucchini e M. Civilini. 1991. Temperature, pathogen control and product quality, p. 195-198. In: *The Biocycle guide to the Art & Science of Composting*. The Staff of BioCycle (eds.). The JG Press, Inc. Emmaus, Pennsylvania, EUA.
24. Bertoldi, M. de. 1993. Compost Quality and Standard Specifications: European Perspective, p. 523-535. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
25. Beverly, R.B. e J.G. Latimer. 1994. Drought and mechanical conditioning of tomato and eggplant transplants have little effect on subsequent yield. *EUA. Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 107: 109-111.

26. Bhat, N.R., T.L. Prince, H.K. Tayama e S. Carver. 1989a. Effect of Aqua-Gro on seed and seedling development of bedding plants. EUA. Ohio Florist's Association Bulletin. 719:1-4.
27. Bhat, N.R., T.L. Prince, H.K. Tayama e S. Carver. 1989b. The effect of wetting agent Aqua-Gro on the establishment of bedding plant seedlings plugs. EUA. Ohio Florist's Association Bulletin 720:13-15.
28. Biddington, N.L. e A.S. Dearman. 1985. The effect of mechanically induced stress on the growth of cauliflower, lettuce and celery seedlings. *Annals of Botany* 55(1): 109-119.
29. Biddington, N.L. e A.S. Dearman. 1986. A comparison of the effects of mechanically-induced stress, ethephon and silver thiosulphate on the growth of cauliflower seedlings. *Plant Growth Regulation* 4(1): 33-41.
30. Biddington, N.L. e A.S. Dearman. 1987a. The effects of mechanically-induced stress and plant growth regulators on the growth of lettuce, cauliflower and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant Growth Regulation* 5(3): 183-194.
31. Biddington, N.L. e A.S. Dearman. 1987b. The effects of mechanically-induced stress on the growth of water and nutrient deficient lettuce and cauliflower seedlings. *Annals of Botany* 59(6): 679-683.
32. Biddington, N.L. e A.S. Dearman. 1988. The effects of mechanically-induced stress and water stress on freezing resistance in lettuce and cauliflower seedlings. *Journal of Horticultural Science* 63(4):609-614.
33. Biddlestone, A.J. e K.R. Gray. 1986. Composting. *Comprehensive Biotechnology* 4:1059-1070.
34. Bilderback, T.E., W.C. Fonteno e D.R. Johnson. 1982. Physical Properties of Media Composed of Peanut Hulls, Pine Bark and Peat Moss and Their Effects on Azalea Growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107(3):522-525.
35. Bilderback, T.E. 1985. Physical Properties of Pine Bark and Hardwood Bark Media and Their Effects with 4 Fertilizers on Growth of *Ilex* x 'Nellie R. Stevens Holly'. *Journal of Environmental Horticulture* 3(4):181-185.
36. Bilderback, T.E. e W.C. Fonteno. 1987. Effects of container geometry and physical properties on air and water volumes in containers. *Journal of Environmental Horticulture* 5(4):180-182.
37. Boivin, C., A. Gosselin e M.J. Trudel. 1987. Effect of supplementary lighting on transplant growth and yield of greenhouse tomato. *HortScience* 22(6):1266-1268.
38. Bollen, G.J. 1993. Factors Involved in Inactivation of Plant Pathogens During Composting of Crop Residues, p. 301-318. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental,*

-
- Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
39. Borisov, N.V. e M.I. Kirilov. 1988. The effect of the level of a mineral nutrition on cucurbit seedlings. URSS. *Izvestya Timiryazevskoi Sel'skohozyaistvennoi Akademii*, 4:108-116. *Resumo de Horticultural Abstracts (1989)* 59(7), p. 653 n° 5739.
 40. Bradford, K.J. 1983. Effects od soil flooding on leaf gaz exchange of tomato plants. *Plant Physiology* 73:475-479.
 41. Borkowski, J. e M. Lipska-Szpunar. 1989. The effect of the chloromequat-containing preparations 'Antywylegacz' and 'Bercema CCC' on field tomato yields. Polónia. *Biuletyn Warzywniczy*, 33:7-22. *Resumo de Horticultural Abstracts (1990)* 60(7), p. 936 n° 8154.
 42. Broek, N.V.D. 1989. Ordinary lettuce and iceberg lettuce. Costs of larger soil blocks are not offset by earlier harvest. Holanda. *Groenten and Fruit*, 45(20):72-73.
 43. Bugbee, G.J. e C.R. Frink. 1989. Composted waste as a peat substitute in peat-lite media. *HortScience* 24(4):625-627.
 44. Bull, P.B. 1987. Boosting onions. Cell transplants. *New Zealand Commercial Grower* 42(5):17.
 45. Burés, S. e M. Soliva. 1983. Composting sewage sludge-pine bark. *Acta Horticulturae* 150:545-551.
 46. Burés, S., F.X. Martinez e N. Perez. 1991. Physical properties of mixtures according to the characteristics of the original materials. *Acta Horticulturae* 294:207-214.
 47. Bunt, A.C. 1976. Modern potting composts. A manual on the preparation and use of growing media for pot plants. 2ª ed. George Allen & Unwin Ltd, Londres.
 48. Burrows, R.L. e L.J. Waters. 1989. Fall establishment of asparagus using seedlings transplants. *HortScience* 24(4):611-613.
 49. Burrows, R., F.L. Pflieger e J.J. Waters. 1990. Growth of seedling asparagus inoculated with *Glomus fasciculatum* and phosphorus supplementation. *HortScience* 25(5):519-521.
 50. Cabral, F.C. e Telles, G.R. 1960. A árvore. Publicações, 16. Centro de Estudos de Urbanismo, Lisboa.
 51. Calvet, C., M. Pagés e V. Estaún. 1994. Composting of olive marc. *Acta Horticulturae*, 172:255-261.
 52. Camejo, B. e W. Rivero. 1987. Evaluación del proceso de germinación y el crecimiento de posturas de papaya cv. Maradol (*Carica papaya*) en vivero con coberteras altas o sin ellas. *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Cítricos y Otros Frutales* 10(1):85-93. Cuba. *Resumo de Horticultural Abstracts (1990)* 60(1), p. 82 n° 711.

-
53. Carola, G. 1985. By products in Olive Oil Technology. Moreno Martinez, J. M. (ed.). FAO, Roma.
 54. Cassidy, J.C. 1988. Modular raised transplants to reduce herbicide usage. In Weed control in vegetables production, p. 265-271. In: Proceedings of a meeting of the EC Experts' Group, 28 a 31 de Outubro, Stuttgart, Alemanha.
 55. Chaney, R.L. e J.A. Ryan. 1993. Heavy Metals and Toxic Organic Pollutants in MSW-Composts: Research Results on Phytoavailability, Bioavailability, Fate, etc, p. 451-506. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
 56. Chanyasak, V. e H. Kubota. 1981. Carbon/Organic Nitrogen Ratio in Water Extract as Measure of Composting Degradation. *Journal of Fermentation Technology* 59(3): 215-219.
 57. Chanyasak, V., A Katayama, M.F. Hirai, S. Mori e H. Kubota. 1983a. Effects of compost maturity on growth of komatsuna (*Brassica rapa* var. *pervidis* on neubauer's pot. I. Comparison of growth in compost treatments with that in inorganic nutrient treatments controls. *Soil Science Plant Nutrition* 29(3)239-250.
 58. Chanyasak, V., A Katayama, M.F. Hirai, S. Mori e H. Kubota. 1983b. Effects of compost maturity on growth of komatsuna (*Brassica rapa* var. *pervidis* on neubauer's pot. II Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org.-C/org.-N ratio of water extract. *Soil Science Plant Nutrition* 29(3)251-259.
 59. Chen, Y. e Y. Hadar. 1987. Composting and use of agricultural wastes in container media, p. 71-77. In M. de Bertoldi *et al.* (eds.). Compost: Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex, Reino Unido.
 60. Chen, Y. e Y. Inbar. 1993. Chemical and Spectroscopical Analyses of Organic Matter Transformations During Composting in Relation to Compost Maturity, p. 551-600. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
 61. Choe, J.S., C.K. Ahn e Y.C. Um. 1989. The effect of night temperature and soil moisture during the nursery period on the quality of seedlings in *Capsicum annuum* L. Republica da Coreia. Research Reports of the Rural Development Administration, Horticulture 31(1):9-16. Resumo de Horticultural Abstracts 1990, 60(5):398 n° 3442.
 62. Choe, J.S. e W.S. Lee. 1989. The effect of night temperature and seedling age during the nursery period on the quality of seedlings in *Capsicum annuum* L. R. Coreia. Res. Reports of the Rural Development Administration, Horticulture 31(1):1-8. Resumo de Horticultural Abstracts 1990, 60(5), p. 398 n° 3441.
 63. Cholokov, D. e P. Kartalov. 1989. Productivity following seed irradiation. Bulgária. Ovoshtar. Gradinar. i Konserv. Prom. 70(3):6-7. Resumo de Horticultural Abstracts (1990) 60(10), p. 935 n° 9144.

64. Chung, B. 1989. Multi-plant module transplants of bulb onions. *Acta Horticulturae* 247:187-191.
65. Corominas, E., F. Perestelo, M.L. Pérez e M.A. Falcón. 1987. Microorganisms and environmental factors in composting of agricultural waste of the Canary Islands, p. 127-138. In M. de Bertoldi *et al.* (eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex, Reino Unido.
66. Costa, J.B. 1979. *Caracterização e constituição do solo*. 2ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
67. Csizinsky, A.A. e C.D. Stanley. 1987. Effect of nitrogen source, plant spacing and seedling cell size on trickle irrigated cauliflower. *Proceedings of Soil and Crop Society of Florida* 46:84-88.
68. Csizinszky, A.A. e A.A. Schuster. 1988. Impact of insecticide schedule, N and K rates and transplant container size on cauliflower yield. *Applied Agricultural Research* 3(1):12-16.
69. Daft, G.C., H.A. Poole e H.A.J. Hoitink. 1979. Composted Hardwood Bark: A Substitute For Steam Sterilization and Fungicide Drenches for Control of Poinsettia Crown and Root Rot. *HortScience* 14:185-187.
70. Davies, J.M.L. e J.D. Wafford. 1988. Control of downy mildew in module-raised cauliflowers. *British Crop Protection Council* 39:379-386.
71. Dayal, R.J. e R.P. Singh. 1986. Effect of seed exposure to magnetic field on the height of tomato plants. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 56(6):483-486.
72. De Boodt, M., N. De Waele. 1968. Study on the physical properties of artificial soils and the growth of ornamental plants. *Pedologie* XVIII(3):275-300.
73. De Boodt, M. e O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26:37-44.
74. De Boodt, M., O. Verdonck e I. Cappaert. 1974. Method for measuring the waterralese curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37:2054-2062.
75. Diaz, L.F., G.M. Savage e G.C. Gouleke. 1982. Composting, p. 95-120. In *Resource Recovery from Municipal Solid Waste*. Diaz L.F., Savage G.M. e Gouleke G.C. (eds). CRC Press. Boca Raton, EUA.
76. Dick, W.A. e E.L. McCoy. 1993. Enhancing Soil Fertility by Addition of Compost, p. 622-644. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
77. Dufault, R.J. 1986. Influence of nutritional conditioning on muskmelon quality and early yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111(5):698-703.
78. Dufault, R.J., 1987. Use of slow release nitrogen and phosphorus fertilizers in celery transplant production. *HortScience* 22(6):1268-1270.

