

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente

Análise Multivariada da Sucessão Dunar na Península do
Ancão e Ilha da Barreta

Orientador: Prof. Rui Santos

Luís Miguel de Almeida Guerra

Agradecimentos

Ao Professor Rui Santos por ter permitido a realização desta tese, pelas suas sugestões, correções e pela orientação nesta tese.

Ao Vasco Vieira pela orientação, correção e sugestões efectuadas. Acima de tudo pela sua amizade desde o início da minha licenciatura e presença constante nesta tese e noutros momentos também importantes da minha vida.

Aos meus pais pela educação dada e investimento na minha formação.

Por último ao meu avô - João Maria Pacífico - por me ter criado o gosto pela pesca, desde pequeno, e pelos momentos que passei com ele no Guadiana. Foi sem dúvida ele que me levou para a biologia marinha e é a ele a quem dedico esta tese.

Resumo

O presente estudo tem a sua localização na Ria Formosa, mais concretamente na Península do Ancão e Ilha da Barreta. A barra do Ancão (ou de S. Luís) é a que tem influência directa sobre a área de estudo em causa.

Ecossistema é todo o sistema (no sentido físico) incluindo não só a complexidade de organismos mas também a complexidade de factores físicos a que se chama de ambiente. Neste conceito de ecossistema, os componentes biológicos (bióticos) e físicos (abióticos) são um único sistema interactivo.

Na Ria Formosa as dunas formam-se na praia, na zona que imediatamente se segue ao domínio das marés, dando origem a uma crista, mais ou menos contínua, relativamente baixa e sensivelmente paralela à linha de costa. A sucessão ecológica pode ser definida como o padrão contínuo não sazonal, direcional, de colonização e extinção num local por populações de espécies. Assim os sistemas dunares consistem num mosaico zonal, determinado pelas características ambientais definidas pela topografia.

Os objectivos deste estudo foram caracterizar a sucessão dunar da Ria Formosa em termos de associações que relacionam as espécies com elevada correlação e validá-las. Relacionar as correlações e associações com a idade dos locais e as outras variáveis ambientais (pH, condutividade, matéria orgânica e azoto), estabelecendo os tipos de composição florística e a sua sequência espacial e comparar os tipos composição florística obtidos com a idade e os propostos na bibliografia.

Pela utilização do método de transecto em banda foram amostrados sete transectos, com um espaçamento de 3 m entre estações de 1 m². Adaptou-se a escala de abundância-dominância proposta por Braun Blanquet (1979). Analizaram-se os resultados recorrendo à análise multivariada com metodologia Monte Carlo. Utilizou-se a análise de componentes principais, análise de agrupamento, análise discriminante e regressão múltipla para analisar os dados obtidos. Verificou-se então que a análise dos factores bióticos leva a concluir que a zonação do sistema dunar está dependente quer da idade do mesmo, quer das características que o próprio habitat apresenta (gradiente de recursos e gradiente directo). A zonação completa do sistema dunar necessita de pelo menos mais de 60 anos para ocorrer; idade com a qual as dunas apresentam uma série de relações inter-específicas que tendem a ser estabilizadas. As espécies ditas pioneiras, à medida que o tempo evolui, restringem a sua ocupação à vertente oceânica da duna, uma vez que sofrem uma pressão competitiva de outras espécies que se lhes sucedem com o tempo.

Abstract

The present study has its location on Ria Formosa, more specifically in Península do Ancão and Ilha da Barreta. The inlet of Ancão (or S. Luís) is the one that has direct influence in this study area.

Ecosystem is all the system (physical meaning) including not only the complexity of organisms but also the complexity of physical factors that are called environment. In this concept of ecosystem, the biological components (biotic) and physical (abiotic) are one interactive system.

In Ria Formosa the dunes are formed in the beach, in the zone that immediately follow the dominance of the tides, yielding a ridge, more or less continuous, relatively low and significantly parallel to the shoreline. The ecological succession may be defined as the non seasonal continuous pattern, directional, of colonization and extinction in a place by species populations. So the dunar systems are zonal mosaic, determined by the environmental characteristics defined by topography.

The objectives of this study were characterize the dune succession of Ria Formosa in accordance of associations that relate species with high correlation and validate them. Connect the correlations and associations with the local age and the other environmental variables (pH, conductivity, organic matter and nitrogen), establishing the types of floristic composition obtained with the age and the ones proposed in bibliography.

Using the band transect were sampled seven transects, with a 3 m spacing between stations of 1 m². We adapted the grade of abundance-dominance proposed by Braun Blanquet (1979). The results were analysed using the multivariate analysis with Monte Carlo methodology. It was used the principal components analysis, the cluster analysis, the discriminant analysis and the multiple regression to analyse the obtained data. It was verified that the analysis of the biotic factors leads to the conclusion that the zonation of the dune system is dependent of the age and of the habitat characteristics. The complete zonation of the dune system needs at least 60 years to occur, age in which the dunes show a series of inter-specific relationships that tend to be stabilized. The pioneer species, as time progresses, restrict their occupation into the sea slope of the dune, since they have competitive pressure from other species that succeed them in time.

Índice

1. Introdução	6
1.1 A Ria Formosa.....	6
1.2 O Ecossistema Dunar.....	7
1.2.1 A Sucessão Dunar.....	9
2. Objectivos	11
3. Metodologia	11
3.1 Análise de Componentes Principais	14
3.2 Análise de Agrupamento	16
3.3 Análise Discriminante	18
3.4 Regressão Múltipla.....	18
4. Resultados	19
4.1 Análise de Componentes Principais	19
4.2 Análise de Agrupamento	32
4.4 Regressão Múltipla.....	44
5. Discussão	46
6. Conclusões	51
7. Referências Bibliográficas	53

1. Introdução

1.1 A Ria Formosa

A Ria Formosa constitui a unidade fisiográfica dominante do litoral central e oriental do Algarve. Trata-se de um conjunto com configuração grosseiramente triangular, vértice virado a Sul e alongada para Nordeste (Andrade, 1990).

A Ria Formosa constitui um excelente exemplo de uma estrutura de barreira por conter todos os elementos necessários à sua distinção de outras unidades fisiográficas costeiras: uma laguna interna, separando uma barreira litoral exterior da margem terrestre, e diversas barras de maré através das quais se assegura a renovação de componentes e a continuidade dos processos lagunares (Andrade, 1990).

As barras que dividem este cordão arenoso possuem características diferentes consoante se encontram a Oeste ou a Leste do Cabo S^{ta} Maria. A barra do Ancão (ou de S. Luís) situa-se a Oeste do Cabo S^{ta} Maria e é a que tem influência directa sobre a área de estudo em causa (Península do Ancão e Ilha da Barreta).

Na Ria Formosa as barras são essencialmente migratórias. A divagação recente da barra do Ancão não é de forma alguma cíclica nem contínua no espaço mas, pelo contrário, caracteriza-se por comportamento quase errático. Segundo Andrade (1990) a localização da barra manteve-se, a partir de 1920, dentro dos limites de uma faixa relativamente estreita e de forma persistente, independentemente da ocorrência de rotura total da península de Faro noutros locais que não vingam como barra de maré, o que pode ser devido à diminuição da ocorrência dos galgamentos nos últimos 25 anos e à tendência geral na redução da média das dimensões dos galgamentos. A evolução da Ria Formosa tende para a diminuição da ocorrência dos galgamentos desde 1976, verificada por Matias *et al.* (2008). A barra do Ancão encontra-se actualmente num estado de migração caracterizado por elevadas taxas de migração no sentido Este, causada por tempestades no sentido Oeste-Sueste, sem alterações significativas dos parâmetros da barra (Vila-Concejo *et al.*, 2003). Segundo Matias *et al.* (2008) a barra do Ancão é uma barra de pequena migração. Estes episódios esporádicos são bastante importantes para o estudo da sucessão dunar uma vez que permitem a datação das dunas, podendo assim estabelecer-se uma relação temporal entre os processos ecológicos que nela ocorrem, como é o caso presente neste estudo.

1.2 O Ecossistema Dunar

A distribuição e abundância das espécies e a estrutura biológica da comunidade varia em resposta a condições ambientais. Contudo, é igualmente verdade que os próprios organismos, em parte, definem o ambiente físico. Um exemplo disso é a importância das alterações autogénicas na luz e disponibilidade de nutrientes no percurso da sucessão das plantas (Simth & Simth, 2000). Esta ligação entre o ambiente biológico (comunidade) e o ambiente físico leva ao conceito de ecossistema. Este é todo o sistema (no sentido físico) incluindo não só a complexidade de organismos mas também a complexidade de factores físicos a que se chama de ambiente. Neste conceito de ecossistema, os componentes biológicos (bióticos) e físicos (abióticos) são um único sistema interactivo (Simth & Simth, 2000).

Para Furtado (1989), no caso específico da Ria Formosa as dunas formam-se na praia, na zona que imediatamente se segue ao domínio das marés, dando origem a uma crista, mais ou menos contínua, relativamente baixa e sensivelmente paralela à linha de costa. Em numerosos locais a crista encontra-se interrompida, cedendo lugar a incipientes corredores de vento e esboços de dunas parabólicas. Noutros locais, a vertente oceânica da duna encontra-se erosionada, devido a acção de vagas de grandes dimensões. Para o interior, até à margem da laguna, a duna sucede-se como um areal de topografia ondulada bastante esbatida.

A formação das dunas depende de factores como o tipo de sedimento, a natureza da fonte sedimentar, a presença de ventos acima do limiar de transporte de sedimentos (preferencialmente com uma resultante para terra) e vegetação que retenha areia e promova a sua estabilização (Carter 1990). São igualmente importantes para a formação das dunas a topografia, o clima de agitação marítima, a amplitude de marés, a presença de detritos trazidos pela maré e, numa escala de tempo maior, a evolução do nível do mar (Carter, 1990). Outros autores como Packham & Willis (1997) defendem que a vegetação não é essencial para a formação das dunas mas tem uma importante influência na morfologia da duna.

Dada a formação das dunas, os solos que nela se encontram também sofrem uma série de modificações e apresentam características próprias. De acordo com Ranwell (1972) e Tinley (1985) os solos dunares são compostos principalmente por quartzo e carbonato.

Uma pequena quantidade de metais pesados pode também ocorrer. São características distintas das dunas de areia costeiras:

- 1 – Alcalinidade elevada, devido a um elevado conteúdo de carbonato.
- 2 – Tendência das areias a tornarem-se finas com o aumento da distância de terra.
- 3 – Tendência dos grãos a ficarem bem redondos e positivamente inclinados.
- 4 – Entrada de grandes quantidades de salsugem.
- 5 – Estabilização pelo crescimento de plantas onde a precipitação seja adequada.

Os solos dunares também alteram as suas características à medida que se caminha para o continente. De acordo com Brown & McLachlan (1990) estas alterações incluem:

- 1 - Diminuição do tamanho das partículas de areia para terra.
- 2 - Diminuição de extremos de temperatura.
- 3 - Diminuição da quantidade de areia solta.
- 4 - Diminuição do pH.
- 5 - Aumento dos níveis orgânicos e geralmente diminuição nas taxas de movimento de areia.

Para Odum (1985), as plantas que crescem sobre uma duna de areia formam um solo radicalmente diferente do substrato original. Também Furtado (1989), afirma que com a maturação do ecossistema dunar, consequência da evolução da sucessão observada desde a praia até ao interior do sistema, as características do solo se vão alterando. Brown & McLachlan (1990) mostram que a evolução do solo dunar com o tempo é caracterizada por:

- 1 - Aumento da matéria orgânica.
- 2 - Diminuição do carbonato de cálcio, que vai sendo filtrado da areia pelas águas da chuva.
- 3 - A correspondente diminuição de pH.

1.2.1 A Sucessão Dunar

A sucessão ecológica é definida por (Begon *et al.*, 2006) como o padrão contínuo não sazonal, direcional, de colonização e extinção num local por populações de espécies.

Segundo Ranwell (1972) os sistemas dunares consistem num mosaico zonal, determinado pelas características ambientais definidas pela topografia. Para Furtado (1989) a natureza dos sistemas dunares determina que todos ou quase todos os diversos estádios seriais da sucessão dunar possam ser observados simultaneamente. Mais concretamente na Ria Formosa Furtado (1989) propõe uma distribuição da vegetação característica em zonas (anteduna - situa-se entre o limite de maré alta e o início da duna; crista da duna primária – faixa dunar da duna primária; duna secundária – duna fixa seguinte à duna primária; interface duna-sapal – zona de transição entre a duna e o sapal). A composição florística para as diversas fitocenoses é então a seguinte:

- nas dunas embrionárias, a comunidade é quase exclusivamente constituída por *Salsola kali* e *Cakile maritima ssp aegyptiaca*;

- na anteduna, dominada pelo *Elymus farctus* aparecem também *Euphorbia paralias*, *E. peplis*, *Eryngium maritimum*, *Otanthus maritimus*, *Medicago marina* e *Calystegia soldanella*.

- a crista da duna primária é marcada pela presença abundante de *Ammophila arenaria ssp arundinacea*; na vertente oceânica para além de aparecerem ainda as espécies da anteduna, começam a surgir *Crucianella maritima*, *Lotus creticus* e *Artemisia campestris ssp maritima*; na vertente continental domina largamente a *Artemisia campestris*, juntamente com *Armeria pungens*, acompanhadas por *Lotus creticus*, *Crucianella maritima* e *Anthemis maritima*.

- na duna secundária a riqueza florística é já considerável; o coberto vegetal é constituído por espécies como *Helichrysum italicum*, *Thymus carnosus*, *Corynephorus canescens*, *Paronychia argentea*, *Medicago litoralis*, *Medicago marina*, *Crucianella maritima*, *Armeria pungens*, *Anthemis maritima*, *Malcomia litorea*, *Linaria lamarckii*, *Linaria pedunculata*, *Lotus creticus*, *Pancratium maritimum*, *Silene littorea*, *Reichardia gaditana* e *Cutandia maritima*.

- na zona de interface duna-sapal, que em praticamente toda a extensão do cordão arenoso representa a última banda de vegetação, podem encontrar-se espécies comuns aos dois ecossistemas. A cobertura é baixa e constituída por espécies como *Salsola kali*, *Salsola vermiculata*, *Cakile maritima*, *Polygonum equisetiforme*, *Elymus farctus*, *Elymus elongatus*, *Limoniastrum monopetalum* e *Suaeda vera*.

- nas zonas de contacto com a terra firme, com muito fraca expressão e limitada às pontas Este e Oeste do sistema dunar, os matagais são formados por espécies como *Pycnocomon rutifolium*, *Lygos monosperma*, *Anagallis monelli*, *Aetheorhiza bulbosa*, *Corema album* e *Juniperus phonicea*. Pode seguir-se um coberto arbóreo de *Pinus pinea*.

É importante ter em consideração também que no caso específico da Ria Formosa a ocupação humana (factores antropogénicos) origina distúrbios na distribuição espacial das espécies vegetais. Estes podem ser o pisoteamento das dunas e conseqüentemente da vegetação, o aparecimento de corredores transversais às dunas e a introdução de novas espécies.

Dada a distribuição da vegetação característica em zonas, é fundamental definir o termo Comunidade, o qual consiste num conjunto de populações de espécies que coexistem no espaço e no tempo (Begon *et al.*, 2006). A Ecologia da Comunidade procura entender o modo pelo qual os agrupamentos de espécies se distribuem na natureza e as vias pelas quais estes podem ser influenciados pelo ambiente abiótico e por interações de populações de espécies (Begon *et al.*, 2006). Considera-se População um grupo indivíduos da mesma espécie potencialmente interactuantes e interprocriantes, vivendo no mesmo espaço e no mesmo tempo, e reprodutivamente isolada de outros grupos equivalentes (Smith & Smith, 2000). A comunidade pode ser definida a qualquer escala dentro de uma hierarquia de habitats (Begon *et al.*, 2006). Considerando-se habitat onde uma planta ou animal vive (Smith & Smith, 2000).

2. Objectivos

Os dados utilizados no presente estudo foram recolhidos por Rodrigues & Henriques (2002) no ano de 2001.

O objectivo deste trabalho é o estudo da sucessão ecológica da vegetação dunar na Ria Formosa. Pretende caracterizar-se a sucessão dunar da Ria Formosa em termos de associações que relacionam as espécies com elevada correlação e validá-las. Relacionar as correlações e associações com a idade dos locais e as outras variáveis ambientais (pH, condutividade, matéria orgânica e azoto), estabelecendo os tipos de composição florística e a sua sequência espacial. Comparar os tipos composição florística obtidos com a idade e os propostos na bibliografia.

3 Metodologia

Estes autores amostraram sete transectos (A, B, C, D, E, F e G) (Fig. 1) utilizando o método do transecto em banda com uma área de amostragem de 1 m² por estação. Com excepção do transecto A em que o espaçamento entre as estações é de 5 m e posteriormente de 10 m, todos os outros têm espaçamento de 3 m entre estações. Estes autores referem que a datação dos transectos da Ilha da Barreta foi possível estabelecendo relação com a passagem da barra de S. Luís e o movimento da barra nova. Os transectos A, B e C estão localizados na Península do Ancão enquanto os transectos D, E, F e G se localizam na Ilha da Barreta, área com maior número de galgamentos da Ria Formosa (Matias *et al*, 2008).