79. Dunson, J.B.P.E.J. 1993. Control of Odors by Physical-Chemical Approaches, p. 242-261. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
80. Editors of BioCycle. 1991. Tree bark compost for plant protection, p. 158-160. In The Biocycle guide to the Art & Science of Composting. The Staff of BioCycle (eds.). The JG Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania, EUA.
81. El-Bahadli, K. 1988. Growth analysis of paprika (*Capsicum annum* L.). The influence of temperature and light intensity. Journal of the University of Kuwait, Science 15(2):291-296. Resumo de Horticultural Abstracts (1989) 59(9), p. 858 n° 7492.
82. Epstein, E. 1993. Neighborhood and Worker Protection for Composting Facilities: Issues and Actions, p. 319-338. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
83. Estatísticas do Comércio Externo, 1983 a 1992. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
84. Espinosa, W.A. e W.G. Pill. 1987. Response of tomato seeds fluid-drilled in low-phosphorus growth media to phosphorus incorporation in the carrier gel. Scientia Horticulturae 33(1/2):37-47.
85. Farrell, J.B. 1993. Fecal Pathogen Control During Composting, p. 282-300. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
86. Fernandes, P. 1994. Utilização de fotografias aéreas de Infra-vermelhos coloridos (falsa côr), para caracterização dos Usos do Território. Relatório de Estágio da Licenciatura em Engenharia Hortofrutícola. Universidade do Algarve, Faro.
87. Finstein, M.S. e J.A. Hogan. 1993. Integration of Composting Process Microbiology, Facility Structure and Decision-Making, p. 1-23. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
88. Fonteno, W.C. 1992. Problems and considerations in determining physical properties of horticultural substrates. Acta Horticulturae 342:197-203
89. Gabriels, R. e O. Verdonck. 1991. Physical and chemical characterization of plant substrates: towards a European standardization. Acta Horticulturae 294:249-259.
90. Gianquinto, G. e F. Pimpini. 1989a. The influence of climatic conditions and the age of plant at transplanting on bolting and yield of chicory (*Cichorium intybus* L.) cv. 'Rosso di Chioggia' grown for early production. Acta Horticulturae 229:379-386.

91. Gianquinto, G. e F. Pimpini. 1989b. The influence of temperature on growth, bolting and yield of chicory cv. 'Rosso di Chioggia' (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Horticultural Science* 64(6):209-223.
92. Giovanni, D. e B.V. Vincenzo. 1988. The effect of transplanting with bare roots and root balls on the quantitative and qualitative characteristics of some broccoli cultivars for processing. *Giornata di studio su: Le principali brassicacee da orto*, 29 de Junho de 1988, Crotone, Itália.
93. Golueke, C.G. 1991. Understanding the process, p. 14-27. In *The Biocycle guide to the Art & Science of Composting*. The Staff of BioCycle (eds.). The JG Press, Inc. Emmaus, Pennsylvania, EUA.
94. Gorski, S.F. e M.K. Wertz. 1985. Eggplant and tomato: a study on the effects of transplant root volume on yield. *Research Circular, Ohio Agricultural Research and Development Center* 288:1-3. EUA.
95. Graefe, G. 1983. Orujos de Uva para Energia y Fertilizacion. *Bundesministerium fur Wissenschaft und Forschung*, Wien, Austria.
96. Gray, K.R., K. Sherman e A.J. Biddlestone. 1971a. A review of composting, Part 2-The practical process. *Process Biochemistry (Outubro)*:22-28.
97. Gray, K.R., K. Sherman e Biddlestone A. J., 1971b. A review of composting, Part1. *Process Biochemistry (Junho)*:32-36.
98. Gray, K.R., A.J. Biddlestone e R. Clark. 1973. A review of composting, Part 3 - Processes and products. *Process Biochemistry (Outubro)*:11-15.
99. Guedes de Carvalho, R.A., C.G. Gonzalez Beça, O.R. Neve e M.C. Sol Pereira. 1991. Composting of pine bark and eucaliptus bark. *Bioresource Technology* 38:51-63.
100. Guimarães, D.R., V.J. Vizzotto e R.C. Dittrich. 1988. Mudas e épocas adequadas resultam em sucesso de produção e qualidade. *Agropecuária Catarinense* 1(1):11-13. Brasil.
101. Gunther, J. 1983. Analytics of substrates and problems by transmitting the results into horticultural practice. *Acta Horticulturae* 150:33-39.
102. Handreck, K. e N. Black. 1991. *Growing media for ornamental plants and turf*. 4ª ed. New South Wales University Press, Kensington, NSW Australia.
103. Hansen, R.C., H.M. Keener, C. Marugg, W.A. Dick e H.A.J. Hoitink. 1993. Composting of Poultry Manure, p. 131-153. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
104. Harada, Y. e A. Inoko. 1979. The measurement of the Cation-Exchange Capacity of compost for the estimation of the Degree of Maturity. *Soil Science and Plant Nutrition* 26(1):127-134.

105. Hartmann, H.T., D.E. Kester e F.T. Davies. 1990. *Plant Propagation. Principles and practices*. 5th ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, EUA.
106. Hemphill, D.D.J. 1987. Effects of pre-transplant variables on lettuce head size variability. *Acta Horticulturae* 198:287-291.
107. Hickman, G.W., E.J. Perry, R.J. Mullen e R. Smith. 1989. Growth regulator controls tomato transplant height. *California Agriculture* 43(5):19-20. EUA.
108. Hirai, M., V. Chanyasak e V. Kubota 1983. A Standard Measurement For Compost Maturity. *BioCycle* 6:54-56.
109. Hoitink, H.A.J., A.F. Schmitthenner e L.J. Herr. 1975. Composted bark for control of root rot in ornamentals. *Ohio Florist's Association Bulletin* 60:25-26. EUA.
110. Hoitink, H.A.J., L.J. Herr e A.F. Schmitthenner. 1976. Survival of Some Plant Pathogens During Composting of Hardwood Tree Bark. *Phytopathology* 66:1369-1372.
111. Hoitink, H.A.J. 1980. Composted Bark, a Lightweight Growth Medium with Fungicidal Properties. *Plant Diseases* 64:143-147.
112. Hoitink, H.A.J. e H.A. Poole. 1980. Factors affecting quality of composts for utilization ,in container media. *HortScience* 15(2):171-173.
113. Hoitink, H.A.J. e P.C. Fahy. 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annual Review of Phytopathology* 24:93-114.
114. Hoitink, H.A.J. e G.A. Kuter. 1986. Effects of composts in growth media on soilborne pathogens, p. 289-305. In: *The role of organic matter in modern agriculture*. Chen Y. e Avmimelech Y. Martinus Nijhoff (eds.). Dordrecht, Holanda.
115. Hoitink, H.A.J., M.J. Boehm e Y. Hadar. 1993. Mechanisms of Suppression of Soilborn Plant Pathogens, p. 601-621. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
116. Hoitink, H.A.J. e M.E. Grebus. 1994. Status of biological control of plant diseases with compost. *Compost Science & Utilization (Primavera)*:6-12.
117. Hue, N.V. e J. Liu. 1995. Predicting compost stability. *Compost Science & Utilization* 3(2):8-15.
118. Hutla, P., I. Cistinova e S. Has. 1987. The use of artificial light for supplementary lighting of kohl rabi seedlings. *Zemedelska Technika* 33(10):623-634. *Checoslováquia. Resumo de Horticultural Abstracts (1988)* 58(4), p. 455 n° 4154.
119. Iglesia, S.M. de la, D.O. Couto e M.G. Garcia. 1990. Resíduos florestales: compostaje en reactores de laboratorio, p. 333-344. In: *I Congresso Intern. Química de la ANQUE "Solid and liquid waste: their best destination"*. II volume. Puerto de la Cruz, Tenerife. Espanha.

120. Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar e H.A.J. Hoitink. 1990. New approaches to compost maturity: an overview. *BioCycle* 31(12):64-69.
121. Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar e H.A.J. Hoitink. 1991. Approaches to determining compost maturity, p. 183-185. In: *The Biocycle guide to the Art & Science of Composting*. The Staff of BioCycle (eds.). The JG Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania, EUA.
122. Inbar, Y., Y. Chen e H.A.J. Hoitink. 1993. Properties for Establishing Standards for Utilization of Composts, p. 668-694. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
123. Jacas, J. 1985. Intent de qualificació de diferents tipus d'adob orgànic basant-nos en la capacitat de bescavni cationic i les característiques de l'extracte aquós. *Traball final de Carrera*. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Espanha.
124. Jacas, J., J. Marza, P. Florensa e M. Soliva. 1986. Cation exchange capacity variation during the composting of different materials, p.309-320. In: M. de Bertoldi *et al.* (eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex, Reino Unido.
125. Jimenez, E.I. e V.P. Garcia. 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 38:331-343.
126. Johjima, T., J.G. Latimer e H. Wakita. 1992. Brushing influences transplant growth and subsequent yield of four cultivars of tomato and their hybrid lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(3): 384-388.
127. Johnson E. 1981. Protected ornamental crops - composts and nutrition. ADAS Leaflet 771. Leeds, Reino Unido.
128. Keener, H.M., C. Marugg, R.C. Hansen e H.A.J. Hoitink. 1993. Optimizing the Efficiency of the Composting Process, p. 59-94. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
129. Keller, P. 1991. Proper degree of stability, p. 178-180. In *The BioCycle Guide to the Art & Science of Composting*. The Staff of BioCycle (eds.). The JG Press Inc., Emmaus, Pennsylvania, EUA.
130. Keller, E. e K.L. Steffen. 1995. Increased chilling tolerance and altered carbon metabolism in tomato leaves following application of mechanical stress. *Physiologia-Plantarum* 93 (3): 519-525. EUA.
131. Kiritsakys A.K. 1991. Olive oil. A.K. Kiritsakys (ed.). *American Oil Chemists' Society*. Champaign, Illinois, EUA.
132. Klapwijk, D. 1987. Should tomato plants have supplementary lighting until planted out? *Groenten and Fruit* 42(41):30-31. Holanda.

133. Kuter, G.A., H.A.J. Hoitink e L.A. Rossman. [198?]. Effects of aeration and temperature of municipal sludge in a full scale vessel system. *JWPCF* 57(4):309-315.
134. Kuter, G.A., E.B. Nelson, H.A.J. Hoitink e L.V. Madden. 1983. Fungal Populations in Container Media Amended with Composted Hardwood Bark Suppressive and Conducive to *Rhizoctonia* Damping-Off. *Phytopathology* 73:1450-1456.
135. Laiche, A.J.J. e V.E. Nash. 1986. Suitability of three forest product materials as growth media for container plants. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station Research Report, 11(23). Missipi State University, EUA.
136. Laiche, A.J.J. 1989. Container-grown ornamentals produced in single-component plant growth medium. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station Research Report, 14(18). Missipi State University, EUA.
137. Laiche, A.J.J. 1990. Blends of pine bark with other growth media components for containerized azaleas. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station Research Report, 15(4). Missipi State University, EUA.
138. Lanckow, J. 1987. Utilizable energy requirements for various methods of seedlings of greenhouse tomatoes. *Archiv fur Gartenbau* 35(8):19-27. RDA. Resumo de Horticultural Abstracts (1988) 58(4), p. 384 n° 2488.
139. Latimer, J.G. 1990. Drought or mechanical stress affects broccoli transplant growth and establishment but not yield. *HortScience* 25(10): 1233-1235.
140. Latimer, J.G. e P.A. Thomas. 1991. Application of brushing for growth control of tomato transplants in a commercial setting. *HortTechnology* 1(1): 109-110. EUA.
141. Latimer, J.G., T. Johjima e Y. Fukuyama. 1991. The effect of brushing on the growth and quality of field-grown root crops. *HortScience* 26(9): 1171-1173.
142. Latimer, J.G., T. Johjima e K. Harada. 1991. The effect of mechanical stress on transplant growth and subsequent yield of four cultivars of cucumber. *Scientia Horticulturae* 47: 3-4, 221-230.
143. Latimer, J.G. e R.D. Oetting. 1994. Brushing reduces thrips and aphid populations on some greenhouse-grown vegetable transplants. *HortScience* 29 (11): 1279-1281.
144. Latimer, J.G. e R.B. Beverly. 1994. Conditioning affects growth and drought tolerance of cucurbit transplants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119 (5): 943-948.
145. Latimer, J.G. 1994. Pepper transplants are excessively damaged by brushing. *HortScience* 29 (9): 1002-1003.
146. Lemaire, F., A. Dartigues, L. M. Rivière e S. Charpentier. 1989. Cultures en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications. 1^a ed. INRA - PHM Revue Horticole (eds.), Paris.

147. Logan, T.J., W.R. Faber e E.M. Smith. 1984. Use of composted sludge on different crops. Ohio Florist's Association Bulletin 69(3):37-40. EUA.
148. Loussert, R. e G. Brousse. 1978. El olivo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Espanha.
149. Lynch, J. M. 1993. Substrate Availability in the Production of Composts, p. 24-35. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
150. Maas, E.F. e R.M. Adamson. 1972. Resistance of Sawdusts, Peats, and Bark to Decomposition in the Presence of Soil and Nutrition Solution. Soil Science Society Proceedings 36:769-773.
151. Maaswinkel, R. 1986. Plant size with lettuces. Groenten and Fruit 42(15):41. Holanda.
152. Maneka, S. 1989. The interrelation between the time of transplanting and age of leek seedlings. Buletini i Shkencave Bujqesore 28(1):27-35. Resumo de Horticultural Abstracts (1990) 60(11), p. 1015 n° 8851.
153. Mangal, J.L., A.H. Jassim e S.K. Mahmood. 1987. Effect of plant spacing and age of seedlings on yield and quality of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). Haryana J. Hort. Sciences 16(1&2):121-124. Iraque. Resumo de Horticultural Abstracts (1988) 58(4), p. 924, n° 7542.
154. Marchesi, G. e F. Cattivelli. 1988. A comparison of different substrates, with or without fertilizer, for the production of capsicum and aubergine seedlings. Colture Protette 17(1):91-93.
155. Marr, C.W. e M. Jirak. 1990. Holding tomato transplants in plug trays. HortScience 25(2):173-176.
156. Marsh R.M. e K.B. Paul. 1988. Influence of container type and cell size on cabbage transplant development and field performance. HortScience 23(2):310-311.
157. Martinez, F.X. e N. Cañameras. 1983. Daily variation of transpiration rate and stomatal resistance of *Capsicum annuum* in four substrates. Acta Horticulturae 150:357-369.
158. Martinez, R.M. e U.A. Aljaro. 1987. Agronomic evaluation of osmotic conditioning of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. II Effect on emergence and seedling development. Agricultura Tecnica 47(4):321-325.
159. Martinez, F.X. e R. Casasayas. 1988. Titration curves of different organic substrates. Acta Horticulturae 221:105-116.
160. Martinez, F.X., S. Burés, F. Blanca, M.P. Yuste e J. Valero. 1991. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate mixtures at container capacity. Acta Horticulturae 294:241-248.

161. Martínez, F.X. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. Actas de las I Jornadas de Sustratos de la SECH 294:55-65.
162. Martorell, M.S. 1993. Caracterització de substrats hortícoles: metodologies d'anàlisi i avaluació agronòmica de substrats per planter. Projecte d'Investigació Final de Carrera. Departamento de Agronomía da Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.
163. Masson, J., N. Tremblay e A. Gosselin. 1989. Influence of pH and bicarbonate content of nutrient solution on growth of celery seedlings cultivated in peat based media. Acta Horticulturae 238:113-118.
164. Matons, A. 1923. La sansa com adob. Publicacions Divulgadores dels Serveis Tècnics d'Agricultura. Mancomunitat de Catalunya, Espanha.
165. Maurya, K.R. e B.K. Singh. 1986. Effect of age of seedlings on growth, flowering and yield of chilli (*Capsicum annuum* Linn.). Progressive Horticulture 18(1/2):94-96. Resumo de Horticultural Abstracts (1988) 58(10), p.738, nº6705.
166. McAvoy, R.J. e H.W. Janes. 1990. Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedlings. Journal of the American Society for Horticultural Science 115(1):119-122.
167. McKinley, V., J.R. Vestal e A.E. Erarp. 1985. Microbial activity in composting. Part 2. BioCycle (Outubro):47-50.
168. Merillot, J.M. 1992. Composting plants: conception criteria for conciliation of treatment and marketing requirements. Acta Horticulturae 302:95-103.
169. Miller, F.C. 1993. Minimizing Odor Generation, p. 219-241. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
170. Milks, R.R., W.C. Fonteno, R.A. Larson. 1989. Hidrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media. Journal of the American Society for Horticultural Science 114(1):48-52.
171. Morgan, J.V. 1986. Chemical and environmental control of growth during propagation of tomato plants for transplanting. Acta Horticulturae 190:526-530.
172. Moussa, A.G. e M. Doss. 1986. Tomato production under unfavorable conditions. Acta Horticulturae 190:451-454.
173. Narayan, R. 1993. Biodegradation of Polymeric Materials (Anthropogenic Macromolecules) During Composting, p. 339-362. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
174. Nelson, E.B. e H.A.J. Hoitink. 1982. Factors affecting suppression of *Rhizoctonia solani* in container media. Phytopathology 72:275-279.

-
175. Nelson, E.B. e H.A.J. Hoitink, 1983. The role of microorganisms in the supression of *Rhizoctonia solani* in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology* 73:274-278.
176. Netherlands Proefstation voor Tuinbow onder Glass. 1989. Planting out large lettuce seedlings is detrimental. *Groenten and Fruit* 44(41):35. Holanda.
177. Nordstedt, R.A., A.W. Barkdoll e R.M. Schroeder. 1993. Composting of Yard wastes, p. 154-167. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
178. Obshatko, L.A., R.I. Volkova, V.K. Kurets e T.M. Koganova. 1988. The effectiveness of the combined activity of microelement complexes and chlorcholine chloride for raising cabbage seedlings. *Vliyanie Faktorov Sredy i Fiziologiya Atkivnykh Veshchestv na Produktivnost' i Ustoichivost' Rastenii*:55-60. URSS. Resumo de Horticultural Abstracts (1990) 60(5), p. 386, n° 3336.
179. Om, H., S.P. Tripathi e R.S. Misra. 1985. Effect of age of seedling and spacing on the growth, yield and other characters of cauliflower var. Snowball-16. *Progressive Horticulture* 17(2):129-133. Resumo de Horticultural Abstracts (1988) 58(4), p.234, n° 2107.
180. Pagés, M., V. Estaún, e C. Calvet. 1994. Composting of olive marc. *Acta Horticulturae* 172:255-261.
181. Pardossi, A., F. Tognoni e S.S. Lovemore. 1988. The effect of different hardening treatments on tomato seedlings growth, chilling resistance and crop production in a cold greenhouse. *Acta Horticulturae* 229:371-378.
182. Park, S.K., K.Y. Kim, Y.A. Shin e B.M. Lee. 1988. The effect of methods of raising seedlings in blocks on the growth and yield of tomatoes. *Research Reports of the Rural Development Administration Horticulture* 30(1):18-23. Republica da Coreia. Resumo de Horticultural Abstracts (1989) 59(5), p. 443, n° 3951.
183. Pereira, F.J., E.M. Matos, C.A. Valente, A.R. Vaz e M.L.P.M. Guedes. 1988. Tratamento de lamas do efluente primáriodo fabrico de pasta para papel: compostagem em pilhas com arejamento forçado, p. 817-827. In: 1ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Borrego, C. *et al.* (eds.). Universidade de Aveiro.
184. Perfil Florestal. 1991. Direção Geral das Florestas, Divisão de Estudos. Lisboa.
185. Pimpini, F. e G. Gianquinto. 1988. The influence of climatic conditions and age of plant at transplanting on bolting and yield of chicory (*Cichorium intybus* L.) cv. Rosso di Chioggia grown for early production. *Acta Horticulturae* 229:379-386.
186. Pimpini F. e G. Gianquinto. 1989. The effect of plant density, topping and chlormequat application on the earliness of table tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production in early protected crops. *Colture Protette* 18(2):69-83.