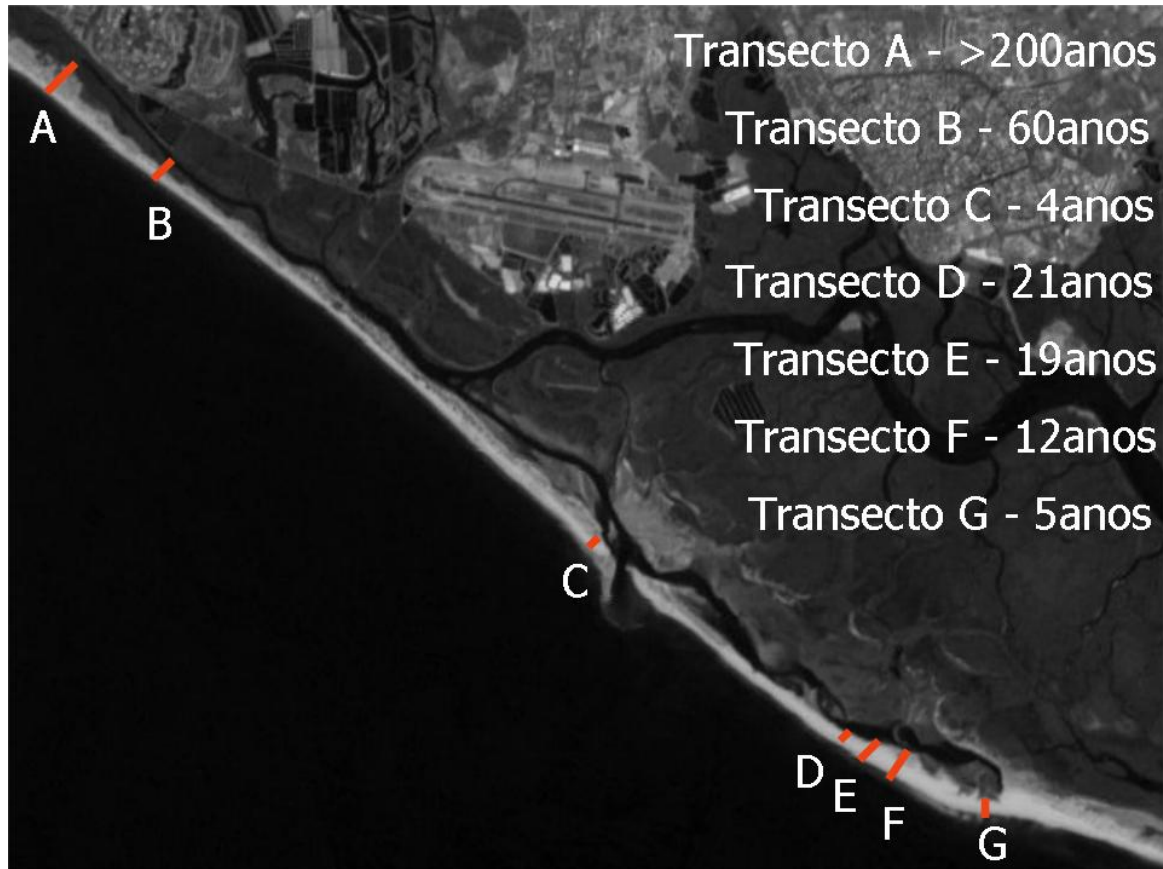


Figura 1- Localização e idade dos transectos amostrados no presente estudo.

Cada transecto foi amostrado em 3 replicados, com uma distância de 50 m entre si. Os transectos têm idade estimada entre 4 anos e mais de 200 anos - mais concretamente:

O transecto A com mais de 200 anos. A datação deste transecto foi estimada devido à existência de registos históricos do local. Este transecto foi efectuado a cerca de 200 m a Este da ponte de madeira que liga o empreendimento turístico Quinta do Lago à praia. O transecto B, com 60 anos, foi realizado no local correspondente à ocorrência de uma barra de tempestade em 1941 (Andrade, 1990 *in* Rodrigues & Henriques, 2002).

O transecto C (actualmente submerso) com 4 anos, foi realizado no local onde a barra nova foi aberta em 1997, actualmente devido à migração da barra para Este, fenómeno descrito pelos autores (Pacheco *et al.* 200, Vila-Concejo *et al.* 2006), de acordo com a direcção predominante das ondas (Pacheco *et al.*, 2008). Este local também é importante devido a estar hidrodinamicamente relacionado com a barra de Faro, como descreve Pacheco *et al.* (2007).

A datação do transecto D, com 21 anos, foi calculada pela correspondência com a localização da barra de S. Luís em 1980.

O transecto E, com 19 anos, foi efectuado no local correspondente à passagem da barra de S. Luís em 1982.

Também o transecto F, com 12 anos, foi realizado no local de passagem da barra de S. Luís em 1989.

Finalmente o transecto G, com 5 anos, corresponde ao local de colmatação da antiga barra de S. Luís em 1996.

Os dados de vegetação foram analisados segundo a escala de abundância-dominância proposta por Braun Blanquet (1979). A escala adaptada é definida como:

- 0,1. poucas plantas, cobertura de área reduzida;
1. muitas plantas, pequena cobertura;
2. qualquer número de plantas, cobertura de 5 a 25%;
3. qualquer número de plantas, cobertura de 26 a 50%;
4. qualquer número de plantas, cobertura de 51 a 75%;
5. qualquer número de plantas, cobrindo mais de 75%.

Em determinadas estações dos transectos efectuaram-se as amostragens do solo com vista à recolha dos parâmetros de pH, condutividade, matéria orgânica e azoto.

Para analisar este conjunto de estações recorreu-se à análise multivariada com metodologia Monte Carlo, pois é considerada a que mais se adequa a este estudo (Gauch 1982, Manly 1986, Manly 1991, Lepš & Šmilauer 2003, Declerck *et al* 2005). Os modelos multivariados permitem a análise simultânea de todas as variáveis e a observação de padrões na comunidade que estão ocultos nos métodos de análise univariada (Lepš & Šmilauer, 2003). Na fase inicial dos modelos multivariados cada variável é igualmente importante. Contariamente os métodos de análise univariada permitem apenas analisar uma única variável de cada vez.

A análise multivariada teve início com o método de análise de componentes principais, para identificar as diversas relações entre espécies que caracterizam a sucessão da vegetação dunar. Vários autores confirmam a validade deste método em virtude dos resultados obtidos (Ter Braak 1988, Dijksterhuis & Heiser 1995, Peres-Neto *et al* 2005, Declerck *et al* 2005). Este método reduz o número de variáveis a analisar a um pequeno número de índices, designados por componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais (Manly, 1986). No final do processo cada estação é representada por uma coordenada (score z) em cada um dos componentes principais, podendo assim verificar-se a dispersão espacial dos processos ecológicos.

Neste modelo de componentes principais baseado na metodologia de Monte Carlo optou-se por fazer 10000 simulações com um nível de significância de 0,15.

De seguida, e com o objectivo de criar uma hierarquia entre tipos de relações que no final permita estabelecer associações típicas de espécies efectuou-se uma análise de agrupamento ao conjunto das coordenadas obtidas para as estações, permitindo a identificação de grupos (Anderson & Clements, 2000). Para determinar se a separação criada pela análise de agrupamento foi significativa e validar as associações tipo acima descritas, realizou-se em seguida uma análise discriminante.

Finalmente, para poder estabelecer-se uma correlação das associações interespecíficas com os parâmetros ambientais, utilizou-se a regressão múltipla. Efectuaram-se tantas regressões quantos os componentes principais considerados previamente significativos. Cada regressão teve como variável dependente um componente principal e como variáveis independentes as variáveis abióticas. Estas variáveis foram amostradas em determinadas estações dos transectos efectuados.

Todos estes métodos estatísticos foram realizados utilizando programas desenvolvidos por Vasco Vieira, em Matlab[®] 7.0 (The Mathworks, Inc).

3.1 Análise de Componentes Principais

Na análise começaram por extrair-se os valores-próprios e vectores-próprios da matriz de correlações das variáveis originais.

Cada par valor-vector próprio toma o nome de componente principal por explicar uma determinada quantidade da variação total da amostra. Estes pares são independentes entre si o que implica que as várias quantidades de variação explicada obtidas são mutuamente exclusivas.

Cada valor-próprio representa a quantidade de variação do componente principal em unidades de variáveis originais standardizadas. Assim, os componentes principais podem ser ordenados pelo valor da sua variância. No final vão somar tanta variância quanto a existente nas variáveis originais. Cada vector próprio é uma combinação linear das variáveis originais. Os coeficientes destas combinações lineares são os “loadings” das variáveis.

As significâncias dos métodos de análise multivariada utilizados foram estimadas com recurso a várias estatísticas, abaixo descritas, aplicando a metodologia de Monte Carlo (que consiste na simulação de dados recolhidos da amostra da população de interesse e permutá-los aleatoriamente n vezes). Este procedimento permite criar padrões de correlações que podem ser considerados devidos ao acaso (Manly, 1991). A partir deste ponto as análises estatísticas podem então ser efectuadas.

Recorreu-se a quatro métodos para saber quantos componentes principais são significativos:

- o primeiro, designado de “teste de igualdade de raízes” (test for the equality of roots), consiste no cálculo da diferença entre os pares de valores próprios consecutivos extraídos da matriz de dados original. É então esperado que os componentes principais que contribuam com relações significativas tenham diferenças significativamente maiores do que as diferenças encontradas para o par de raízes (valores próprios) consecutivas relativas às n matrizes de dados permutados aleatoriamente (Jackson, 1993).

- o segundo, de nome “teste de significância dos valores próprios”, diz que o k -ésimo maior componente principal explica correlações ou covariâncias concretas se tende a ser maior do que os componentes principais do mesmo “rank” extraídos das n matrizes de dados geradas aleatoriamente, os quais só explicam a variação aleatória.

- o terceiro, nomeado “scree test derivatives”, é uma técnica gráfica onde todos os valores próprios são ordenados no eixo das abcissas e os seus valores no eixo das ordenadas. Se os primeiros valores próprios explicarem variações significativas, deverão ser diferentes, e assim tenderem a formar uma linha de declive negativo acentuado. Os restantes deverão representar erro residual e formarem uma linha suave com pouco declive. Quando estas tendências são perceptíveis, os componentes principais deverão ser considerados até ao gancho formado por esta junção.

- o quarto, de nome “galho quebrado” (broken stick), baseia-se no pressuposto de que se um segmento unitário for sucessiva e aleatoriamente dividido noutros p segmentos, então enquanto a proporção de variância explicada por cada vector próprio for maior que o tamanho dos correspondentes p segmentos é improvável que os vectores próprios

tenham sido gerados por erros aleatórios e assim devem ser considerados como um componente principal (Jolliffe, 2002).

Para quantificar o grau de correlação de cada variável nos componentes principais recorreu-se à estatística de “índice dos loadings”:

$$IL_{ij} = \frac{u'_{ij} \cdot \lambda_i^2}{s_j}$$

- esta estatística relaciona os loadings com os valores próprios, de modo que os loadings mais elevados dos componentes principais com elevado valor próprio são os que mais provavelmente são considerados significativos enquanto os outros deverão não o ser (Jackson 1995, Mehlman *et al* 1995, Peres-Neto *et al* 2003 and 2005).

Cada amostra tem uma coordenada (o “score” z) em cada uma das novas dimensões (os componentes principais). O “score” z é uma função linear das medidas das variáveis para aquela amostra e dos coeficientes das variáveis para aquele componente principal. A variância do “score” z em cada componente principal é igual ao valor próprio associado (Manly 1986, Jackson 1991). Com a finalidade de interpretar geograficamente as correlações e associações estatísticas da vegetação dunar, recorreu-se ao programa Mohid GIS onde, para cada componente principal, cada estação é localizada espacialmente e representada segundo uma escala de cores de acordo com o seu score z.

3.2 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento (Duggan *et al.*, 2002) foi uma forma de criar grupos de estações, de maneira a que os transectos das estações no mesmo grupo sejam muito semelhantes e que os transectos das estações em diferentes grupos sejam distintos. O conceito de classificação descrito por Begon *et al.*, 2006 é aqui utilizado. Na técnica da classificação começa por assumir-se que as comunidades consistem em entidades relativamente discretas (isoladas, unitárias). Produz grupos de comunidades relacionadas por um processo conceptualmente semelhante à classificação taxonómica (individuos-espécies-géneros). Na classificação de comunidade, comunidades com

composições de espécies semelhantes são agrupadas em sub-conjuntos e sub-conjuntos semelhantes podem ser subseqüentemente combinados se assim o desejado (ter Braak & Prentice, 1988). Neste trabalho utilizou-se o método de aglomeração por hierarquia que produz um dendrograma, tendo-se optado por calcular as distâncias de Mahalanobis de cada estação a todas as outras. Procurou-se posteriormente estabelecer uma relação entre os grupos formados e os componentes principais, determinando o nível de actuação de cada componente principal na separação entre grupos de estações.

Dada uma matriz de dados X de m linhas e n colunas, as linhas são as estações e as colunas os scores z dos componentes principais, que é tratada como m (1-por- n) vectores linha x_1, x_2, \dots, x_m . A distância de Mahalanobis entre os vectores linha x_r e x_s é definida por:

$$d_{rs}^2 = (x_r - x_s)V^{-1}(x_r - x_s)'$$

onde V^{-1} é a matriz inversa da matriz de covariância da população.

Os grupos são formados por um processo de aglomeração onde todas as estações começam por estar isoladas. O método utilizado foi a “distância da média ponderada” (weighted average distance), que pondera a média da distância entre todos os pares de dados dos grupos r e s dada pelo algoritmo:

$$d(r, s) = \frac{1}{n_r n_s} \sum_{i=1}^{n_r} \sum_{j=1}^{n_s} dist(x_{ri}, x_{sj})$$

3.3 Análise Discriminante

A análise discriminante foi utilizada para saber se é correcto separar os grupos de estações conforme a análise de grupos.

Os vectores da média das estações podem ser considerados como estimadores da verdadeira média dos vectores dos grupos. As distâncias de Mahalanobis entre as estações e o centro dos grupos podem assim ser calculadas e cada estação pode ser agrupada ao grupo a que está mais próxima. A percentagem de agrupamento correcta pode ser então calculada e é uma indicação de como as estações estão bem distribuídas. A probabilidade de formar estes mesmos grupos, ou seja, a significância, também foi calculada.

3.4 Regressão Múltipla

Na regressão múltipla foram apenas consideradas as estações pertencentes aos grupos criados pelo respectivo componente principal e discriminados pela análise de grupos. As estações fora destes grupos foram consideradas como contribuintes exclusivas de erro indesejado.

O modelo linear tem a forma comum:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

onde:

y é um vector $(n,1)$ de observações.

X é uma matriz (n,p) de regressores.

β é um vector $(p,1)$ de parâmetros.

ε é um vector $(n,1)$ de perturbações ao acaso.

4 Resultados

4.1 Análise de Componentes Principais

Da análise de componentes principais extraíram-se cinco componentes principais de interesse. Estes foram considerados significativos, com um valor p inferior a 0.05, pela estatística de igualdade de raízes e pela significância dos valores próprios. Os cinco componentes principais juntos representaram 51.37% de variação dos dados (Tabela I). Pelo método “scree test” também se consideraram graficamente os primeiros cinco componentes principais como significativos. Só a técnica do “broken stick” é que não considerou nenhum componente principal, mas é considerada inconsistente quando o número de vectores próprios é elevado, como é o caso.

Tabela I – Componentes principais significativos pelos diferentes métodos utilizados.

valor próprio	percentagem de variação	“broken stick”	percentagem cumulativa de variação	“scree plot derivatives”	igualdade de raízes	Significância dos valores próprios
3.649	16.587	16.776	16.587	1.212	0.0001	0.0001
2.437	11.078	12.231	27.665	0.464	0.0001	0.0001
1.973	8.969	9.958	36.634	0.199	0.0001	0.0001
1.774	8.065	8.443	44.700	0.308	0.0001	0.0001
1.467	6.667	7.307	51.367	0.307	0.0001	0.0001
1.160	5.273	6.398	56.640	0.089	0.010	0.638
1.071	4.867	5.640	61.507	0.114	0.000	0.9998
0.956	4.347	4.991	65.855	0.125	0.000	1
0.831	3.778	4.423	69.632	0.009	0.932	1
0.822	3.736	3.917	73.369	0.109	0.000	1
0.713	3.241	3.463	76.609	0.063	0.043	1
0.650	2.954	3.050	79.563	0.006	0.970	1
0.644	2.928	2.671	82.491	0.088	0.001	1
0.556	2.529	2.321	85.021	0.013	0.859	1
0.544	2.472	1.997	87.493	0.015	0.812	1
0.529	2.404	1.694	89.897	0.075	0.008	1
0.454	2.063	1.409	91.960	0.036	0.346	1
0.418	1.901	1.142	93.861	0.048	0.172	1
0.370	1.683	0.890	95.545	0.014	0.865	1
0.356	1.619	0.650	97.163	0.020	0.789	1
0.336	1.528	0.423	98.691	0.048	0.429	1
0.288	1.309	0.207	100.000			1

A tabela II mostra a variância das várias variáveis bióticas no seu componente principal respectivo. Esta tabela demonstra que a análise de componentes principais efectuada

representou 51,37% da variação dos dados considerados significativos. O primeiro componente explica 16,59% da variabilidade das variáveis iniciais, já o segundo componente explica 11,08 % da variabilidade das variáveis bióticas, o terceiro explica 8,97 % da variabilidade dos dados, o quarto componente representa 6,53 % da variabilidade dos dados iniciais e por último o quinto componente demonstra 6,67 % da variabilidade inicial das variáveis bióticas amostradas.

Tabela II – Variância das espécies amostradas no seu componente principal respectivo e significância respectiva.

	Componente Principal					exp total	exp sig
	1	2	3	4	5		
<i>Ammophila arenaria</i>	0,0015	0,0088	0,0072	0,0111	0,0001	0,0288	0,0271
<i>Anthemis maritima</i>	0,0235	0,0048	0,0013	0,0006	0,0005	0,0307	0,0235
<i>Armeria pungens</i>	0,0097	0,0042	0,0006	0,0000	0,0000	0,0145	0,0097
<i>Artemisia campestris</i>	0,0014	0,0091	0,0155	0,0000	0,0024	0,0284	0,0246
<i>Carpobrotus edulis</i>	0,0004	0,0019	0,0001	0,0239	0,0009	0,0271	0,0239
<i>Crucianella maritima</i>	0,0042	0,0110	0,0019	0,0001	0,0002	0,0174	0,0152
<i>Elymus farctus</i>	0,0042	0,0029	0,0010	0,0000	0,0058	0,0139	0,0042
<i>Eryngium maritimum</i>	0,0043	0,0008	0,0001	0,0000	0,0058	0,0110	0,0043
<i>Frankenia laevis</i>	0,0026	0,0185	0,0072	0,0036	0,0003	0,0321	0,0256
<i>Helichrysum italicum</i>	0,0117	0,0000	0,0068	0,0001	0,0014	0,0201	0,0186
<i>Limoniastrum monopetalum</i>	0,0002	0,0008	0,0018	0,0002	0,0230	0,0260	0,0230
<i>Linaria pedunculata</i>	0,0002	0,0029	0,0019	0,0232	0,0000	0,0282	0,0232
<i>Lotus creticus</i>	0,0216	0,0020	0,0054	0,0001	0,0000	0,0290	0,0216
<i>Malcomia littorea</i>	0,0124	0,0002	0,0038	0,0007	0,0002	0,0173	0,0124
<i>Medicago littoralis</i>	0,0101	0,0001	0,0038	0,0071	0,0002	0,0213	0,0172
<i>Medicago marina</i>	0,0016	0,0091	0,0148	0,0000	0,0021	0,0276	0,0239
<i>Pancratium maritimum</i>	0,0038	0,0160	0,0066	0,0044	0,0005	0,0312	0,0225
<i>Paronychia argentea</i>	0,0169	0,0013	0,0065	0,0001	0,0010	0,0258	0,0234
<i>Silene littorea</i>	0,0044	0,0002	0,0017	0,0003	0,0013	0,0079	0,0044
<i>Suaeda vera</i>	0,0006	0,0059	0,0007	0,0031	0,0171	0,0274	0,0230
<i>Thymus carnosus</i>	0,0146	0,0083	0,0000	0,0007	0,0036	0,0272	0,0229
<i>Vulpia alopecurus</i>	0,0160	0,0020	0,0012	0,0013	0,0002	0,0207	0,0160
exp total	0,1659	0,1108	0,0897	0,0807	0,0667	0,5137	0,0000
exp sig	0,1536	0,0868	0,0645	0,0653	0,0401	0,0000	0,4102

Os cinco componentes principais significativos representam as relações (associações) das variáveis bióticas (espécies) nos vários transectos (Tabela III).