187. Pinkau, H. 1986. Seedling production using reduced heating. *Gartenbau* 33(11):329-331. RDA. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1988) 58(4), p. 623, n° 5680.
188. Poniedzialek, M., T. Wojtaszek, E. Kunicki e R. Suchodolska. 1988. Effect of temperature, supplementary lighting and pricking-out on the length of the growing period and quality of lettuce transplants for greenhouse production. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Biological Sciences* 36(1-3):53-60. Polónia.
189. Pontinen, V. e I. Voipio. 1992. Different methods of mechanical stress in controlling the growth of lettuce and cauliflower seedlings. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 42(4):246-250. Finlândia.
190. Prasad, M. 1979. Physical properties of media for container-grown crops. I. New Zealand peats and wood wastes. *Scientia Horticultura* 10:317-323.
191. Pudeldski, T. 1987. Horticultural use of compost, p.20-29. In M. de Bertoldi *et al.* (eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex, Reino Unido.
192. Quagliotti, L. e A. Rota. 1986. Germination trials of eggplant seeds (*Solanum melongena* L.). *Capsicum Newsletter* 5:72-73.
193. Ramos, J. C. M., J.S. Vilaseca e A. C. Ramon. 1987. Control analític de la qualitat del compost i estudi de la seva maduració. In: *Experiències amb el compost*. Servei del Medi Ambient, Diputació de Barcelona (eds). *Estudis I monografies* 12. p. 31-69.
194. Rankov, V., H. Simidchiev e V. Kanazirska. 1987. Use of pine bark tree in container growing of glasshouse tomatoes. *Plant Science* XXIV(8):119-123. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1988) 58(4), p. 110, n° 966.
195. Raviv, M., Y. Chen e Y. Inbar. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grown plants, p. 257-287. In: *The role of organic matter in modern agriculture*. Y. Chen e Y. Avnimelech (eds.). Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, Holanda.
196. Redlich, G.C. e Verdure. [197?]. Le comportement physique des turbes et terreaux en cours de culture. *PHM-Revue Horticole* 160:13-20.
197. Richard, D. e R. Zimmerman. 1995. Respiration Rate-Reheating Potential: A Comparison of Measures of Compost Stability. *Compost Science & Utilization* 3(2):74-79.
198. Richard, T., P. Woodbury, V. Breslin, e S. Crawford. 1993. MSW Composts: Impacts of Separation on Trace Metal Contamination, p. 401-421 In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
199. Rishani, N. e R.P.J. Rice. 1988. Use of carob as a potting medium component. *HortScience* 23(2):334-336.

200. Rivière, L.M. 1980. Importance des caractéristiques physiques dans le choix des substrats pour les cultures hors sol. *PHM-Revue Horticole* 209:23-27.
201. Rivière, L.M. 1995. Gestion de l'eau dans les systèmes de cultures en pots. *PHM-Revue Horticole* 363:34-38.
202. Robinson, J.J. e E.I. Stentiford. 1993. Improving the aerated static pile composting method by the incorporation of moisture control. *Compost Science & Utilization* (1):52-68.
203. Romanowska, E., E. Parys e J. Poskuta. 1987. Gibberelin-activity in pea seedlings during growth under red, blue and white light. *Biologia Plantarum* 29(5):334-337. Polónia. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1988) 58(4), p. 381, nº 3456.
204. Ryan, J.A. e R.F. Chaney. 1993. Regulation of Municipal Sewage Sludge Under the Clean Water Act Section 503: A Model for Exposure and Risk Assessment for MSW-Compost, p. 422-450. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
205. Sana, J. e M. Soliva. 1987. *El compostatge, procés, sistemes, aplicacions*. 1ª ed. Servei del Medi Ambient, Diputació de Barcelona, Barcelona.
206. Sanderson, K.C. 1980. Use of sewage-refuse compost in the production of ornamental plants. *HortScience* 15(2):15-20.
207. Santos, J.Q. e L.S. Campos. 1986. Possibilidades de aproveitamento do bagaço de uva como fertilizante. 3º Encontro Nacional de Biotecnologia.
208. Schapira, A. e M. Perus. 1987. Summer cauliflower plants in miniblocks. The first results of CEDRE. *PHM-Revue Horticole* 282:63-65.
209. Schatz, A. 1994. The importance of chelation in composting: a historical perspective. *Compost Science & Utilization*, (Primavera):44-47.
210. Schnelle, M.A., B.D. McCraw e T.J. Schmoll. 1994. A brushing apparatus for height control of bedding plants. *HortTechnology* 4(3): 275-276. EUA.
211. Schulze, K.L. 1961. Continuous thermophilic composting. *Applied Microbiology* 10:108-122.
212. Scott, E.G. e B.C. Bearce. 1972. A hardwood-bark-sawdust compost for greenhouse pot flower production. *Forest Products Journal* 22(1):36-39.
213. Shanks, J.B. 1982. Growth regulating chemicals, p. 106-113. In *Geraniums III*. 3ª ed. J.W. Mastalerz e E.J. Holcomb (eds.). Pennsylvania Flower Growers.
214. Shanks, J.B. e F.R. Gouin. 1984. Compost Suitability For Greenhouse Ornamental Plants. *BioCycle* (Janeiro/Fevereiro):42-45.
215. Sharma, R.P. e P.N. Arora. 1987. Response of mid-season cauliflower to irrigation, nitrogen and age of seedlings. *Vegetable Science* 14(1):1-6.

-
216. Shaw, L.N. 1987. Towards automatic transplanting. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 99:300-302.
217. Shedlosky, M.E. e J.W. White. 1987. Growth of bedding plants in response to root zone temperature regimes. Journal of the American Society for Horticultural Science 112(2):290-295.
218. Skrybykina, M.I. e L.N. Ivanova. 1987. Effect of gamma-irradiation and synthetic growth regulators on the mineral nutrition and growth of tomato plants. Fiziologicheskie Osobennosti Sel'skokhozyaistvennykh Kul'tur v Vostochnoi Sibiri:102-105. URSS. Resumo de Horticultural Abstracts (1987) 57(12), p. 1010, n° 9522.
219. Smagina, M.I. e L.N. Ivanova 1986. Use of retardants on tomatoes growing in the Tambovsk region. Priemy Povysheniya Urozhainosti Ovoshchnykh Kul'tur v Tsentral noi Chernozenoi Zone Voronezh:105-110. URSS. Resumo de Horticultural Abstracts (1988) 58(4), p. 110, n° 963.
220. Smith, I.E. 1986. Research into the speedling system of raising vegetable seedlings in South Africa. Acta Horticulturae 194:173-186.
221. Sogni, S. 1988. Substrati tradizionali e substrati alternativi per la coltivazione in contenitore. L'Informatore Agrario 1:79-88. Itália.
222. Soliva, M. e F. Giró. [198?]. Composting of three kinds of residues of very different origin. Laboratório de Química da Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Espanha.
223. Soliva, M., J. Sana, M. Pujolà, P. Jimenez e F. Giró. 1990. Practiques d'Analisi Química Agrícola. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, Espanha.
224. Spencer, S. e D.M. Benson. 1982. Pine bark, hardwood bark compost and peat amendment effects on development of *Phytophthora* spp. and Lupine root rot. Phytopathology 72:346-351.
225. Stentiford, E.I. 1987. Composting and use of agricultural wastes in container media, p. 52-60. In M. de Bertoldi *et al.* (eds.). Compost: Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex, Reino Unido.
226. Stentiford, E.I. 1993. Diversity of composting systems, p. 95-110. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
227. Still, S.M., M.A. Dirr e J.B. Gartner. 1976. Phytotoxic Effects of Several Bark Extracts on Mung Bean and Cucumber Growth. Journal of the American Society for Horticultural Science 101(1):34-37.
228. Tesi, R. e D. Tosi. 1989. The effect of certain cultural factors on the production of tomato seedlings in nursery. Colture Protette 18(5):73-78.
229. Tesi, R. 1993. Moderne tecniche di protezione in orticoltura, floricoltura e frutticoltura. 3ªed. Edagricole. Bologna, Itália.

-
230. Tesi, R. e F. Lo Faro. [198?]. L'impiego delle cortecce macinate come substrato per le culture in vaso. *Florocoltura e Giardinaggio*[?]:71-76.
231. Tica, M. e S. Stevancevic. 1988. Peat substrates in plant production. *Agrohemija* 3:231-238. Jugoslávia. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1989) 59(1) n° 41.
232. Tilt, K.M., T.E. Bilderback e W.C. Fonteno. 1987. Particle size and container size effects on growth of three ornamental species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112(6):981-984.
233. Tong, Z. 1989. Effects of purity of light quality on photomorphogenesis of seedlings. *Plant Physiology Communications* 2:28-31. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1990) 60(9), p. 834, n° 7247.
234. Tosi, D. e R. Tesi. 1987. The effect of fertilizing the substrate on the growth of tomato seedlings in nurseries. *Notiziario di Ortoflorofruitticoltura* 13(2):67-73.
235. Tremblay, N. e M. Senecal. 1988. Nitrogen and potassium in nutrient solution influence seedling growth of four vegetable species. *HortScience* 23(6):1018-1020.
236. Tremblay, N., S. Yelle e A. Gosselin. 1988. Effects of CO₂ enrichment nitrogen and phosphorus fertilization during the nursery period on mineral composition of celery. *Journal of Plant Nutrition* 11(1):37-49.
237. Tremblay, N. e A. Gosselin. 1989a. Growth and nutrient status of celery in response to nitrogen fertilization and NO₃/NH₄ ratio. *HortScience* 24(2):284-288.
238. Tremblay, N. e A. Gosselin. 1989b. Growth nutrient status and yield of celery seedlings in response to fertilization. *HortScience* 24(2):288-291.
239. Tremblay, N. e M. Senecal. 1990. The effects of irrigation method and the urea content of the nutrient solution on the characteristics of young broccoli, celery and lettuce seedlings. *Agronomie* 10(1):15-21.
240. Uffelen, J.A.M.V. 1987. CO₂ in the glasshouse. CO₂ during propagation. *Groenten and Fruit* 43(3):37. Holanda.
241. Uffelen, J.A.M.V. 1988. Methods of raising capsicums. Plant size at planting out should be of primary importance. *Groenten and Fruit* 44(14):44-45. Holanda.
242. Uffelen, J.A.M.V. e R. Maswinkel. 1989. Raising capsicums. I-Plant size, temperature and lighting. *Groenten and Fruit* 45(11):46-47. Holanda.
243. Vakhmistrov, D.B., N.E. Mishustina, O.A. Zverkova e E.Y. Debets. 1989. Surface activity of humic acids as one of the causes of their stimulating effect on plant growth. *Fiziologiya Rastenii* 36(5):980-989. URSS. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1990) 60(1), p. 202, n° 1735.
244. Verdonck, O. 1983. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. *Acta Horticulturae* 150:467-473.

245. Veschambre, D., P. Vaysse e G. Espanel. 1982. Utilisation de l'écorce de pin maritime comme substrat en culture légumière. *PHM Revue Horticole* 226:47-50.
246. Vogtmann, H., W. Obrist, K. Hauser, H.P. Pfirter e F. Augstburger. 1978. Composting and plant growth: use of chicken manure containing antibiotics. *Compost Science/Land utilization (Setembro - Outubro)*:22-25.
247. Voican, V. e A.V. Voican. 1986. Studies on the stress effect of insufficient light on greenhouse tomatoes. *Lucrari Stiintifice, Institutul Agronomic "Nicolae Balcescu", B (Horticultura)* 29(1):37-45. Roménia. *Resumo de Horticultural Abstracts (1988)* 58(4), p. 319, nº 2902.
248. Waksman, S.A. e T.C. Cordon. 1938. Thermophilic decomposition of plant residues in composts by pure and mixed cultures of microorganisms. *New Jersey Agricultural Experiment Station*:217-225. EUA.
249. Waksman, S.A., T.C. Cordon e N. Hulpoi. 1938. Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure. *New Jersey Agricultural Experiment Station*:83-113. EUA.
250. Walker, J.M. 1993. Control of Composting Odors, p. 185-218. In: H.A.J. Hoitink e H.M. Keener (eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications. Worthington, EUA.
251. Waller, P.L. e F.N. Wilson. 1983. Evaluation of growing media for consumer use. *Acta Horticulturae* 150:51-58.
252. Wang, Y.T. e L.L. Gregg. 1990. Uniconazole controls growth and yield of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 43(1-2):55-62.
253. Weston, L.A., 1988. Effect of flat cell size transplant age and production site on growth and yield of pepper transplants. *HortScience* 23(4):709-711.
254. Weston, L.A. e B.H. Zandstra. 1989. Transplant age and N and P nutrition effects on growth and yield of tomatoes. *HortScience* 24(1):88-90.
255. Whitcomb, C.E. 1984. Plant production in containers. C.E. Whitcomb (ed.). Lacerback Publications, Oklahoma, EUA.
256. Widders, I.E. 1989. Pretransplant treatments of N and P influence growth and elemental accumulation in tomato seedlings. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114(3):416-420.
257. Wilson, G.B., J.F. Parr, E. Epstein e P.B. Marsh. 1980. Manual for composting sewage sludge by the Beltsville aerated-pile method. *Municipal Environ. Res. Lab. Office of Res. and Dev. U.S. Environ. Protection Agency. Cincinnati, Ohio*.
258. Wilson, G.C.S. 1983. The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 150:19-31.

-
259. Wurr, D.C.E., J.R. Fellows e P. Hadley. 1986. The influence of supplementary lighting and mechanically-induced stress during plant raising, on transplant and maturity characteristics of crisp lettuce. *Journal of Horticultural Science* 61(3): 325-330.
260. Wurr, D.C.E., J.R. Fellows e A.J. Pittam. 1987. The influence of plant raising conditions and transplant age on the growth and development of crisp lettuce. *Journal of Agricultural Science* 109(3):573-581.
261. Yan, L., X.Y. Bai e Z.L. Chen. 1988. Studies on increased vigour in cucumber, tomato and capsicum seeds treated in an electrostatic field. *Acta Hort. Sinica* 15(2):115-119. R.P. da China. *Res. Hort. Abstr.* (1989) 59(3), p.398, n° 1948.
262. Zhao, G.Y., L.H. Che e S. Meng. 1987. The effect of atmospheric and ground temperatures on seedling quality of four vegetables. *J. of Shenyang Agr. Univ.* 18(3):75-80. R. P. da China. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1989) 59(9), p. 733 n° 6433.
263. Zhukova, P.S., Y.M. Zabara e T.E. Anikhovskaya. 1987. Promising growth regulators for raising tomato transplants. *Ovosshevodstvo* 7:71-77. URSS. *Resumo de Horticultural Abstracts* (1988) 58(4), p. 240, n° 2159.
264. Zucconi, F., A. Monaco e M. Forte. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter, p. 73-85. In: J.K.R. Gasser (editor). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers. Londres e Nova York.
265. Zucconi, F. e M. de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid wastes, p. 30-50. In M. de Bertoldi *et al.* (eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. Essex, Reino Unido.
266. Zucconi, F., A. Pera, M. Forte e M de Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost *BioCycle* 22:54-57.

ANEXOS

Anexo 1 - Caracterização dos substratos comerciais utilizados, segundo o fabricante

Quadro 77 - Características do substrato testemunha: TrioHum Traysubstrat (Klassman-Deilmann, Alemanha), mistura de turfas de turfeiras altas, de diferentes graus de decomposição: H3-H5 e H6-H7, na escala de Von Post

| Nutrientes | teor (mg L ⁻¹) | pH |
|-------------------------------|----------------------------|---------|
| N | 140-220 | 6 - 6,5 |
| P ₂ O ₅ | 170-250 | |
| K ₂ O | 190-290 | |
| MgO | 110 | |
| micronutrientes | não especificados | |

Quadro 78 - Características da turfa para as misturas: Floratorf (Torfstreuverband GMBH, Alemanha), turfa loura, com grau de decomposição entre H2 e H5, na escala de Von Post

| Características físicas e químicas | | Teor em nutrientes (% p/p) | |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|
| matéria orgânica | 95 - 99% (peso seco) | N | 0,9 - 1,1 % |
| espaço poroso total | 90 - 95% (v/v) | P ₂ O ₅ | 0,025 - 0,05 |
| capacidade de retenção de água | 60 - 70% (v/v) | K ₂ O | 0,03 - 0,05 |
| capacidade de arejamento | 35 - 45% (v/v) | MgO | 0,1 - 0,3 |
| capacidade de troca catiónica | 100 - 150 meq L ⁻¹ | CaO | 0,25 - 0,35 |
| pH | 3 - 3,5 | | |
| EC | 0,05 - 0,10 dS m ⁻¹ | | |

Anexo 2 - Ensaio de calagem da turfa para preparação das misturas

2.1 Correctivo: calcário comercial, crivado (1 mm)

2.2 Material: turfa loura "Floratorf" (Torfstreuverband GMBH, Alemanha).

2.3 Método:

- . mediu-se o volume de 0,5 L de turfa (com êmbolo a 10g cm^{-2}), que se colocou em vasos plásticos de tamanho 12,
- . aplicaram-se as doses de 0-2-3-4-5 e 6 g de calcário por litro de substrato, em triplicado,
- . colocaram-se os vasos numa estufa aquecida a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- . mediu-se o pH semanalmente, em extracto aquoso 1:2 (v/v), colhendo-se a amostra com êmbolo à pressão de 10g cm^{-2}

2.4 Resultados

- . verificou-se que nas condições do ensaio e com o calcário utilizado (tipo e granulometria), o pH estabilizou à segunda semana.
- . para elevar o pH até cerca de 5,8 a dose a aplicar nesta turfa é de cerca de $2,0\text{ g L}^{-1}$ (quadro 79 e Fig. 37).

Quadro 79 - Valor do pH registado durante o ensaio de calagem

| Calcário g l^{-1} | Semanas | | | |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a | 5 ^a |
| 0 | 4,7 | 4,9 | 4,9 | 4,8 |
| 2 | 5,4 | 5,9 | 5,8 | 5,8 |
| 3 | 5,8 | 6,3 | 6,2 | 6,2 |
| 4 | 6,3 | 6,7 | 6,6 | 6,6 |
| 5 | 6,5 | 6,9 | 6,9 | 7,0 |
| 6 | 6,9 | 7,3 | 7,1 | 7,1 |

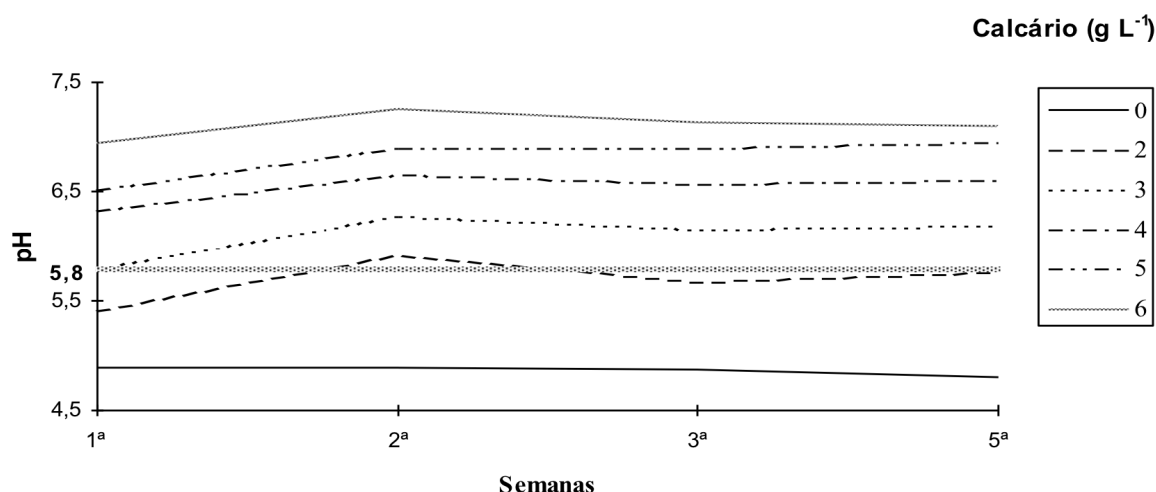


Figura 37 - Evolução do pH da turfa, com a aplicação de doses crescentes de calcário