Tabela III – Coeficientes dos componentes principais dos factores bióticos.

	Componente Principal				
	1	2	3	4	5
<i>Ammophila arenaria</i>	0	0.28	-0.28	0.37	0
<i>Anthemis maritima</i>	0.38	0	0	0	0
<i>Armeria pungens</i>	0.24	0	0	0	0
<i>Artemisia campestris</i>	0	-0.29	-0.42	0	0
<i>Carpobrotus edulis</i>	0	0	0	0.54	0
<i>Crucianella maritima</i>	0.16	-0.32	0	0	0
<i>Elymus farctus</i>	-0.16	0	0	0	0
<i>Eryngium maritimum</i>	-0.16	0	0	0	0
<i>Frankenia laevis</i>	0	0.41	-0.28	0	0
<i>Helichrysum italicum</i>	0.27	0	0.28	0	0
<i>Limoniastrum monopetalum</i>	0	0	0	0	-0.59
<i>Linaria pedunculata</i>	0	0	0	0.54	0
<i>Lotus creticus</i>	0.36	0	0	0	0
<i>Malcomia littorea</i>	0.27	0	0	0	0
<i>Medicago littoralis</i>	0.25	0	0	0.30	0
<i>Medicago marina</i>	0	-0.29	-0.41	0	0
<i>Pancratium maritimum</i>	0	0.38	-0.27	0	0
<i>Paronychia argentea</i>	0.32	0	0.27	0	0
<i>Silene littorea</i>	0.16	0	0	0	0
<i>Suaeda vera</i>	0	0.23	0	0	-0.51
<i>Thymus carnosus</i>	0.30	0.27	0	0	0
<i>Vulpia alopecurus</i>	0.31	0	0	0	0

Para analisar os componentes principais é necessário ter em conta a idade e localização espacial dos transectos (Figura 1) e as tabelas II e III. Assim verifica-se que o primeiro componente principal revela que a associação entre as espécies *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum* implica a ausência da associação entre as espécies *Anthemis marítima*, *Armeria pungen*, *Crucianella marítima*, *Helichrysum italicum*, *Lotus creticus*, *Malcomia littorea*, *Medicago littoralis*, *Paronychia argêntea*, *Silene littorea*, *Thymus carnosus* e *Vulpia alopecurus*. Ou, posto de outro modo, o contrário também se verifica. Nas figuras 2 a 8 apresenta-se uma representação gráfica da variação espacial deste contraste, dentro de cada transecto e entre transectos. Verifica-se que a primeira associação está, de um modo geral, presente ao longo de todos os transectos. Em particular, nos transectos AW, A, e AE, a associação *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum* domina a zona do perfil dunar mais perto do mar e algumas zonas da sua face posterior, a azul escuro. A associação entre as outras espécies (*Anthemis marítima*, *Armeria pungen*, *Crucianella marítima*, *Helichrysum italicum*, *Lotus creticus*, *Malcomia littorea*, *Medicago littoralis*, *Paronychia argêntea*, *Silene littorea*, *Thymus carnosus* e *Vulpia alopecurus*), a vermelho, é apenas relevante no transecto A (central), na crista da duna e zonas posteriores do perfil dunar (Fig. 2). A coloração a azul claro corresponde a

scores z próximos de 0, revelando as respectivas estações como neutras relativamente a este contraste.

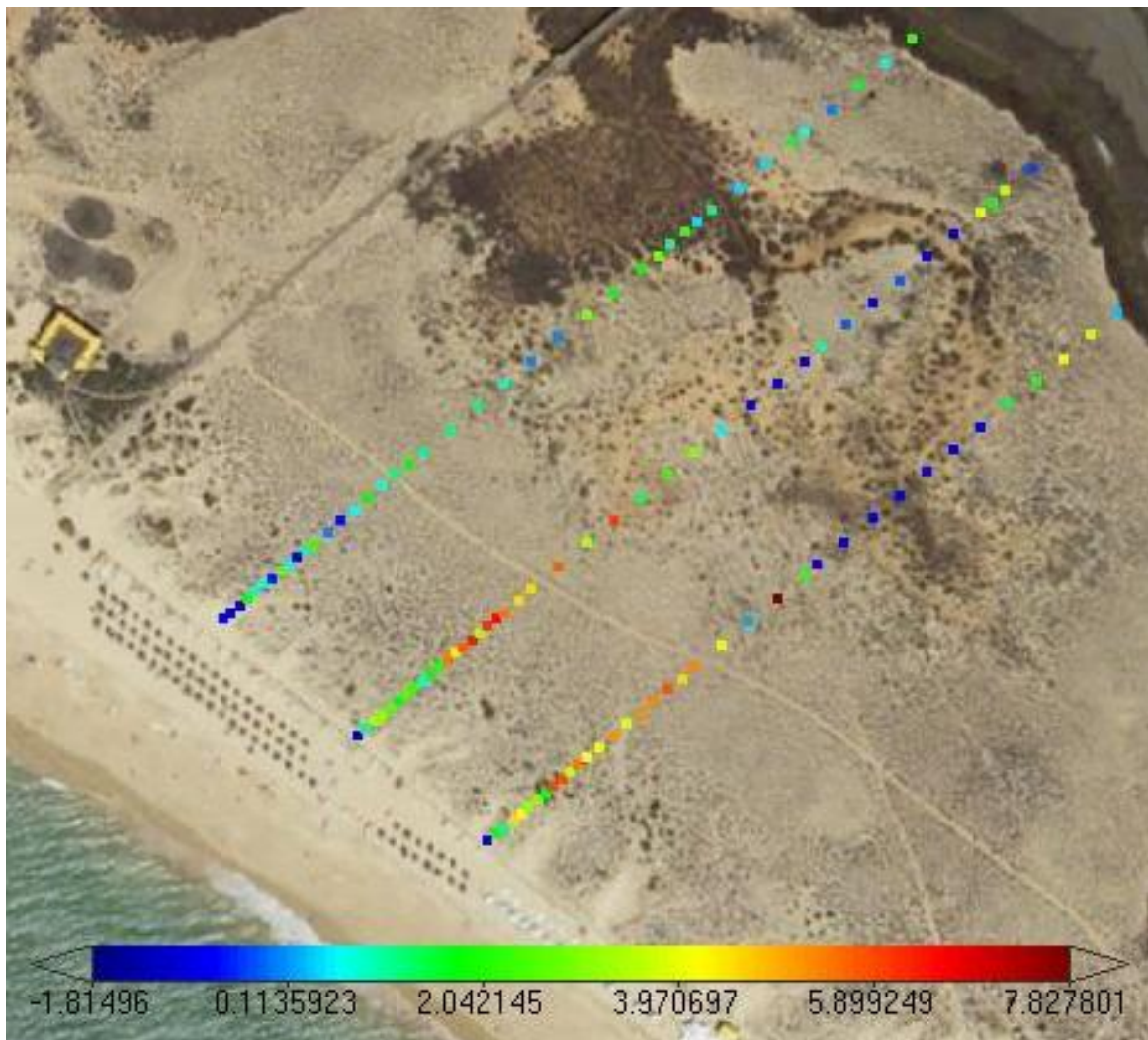


Figura 2 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto A (central), AW a Oeste e AE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum* e o vermelho a presença de *Anthemis marítima*, *Armeria pungen*, *Crucianella marítima*, *Helichrysum italicum*, *Lotus creticus*, *Malcomia littorea*, *Medicago littoralis*, *Paronychia argêntea*, *Silene littorea*, *Thymus carnosus* e *Vulpia alopecurus*. O azul claro representa estações neutras relativamente a este constrate.

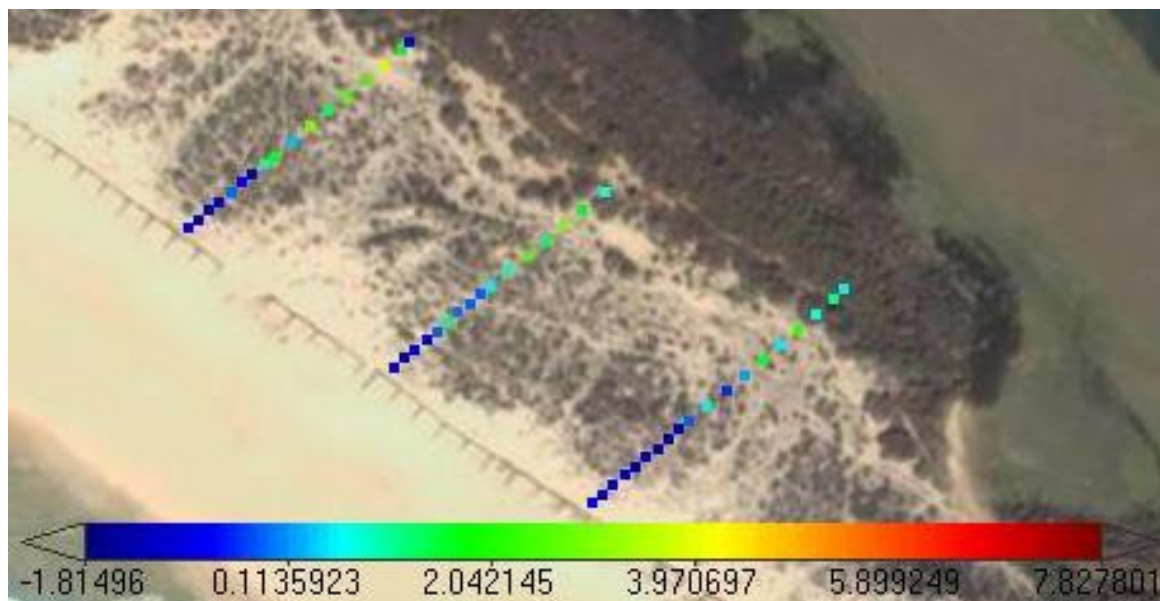


Figura 3 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto B (central), BW a Oeste e BE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*. O azul claro representa estações neutras relativamente a este constraste.

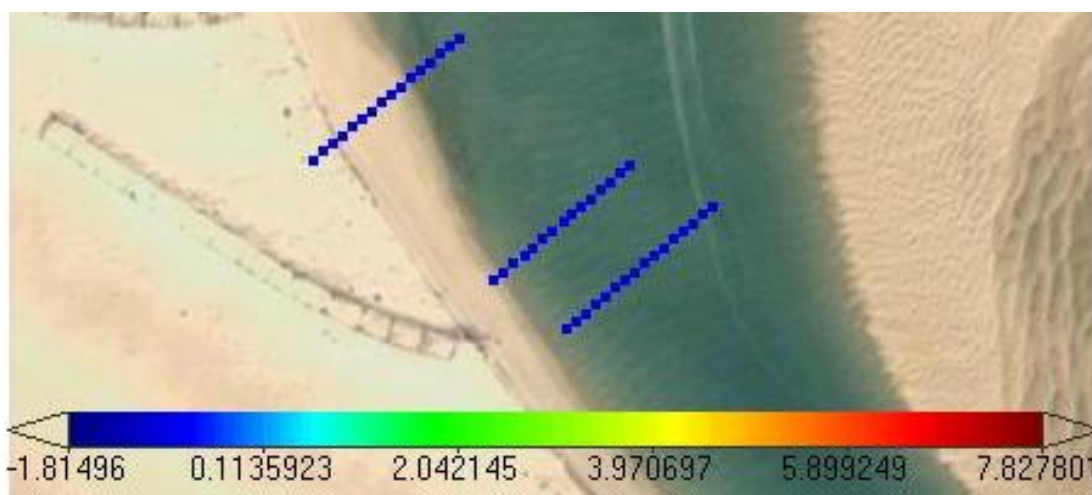


Figura 4 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto C (central), CW a Oeste e CE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*.



Figura 5 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto D (central), DW a Oeste e DE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*.

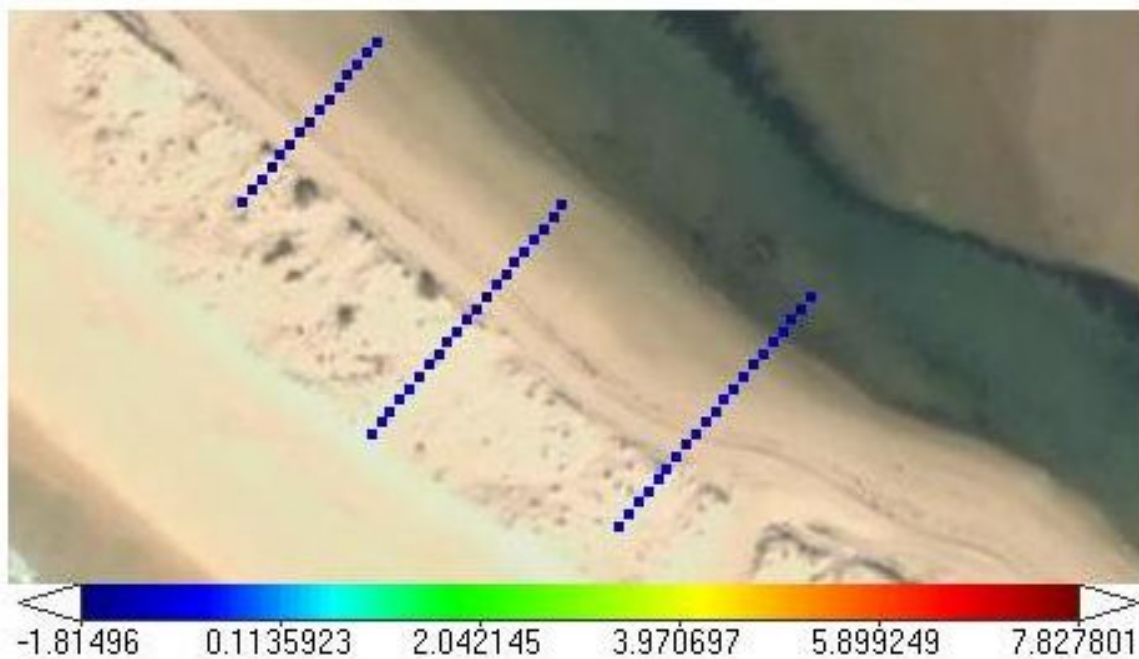


Figura 6 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto E (central), EW a Oeste e EE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*.

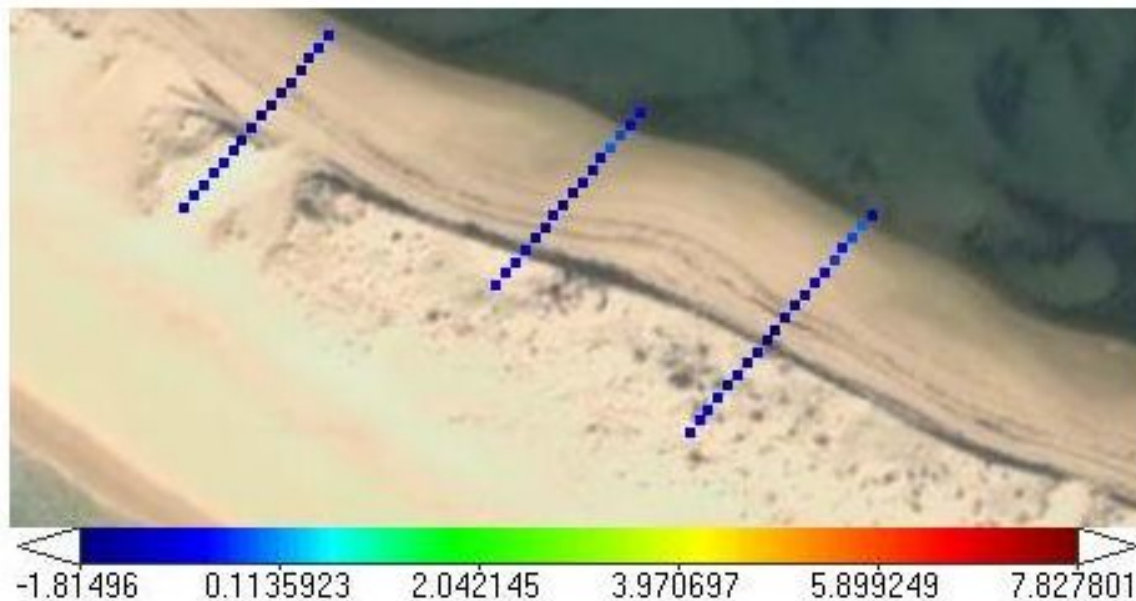


Figura 7 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto F (central), FW a Oeste e FE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*.

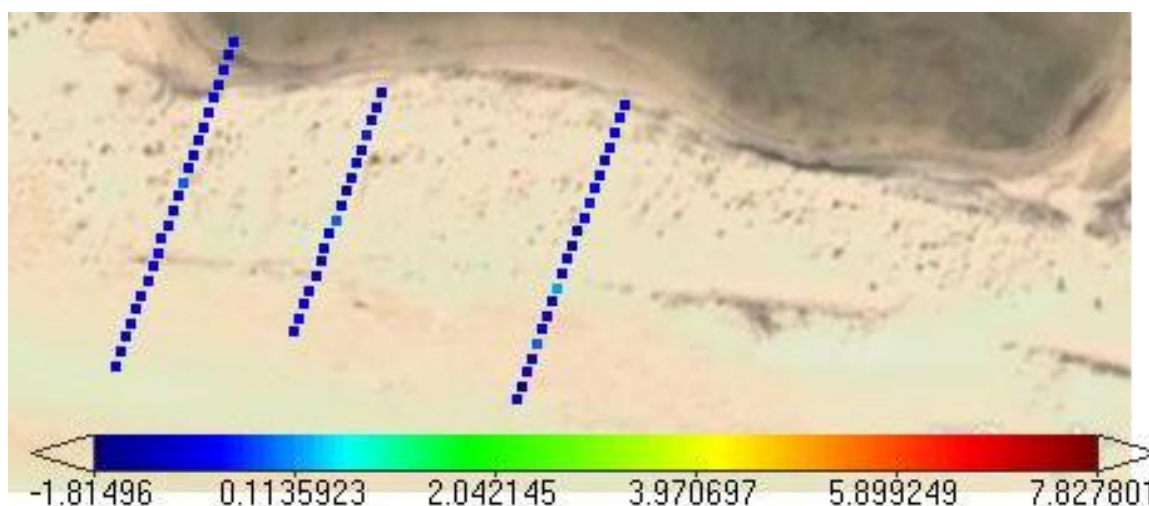


Figura 8 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 1 no transecto G (central), GW a Oeste e GE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*. O azul claro representa estações neutras relativamente a este constraste.