Anexo 3 - Fertilização empregue nos ensaios de cultura

Quadro 80 - Solução nutritiva de referência empregue na cultura em placas alveoladas (Martorell, 1993)

| | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻ | P | HCO ₃ ⁻ |
|----------------------|------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----|-------------------------------|
| mmol L ⁻¹ | 0,3 | 2,6 | 0,8 | 1,0 | 0,7 | 4,2 | 0,5 | 0,9 | 0,4 | 0,2 |
| | Fe | Mn | Zn | B | Cu | EC (dS m ⁻¹) | | pH | | |
| µmol L ⁻¹ | 4,0 | 1,6 | 3,3 | 8,0 | <0,5 | 0,9 | | 5,8 | | |

Quadro 81 - Composição do adubo empregue na fertilização de base da cultura em placas alveoladas e em vaso PG Mix (Windmill, Holanda)

| Macronutrientes | % | Micronutrientes | % |
|-------------------------------|-----|-----------------|------|
| N total | 14 | Bo | 0,03 |
| N-NO ₃ | 5,5 | Mo | 0,2 |
| N-NH ₄ | 8,5 | Cu | 0,12 |
| P ₂ O ₅ | 16 | Mn | 0,16 |
| K ₂ O | 18 | Zn | 0,04 |
| MgO | 0,7 | Fe (Fe-EDTA) | 0,09 |

Quadro 82 - Adubo de libertação lenta empregue na fertilização na cultura em vaso

| 1º Ensaio | | | | 2º Ensaio | | | |
|--|----|-----------------|-------|---|----|-----------------|-------|
| “Osmocote Plus” (Sierra), tempo de libertação total de nutrientes, 6 a 7,5 meses, à temperatura de solo de 16 °C | | | | “Plantacote Mix 4” (Aglukon), tempo de libertação total de nutrientes, 4 a 5 meses, à temperatura de solo de 15 a 16 °C, Ø 2 a 4 mm | | | |
| Macronutrientes | % | Micronutrientes | % | Macronutrientes | % | Micronutrientes | % |
| N total | 15 | Bo | 0,02 | N total | 15 | Bo | 0,020 |
| P ₂ O ₅ | 10 | Mo | 0,02 | P ₂ O ₅ | 10 | Mo | 0,015 |
| K ₂ O | 12 | Cu | 0,05 | K ₂ O | 15 | Cu | 0,050 |
| MgO | 2 | Zn | 0,015 | MgO | 2 | Zn | 0,015 |
| | | Fe | 0,15 | | | Fe | 0,150 |
| | | Mn | 0,06 | | | Mn | 0,075 |

Quadro 83 - Adubo utilizado na preparação da solução nutritiva da cultura em vaso (“Nutrifol”, Windmill, Holanda)

| Macronutrientes | % | Micronutrientes | % |
|-------------------------------|----|-----------------|-------|
| N total | 18 | Bo | 0,010 |
| P ₂ O ₅ | 18 | Mo | 0,023 |
| K ₂ O | 18 | Cu | 0,018 |
| MgO | 3 | Zn | 0,009 |
| | | Fe | 0,054 |
| | | Mn | 0,037 |

Anexo 4 - Valores da radiação PAR durante os ensaios de cultura

Quadro 84 - Valores médios do nível de radiação PAR, registados durante o 1º viveiro de tomate

| Valor médio da irradiância (W m ⁻²) | Hora legal | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 17.00 | 17.30 |
| Interior | 89,1 | 184,4 | 157,0 | 53,0 | 21,1 |
| Exterior | 176,8 | 272,0 | 267,0 | 141,0 | 33,3 |
| Relação Int./Ext. (%) | 50,4 | 67,8 | 58,8 | 37,6 | 63,4 |

Quadro 85 - Valores médios do nível de radiação PAR, registados durante o 2º viveiro de tomate

| Irradiância, com reflector ¹ (W m ⁻²) | Hora legal | | | | | |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 9.00 | 11.00 | 13.00 | 15.00 | 17.00 | 19.00 |
| Ponto 1 | 45,1 | 197 | 262 | 189 | 124 | 4,88 |
| Ponto 2 | 66,0 | 196 | 239 | 173 | 113 | 4,86 |
| Ponto 3 | 44,9 | 188 | 192 | 186 | 100 | 4,60 |
| Ponto 4 | 71,2 | 130 | 225 | 191 | 93 | 4,19 |
| Ponto 5 | 82,6 | 141 | 255 | 198 | 86 | 3,80 |
| média | 62,0 | 170 | 235 | 187 | 103 | 4,48 |
| Relação Int./Ext. (%) | 83,4 | 75,4 | 68,8 | 56,3 | 62,9 | 84,4 |
| Irradiância, sem reflector | | | | | | |
| Ponto 1 | 53,8 | 212 | 240 | 188 | 132 | 4,52 |
| Ponto 2 | 67,8 | 202 | 238 | 165 | 119 | 4,39 |
| Ponto 3 | 47,1 | 188 | 181 | 182 | 106 | 4,51 |
| Ponto 4 | 64,6 | 122 | 210 | 176 | 92 | 4,29 |
| Ponto 5 | 78,9 | 125 | 223 | 179 | 64 | 4,32 |
| média | 62,4 | 170 | 218 | 178 | 107 | 4,41 |
| Relação Int./Ext. (%) | 84,0 | 75,4 | 63,8 | 53,6 | 65,3 | 83,2 |

¹ Mediu-se a irradiância em 5 pontos segundo o eixo longitudinal da bancada, a intervalos regulares, sendo o ponto 1 o mais próximo da parede exterior (voltada a Sul) e os seguintes no sentido do interior da estufa, aproximando-se da superfície reflectora (do lado Norte). Efectuaram-se as medições a diferentes horas do dia, em vários dias de céu limpo, com um aparelho portátil da marca SKE 500, com sensor SKE 510.

Quadro 86 - Aumento da radiação recebida pelas plantas devido à utilização do reflector (%) durante o 2º viveiro de tomate

| | Hora legal | | | | | |
|--------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 9.00 | 11.00 | 13.00 | 15.00 | 17.00 | 19.00 |
| Ponto 1 | -16,2 | -7,1 | 9,2 | 0,5 | -6,1 | 8,0 |
| Ponto 2 | -2,6 | -2,9 | 0,4 | 4,8 | -5,0 | 10,5 |
| Ponto 3 | -4,7 | 0 | 6,1 | 2,2 | -5,7 | 2 |
| Ponto 4 | 10,2 | 6,6 | 7,1 | 8,5 | 1,1 | -2,3 |
| Ponto 5 | 4,7 | 12,8 | 14,3 | 10,6 | 2,4 | -12,0 |
| média ¹ | -0,6 | 0 | +7,8 | +5,1 | -3,7 | +1,6 |

¹ Considerando os valores de “média” com e sem reflector, do Quadro 85.

Quadro 87 - Valores médios do nível de radiação PAR, com reflector instalado, registados durante a 1ª cultura de pelargonio em vaso

| Irradiância (W m ⁻²) | Hora legal | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 8.00 | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 18.00 | 19.00 |
| Interior | 6,7 | 22,5 | 84,8 | 144,4 | 186,0 | 246,5 | 276,5 | 261,5 | 219,9 | 188,5 | 120,0 | 56,0 |
| Exterior | 7,7 | 23,0 | 165,6 | 249,9 | 331,0 | 407,0 | 452,0 | 433,0 | 409,5 | 346,0 | 245,0 | 172,0 |
| Int./Ext. (%) | 86 | 98 | 51 | 58 | 56 | 61 | 61 | 60 | 54 | 55 | 49 | 33 |

Anexo 5 - Variação do pH e da EC nos substratos utilizados

Quadro 88 - Valor do pH e da condutividade eléctrica no início do 2º viveiro de tomate e no final, em dois níveis: no centímetro superior e no restante material do alvéolo

| Tratamento (composto, %) | pH | | | | | EC (dS m ⁻¹) | | | |
|-----------------------------|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| | Início | Final | | | Início | Final | | | |
| | | Médio ¹ | Superior ² | Inferior ³ | | Global ¹ | Superior ² | Inferior ³ | |
| BA | 100 | 6,7 | 6,9 | 6,5 | 7,3 | 0,479 | 0,571 | 0,829 | 0,488 |
| | 50 | - | 6,7 | 6,5 | 7,0 | - | 0,797 | 0,954 | 0,739 |
| BU | 100 | 7,5 | 7,1 | 7,1 | 7,0 | 0,536 | 0,963 | 1,025 | 0,727 |
| | 50 | - | 6,7 | 6,6 | 6,8 | - | 0,858 | 0,998 | 0,748 |
| PA | 100 | 5,7 | 6,1 | 5,6 | 5,8 | 1,308 | 0,823 | 1,119 | 0,674 |
| | 50 | - | 5,9 | 5,7 | 5,9 | - | 0,860 | 1,013 | 0,769 |
| CEa | 100 | 7,1 | 7,5 | 7,3 | 7,4 | 2,390 | 1,163 | 1,675 | 1,325 |
| | 50 | - | 7,3 | 6,9 | 7,3 | - | 1,020 | 1,329 | 0,966 |
| CPa | 100 | 6,0 | 7,1 | 6,7 | 7,0 | 2,230 | 0,813 | 1,150 | 0,723 |
| | 50 | - | 7,1 | 6,8 | 7,1 | - | 0,737 | 0,948 | 0,711 |
| T. Traysub. | | 5,8 | 6,8 | 6,6 | 6,7 | 1,038 | 0,957 | 1,341 | 1,016 |
| Floratorf | | 3,9 ⁴ /5,8 ⁵ | - | - | - | 0,174 ⁴ | - | - | - |

¹ Não corresponde ao valor da média aritmética dos valores determinados nas partes superior e inferior, por se terem utilizado amostras diferentes para as determinações globais e parciais.

² No centímetro superior.

³ No restante material do alvéolo.

⁴ Antes da correcção do pH.

⁵ Após correcção com calcário.

Quadro 89 - Valores finais do pH e da condutividade eléctrica (dS m⁻¹) nas misturas com compostos, empregues no 2º viveiro de tomate

| Composto | Variável | Percentagem de incorporação de composto na mistura | | | | |
|----------|----------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| BA | pH | 6,8 | 6,4 | 6,9 | 7,1 | 6,9 |
| | EC | 0,957 | 0,810 | 0,797 | 0,647 | 0,571 |
| BU | pH | 6,8 | 6,6 | 6,7 | 7,1 | 7,1 |
| | EC | 0,957 | 0,907 | 0,858 | 0,788 | 0,963 |
| PA | pH | 6,8 | 5,8 | 5,9 | 6,0 | 6,1 |
| | EC | 0,957 | 0,772 | 0,860 | 0,746 | 0,823 |
| CEa | pH | 6,8 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,5 |
| | EC | 0,957 | 0,868 | 1,020 | 1,005 | 1,163 |
| CPa | pH | 6,8 | 6,9 | 7,1 | 7,1 | 7,1 |
| | EC | 0,957 | 0,717 | 0,737 | 0,793 | 0,813 |

Quadro 90 - Variação do pH e da condutividade eléctrica (dS m⁻¹), nas misturas com compostos, empregues durante o 3º viveiro de tomate

| Composto | Variável | Valor inicial ¹ | Valor no final do viveiro ² | | | |
|-----------|----------|----------------------------|--|-------|-------|-------|
| | | | (% de composto na mistura) | | | |
| | | | 25 | 50 | 75 | 100 |
| BA | pH | 6,1 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 6,1 |
| | EC | 0,600 | 0,780 | 0,810 | 0,718 | 0,798 |
| BU | pH | 6,3 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,6 |
| | EC | 0,2440 | 1,050 | 0,995 | 0,952 | 0,608 |
| PA | pH | 5,7 | 5,4 | 5,3 | 5,2 | 5,4 |
| | EC | 1,323 | 1,118 | 1,167 | 0,903 | 0,944 |
| CEa | pH | 6,9 | 6,1 | 6,5 | 6,5 | 6,8 |
| | EC | 3,057 | 0,956 | 0,921 | 0,949 | 0,907 |
| CPa | pH | 6,0 | 6,0 | 6,2 | 6,3 | 6,5 |
| | EC | 2,617 | 0,823 | 0,778 | 0,787 | 0,690 |
| CEb | pH | 7,8 | 6,1 | 6,5 | 6,9 | 7,7 |
| | EC | 3,790 | 1,006 | 1,122 | 1,150 | 0,761 |
| CPb | pH | 6,3 | 5,7 | 5,3 | 5,4 | 5,4 |
| | EC | 0,785 | 0,889 | 0,892 | 0,924 | 0,693 |
| Floratorf | pH | 5,8 | 5,47 | | | |
| | EC | 0,128 | 1,151 | | | |

¹ Antes da fertilização.² Valores obtidos com os materiais relativamente húmidos.

Anexo 6 - Variação da temperatura dos substratos

Quadro 91 - Variação da temperatura do substrato e do ar no 2º viveiro de tomate

| Temperatura (°C) | Hora legal | | | | | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 | 17.00 | 19.00 |
| Ar | 14,3 | 19,3 | 22,0 | 25,5 | 25,0 | 25,0 | 24,5 | 20,5 | 16,7 |
| Substrato ¹ | 13,7 | 17,3 | 22,8 | 26,5 | 32 | 29 | 27,5 | 25,5 | 22,3 |
| Incremento da temperatura do substrato | - 0,6 | - 2,0 | + 0,8 | + 1,0 | + 7,0 | + 4,0 | + 3,0 | + 5,0 | + 5,6 |

¹ Temperatura mínima: 8 °C.

Anexo 7 - Percentagem de germinação nos viveiros no 2º ano de ensaios de cultura

Quadro 92 - Percentagem de germinação nos 3º e 4º viveiros de tomate

| Tratamento | | Percentagem de germinação | |
|----------------------|--------------|---------------------------|------------|
| Composto | % na mistura | 3º Viveiro | 4º Viveiro |
| BA | 100 | 95,8 | 15,6 |
| | 75 | 100,0 | 81,3 |
| | 50 | 95,8 | 78,1 |
| | 25 | 100,0 | 75,0 |
| BU | 100 | 87,5 | 15,6 |
| | 75 | 100,0 | 78,1 |
| | 50 | 100,0 | 96,9 |
| | 25 | 100,0 | 84,4 |
| PA | 100 | 95,8 | 56,3 |
| | 75 | 100,0 | 87,5 |
| | 50 | 100,0 | 87,5 |
| | 25 | 100,0 | 96,9 |
| CEa | 100 | 100,0 | 84,4 |
| | 75 | 100,0 | 90,6 |
| | 50 | 100,0 | 90,6 |
| | 25 | 100,0 | 100,0 |
| CPa | 100 | 100,0 | 71,9 |
| | 75 | 100,0 | 78,1 |
| | 50 | 100,0 | 93,8 |
| | 25 | 100,0 | 84,4 |
| CEb | 100 | 95,8 | 50,0 |
| | 75 | 95,8 | 65,6 |
| | 50 | 100,0 | 75,0 |
| | 25 | 100,0 | 87,5 |
| CPb | 100 | 100,0 | 71,9 |
| | 75 | 95,8 | 90,6 |
| | 50 | 100,0 | 84,4 |
| | 25 | 87,5 | 100,0 |
| Triohum Traysubstrat | | 100,0 | 90,6 |

Anexo 8 - Valores limite para os teores de metais pesados em LETAR e nos seus compostos

Quadro 93 - Valores limite para os teores de metais pesados em LETAR e nos seus compostos

| Elemento | NOAEL ¹ (mg kg ⁻¹) | Portaria 176/96 ² |
|----------|---|------------------------------|
| Cd | 18 | 20 |
| Cr | 1000 | 1000 |
| Cu | 1200 | 1000 |
| Hg | não indicado | 16 |
| Ni | 500 | 300 |
| Pb | 300 | 750 |
| Zn | 2700 | 2500 |

¹ Tabela NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) adaptado de Page *et al.*, 1989, *cit. in Richard et al.*, 1993).

² Valores para as lamas, Portaria 176/96 de 3 de Outubro.

Quadro 94 - Valores limitantes do teor de metais pesados em composto: teor máximo no composto, mg kg⁻¹ (peso seco) (adaptado de Bertoldi, 1993)

| Elemento | Recolha normal ¹ | | Recolha selectiva ² |
|----------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| | Comestíveis | Ornamentais | |
| Zn | 1000 | 1500 | 240 |
| Pb | 750 | 1000 | 160 |
| Cu | 300 | 500 | 40 |
| Cr | 150 | 200 | 30 |
| Ni | 50 | 100 | 10 |
| As | - | - | - |
| Hg | 5 | 5 | 0,5 |
| Cd | 5 | 5 | 1 |

¹ Limites de Flemish Public Waste Company para o emprego de compostos em agricultura.

² Resultados da recolha selectiva da fracção degradável de RSU em Bilt, Holanda (VAM).

Anexo 9 - Correlações das propriedades físicas das misturas de cada composto e das variáveis medidas nas plantas

Quadro 95 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de azeitona e das variáveis determinadas nas plantas do 1º e 2º viveiros de tomate

| BA Variável | 1º Viveiro | | | 2º Viveiro | | |
|----------------|------------|--------|---------|------------|----------|----------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,924 | -0,940 | -0,980* | -0,998** | -0,995** | -0,998** |
| EPT | 0,925 | 0,941 | 0,981* | 0,998** | 0,995** | 0,998** |
| CA | -0,985* | -0,875 | -0,971* | -0,957* | -0,956* | -0,985* |
| AFU | 0,967* | 0,902 | 0,979* | 0,978* | 0,976* | 0,996** |
| AR | 0,918 | 0,821 | 0,916 | 0,950* | 0,935 | 0,978* |
| ADU | 0,962* | 0,910 | 0,969* | 0,900 | 0,919 | 0,910 |
| AU | 0,963* | 0,893 | 0,973* | 0,977* | 0,973* | 0,996** |
| AT | 0,970* | 0,902 | 0,980* | 0,976* | 0,975* | 0,995** |
| Nutrientes | -0,927 | -0,948 | -0,985* | -0,998** | -0,997** | -0,997** |

¹ Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05, ** p ≤ 0,01, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 96 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de uva e das variáveis determinadas nas plantas do 1º e 2º viveiros de tomate

| BU Variável | 1º Viveiro | | | 2º Viveiro | | |
|----------------|------------|--------|--------|------------|---------|----------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | 0,226 | -0,728 | -0,785 | -0,999** | -0,963* | -0,991** |
| EPT | -0,228 | 0,723 | 0,780 | 1,000** | 0,961* | 0,991** |
| CA | 0,290 | -0,710 | -0,785 | -0,998** | -0,953* | -0,998** |
| AFU | -0,252 | 0,738 | 0,807 | 0,997** | 0,965* | 0,998** |
| AR | -0,215 | 0,753 | 0,812 | 0,997** | 0,972* | 0,995** |
| ADU | -0,566 | 0,385 | 0,495 | 0,925 | 0,767 | 0,907 |
| AU | -0,247 | 0,740 | 0,808 | 0,997** | 0,966* | 0,998** |
| AT | -0,279 | 0,713 | 0,785 | 0,999** | 0,955* | 0,997** |
| Nutrientes | 0,209 | -0,759 | -0,819 | -0,996** | -0,974* | -0,995** |

¹ Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05, ** p ≤ 0,01, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 97- Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de polpa de alfarroba e das variáveis determinadas nas plantas dos 1º e 2º viveiros de tomate

| PA Variável | 1º Viveiro | | | 2º Viveiro | | |
|----------------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | 0,440 | -0,345 | 0,156 | -0,933 | -0,432 | -0,918 |
| EPT | -0,438 | 0,347 | -0,154 | 0,934 | 0,431 | 0,918 |
| CA | 0,546 | -0,204 | 0,297 | -0,872 | -0,563 | -0,930 |
| AFU | -0,514 | 0,213 | -0,289 | 0,876 | 0,541 | 0,916 |
| AR | -0,503 | 0,337 | -0,161 | 0,931 | 0,472 | 0,949 |
| ADU | 0,388 | 0,301 | 0,702 | -0,451 | -0,643 | -0,546 |
| AU | -0,514 | 0,228 | -0,274 | 0,883 | 0,533 | 0,921 |
| AT | -0,514 | 0,249 | -0,254 | 0,894 | 0,524 | 0,928 |
| Nutrientes | 0,424 | -0,363 | 0,137 | -0,939 | -0,414 | -0,915 |