Pelas tabelas II e III verifica-se que o segundo componente principal indica que a associação entre as espécies *Artemisia campestris*, *Crucianella maritima* e *Medicago marina* implica a ausência da associação entre as espécies *Ammophila arenaria*, *Pancratium maritimum*, *Thymus carnosus*, *Frankenia laevis* e *Suaeda vera*, e vice versa. Este contraste só ocorre nos transectos A e B. Nas figuras 9 e 10 apresenta-se a representação gráfica da variação espacial deste contraste, dentro de cada transecto e entre transectos. A azul escuro estão representadas as estações onde a primeira

associação é mais abundante que a segunda. É de notar que a primeira associação entre espécies (*Artemisia campestris*, *Crucianella maritima* e *Medicago marina*) está presente no transecto A (figura 9) e em todos os replicados do transecto B (figura 10). De um modo geral esta associação ocorre na crista da duna e no caso dos replicados do transecto B (figura 11) também pode ocorrer nas zonas posteriores à crista da duna. A segunda associação entre as espécies (*Ammophila arenaria*, *Pancratium maritimum*, *Thymus carnosus*; *Frankenia laevis* e *Suaeda vera*) está representada a vermelho ocorrendo nos transectos A (figura 9) em várias zonas ao longo do perfil dunar. As estações representadas a azul claro são neutras relativamente a este contraste.

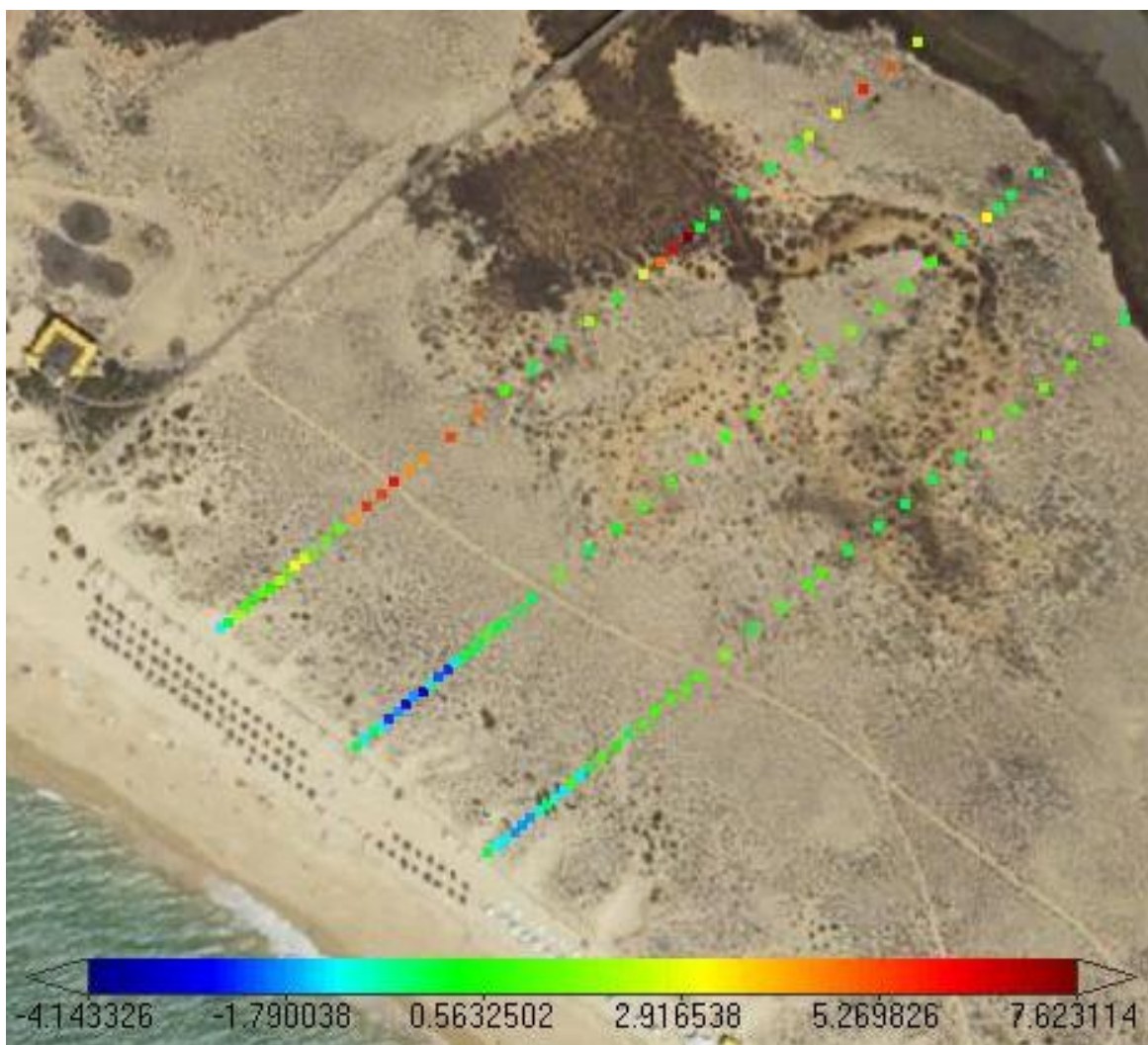


Figura 9 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 2 no transecto A (central), AW a Oeste e AE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Artemisia campestris*, *Crucianella maritima* e *Medicago marina* e o vermelho a de *Ammophila arenaria*, *Pancratium maritimum*, *Thymus carnosus*; *Frankenia laevis* e *Suaeda vera*. As estações representadas a azul claro são neutras relativamente a este contraste.



Figura 10 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 2 no transecto B (central), BW a Oeste e BE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Artemisia campestris*, *Crucianella maritima* e *Medicago marina* e o vermelho a de *Ammophila arenaria*, *Pancratium maritimum*, *Thymus carnosus*; *Frankenia laevis* e *Suaeda vera*. As estações representadas a azul claro são neutras relativamente a este contraste.

As relações inter-específicas verificadas para os transectos A, B e seus replicados não se verificam para os transectos C, D, E, F e G porque só apresentam estações neutras. Nas tabelas II e III verifica-se que o componente principal 3 revela o contraste existente entre a associação das espécies *Ammophila arenaria*, *Artemisia campestris*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* e *Frankenia laevis* que implica a ausência da associação entre as espécies *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*, e vice versa. A variação espacial deste contraste, dentro de cada transecto e entre transectos, está representada nas figuras 11 e 12. A primeira associação, representada a azul escuro, encontra-se na zona posterior do perfil dunar do transecto AW e ao longo do perfil dunar dos replicados do transecto B (figuras 11 e 12). Na zona posterior dunar nos transectos E e F. A associação entre as espécies *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*, representada a vermelho, é apenas relevante nos transectos AW, A e AE, ocorrendo ao longo do perfil dunar.

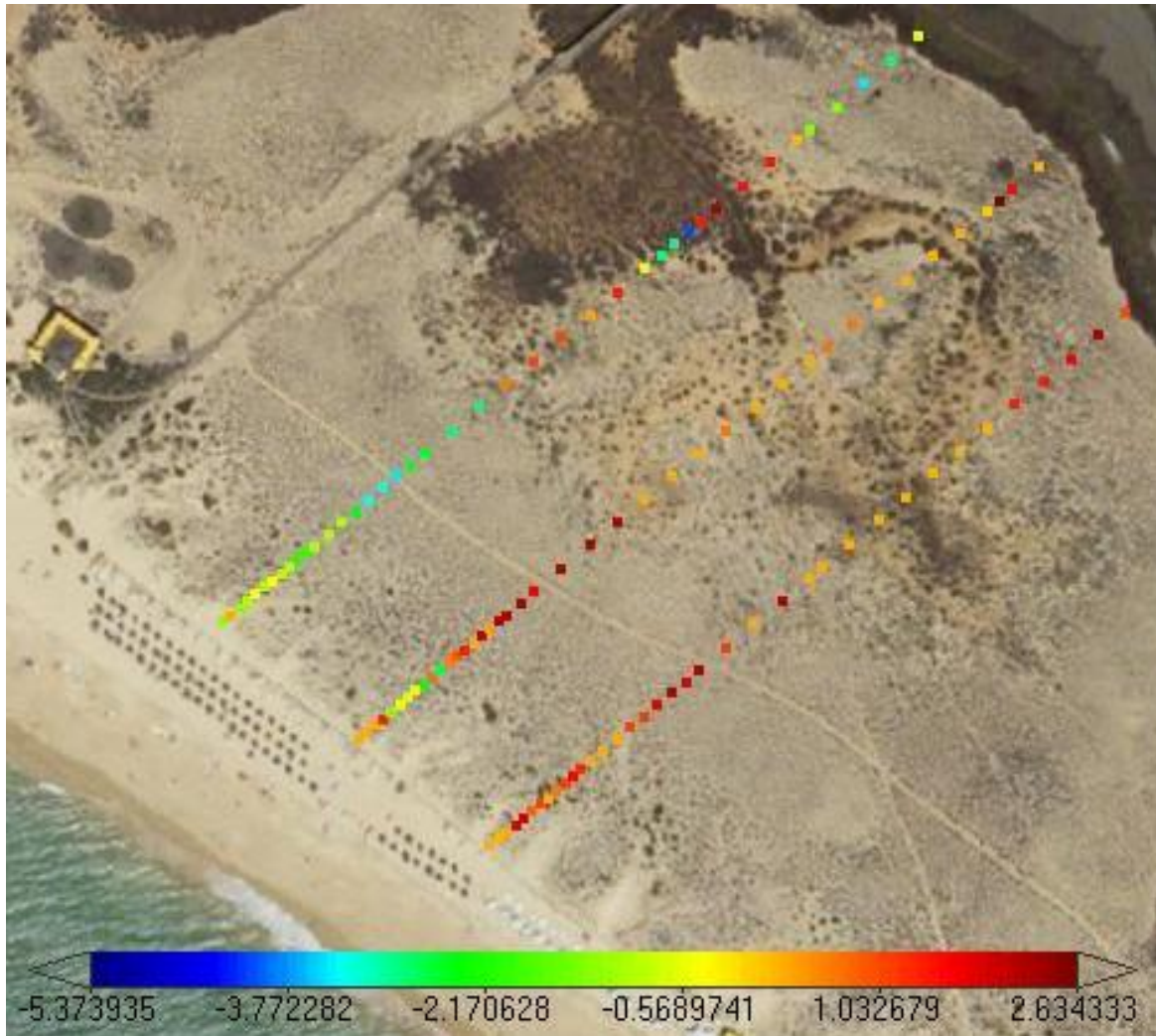


Figura 11 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 3 no transecto A (central), AW a Oeste e AE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Ammophila arenaria*, *Artemisia campestris*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* e *Frankenia laevis* *Artemisia campestris*. O vermelho a presença de *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*. A coloração a amarelo representa estações neutras relativamente a este contraste.

A coloração a amarelo presente em algumas estações dos transectos A, B, E e F correspondem a scores z próximos de 0, revelando estas estações como neutras relativamente ao contraste descrito. Os transectos C, D e G são neutros relativamente a este contraste.

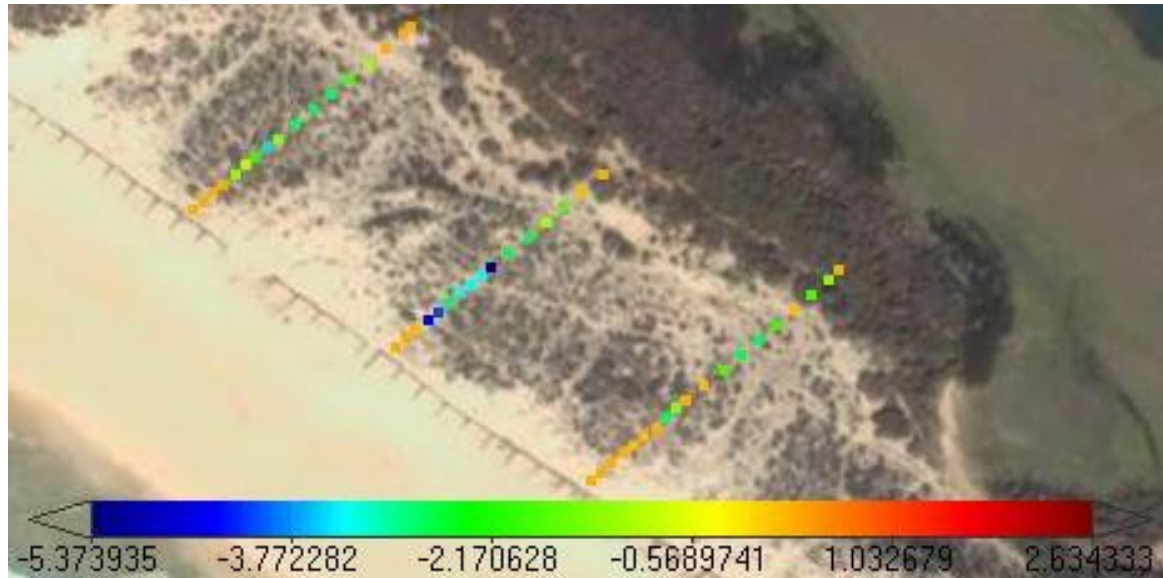


Figura 12- Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 3 no transecto B (central), BW a Oeste e BE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Ammophila arenaria*, *Artemisia campestris*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* e *Frankenia laevis* *Artemisia campestris*. O vermelho a presença de *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*. A coloração a amarelo representa estações neutras relativamente a este contraste

O quarto componente principal (tabelas II e III) reflecte a presença da associação entre as espécies *Ammophila arenaria*, *Carpobrotus edulis*, *Linaria pedunculata* e *Medicago littoralis*. A variação espacial desta associação, dentro de cada transecto e entre transectos, está representada no transecto AW da figura 13. Esta associação de espécies (a vermelho) é mais evidente na crista da duna.

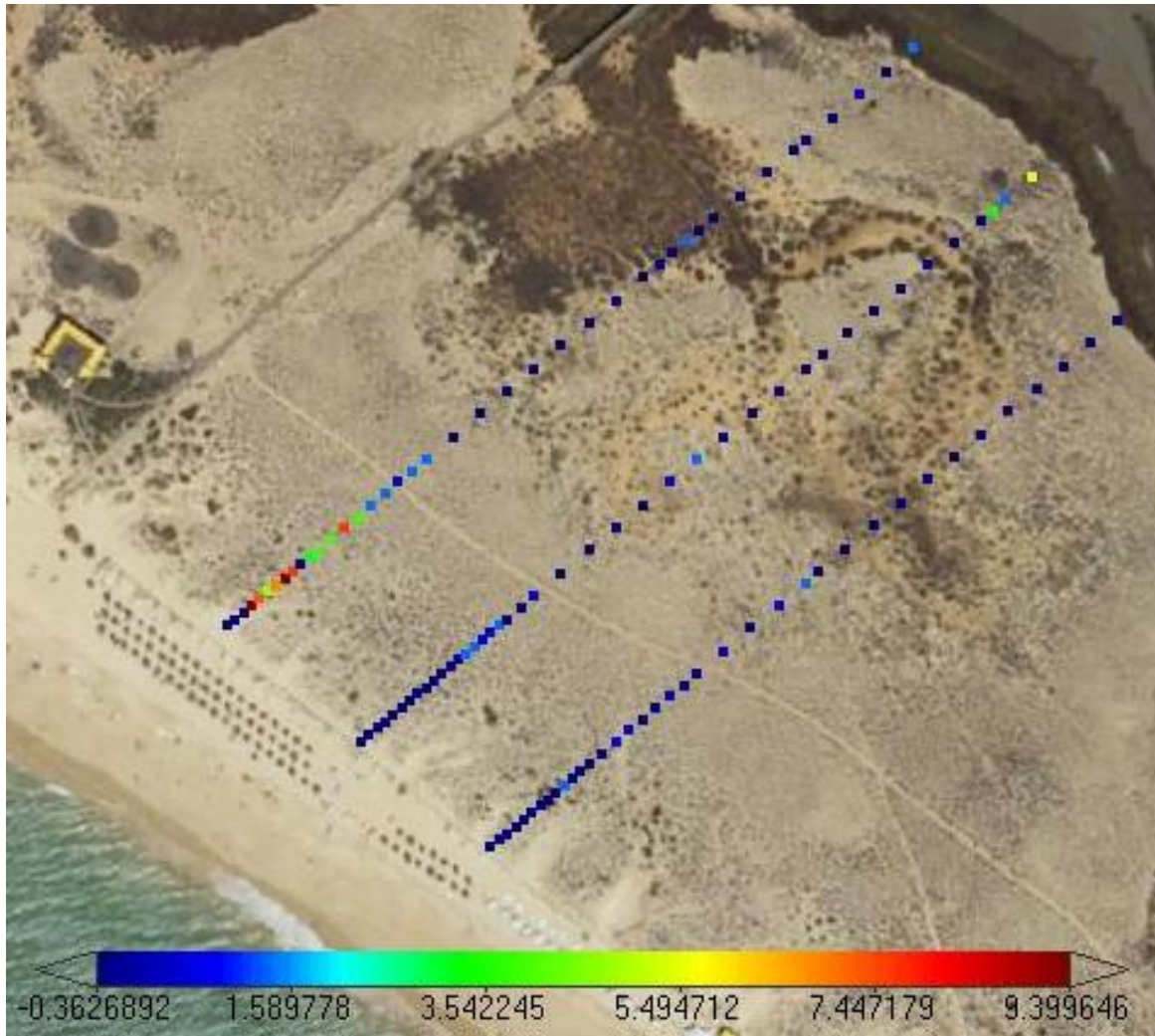


Figura 13 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 4 no transecto A (central), AW a Oeste e AE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa estações neutras e o vermelho representa a presença de *Ammophila arenaria*, *Carpobrotus edulis*, *Linaria pedunculata* e *Medicago littoralis*.

A coloração a azul escuro presente em todos transectos corresponde a scores z próximos de 0, revelando estas estações como neutras relativamente à correlação descrita. As estações dos transectos B, C, D, E, F e G são neutras relativamente a esta correlação.

O quinto componente principal descrito na tabela II e III reflecte a associação entre as espécies *Limoniastrum monoptalum* e *Suaeda vera*. A representação gráfica da variação espacial desta associação, dentro de cada transecto e entre transectos está bem representada a azul no transecto A (figura 14) e também no transecto B (figura 15), nas zonas de transição da duna para o sapal.

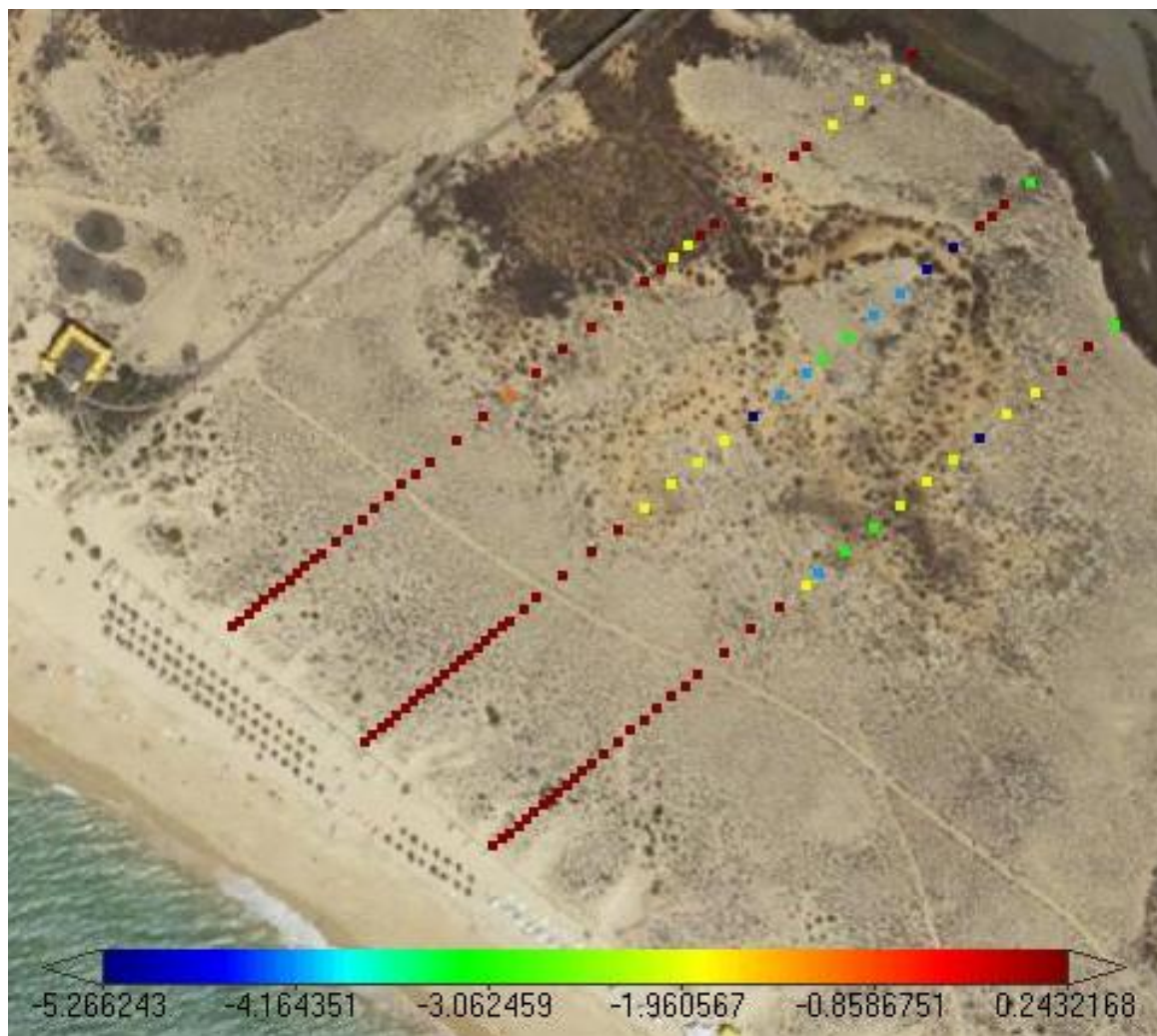


Figura 14 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 5 no transecto A (central), AW a Oeste e AE a Este. Na escala de cores o azul escuro representa a presença de *Limoniastrum monopetalum* e *Suaeda vera* e o vermelho as estações neutras.

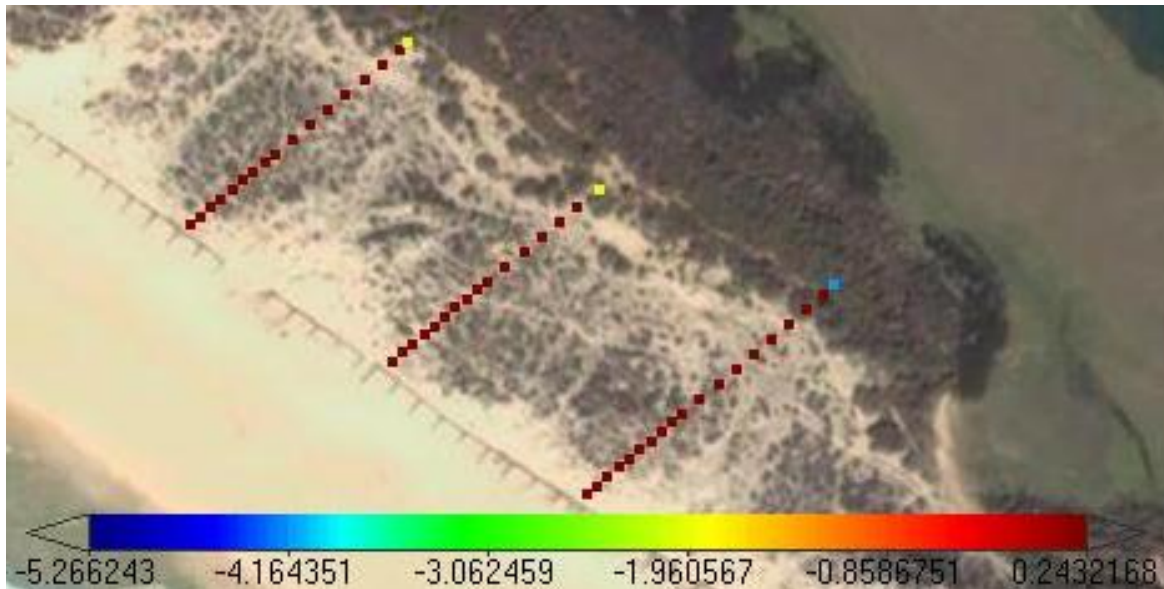


Figura 15 - Representação geográfica dos "scores z" do componente principal 5 no transecto B (central), BW a Oeste e BE a Este. Na escala de cores o azul representa a presença de *Limoniastrum monopetalum* e *Suaeda vera* e o vermelho as estações neutras.

A coloração a vermelho presente nos transectos representados corresponde a scores z próximos de 0, revelando estas estações como neutras relativamente à correlação descrita. Nos transectos C, D, E, F, e G esta correlação não está presente, as suas estações são assim neutras relativamente a esta correlação.

4.2 Análise de Agrupamento

Da análise de agrupamento às estações tendo como variáveis os scores z dos cinco componentes principais, obteve-se um dendrograma que descreve o modo como as estações podem ser agrupadas (figura 16).

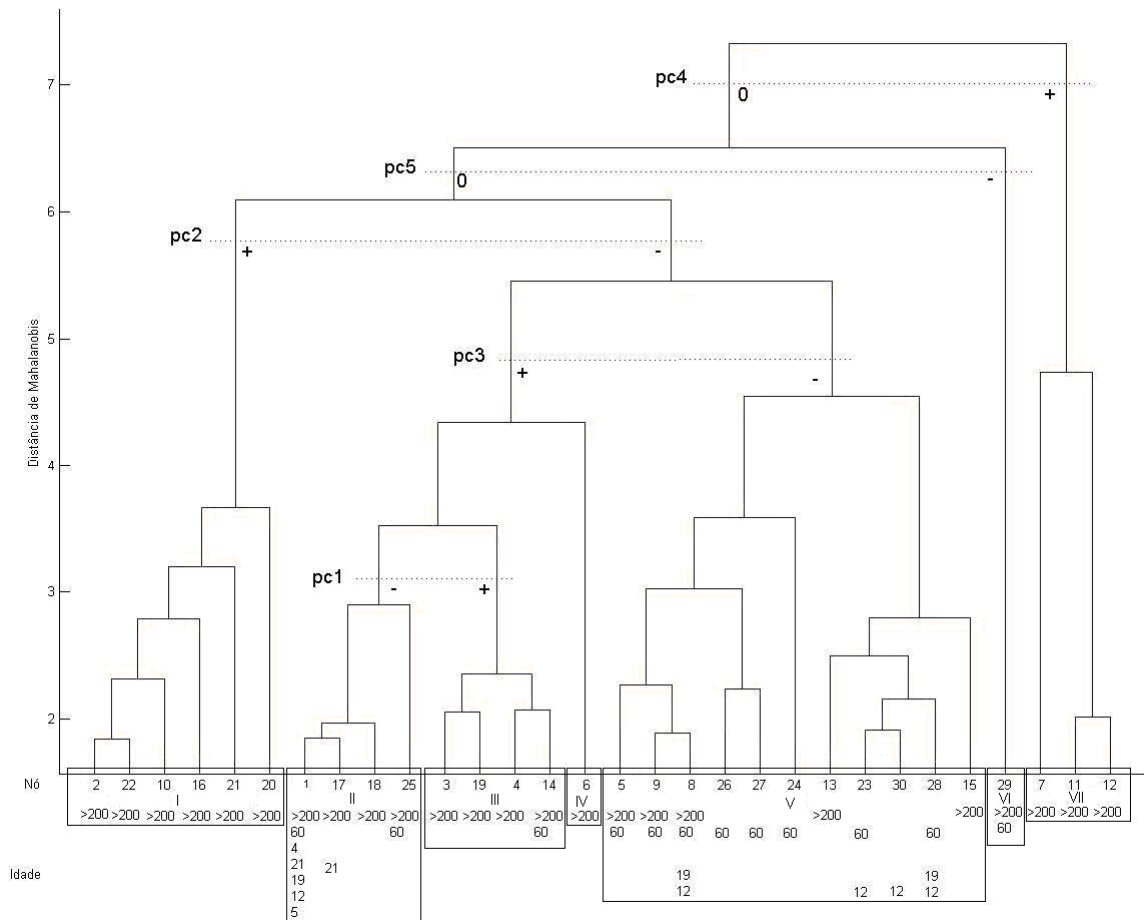


Figura 16 – Dendrograma dos cinco componentes principais das variáveis bióticas. As linhas a tracejado relacionam os grupos formados (I, II, III, IV, V, VI e VII) com os “scores z” do componente principal em questão. Está também representado a idade das estações que pertencem a cada nó.

Para interpretar a figura 16 é necessário recorrer também aos coeficientes da tabela III. Verifica-se então que existem dois grandes grupos. Estes correspondem à separação feita pelo quarto componente principal entre as estações pertencentes aos nós (7, 11 e 12 - transecto A) e os restantes nós. Os nós 7, 11 e 12 representam um grupo (VII) de estações do transecto A que possui scores z positivos onde se verifica associação das espécies *Ammophila arenaria*, *Carpobrotus edulis*, *Linaria pedunculata* e *Medicago littoralis*, que só ocorre passados mais de 200 anos. Já o grupo representativo dos restantes nós do dendrograma é composto por estações com scores z neutros, mostrando a ausência da associação acima descrita nestas estações.

No grupo que engloba todos os nós com exceção do (7, 11 e 12) foi encontrada uma subdivisão descrita pelo quinto componente principal. Esta é representada por dois grupos de nós, o nó 29 (apenas com estações dos transectos A e B) e todos os nós com exceção do 7, 11, 12 e 29. O nó 29 (grupo VI) é composto pelas estações com z scores

negativos. Descrevendo assim a associação existente entre as espécies *Limoniastrum monopetalum* e *Sueda vera*, que surge a partir dos 60 anos de idade. O segundo grupo, é composto por estações com scores z neutros deste componente principal, representando a ausência destas duas espécies.

Dentro da sub-divisão que engloba todos os nós com excepção dos 7, 11, 12 e 29, foi encontrado um sub-grupo que é bem discriminado pelo segundo componente principal. Este sub-grupo é representado por dois grupos de nós. O primeiro (grupo I) com os nós 2, 22, 10, 16, 21, 20 (apenas com estações do transecto A) reúne as estações com scores z positivos mostrando que a abundância das espécies *Ammophila arenaria*, *Pancratium maritimum*, *Sueda vera*, *Thymus carnosus*, *Frankenia laevis* implica a ausência das espécies *Artemisia campestris* e *Crucianella maritima*. Esta relação surge passados mais de 200 anos. O segundo grupo com os nós 1, 17, 18, 25, 3, 19, 4, 14, 6, 5, 9, 8, 26, 27, 24, 13, 23, 30, 28, 15 (com estações de todos os transectos) é composto por estações com scores z negativos, representando a relação inversa das espécies acima descritas e começa a ocorrer no início da formação da duna aos 4 anos de idade.

Dentro do sub-grupo composto pelos nós 1, 17, 18, 25, 3, 19, 4, 14, 6, 5, 9, 8, 26, 27, 24, 13, 23, 30, 28, 15 foi encontrada uma subdivisão descrita pelo terceiro componente principal. Neste sub-grupo os nós 1, 17, 18, 25, 3, 19, 4, 14 e 6 (com estações de todos os transectos) são compostos pelas estações com scores z positivos deste componente, mostrando que a abundância das espécies *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea* implica a ausência das espécies *Ammophila arenaria*, *Artemisia campestris*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* e *Frankenia laevis*. Esta relação começa a surgir aos 4 anos de idade de formação dunar. Neste mesmo sub-grupo os nós 5, 9, 8, 26, 27, 24, 13, 23, 30, 28 e 15 formam o grupo V (transectos A, B, E e F) representam estações com scores z negativos do terceiro componente principal associando a abundância das espécies *Ammophila arenaria*, *Artemisia campestris*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* e *Frankenia laevis*, que surge aos 12 anos de formação da duna. Outro grupo (IV) surge também relacionado com os scores z positivos do terceiro componente principal ocorrendo só no transecto A, representando a abundância entre as estações com a associação das espécies *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*.

Dentro do sub-grupo composto pelos nós 1, 17, 18, 25, 3, 19, 4 e 14, foi encontrada uma subdivisão descrita pelo primeiro componente principal entre os nós 1, 17, 18 e 25 (grupo II) (com estações de todos os transectos) e os nós 3, 19, 4 e 14 (grupo III) (com

estações do transectos A e B). O primeiro grupo (II) é composto por estações com scores z negativos e revela que a abundância entre as estações com as espécies *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*. Esta relação tem início aos 4 anos de idade da duna. O segundo (III) é composto por estações com scores z positivos mostrando a associação entre as espécies (*Anthemis maritima*, *Armeria pungens*, *Crucianela maritima*, *Helichrysum italicum*, *Lotus creticus*, *Malcomia littorea*, *Paronychia argentea*, *Silene littorea*, *Thymus carnosus* e *Vulpia alopecurus*) está presente nas estações dos respectivos transectos e surge aos 60 anos de idade.

Desta forma os resultados da análise de grupos podem ser sumarizados pela obtenção de 7 grupos os quais estão representados pelos rectângulos na Figura 17.

A análise discriminante foi então efectuada com o intuito de validar esta separação em 7 grupos. As variáveis utilizadas foram os 5 componentes principais. A análise discriminante revelou que é correcto formar estes grupos. A significância obtida foi de 0.01, ou seja, esta é a probabilidade de formar estes mesmos grupos sendo as estações distribuídas aleatoriamente. Agrupando assim, cerca de 96,6% das estações foram correctamente classificadas enquanto as restantes 3,3 % foram-no incorrectamente.

A distribuição espacial destes grupos nos transectos está representada nas figuras 17 a 23. Verificou-se que é só no transecto A é que ocorrem todos os grupos formados (figura 17). Neste transecto os grupos I, II e III distribuem-se ao longo de todo o perfil dunar. Já o grupo IV só ocorre na zona de transição da duna para o sapal. O grupo V encontra-se distribuído pela vertente oceânica, crista da duna e vertente continental. Já o grupo VI distribui-se no final da duna e na transição da duna para o sapal. Finalmente o grupo VII localiza-se na crista da duna, vertente continental e na transição da duna para o sapal.

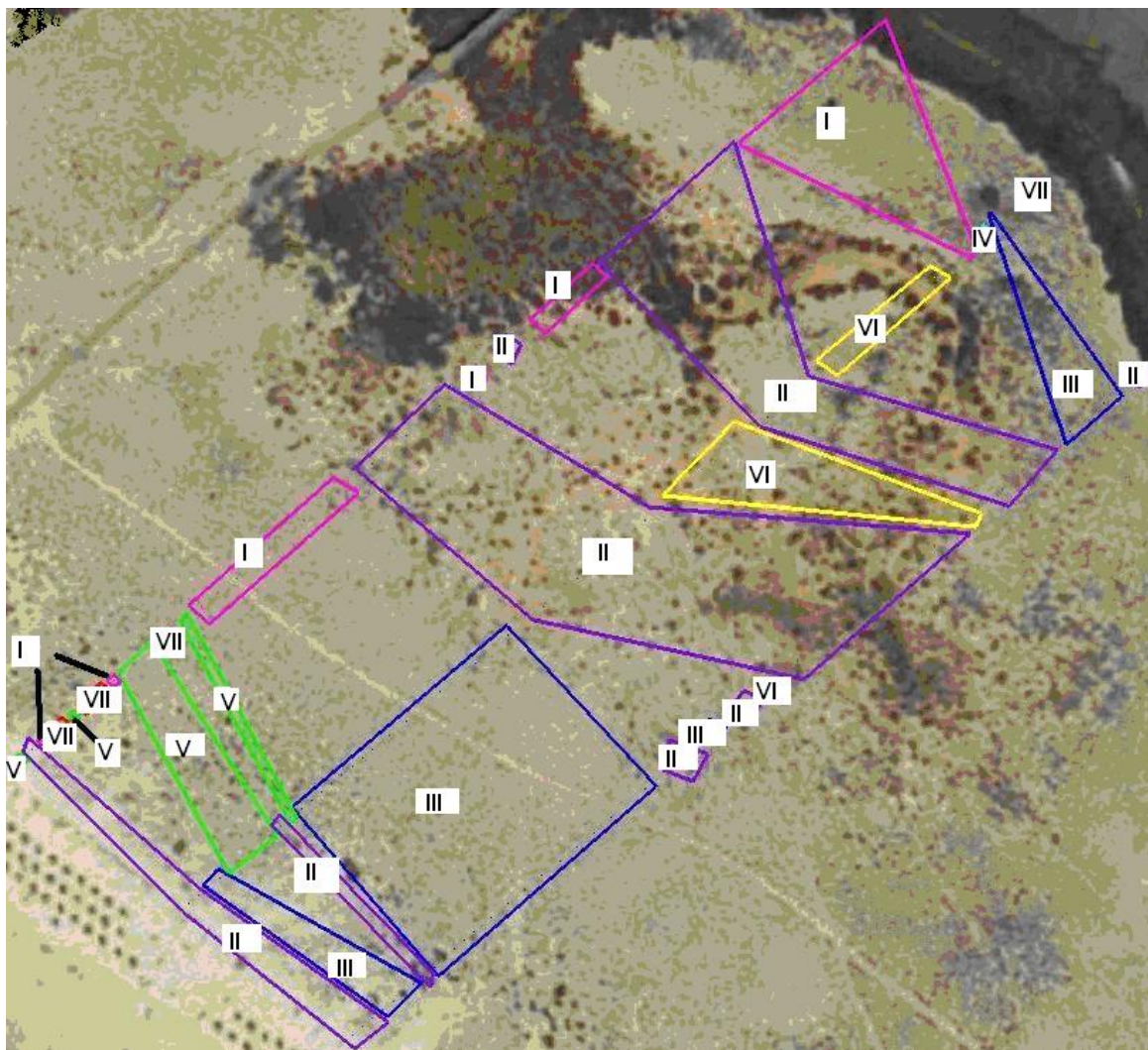


Figura 17- Distribuição espacial, no transecto A, dos grupos formados.

No transecto B (figura 18) ocorreram os grupos II, III, V e VI. O grupo II ocorre em todas as zonas da duna. O grupo V distribui-se pela vertente continental e pela zona posterior da duna até à transição da duna para o sapal. Finalmente os grupos III e VI ocorrem na transição da duna para o sapal.

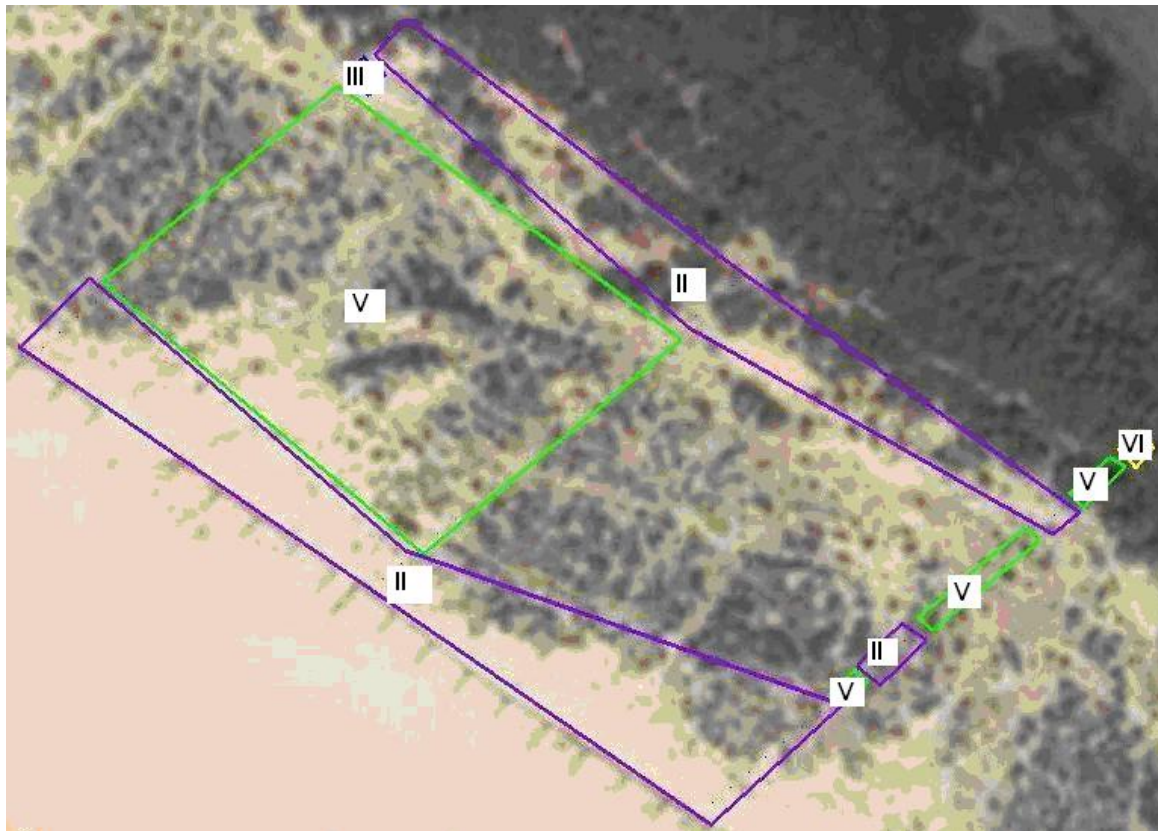


Figura 18- Distribuição espacial, no transecto B, dos grupos formados.

Nos transectos C, D e G só ocorreu o grupo II (figuras 19, 20 e 21).

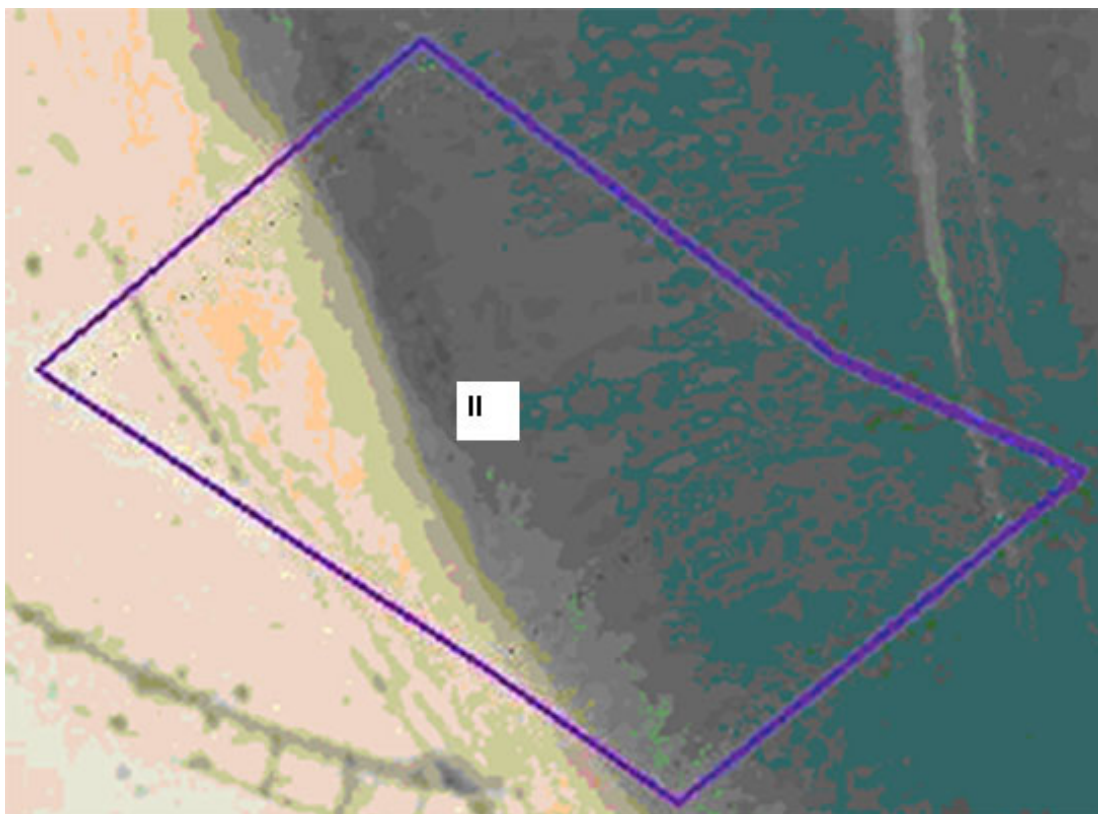


Figura 19- Distribuição espacial, no transecto C, do grupo II.

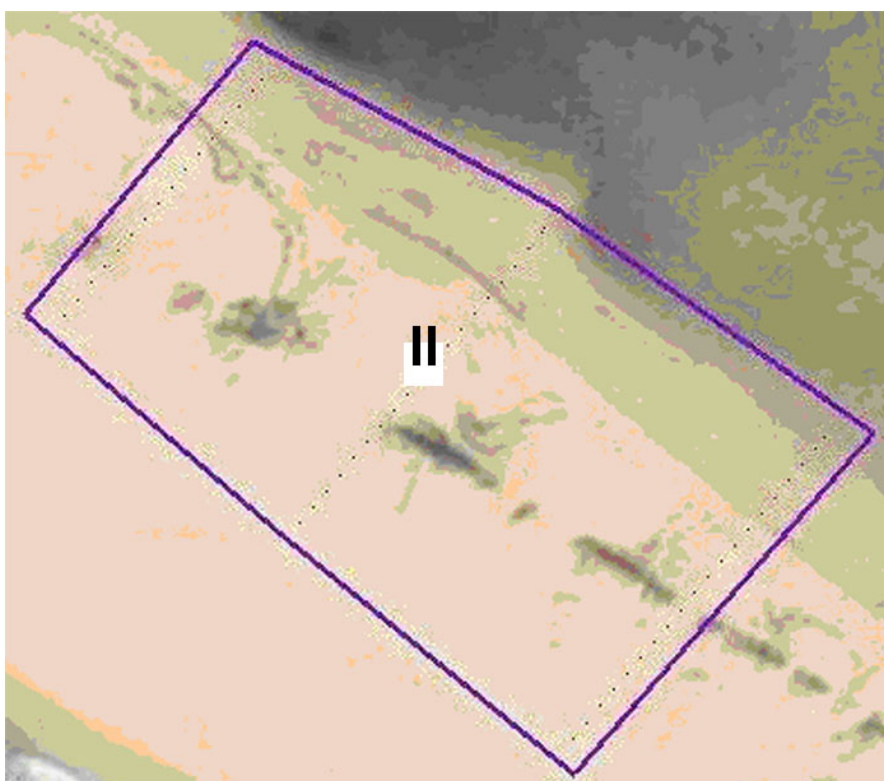


Figura 20- Distribuição espacial, no transecto D, do grupo II.

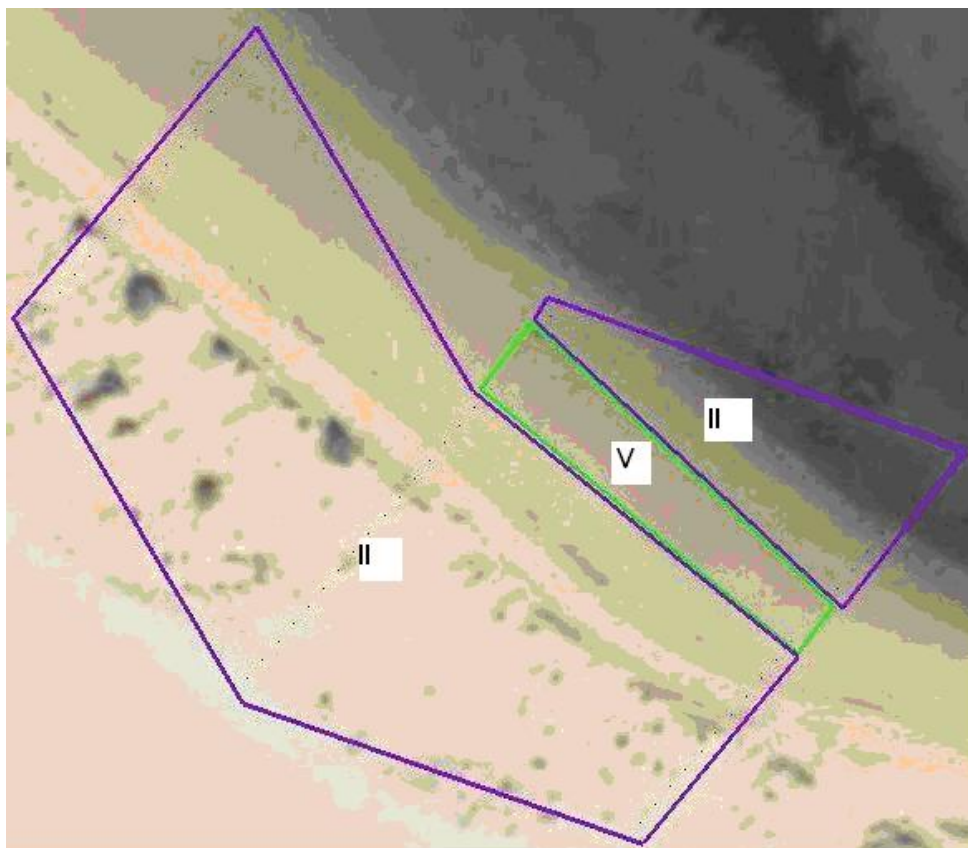


Figura 21- Distribuição espacial, no transecto E, dos grupos II e V.

No caso do transecto E (figura 21) notou-se a presença dos grupos II e V. O grupo II apresenta uma distribuição alargada a todo o perfil dunar e o grupo V na zona final do perfil dunar.

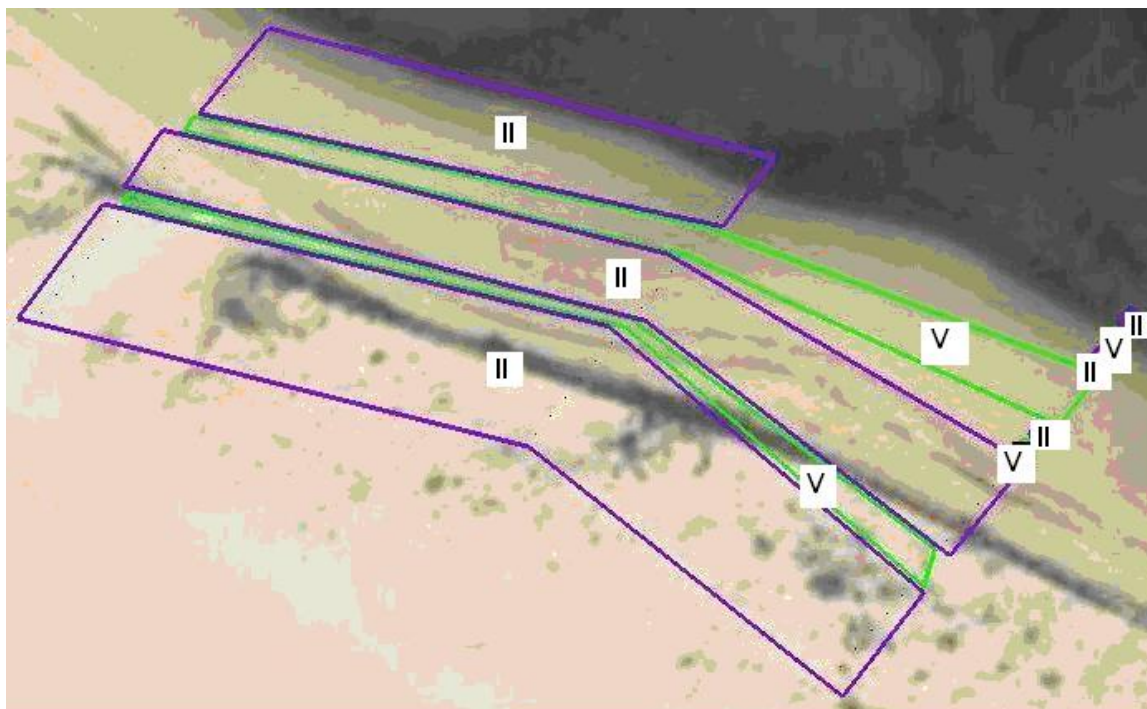


Figura 22- Distribuição espacial, no transecto F, dos grupos II e V.

No transecto F (figura 22) verificou-se a presença dos grupos II e V. O grupo II distribuiu-se ao longo do perfil dunar enquanto que o grupo V ocorre na zona posterior da duna até ao seu final.

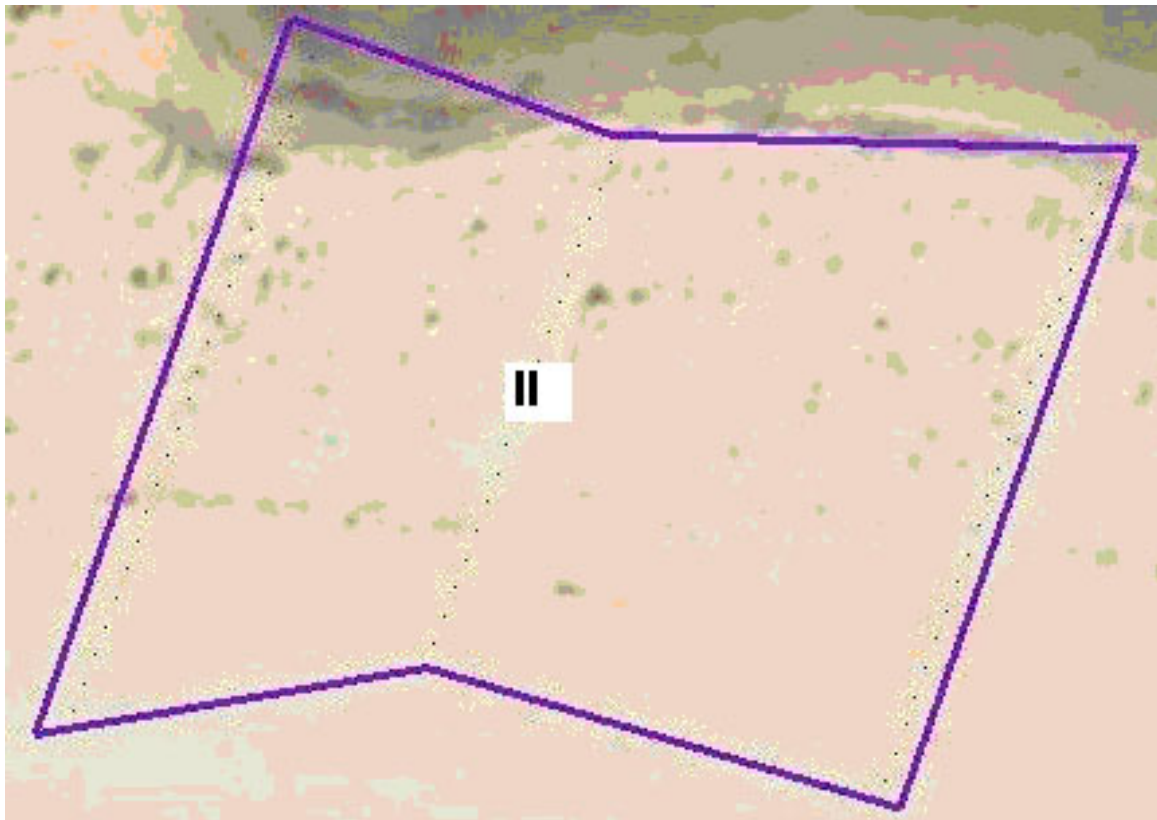


Figura 23- Distribuição espacial, no transecto G, do grupo II.

Da relação entre os sete grupos formados pelo dendrograma com as variáveis abióticas obtiveram-se quatro gráficos, um para cada variável (pH, condutividade, matéria orgânica e azoto). A relação entre o pH e os grupos formados é descrita pela figura 24. Verifica-se que para os grupos I e VII compostos por estações exclusivamente com mais de duzentos anos verifica-se que o pH tende a ser menos básico do que para os restantes grupos. Por oposição o grupo II que engloba estações de todas as idades, apresenta os valores de pH mais básicos.

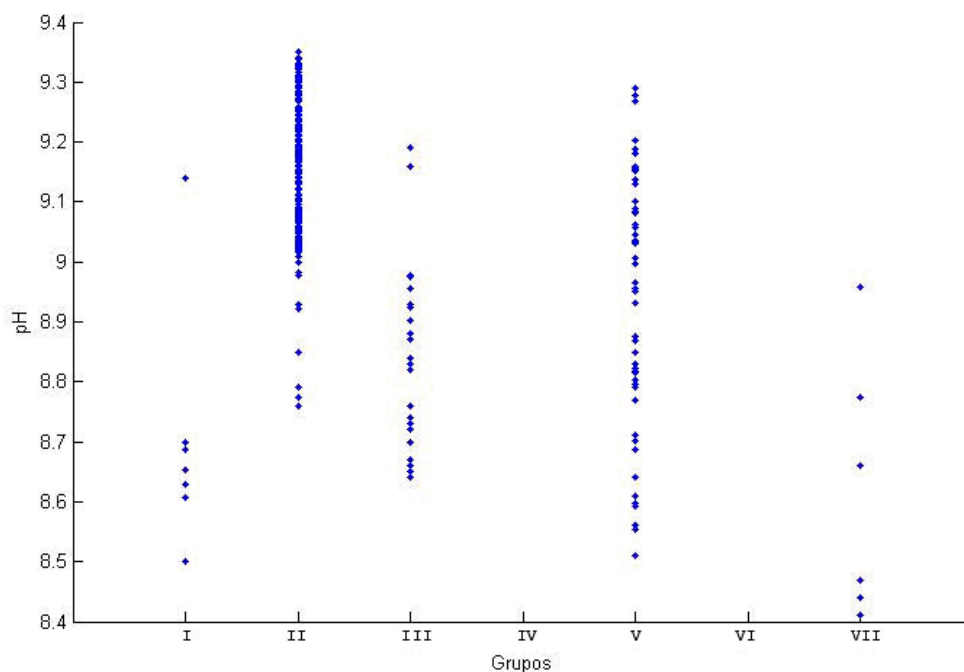


Figura 24 – Gráfico da relação entre o pH e os grupos formados pelo dendrograma.

Em relação à condutividade nota-se que esta, em média, apresenta valores semelhantes para todos os grupos verificando-se contudo uma maior variância nos grupos II e V, que são aqueles que englobam estações com idades mais variadas (figura 25).

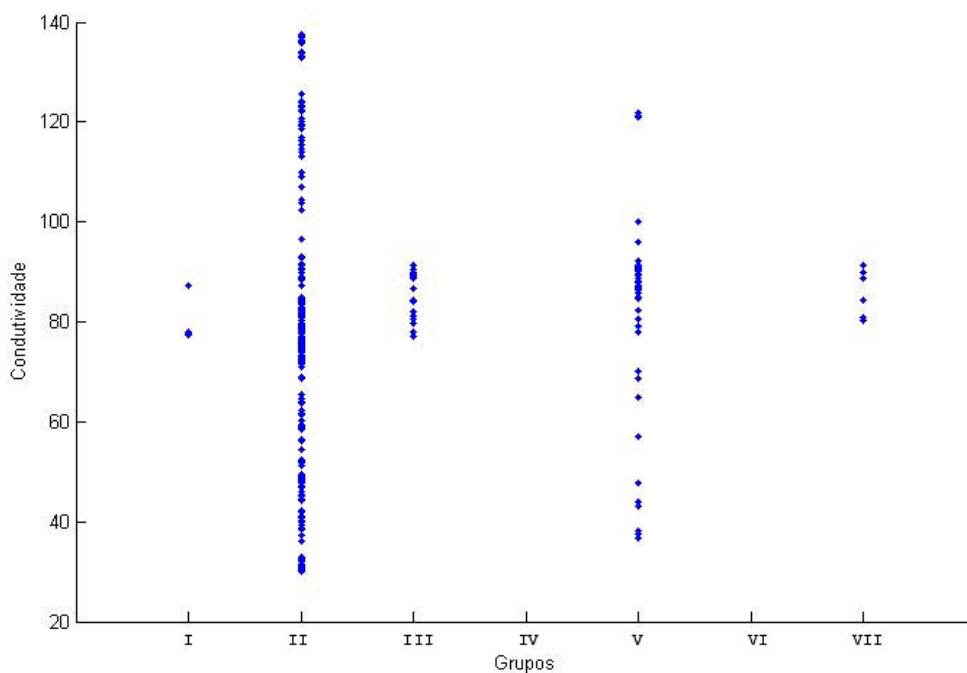


Figura 25 – Gráfico da relação entre a condutividade e os grupos formados pelo dendrograma.

Relativamente à matéria orgânica notam-se valores mais elevados para o grupo VII, que engloba estações com mais de 200 anos. Verifica-se também que os grupos I e II, de idade mais avançada (grupo I) e idades a partir dos 4 anos (grupo II), apresentam quer estações com baixo teor em matéria orgânica quer outras com elevado teor em matéria orgânica (figura 26).

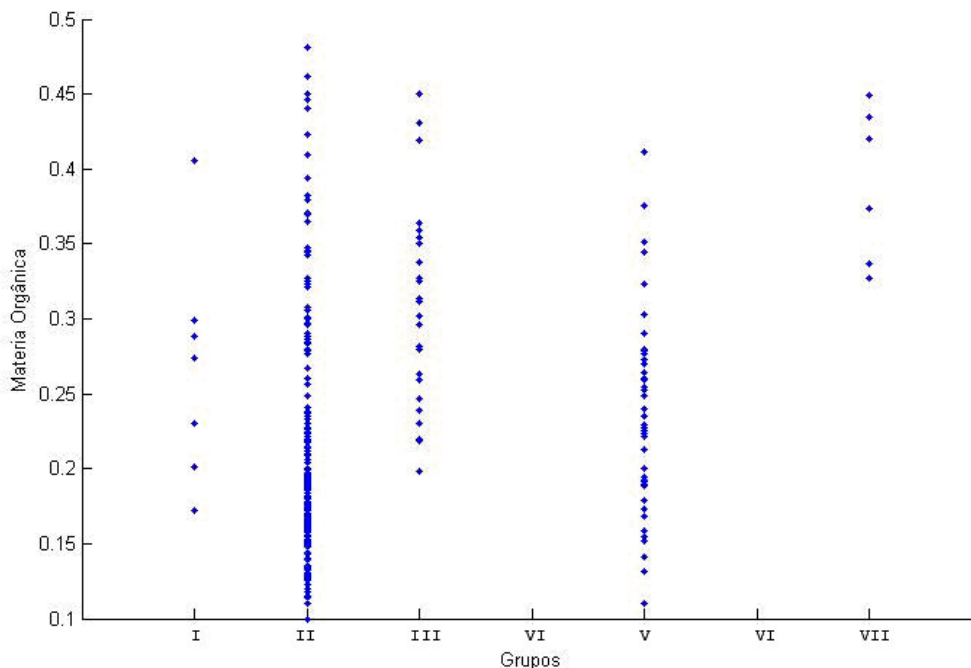


Figura 26 – Gráfico da relação entre a matéria orgânica e os grupos formados pelo dendrograma.

Em relação ao azoto notou-se que este apresenta uma variação de valores sensivelmente semelhante entre os grupos I, III e VII, verificando-se contudo uma maior variância nos grupos II e V (figura 27).

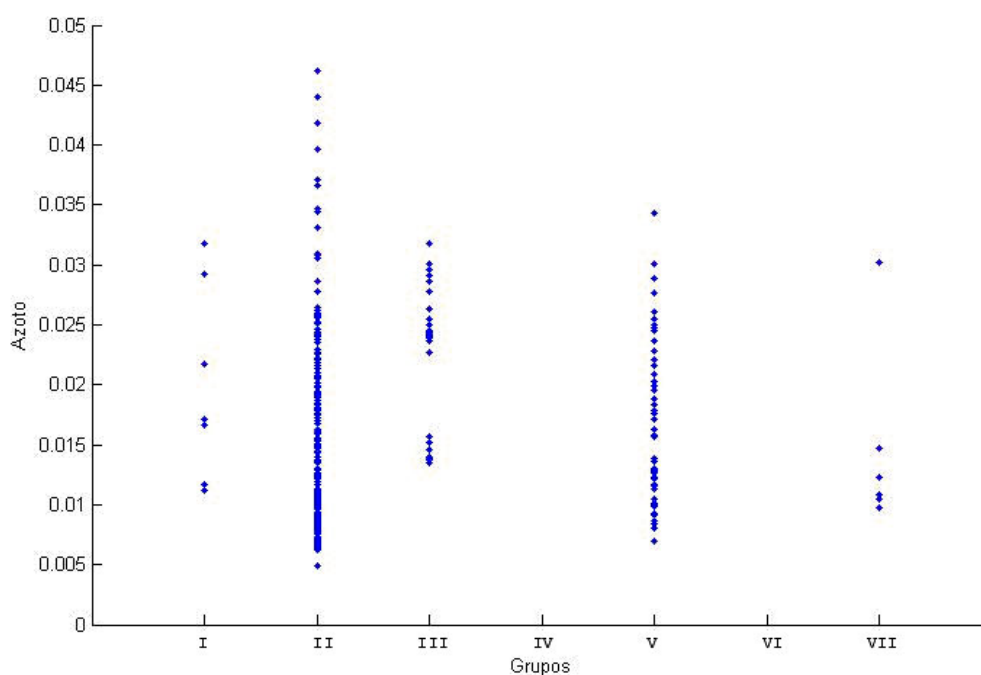


Figura 27 – Gráfico da relação entre azoto e os grupos formados pelo dendrograma.

4.3 Regressão Múltipla

Cada uma das cinco regressões múltiplas das variáveis abióticas pH, condutividade (Cond.), matéria orgânica (M.O.), azoto (N) e idade (variáveis independentes) com cada um dos cinco componentes principais (variáveis dependentes) estão descritas na tabela IV. Como se verifica através da estatística F todas as regressões são significativas. Cada regressão foi efectuada apenas com os dados das estações pertencentes aos grupos discriminados pelo respectivo componente principal. Por exemplo: o primeiro componente principal discrimina o grupo II formado pelos nós 1, 17, 18 e 25 e o grupo III formado pelos nós 3, 19, 4 e 14. Apenas os dados relativos a estas estações foram utilizados na regressão que utiliza o primeiro componente principal como variável dependente. Assume-se que as demais estações não contribuíram para o padrão descrito pelo componente principal e, como tal, a sua introdução na regressão múltipla viria apenas introduzir erro, mascarando as correlações significativas.

Tabela IV – valores p (p) e coeficientes (coef) das variáveis abióticas da regressão. Os valores p das variáveis em destaque são significativos.

		pH	Cond.	M.O.	N	idade	r ²	F	p
CP 1	p	0,00	0,80	0,04	0,94	0,00	0,61	124,99	0,00
	coef	-5,29	-0,00	2,02	0,80	1,27			
CP 2	p	0,66	0,32	0,02	0,51	0,48	0,02	5,52	0,02
	coef	-0,15	-0,00	1,92	5,40	-0,09			
CP 3	p	0,00	0,02	0,00	0,27	0,70	0,15	16,57	5,7e ⁻¹⁰
	coef	1,94	0,00	2,57	7,47	-0,05			
CP 4	p	0,00	0,48	0,00	0,24	0,64	0,25	52,56	0,00
	coef	-2,55	0,00	3,73	-10,31	0,07			
CP 5	p	0,77	0,77	0,00	0,07	0,19	0,03	9,90	0,00
	coef	0,02	0,00	-0,59	-3,49	-0,08			

Os resultados das regressões múltiplas apresentados na Tabela IV, mostram que o contraste estabelecido pelo CP1 (contraste entre a associação das espécies *Anthemis marítima*, *Armeria pungens*, *Crucianella marítima*, *Helichrysum italicum*, *Lotus creticus*, *Malcomia littorea*, *Medicago littoralis*, *Paronychia argêntea*, *Silene littorea*, *Thymus carnosus* e *Vulpia alopecurus* e a associação das espécies *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*) está inversamente relacionado com o pH e directamente relacionado com a matéria orgânica e idade. Isto indica que a primeira associação de espécies só aparece nos transectos da dunas de maior idade e que o seu solo tem um valor de pH ácido e um maior teor de matéria orgânica. Por outro lado, a associação entre as espécies *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum* aparece predominantemente em dunas mais novas com solos dunares de pH básico e de menor conteúdo em matéria orgânica.

O contraste descrito pelo CP2 (contraste entre a associação das espécies *Artemisia campestris*, *Crucianella marítima* e *Medicago marina* e a associação das espécies *Ammophila arenaria*, *Pancratium maritimum*, *Thymus carnosus*, *Frankenia laevis* e *Suaeda vera*) está directamente relacionado com a matéria orgânica dos solos dunares. Assim, a primeira associação surge em solos dunares com maior teor em matéria orgânica. Contudo a segunda associação ocorre em dunas com menor teor em matéria orgânica.

Já o contraste descrito pelo CP3 (contraste entre a associação das espécies *Ammophila arenaria*, *Artemisia campestris*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* e *Frankenia laevis* e a associação das espécies *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*) está

directamente relacionado com o pH, a condutividade e o teor em matéria orgânica dos solos dunares. Deste modo, a primeira associação surge em solos dunares com pH básico, condutividade neutra, e elevados teores de matéria orgânica. Por outro lado a segunda associação ocorre em dunas com valores de pH básico, condutividade neutra e baixos teores de matéria orgânica.

A presença descrita pelo CP4 (presença das espécies *Ammophila arenaria*, *Carpobrotus edulis*, *Linaria pedunculata* e *Medicago littoralis*) está relacionada com o pH e a matéria orgânica dos solos dunares. Assim estas espécies surgem em solos dunares com pH ácido e elevados teores em matéria orgânica.

A associação descrita pelo CP5 (entre as espécies *Limoniasstrum monopetalum* e *Suaeda vera*) está relacionada com a matéria orgânica das dunas. Verifica-se que estas espécies surgem em dunas com baixos teores de matéria orgânica.

5 Discussão

A conjugação da análise de componentes principais com a análise de grupos resultou na evolução espaço temporal dos vários tipos de comunidade presentes na zona de estudo, os quais correspondem aos 7 grupos formados e podem ser caracterizados por:

I: Comunidade caracterizada pela presença das espécies *Ammophila arenaria*, *Frankenia laevis*, *Pancratium maritimum*, *Suaeda vera* e *Thymus carnosus*. Ocorre ao longo de todo o perfil dunar nas zonas com idade superior a 200 anos. Está relacionada com elevados teores em matéria orgânica. Em comparação com a distribuição da composição florística proposta por Furtado (1989) e Costa (1997), em dunas que possuem duna secundária e primária, verifica-se no presente estudo que estas espécies podem ter uma distribuição mais abrangente devido à inexistência de duna secundária e primária em detrimento da vertente oceânica e continental.

II: Comunidades pioneiras dominadas pelas espécies *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum*, e caracterizadas por pH básico e baixos teores de matéria orgânica. Estas comunidades podem localizar-se pontualmente em qualquer zona da duna e no caso de dunas mais recentes são a única comunidade existente (Figuras 17, 18, 19, 20, 21 e 22).

Ocorrem desde os 4 anos de idade da duna. A distribuição destas espécies em Furtado (1989) e Costa (1997) ocorrem só na anteduna. Por seu lado, Mendes (1999) estabelece uma associação entre *Elymus farctus*, *Cakile maritima* e *Otanthus maritimus* e a exclusão de *Medicago marina* e *Calystegia soldanella*, referindo-a como característica da anteduna.

III: Comunidade avançada da sucessão dunar caracterizada por uma elevada biodiversidade com a presença equitativa de muitas espécies, nomeadamente *Anthemis maritima*, *Armeria pungens*, *Crucianella maritima*, *Helichrysum italicum*, *Lotus creticus*, *Malcomia littorea*, *Paronychia argentea*, *Silene littorea*, *Thymus carnosus* e *Vulpia alopecurus*. Esta comunidade está associada com pH ácido e elevados teores de matéria orgânica. Surgiu ao longo de todo o perfil dunar (Figuras 17 e 18) mas apenas nas zonas com idade superior a 60 anos.

IV: Comunidade de idade superior a 200 anos dominada pelas espécies *Helichrysum italicum* e *Paronychia argentea*. Furtado (1989) e Costa (1997) verificaram a distribuição destas espécies na duna secundária. Mendes (1999) encontra esta associação com outras espécies relacionadas com a altura e idade e refere que são características da duna primária e secundária.

V: Comunidade composta pelas espécies *Ammophila arenaria*, *Frankenia laevis*, *Artemisia campestris*, *Pancratium maritimum* e *Medicago marina* e por pH básico e elevados teores de matéria orgânica. Foi encontrada em todas as zonas do perfil da duna em estações com 12 anos. Comparativamente com Furtado (1989) e Costa (1997) verifica-se que a *Ammophila arenaria* e a *Artemisia campestris* têm uma distribuição mais abrangente do que a crista da duna primária, e as espécies *Pancratium maritimum* e *Medicago marina* têm uma distribuição mais abrangente do que a duna secundária.

VI: Comunidades caracterizadas pela dominância das espécies *Limoniastrum monopetalum* e *Sueda vera* e por baixos teores de matéria orgânica, típicas da transição duna sapal em dunas com idades superiores a 60 anos. Neste grupo a distribuição espacial destas espécies está em tudo de acordo com a proposta por Furtado (1989), (Figuras 17 e 18, transectos A e B). Esta comunidade só ocorre nos sapais devido estes apenas se formarem onde o litoral esteja protegido da acção directa das vagas e correntes marítimas e haja influência de água doce, deposição de sedimentos e taludes suaves, por isso só ocorrem em estuários tranquilos e baías. A vegetação desempenha

um papel fundamental no processo de sedimentação, pois não só fornece abundantes detritos vegetais que as correntes das marés transportam, como depois retêm esses detritos, que formam um denso enfechado capaz de retardar o movimento de águas e reter os sedimentos em suspensão (Costa, 2001). Mendes (1999) também encontrou estações com elevada presença de *Limoniastrum monopetalum*.

VII: Comunidade caracterizada pela dominância das espécies, *Ammophila arenaria*, *Medicago littoralis*, *Linaria pedunculata* e *Carpobrotus edulis*. Ocorre na vertente oceânica, na vertente continental e também na transição da duna para o sapal desde que com idade superior a 200 anos (transecto A, Figura 17). Esta comunidade relaciona-se com pH ácido e um elevado teor em matéria orgânica.

Estes grupos encontrados podem ser englobados num esquema mais generalista da sucessão dunar na Ria Formosa. Assim, podem ser encontradas zonas distintas e facilmente identificáveis:

- i) Zona dunar muito recente ou sujeita a maior stress ambiental com comunidades pioneiras dominadas por 2 espécies, *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum* (grupo II).
- ii) Zona dunar com idade avançada contíguas ao sapal e caracterizadas pela presença de duas espécies, *Limoniastrum monopetalum* e *Sueda vera* (grupo VI), É uma zona muito específica devido à características que esta zona apresenta pois chegam a suportar concentrações de sal, durante períodos mais ou menos longos, superiores às águas do mar (Costa, 2001).
- iii) Zona dunar de idade intermédia ou avançada, sujeita a menor influência marinha e afastada do sapal (grupo V).
- iv) Estados avançados da sucessão dunar caracterizados pela presença de uma de quatro comunidades: Grupo I, grupo III, grupo IV ou grupo VII.

A influência dos factores ambientais no tipo e estrutura das comunidades tem sido, durante as últimas décadas, um tema de grande relevância em ecologia. (Austin, 1980) propôs três tipos de processos segundo os quais esta influência é exercida. Estes são i)

o gradiente directo, ii) o gradiente de recursos e iii) o gradiente indirecto, (Austin & Smith 1989) descreveram assim os gradientes.

i) Os gradientes directos são gradientes de factores ambientais que têm um impacto fisiológico directo no crescimento das plantas mas que não são consumidos por estas. É o caso do pH e da temperatura do ar. Este gradiente é comum em zonas dunares, nas quais é observada uma variação de factores ambientais como a influência directa do mar devido à sua proximidade, o hidrodinamismo, os temporais que causam galgamentos, à salinidade, a matéria orgânica, o pH, a deslocação de areiras, temperatura entre outros. Este processo deverá ter sido comum na zonação dunar da Ria Formosa e potencialmente um dos processos fundamentais na estruturação das comunidades formadas e identificadas.

ii) Os gradientes de recursos representam para as plantas uma variedade de recursos limitados, que são consumidos por estas com vista ao seu metabolismo e crescimento. Assim, estes recursos são limitados do ponto de vista do ambiente e são limitantes do ponto de vista da planta. São os casos da luz, água, oxigénio e nutrientes minerais essenciais. Estes gradientes são comuns em zonas dunares, nas quais é observada uma variação espacial dos nutrientes limitantes. As observações realizadas neste estudo permitem confirmar este processo como influente na estruturação da zonação dunar da Ria Formosa e potencialmente um dos processos fundamentais na estruturação das comunidades formadas e identificadas.

iii) os gradientes ambientais indirectos são os gradientes de factores complexos tais como a altitude. A influência de um gradiente de altitude através de variáveis como a temperatura e chuva tem um efeito directo no crescimento das plantas e uma complexidade local-específica correlacionada com a altitude. As relações baseadas nestes gradientes não podem ser extrapoladas para além do ambiente onde foram medidas. Este tipo de gradiente não deverá ser esperado como um dos processos fundamentais na diferenciação entre as comunidades dunares formadas e identificadas na zona de estudo. No entanto, dentro do total da área geográfica da Ria Formosa, comparando com outros trabalhos realizados por Furtado (1989) e Mendes (1999), pode-se argumentar que a discordância de resultados por vezes verificada se deve à presença de duna primária e secundária nas zonas destes trabalhos e sua redução para vertentes oceânica e continental no caso presente. Seguindo o princípio do gradiente indirecto, é também expectável que as comunidades formadas e identificadas na Ria

Formosa sejam similares às identificadas noutros estudos feitos no sul de Portugal mas diferentes das identificadas noutros estudos feitos noutros pontos do globo terrestre. As diferenças poderão ser ligeiras. Um padrão global comum pode ser seguido por diferenças regionais tal como a substituição de espécies locais. O conceito de espécies complementares é sobejamente conhecido em ecologia. Assim, poderá ser expectável que o mesmo padrão global de zonação dunar seja reproduzido por espécies complementares caso se esteja a estudar o sul da Península Ibérica (estudo presente) ou a costa oeste Polaca com o lado Alemão da Ilha Uznam (Labuz, 2005). Por outro lado, as diferenças poderão ser maiores e todo um tipo de comunidade pode ser substituído por um outro complementar com igual função ecológica. Um dos exemplos mais conhecidos em ecologia é precisamente o dos sapais em zonas temperadas e a sua substituição por mangais em zonas tropicais (Costa, 2001).

Para lá dos gradientes ambientais verificados no espaço, também o tempo, mais concretamente a idade, é um factor determinante na estruturação das comunidades dunares. A influência dos gradientes ambientais espaciais e do tempo na sucessão dunar verificada no presente estudo pode ser resumida pelo esquema na figura 28. O grupo II representa comunidades pioneiras. Este tipo de comunidade existe em qualquer ponto da duna, desde que com idades recentes, mas também na anteduna com qualquer idade, mesmo com 200 anos o que indica não ter sido por falta de tempo que a comunidade não evoluiu para um estado mais avançado. A explicação plausível é a de restrições devidas à adversidade ambiental como por exemplo, temperatura, luz, proximidade do mar, e altura do local. Fora da anteduna, as comunidades efectivamente evoluíram para estados mais avançados. É de notar que o evoluir da comunidade força uma evolução de determinadas características abióticas do habitat, como o pH e teor em matéria orgânica, sendo assim causa de um gradiente ambiental directo sobre a dimensão temporal.

Pode então resumir-se que na zonação dunar da Ria Formosa, um gradiente ambiental directo pode inibir ou facilitar uma evolução temporal para estados mais avançados. Caso esta evolução se dê, as novas comunidades formadas vão alterar as condições abióticas do habitat, nomeadamente a composição química do solo. Para dar continuidade ao estudo da sucessão dunar na Península do Ancão e Ilha da Barreta seria então importante fazer um estudo de probabilidades de substituição de espécies durante a sucessão, sugere-se então alguns modelos que podem ser consultados em May & McLean, 2007.

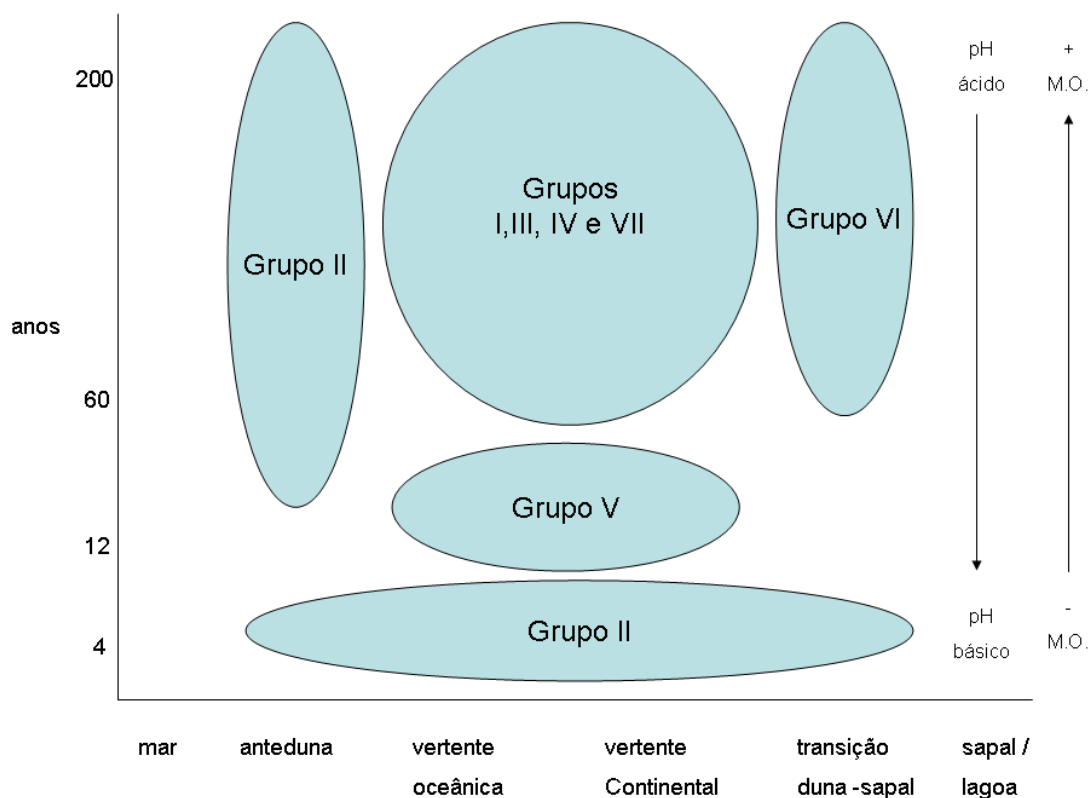


Figura 28 – Esquema simplificado da sucessão dunar nas ilhas barreira da Ria Formosa.

6 Conclusões

A análise dos factores bióticos leva a concluir que são necessários pelo menos sessenta anos para que ocorra uma sucessão ecológica dunar avançada e que com esta mesma idade as dunas apresentam uma série de relações inter-específicas que tendem a ser estabilizadas. Conclui-se também que as espécies ditas pioneiras, à medida que o tempo evolui, restringem a sua ocupação à vertente oceânica da duna, uma vez que sofrem uma pressão competitiva de outras espécies que se lhes sucedem com o tempo. Conclui-se ainda que a zonação de um sistema dunar está dependente quer da idade do mesmo, quer das características que o próprio habitat apresenta (gradiente de recuro e gradiente directo), e que a zonação completa de um sistema dunar necessita de pelo menos duzentos anos para ocorrer. Conclui-se também, pela conjugação da análise de componentes principais com a análise de grupos, que os grupos formados surgem numa sequência temporal onde determinadas espécies mais adaptadas que os compoem

poderão ocupar várias zonas das dunas, mostrando que a zonação da mesma, por vezes, não é tão nitidamente delineada pela topografia da duna e que pode ser alterada para estádios de sucessão anteriores devido à periodicidade de distúrbios causados pelo ambiente (galgamentos). A estabilidade destas dunas vai depender então de factores externos às comunidades apresentadas que irão ter incidência ao nível do ecossistema dunar devido às elevadas taxas de migração da barra de maré onde assoreou a Barra de S. Luís. O sector da Ilha da Barreta está assim mais condenado a permanecer num estádio de desenvolvimento mais recente do que o sector da Península do Ancão. Este por seu turno tem as pressões antropogénicas, a introdução de espécies exóticas a ditar a evolução juntamente com os outros factores inter-específicos, de gradiente directo e de recurso.

7 Referências Bibliográficas

Anderson, M. J., Clements, A. 2000. *Resolving environmental disputes: a statistical method for choosing among competing cluster models*. *Ecological Applications*, 10:1341—1355.

Andrade, C. (1990). *O ambiente de barreira da Ria Formosa – Algarve – Portugal*. Dissertação de doutoramento em Geologia especialidade - Geologia do Ambiente - apresentada à Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Ciências de Lisboa. Lisboa, 645 pp.

Austin, M. P. (1980). *Searching for a model for use in vegetation analysis*. *Vegetatio* 42: 11-21.

Austin, M. P., Smith, T. M. (1989). *A new model for the continuum concept*. *Vegetatio* 83: 35-47.

Begon, M., Townsend, C. R., Harper, J. L. (2006). *Ecology*. Blackwell Publishing, Oxford, 738 pp.

Braun Blanquet, J. (1979). *Fitosociologia. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blume ediciones, Madrid. 820 pp.

Brown, A. C., McLachlan, A. (1990). *Ecology of Sandy Shores*. Elsevier, Amsterdam, 328 pp.

Carter, R. W. G. (1990). *Coastal Environments – An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press, London, 617pp.

Costa, J. C. (2001). *Tipos de vegetação e adaptações das plantas do litoral de Portugal continental*. Albergaria Moreira, M. E., A. Casal Moura, H. M. Granja, F. Noronha (ed.)

Homenagem (in honorio) Professor Doutor Soares de Carvalho: 283-299. Braga. Universidade do Minho.

Declerck, S., Vandekerkhove, J., Johansson, L., Muylaert, K., Conde-Porcuna, J. M., Van der Gucht, K., Pérez-Martínez, C., Lauridsen, T., Schwenk, K., Zwart, G., Rommens, W., López-Ramos, J., Jeppesen, E., Vyverman, W., Brendonck, L., De Meester L. 2005. *Multi-group biodiversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover*. Ecology 86:1905–1915.

Dias, J. A. (1988). *Aspectos geológicos do Litoral Algarvio*. Geonovas, Lisboa, 10, 113-128.

Dijksterhuis, G. B, Heiser, W. J. 1995. *The role of permutation tests in exploratory multivariate data analysis*. Food Quality and Preference, 6: 263-270.

Duggan, I. C., Green, J. D., Shiel, R. J. (2002). *Distribution of rotifer assemblages in North Island, New Zealand, lakes: relationships to environmental and historical factors*. Freshwater Biology, 47: 195–206.

Gauch, H. G. Jr. (1982). *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 168 pp.

Jackson, D. A. (1995). *Bootstrapping Principal Components Analysis: Reply to Mehlman et al.* Ecology. 2: 644-645.

Jackson, D. A. (1993). *Stopping Rules in Principal Components Analysis: A Comparison of Heuristical and Statistical Approaches*. Ecology 8: 2204-2214.

Jackson, J. E. (1991). *A User's Guide to Principal Components*. John Wiley & Sons, New York, 569 pp.

Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag, New York, 487 pp.

Jongman, R. H., **ter Braak**, C. J. F., **Van Tongeren**, O. F. R. 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 292 pp.

Lepš, J., **Šmilauer**, T. 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press, Cambridge, 267 pp.

Lichter, J. (2000). *Colonization constraints during primary succession on coastal Lake Michigan sand dunes*. *Journal of Ecology*, 88: 825–839.

Manly, B. F. J. (1986). *Multivariate Methods*. Chapman & Hall, London, 159 pp.

Manly, B. F. J. (1991). *Randomization and Monte Carlo Methods in Biology*. Chapman & Hall, London, 281 pp.

May, R. M., **McLean**, A. R. (2007). *Theoretical Ecology Principles and Applications*. Oxford University Press, Oxford 257 pp.

Mendes, M. (1999). *Desenvolvimento de um Modelo Temporal da Sucessão Ecológica Dunar (Península do Ancão, Ria Formosa)*. Universidade do Algarve, Unidade de Ciências e Tecnologias dos Recursos Aquáticos, relatório de estágio do curso de Biologia Marinha e Pescas, 37 pp.

Mehlman, D. W., **Shepherd**, U. L., **Kelt**, D. A. (1995). *Bootstrapping Principal Components Analysis: A Comment*. *Ecology*, 2: 640-643.

Matias, A., Ferreira, O., Vila-Concejo, A., Garcia, T., Dias, J. A. (2008). *Classification of washover dynamics in barrier islands.* *Geomorphology*, 97: 655-674 pp.

Matias, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, O., Morris, B., Dias, J. A. (2007). *Sediment transport patterns during overwash.* *Coastal Sediments 07*, 13 pp.

Odum, E. P. (1985). *Ecologia.* Interamericana, Rio de Janeiro, 434 pp.

Ferreira, O., Dias J. A., Taborda, R. (2008). *Implications of Sea-Level Rise for Continental Portugal.* *Journal of Coastal Research*, 24: 317-324.

Pacheco, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, O., Dias, J. A. (2008). *Assessment of tidal inlet evolution and stability using sediment budget computations and hydraulic parameter analysis.* *Marine Geology* 247, 104-127 pp.

Pacheco, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, O., Dias, A. (2007). *Present hydrodynamics of ancão inlet, 10 years after its relocation.* *Costal Sediments `07* 14 pp.

Pacheco, A, Carrasco, A R., Vila-Concejo, A, Ferreira, O., Dias, J. A. (2007). *A coastal management program for Channels located in backbarrier systems.* *Ocean & Coastal Management* 50, 119-143 pp.

Packham, J. R., Willis A. J. (1997). *Ecology of Dunes, Salt Marsh and Shingle.* Chapman & Hall, London, 335 pp.

Peres-Neto, P. R., Jackson, D. A., Somers, K. M. (2003). *Giving meaningful interpretation to ordination axes: assessing loading significance in principal component analysis.* *Ecology* 84: 2347-2363.

Peres-Neto, P. R., **Jackson** D. A., **Somers**, K. M. (2005). *How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited*. *Computational Statistics & Data Analysis* 49: 974-997.

Pickett, S. T. A., **White**, P. S. (1985). *The Ecology of Natural Disturbance as Patch Dynamics*. Academic Press, San Diego, 472 pp.

Ranwell, D. S. (1972). *Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes*. Chapman & Hall, London, 258 pp.

Rivas-Martinez, S., Lousa, M., Díaz, T. E., Fernández-González, L., Costa, J.C. (1990). *La vegetacion del sur de Portugal (Sado, Alentejo e Algarve)*. Itinera Goebot.

Rodrigues, D, **Henriques**, N. (2002). *Estudo da Evolução Espaço-Temporal de uma Sucessão Ecológica Dunar na Península Ancão e Ilha da Barreta*. Relatório de estágio apresentado à Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente, 51 pp.

Santos, C. M. A. (2001). *Estudo da Monitorização da Recuperação do Cordão Dunar da Península do Ancão*. Relatório de estágio apresentado à Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Ciências de Lisboa, 41 pp.

Smith, R. L., **Smith** T. M. (2000). *Elements of Ecology*. Benjamin/Cummings Science Publishing, San Francisco, 567 pp.

Smith, T., **Huston**, M. (1989). *A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities*. *Vegetatio* 83: 49-69.

ter Braak, C. F. J. (1988). CANOCO – a Fortran program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal component analysis and redundancy analysis (version 2.1) Wageningen: Agricultural Mattematic Group, Report LWA: 88 - 02.

ter Braak, C. J. F., Prentice, I.C. (1988). *A theory of gradient analysis*. Advances in Ecological Research, 18: 272–317.

Townsend, C. R., Hildrew, A. G. (1994). *Species traits in relation to a habitat templet for river systems*. Freshwater Biology, 31: 265–275

Vila-Concejo, A., Matias, A., Pacheco, A., Ferreira, O., Dias, J. A. (2006). *Quantification of inlet-related hazards in barrier island systems. An example from the Ria Formosa (Portugal)*. Continental Shelf Research 26, 1045-1060 pp.

Vila-Concejo, A., Ferreira, O., Matias, A., Dias, J. M. A. (2003). *The first two years of an inlet: sedimentary dynamics*. Continental Shelf Research 23, 1425-1445 pp.