¹ Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05, ** p ≤ 0,01, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 98 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de eucalipto e das variáveis determinadas nas plantas dos 1º e 2º viveiros de tomate

| CEa Variável | 1º Viveiro | | | 2º Viveiro | | |
|-----------------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | 0,506 | -0,150 | -0,127 | -0,771 | -0,779 | -0,760 |
| EPT | -0,506 | 0,150 | 0,128 | 0,775 | 0,782 | 0,764 |
| CA | -0,210 | -0,587 | -0,589 | -0,124 | -0,434 | -0,163 |
| AFU | -0,265 | 0,356 | 0,341 | 0,613 | 0,744 | 0,623 |
| AR | -0,005 | 0,515 | 0,507 | 0,380 | 0,619 | 0,408 |
| ADU | 0,503 | -0,167 | -0,143 | -0,837 | -0,830 | -0,828 |
| AU | -0,241 | 0,373 | 0,358 | 0,593 | 0,736 | 0,605 |
| AT | -0,107 | 0,446 | 0,437 | 0,448 | 0,650 | 0,468 |
| Nutrientes | 0,467 | -0,188 | -0,167 | -0,752 | -0,782 | -0,746 |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 99 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de pinheiro e das variáveis determinadas nas plantas dos 1º e 2º viveiros de tomate

| CPa Variável | 1º Viveiro | | | 2º Viveiro | | |
|-----------------|------------|--------|--------|------------|--------|---------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | 0,292 | 0,715 | 0,006 | -0,934 | -0,520 | -0,972* |
| EPT | -0,300 | -0,713 | -0,010 | 0,938 | 0,508 | 0,973* |
| CA | 0,445 | 0,916 | 0,283 | -0,766 | -0,468 | -0,819 |
| AFU | -0,352 | -0,831 | -0,133 | 0,853 | 0,529 | 0,906 |
| AR | -0,333 | -0,874 | -0,172 | 0,770 | 0,570 | 0,843 |
| ADU | -0,616 | -0,843 | -0,352 | 0,882 | 0,220 | 0,864 |
| AU | -0,350 | -0,835 | -0,137 | 0,847 | 0,533 | 0,901 |
| AT | -0,387 | -0,841 | -0,165 | 0,857 | 0,496 | 0,903 |
| Nutrientes | 0,337 | 0,754 | 0,063 | -0,923 | -0,495 | -0,958* |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 100 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de azeitona e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate

| BA Variável ² | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|-----------------------------|------------|----------|----------|------------|--------|--------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,980* | -0,991** | -0,998** | -0,908 | -0,877 | -0,910 |
| EPT | 0,980* | 0,991** | 0,998** | 0,910 | 0,878 | 0,911 |
| CA | -0,920 | -0,960* | -0,968* | -0,865 | -0,780 | -0,882 |
| AFU | 0,947 | 0,976* | 0,985* | 0,883 | 0,818 | 0,894 |
| AR | 0,898 | 0,925 | 0,948 | 0,776 | 0,726 | 0,784 |
| ADU | 0,899 | 0,940 | 0,924 | 0,944 | 0,842 | 0,963 |
| AU | 0,943 | 0,972* | 0,983* | 0,870 | 0,808 | 0,881 |
| AT | 0,946 | 0,976* | 0,984* | 0,885 | 0,818 | 0,897 |
| Nutrientes | -0,983* | -0,994** | 0,999*** | -0,920 | -0,886 | -0,921 |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 101 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de bagaço de uva e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate

| BU Variável | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|----------------|------------|--------|--------|------------|---------|---------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,962* | 0,189 | -0,704 | -0,858 | -0,943 | -0,961* |
| EPT | 0,964* | -0,193 | 0,699 | 0,854 | 0,941 | 0,960* |
| CA | -0,955* | 0,230 | -0,688 | -0,847 | -0,933 | -0,945 |
| AFU | 0,947 | -0,189 | 0,717 | 0,868 | 0,947 | 0,958* |
| AR | 0,947 | -0,160 | 0,731 | 0,878 | 0,955* | 0,968* |
| ADU | 0,967* | -0,576 | 0,357 | 0,578 | 0,725 | 0,762 |
| AU | 0,947 | -0,185 | 0,719 | 0,869 | 0,948 | 0,959* |
| AT | 0,957* | -0,223 | 0,690 | 0,849 | 0,935 | 0,949 |
| Nutrientes | -0,944 | 0,151 | -0,738 | -0,883 | -0,958* | -0,969* |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 102 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de polpa de alfarroba e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate

| PA Variável | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|----------------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | 0,662 | -0,206 | 0,354 | -0,813 | -0,667 | -0,755 |
| EPT | -0,661 | 0,208 | -0,353 | 0,813 | 0,667 | 0,756 |
| CA | 0,769 | -0,055 | 0,488 | -0,728 | -0,551 | -0,646 |
| AFU | -0,753 | 0,072 | -0,462 | 0,729 | 0,559 | 0,660 |
| AR | -0,690 | 0,179 | -0,402 | 0,819 | 0,659 | 0,734 |
| ADU | 0,789 | 0,334 | 0,546 | -0,206 | -0,045 | -0,233 |
| AU | -0,746 | 0,085 | -0,456 | 0,741 | 0,571 | 0,670 |
| AT | -0,737 | 0,102 | -0,447 | 0,757 | 0,589 | 0,682 |
| Nutrientes | 0,647 | -0,226 | 0,336 | -0,822 | -0,681 | -0,768 |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 103 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de eucalipto e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate

| CEa Variável | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|-----------------|------------|--------|--------|------------|---------|---------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,015 | -0,060 | 0,280 | -0,902 | -0,435 | -0,967* |
| EPT | 0,014 | 0,056 | -0,285 | 0,902 | 0,430 | 0,967* |
| CA | -0,693 | -0,807 | -0,588 | -0,740 | -0,978* | -0,712 |
| AFU | 0,294 | 0,362 | 0,024 | 0,943 | 0,688 | 0,974* |
| AR | 0,537 | 0,630 | 0,334 | 0,882 | 0,880 | 0,879 |
| ADU | 0,005 | -0,008 | 0,359 | -0,908 | -0,360 | -0,966* |
| AU | 0,319 | 0,390 | 0,054 | 0,941 | 0,710 | 0,970* |
| AT | 0,449 | 0,542 | 0,240 | 0,902 | 0,829 | 0,915 |
| Nutrientes | -0,063 | -0,111 | 0,233 | -0,916 | -0,479 | -0,976* |

| CEb Variável | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|-----------------|------------|--------|--------|------------|---------|----------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,356 | -0,320 | -0,191 | -0,976* | -0,976* | -0,990** |
| EPT | 0,352 | 0,317 | 0,187 | 0,975* | 0,976* | 0,990** |
| CA | -0,415 | -0,382 | -0,253 | -0,988* | -0,988* | -0,997** |
| AFU | 0,389 | 0,358 | 0,227 | 0,981* | 0,983* | 0,994** |
| AR | 0,436 | 0,401 | 0,275 | 0,991** | 0,991** | 0,998** |
| ADU | 0,480 | 0,437 | 0,322 | 0,986* | 0,984* | 0,985* |
| AU | 0,395 | 0,364 | 0,233 | 0,983* | 0,984* | 0,995** |
| AT | 0,410 | 0,377 | 0,248 | 0,987* | 0,988* | 0,997** |
| Nutrientes | -0,424 | -0,385 | -0,262 | -0,986* | -0,985* | -0,992** |

¹ Valor de r significativo para: * p ≤ 0,05, ** p ≤ 0,01, sem indicação, não significativo, nº de observações: 4.

Quadro 104 - Coeficientes de correlação¹ das características físicas e químicas das misturas com composto de casca de pinheiro e das variáveis determinadas nas plantas do 3º e 4º viveiros de tomate

| CPa Variável | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|-----------------|------------|--------|--------|------------|--------|---------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | -0,324 | 0,119 | 0,076 | -0,955* | -0,586 | -0,981* |
| EPT | 0,323 | -0,123 | -0,079 | 0,953* | 0,578 | 0,980* |
| CA | 0,009 | 0,392 | 0,366 | -0,831 | -0,507 | -0,860 |
| AFU | 0,164 | -0,247 | -0,214 | 0,913 | 0,580 | 0,937 |
| AR | 0,086 | -0,284 | -0,261 | 0,880 | 0,607 | 0,896 |
| ADU | 0,008 | -0,452 | -0,407 | 0,783 | 0,284 | 0,847 |
| AU | 0,158 | -0,250 | -0,218 | 0,911 | 0,583 | 0,935 |
| AT | 0,140 | -0,277 | -0,243 | 0,901 | 0,548 | 0,930 |
| Nutrientes | -0,268 | 0,175 | 0,133 | -0,938 | -0,560 | -0,968* |

| CPb Variável | 3º Viveiro | | | 4º Viveiro | | |
|-----------------|------------|--------|--------|------------|---------|----------|
| | D | H | PFPA | D | H | PFPA |
| daps | 0,577 | 0,339 | 0,403 | -0,948 | -0,984* | -0,930 |
| EPT | -0,570 | -0,335 | -0,397 | 0,947 | 0,985* | 0,927 |
| CA | 0,480 | 0,095 | 0,229 | -0,991** | -0,811 | -0,995** |
| AFU | -0,533 | -0,221 | -0,317 | 0,992** | 0,929 | 0,982* |
| AR | -0,490 | -0,212 | -0,289 | 0,977* | 0,953* | 0,955* |
| ADU | -0,172 | 0,275 | 0,082 | 0,583 | 0,134 | 0,632 |
| AU | -0,525 | -0,220 | -0,313 | 0,991** | 0,934 | 0,978* |
| AT | -0,496 | -0,126 | -0,252 | 0,997** | 0,843 | 0,998** |
| Nutrientes | 0,582 | 0,312 | 0,391 | -0,970* | -0,966* | -0,958* |

¹ Valor de r significativo para: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, sem indicação, não significativo, nº de observações:

