

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO MAR E DO AMBIENTE

**“Avaliação de desempenho operacional de
estações de tratamento de águas residuais como
instrumento associado à reutilização da água na
rega de campos de Golfe”**

Ana Cristina Dias Pereira

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do
Ambiente, na área de Tecnologias Ambientais

Faro

2009

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO MAR E DO AMBIENTE

**“Avaliação de desempenho operacional de
estações de tratamento de águas residuais como
instrumento associado à reutilização da água na
rega de campos de Golfe”**

Ana Cristina Dias Pereira

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do
Ambiente, na área de Tecnologias Ambientais

Orientador: Doutora Maria João Rosa (NES/DHA/LNEC)
Co-orientadores: Doutora Alexandra Cravo (FCMA/UALG)
Mestre Sílvia Quadros (DCA/UAçores)

Faro
2007-2009

AGRADECIMENTOS

Desejo manifestar o meu mais sincero reconhecimento à Doutora Maria João Rosa, minha orientadora científica, à Eng.^a Sílvia Quadros, minha co-orientadora científica, pelo esforço, informação, sugestões e disponibilidade que sempre demonstraram em apoiar esta dissertação.

Ao Eng.^o Miguel Maciel e Eng.^a Ana Soares da Acciona Água, S.A. pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Eng.^o António Martins da Águas do Algarve, S.A. pela disponibilidade e conhecimentos partilhados.

Em especial aos meus familiares, pelo apoio, compreensão, ajuda e paciência demonstrada.

**A todos que directa ou indirectamente, contribuíram para alcançar mais este
objectivo, o meu sincero muito obrigada.**

RESUMO

Em muitas regiões do mundo, verifica-se, actualmente, um crescente interesse na utilização de águas residuais tratadas como fonte alternativa de água. Com o aumento da procura deste recurso alternativo surgiu a necessidade de garantir, aos futuros utilizadores, segurança e qualidade do produto final. Não existe actualmente um consenso generalizado relativamente à qualidade da água para as diferentes utilizações, e são escassos e dispersos os meios de avaliação e controlo que garantam a qualidade da água residual tratada e que apresentem soluções para situações de emergência.

Tendo em conta as grandes potencialidades deste recurso alternativo e a necessidade de garantir a qualidade e segurança do produto aos seus utilizadores, pretendeu-se com esta tese contribuir para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação do desempenho de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) urbanas, de forma a aumentar a fiabilidade do tratamento e assim garantir os padrões de qualidade e segurança da água para reutilização. Para o efeito, aplicaram-se metodologias de ‘Análise dos Pontos Críticos de Controlo do Perigo’ (HACCP) e de avaliação do risco a uma ETAR com tratamento secundário biológico por biomassa suspensa precedido de selector biológico, com a possibilidade de remoção de nutrientes (configuração modificada do processo A²O) e desinfecção por radiação ultravioleta. Foram identificados os perigos e respectivos pontos críticos de controlo do tratamento, definidos limites de alerta e críticos, avaliados os riscos do produto final e definidas medidas preventivas e correctivas.

Atendendo ao contexto regional do Algarve e ao interesse em utilizar este recurso na rega de campos de golfe, na abordagem desenvolvida consideraram-se os padrões de qualidade nacionais e internacionais recomendados para a rega de campos de Golfe. Pretendeu-se, assim, que os resultados do caso prático permitissem desenvolver uma ferramenta de controlo do processo, mas também sensibilizar e esclarecer as populações e consumidores relativamente à qualidade do produto água residual tratada, facilitando a adesão ao mesmo e reduzindo os efeitos gerados pela utilização de outros recursos.

Palavras-chave: Estação de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR), avaliação de desempenho, reutilização de água, avaliação do risco, *Hazard Assessment and Critical Control Point* (HACCP), planos de segurança, golfe.

ABSTRACT

In many regions of the world, there is a growing interest in the use of reclaimed wastewater as an alternative source of water. With the increase in demand for this alternative resource, became the need to ensure security and quality to the final product. So far, there is no consensus regarding the water quality to different uses. The means to ensure the assessment and control of the reclaimed wastewater quality and the solutions for emergency situations are scarce and dispersed.

Due to the potential of this alternative resource and the need to ensure quality and safety to the users, this thesis aims to be a contribute for the development of a performance assessment tool for urban wastewater treatment plants (WWTP), to achieve a reliable and safe production of reclaimed wastewater with adequate quality for reuse. Hazard Assessment and Critical Control Point (HACCP) and risk assessment methodologies were applied to a WWTP with a secondary treatment by suspended biomass (modified A²O process) and UV disinfection. These methodologies allowed to identify the major hazards, the critical control points of the treatment, the risks associated with the final product and to propose emergency and preventive response plans.

Given the Algarve's regional context and the potential users demand, this approach envisaged the water reuse in golf course irrigation.

The results of the case study ought to help the development of a process control tool, and also raises consumers's awareness and enlightenment about the quality of the reclaimed wastewater, facilitating its use and minimizing the effects of other natural resources utilization.

Key words: Urban wastewater treatment plant (WWTP), performance assessment, water reuse, risk assessment, Hazard Assessment and Critical Control Point (HACCP), safety plans, golf course irrigation.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE QUADROS	xi
ABREVIATURAS e SÍMBOLOS	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objectivos	1
1.3 Metodologia.....	2
1.4 Estrutura da tese.....	3
2. REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	4
2.1 Reutilização de água a partir de águas residuais tratadas	4
2.1.1 Antecedentes históricos da prática da reutilização de água na rega.....	4
2.1.2 A importância da reutilização	4
2.1.3 Tipos e aplicações de águas residuais tratadas.....	6
2.1.4 Utilização de água residual tratada para a rega de campos de golfe no Algarve	6
2.1.5 Requisitos de qualidade da água reutilizada	7
2.1.5.1 Legislação, normas e recomendações internacionais	8
2.1.5.2 Legislação, normas e recomendações nacionais	22
2.1.5.3 Requisitos de qualidade de água reutilizada na rega de campos de golfe	25
2.2 Esquemas de tratamento usualmente associados à reutilização.....	27
2.2.1 Etapas do tratamento	27
2.2.2 Tratamento preliminar (pré-tratamento).....	27
2.2.3 Tratamento primário.....	29
2.2.4 Tratamento secundário	29
2.2.5 Tratamento terciário/tratamento de afinação.....	30
2.2.5.1 Coagulação química e floculação.....	31
2.2.5.2 Filtração.....	31
2.2.5.3 Desinfecção	32
2.2.5.4 Remoção de nutrientes	33

2.2.6	Esquemas de tratamento normalmente utilizados na reutilização da água .	34
2.3	Avaliação de desempenho de estações de tratamento de águas residuais	35
2.3.1	O que é a avaliação de desempenho?	35
2.3.2	A importância da aplicação de medidas de avaliação de desempenho	36
2.3.3	Utilizadores de indicadores de desempenho	37
2.3.4	Domínios de avaliação de desempenho	38
2.3.5	Abordagens sistematizadas de avaliação de desempenho de ETAR.....	39
2.3.5.1	Aspectos gerais.....	39
2.3.5.2	Sistema do <i>Six-Cities Group</i>	40
2.3.5.3	Sistema do Banco Mundial.....	40
2.3.5.4	Sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável	41
2.3.5.5	Sistema da Universidade Nova de Lisboa.....	43
2.3.5.6	Sistema da <i>International Water Association</i>	44
2.3.5.7	Sistema da <i>American Water Works Association/ Water Environment Federation</i>	45
2.3.5.8	Sistema do <i>Office of Water Services</i>	46
2.3.5.9	Sistema do Instituto Regulador de Águas e Resíduos.....	47
2.3.5.10	Sistema de Quadros <i>et al.</i>	48
2.4	Avaliação do risco e metodologia HACCP	49
2.4.1	Definição de perigo e de risco.....	50
2.4.2	Avaliação do risco	51
2.4.3	Etapas do plano HACCP	53
3.	DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	55
3.1	Entrada em funcionamento e área servida pela ETAR.....	55
3.2	Bases de dimensionamento.....	55
3.3	Licença de descarga.....	56
3.4	Localização e enquadramento geográfico.....	56
3.5	Diagrama Simplificado	57
3.6	Linha Líquida.....	59
3.6.1	Medição de caudal afluente à ETAR e by-pass.....	59
3.6.2	Pré-tratamento	59
3.6.3	Tratamento secundário	63
3.6.3.1	Selector anaeróbio (selector biológico).....	63
3.6.3.2	Tanque de arejamento (vala de oxidação).....	63

3.6.3.3	Decantador secundário	65
3.6.3.4	Recirculação de lamas	66
3.6.4	Desinfecção do efluente por UV	66
3.6.5	Desinfecção e filtração da água para reutilização	67
3.6.5.1	UV em linha	68
3.6.5.2	Filtros.....	69
3.7	Linha de lamas	69
3.7.1	Espessamento mecânico das lamas	70
3.7.2	Desidratação das lamas	71
3.7.3	Armazenamento das lamas.....	72
3.8	Rede de drenagem, escorrências e flutuantes	72
3.9	Tratamento de odores.....	72
3.10	Automação	73
3.11	Instrumentos em linha.....	73
3.11.1	Caudalímetros.....	73
3.11.2	Outros instrumentos em linha	74
3.12	Plano de controlo analítico	75
4.	RESULTADOS DO FUNCIONAMENTO DA ETAR DE ALMARGEM.....	77
4.1	Metodologia de análise dos resultados	77
4.2	Água residual bruta	77
4.3	Caracterização de água para descarga	85
4.4	Água para reutilização	88
4.5	Avaliação das eficiências globais de tratamento da água para descarga	89
4.6	Avaliação do cumprimento de requisitos.....	90
4.6.1	Avaliação do cumprimento de requisitos da água para descarga.....	91
4.6.2	Avaliação do cumprimento de requisitos da água para reutilização na rega de campos de golfe	93
4.7	Avaliação do funcionamento das etapas do tratamento.....	97
4.7.1	Tratamento preliminar	97
4.7.2	Tratamento secundário	98
4.7.3	Tratamento terciário	99
4.8	Determinação das condições críticas de funcionamento	100
4.8.1	Tratamento preliminar	100
4.8.2	Tratamento secundário	102

4.8.2.1 Reactor biológico tipo A ² O	103
4.8.2.2 Decantadores secundários	108
4.8.3 Tratamento terciário	112
4.8.3.1 Tratamento de afinação para descarga	112
4.8.3.2 Tratamento de afinação para reutilização.....	112
4.8.4 Síntese das condições críticas de operação	113
5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HACCP À ETAR DE ALMARGEM PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA NA REGA DE CAMPOS DE GOLFE.....	122
5.1 Plano HACCP para a ETAR de Almargem.....	122
5.1.2 Equipa HACCP	122
5.1.3 Descrição do produto	122
5.1.4 Identificação do potencial uso do produto	123
5.1.4.1 Matéria-prima.....	123
5.1.4.2 Qualidade pretendida para o produto	123
5.1.5 Construção do diagrama do processo.....	124
5.1.6 Confirmação do diagrama do processo	124
5.1.7 Identificação dos perigos e avaliação do risco.....	124
5.1.7.1 Identificação dos perigos	124
5.1.7.2 Proposta de categorias de probabilidade de ocorrência e de consequências	125
5.1.7.3 Aceitabilidade do risco	127
5.1.8 Identificação dos pontos críticos de controlo e dos pontos de controlo da qualidade.....	132
5.1.9 Proposta de matriz de controlo dos riscos.....	133
5.1.10 Procedimentos de verificação e validação	138
5.1.11 Sistema de documentação	138
5.1.12 Revisão do plano	139
5.2 Síntese da proposta de avaliação de desempenho operacional da ETAR baseada na metodologia HACCP	139
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	144
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148

ANEXO I Critérios de Qualidade da Água Residual para Rega de Campos de Golfe

ANEXO II Condições de Operação Não Críticas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo da água considerando a reutilização de água para aplicações urbanas (adaptado de Holt <i>et al.</i> ,2006).....	5
Figura 2	Diagrama Estratégia de Estocolmo (WHO, 2006c).....	21
Figura 3	Diagrama de fluxo típico de uma ETAR e tecnologias de tratamento mais comuns associadas a cada etapa do processo de tratamento (adaptado de Asano <i>et al.</i> , 1984).....	28
Figura 4	Esquema do processo de avaliação expedita do funcionamento de uma estação de tratamento de águas residuais urbanas (UNL, 1998).....	43
Figura 5	Avaliação expedita de funcionamento de ETAR urbana (UNL, 1998).....	44
Figura 6	Árvore de decisão do <i>Codex Alimentarius</i> (Adaptado de FAO/WHO, 1999).....	54
Figura 7	Localização geográfica da ETAR de Almargem.....	56
Figura 8	Diagrama de fluxo do processo de tratamento da ETAR de Almargem.....	58
Figura 9	Caudalímetros a montante do pré-tratamento.....	59
Figura 10	Unidade compacta de pré-tratamento.....	60
Figura 11	Pré-tratamento compacto.....	62
Figura 12	Esquema do tratamento biológico.....	63
Figura 13	Sistema UV de desinfecção em linha.....	68
Figura 14	Filtros de água para reutilização.....	69
Figura 15	Tambores de espessamento.....	71
Figura 16	Caudal afluyente à ETAR de Almargem e precipitação diária.....	77
Figura 17	Temperatura e pH da água residual bruta.....	78
Figura 18	Concentrações e cargas de SST, CQO e CBO ₅ na água residual bruta.....	80
Figura 19	Concentrações e cargas de N-t, P-t; O&G e cloreto na água residual bruta.....	83

Figura 20	Indicador de biodegradabilidade da água residual bruta relacionado com o caudal, temperatura e pH.....	84
Figura 21	Temperatura e pH da água para descarga	86
Figura 22	Água para descarga	87
Figura 23	Caracterização da água para reutilização	89
Figura 24	Eficiências globais de remoção	90
Figura 25	Avaliação da conformidade da água para reutilização para o parâmetro pH	94
Figura 26	Avaliação da conformidade da água para reutilização para o parâmetro Cl	95
Figura 27	Avaliação da conformidade da água para reutilização para os parâmetros: a) CQO; b) CBO ₅ ; c) N-t e d) P-t.....	95
Figura 28	Avaliação da conformidade da água para reutilização para os parâmetros : a) e b) SST; c) e d) Turvação; e) e f) CF	96
Figura 29	Eficiências de remoção parcial no pré-tratamento (abordagem A): a)SST e b) O&G	97
Figura 30	Eficiências de remoção parcial no pré-tratamento (abordagem B): a)SST e b)O&G.....	98
Figura 31	Eficiências de remoção parcial de SST do tratamento secundário.....	99
Figura 32	Eficiências de remoção parcial do tratamento terciário: a) SST e b) Turvação.....	99
Figura 33	Eficiências da desinfecção do tratamento terciário	100
Figura 34	Eficiências parciais de remoção de SST no tratamento preliminar em função de: a) Concentração de SST afluente; b) Carga de SST afluente; c) Q/A e d) θ	101
Figura 35	Eficiências parciais de remoção de O&G no tratamento preliminar em função de: a) Concentração de SST afluente; b) Carga de SST afluente; c) Q/A e d) θ	102

Figura 36	Eficiências de remoção global de CQO em função de: a) CQO e b) CBO ₅ /CQO na água residual bruta e de c) IVL e d) λ_v (CQO) no reactor biológico.....	104
Figura 37	Eficiências de remoção global de CBO ₅ em função de: a)CBO ₅ afluente e b) θ no reactor biológico.....	104
Figura 38	Eficiências de remoção global de N-t em função de:.....	105
Figura 39	Eficiências de remoção global de P-t em função de:	107
Figura 40	Carga de sólidos dos decantadores secundários.....	108
Figura 41	Tempo de retenção hidráulico e carga hidráulica dos decantadores secundários.....	108
Figura 42	Eficiências de remoção de SST no decantador secundário em função de: a) λ_s ; b) Q/A; c) θ e d) F/M	109
Figura 43	Eficiências de remoção de SST no decantador secundário em função de: IVL	109
Figura 44	Turvação do efluente decantado em função das condições de operação do reactor biológico (MLSS, MLVSS, IVL, RAS, OD e θ).....	110
Figura 45	Turvação do efluente decantado em função do caudal de purga de lamas (Q_w)	111
Figura 46	Turvação do efluente decantado em função de: a) λ_s e b) Q/A no decantador secundário	111
Figura 47	Turvação do efluente decantado em função de θ no decantador secundário	111
Figura 48	Eficiências de desinfecção por UV de afinação <i>versus</i> SST e CF da água a desinfectar	112
Figura 49	Eficiências de remoção de SST nos filtros de afinação <i>versus</i> SST da água a desinfectar	113
Figura 50	Eficiências de remoção de turvação nos filtros de afinação <i>versus</i> turvação e transmitância da água a desinfectar.....	113
Figura 51	Adaptação do triângulo de Alarp	128

Figura 52 Esquema da proposta de avaliação de desempenho operacional de ETAR baseada na metodologia HACCP	140
Figura 53 Ciclo de Deming (Watson, 1986).....	142

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1	Várias aplicações de águas residuais tratadas.....	6
Quadro 2	Classes e padrões de qualidade de água tratada resultantes do II Seminário de Reutilização de água do Mediterrâneo (adaptado de STRAUSS, 2000).....	9
Quadro 3	Classes e valores-guia de qualidade da água residual tratada, para rega, na Jordânia (JS:893/2002) (Adaptado de WHO, 2006a).....	10
Quadro 4	Valores-guia e nível de tratamento regulamentados por alguns Estados Americanos para a qualidade da água reutilizada para rega de produtos não alimentares	11
Quadro 5	Valores-guia propostos pela USEPA para diferentes tipos de reutilização de água (adaptado de US EPA, 2004) ¹	12
Quadro 6	Classes, recomendações e valores-guia da WHO e AFESD para a qualidade da água reutilizada para rega (WHO/AFESD, 2004).....	16
Quadro 7	Recomendações e valores limite da WHO e AFESD para a qualidade da água reutilizada de acordo com o tipo de uso (WHO/AFESD, 2004)....	16
Quadro 8	Classes de uso e monitorização de água para reutilização recomendadas pela Agencia Ambiental de Queensland (Austrália).....	17
Quadro 9	Especificações de qualidade recomendadas para a classe de água residual A+	18
Quadro 10	Especificações de qualidade para classes de água reciclada de A a D da Agencia Ambiental de Queensland (Austrália).....	19
Quadro 11	Valores da OMS para água residual tratada para utilização na agricultura (WHO, 2006b)	20
Quadro 12	Valores-guia de Israel, de Dezembro 2007, para a qualidade da água residual para reutilização (MEPI, 2008)	22
Quadro 13	Valores máximos admissíveis para reutilização de água (adaptado de NP 4434).....	24
Quadro 14	Parâmetros que afectam a qualidade da água para rega de campos de golfe (adaptado de Asano <i>et al.</i> , 1984 e LUSOTUR, 1987).....	26

Quadro 15	Qualidade típica esperada das águas residuais urbanas tratadas através de várias combinações de operações e processos unitários (adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).....	35
Quadro 16	Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do Banco Mundial	41
Quadro 17	Sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável (adaptado de Fabregas, 2006).....	42
Quadro 18	Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da IWA para serviços de águas residuais (adaptado de Matos <i>et al.</i> , 2003)	45
Quadro 19	Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da AWWA/WEF .	46
Quadro 20	Indicadores de desempenho para saneamento de águas residuais urbanas	47
Quadro 21	Matriz de controlo de risco de uma ETAR (Van Oorschot <i>et al.</i> , 2007)	50
Quadro 22	Categorias de consequência de perigos associados à utilização de água residual proposta pela <i>Queensland Government EPA</i> (2005)	52
Quadro 23	Categorias de probabilidade de ocorrência de perigos associados à utilização de água residual proposta pela <i>Queensland Government EPA</i> (2005).....	52
Quadro 24	Matriz qualitativa da análise do risco proposta pela.....	52
Quadro 25	Matriz qualitativa da análise do risco proposta por Betâmio de Almeida (2006).....	53
Quadro 26	Bases de dimensionamento da ETAR de Almargem (AdA, 2006)	55
Quadro 27	Condições de descarga das águas residuais estabelecidos na licença de descarga.....	56
Quadro 28	Características do pré-tratamento (Acciona, 2006)	61
Quadro 29	Valores operacionais do processo de tratamento A ² O (AdA, 2006)	64
Quadro 30	Características e condições de funcionamento dos decantadores da ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006).....	65
Quadro 31	Características e condições de funcionamento do sistema de desinfecção da água decantada da ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)	67

Quadro 32	Características e condições de funcionamento do sistema de desinfecção da água para reutilização da ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)	68
Quadro 33	Características e condições de funcionamento da linha de lamas.....	70
Quadro 34	Localização e características dos caudalímetros instalados na ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006).....	73
Quadro 35	Localização e características dos instrumentos em linha instalados na ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)	74
Quadro 36	Plano de controlo analítico da ETAR de Almargem (fase líquida)	75
Quadro 37	Plano de controlo analítico da ETAR de Almargem (fase sólida).....	76
Quadro 38	Caracterização típica de uma água residual doméstica não tratada (adaptado de Metcalf & Eddy, 2003).....	79
Quadro 39	Avaliação das conformidades dos parâmetros SST, CQO e CBO ₅ relativamente ao DL n.º 152/97	92
Quadro 40	Avaliação das conformidades do parâmetro coliformes fecais relativamente ao DL n.º236/98	92
Quadro 41	Quadro-síntese das relações estudadas entre eficiências de remoção e condições de operação das etapas do tratamento	116
Quadro 42	Quadro-síntese das condições críticas de operação das várias etapas do tratamento	117
Quadro 43	Qualidade requerida assumida para o produto água residual tratada para reutilização na rega de campos de golfe	124
Quadro 44	Parâmetros considerados perigos e condições que os afectam	125
Quadro 45	Proposta de categorias de consequências de perigos associados à utilização da água da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe	126
Quadro 46	Proposta de categorias de ocorrência de perigos associados à utilização da água da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe	127
Quadro 47	Proposta de matriz qualitativa da análise dos riscos associado à utilização da água da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe	127

Quadro 48	Avaliação do risco pH para o produto A	128
Quadro 49	Avaliação do risco pH para o produto B.....	128
Quadro 50	Avaliação do risco Cl para o produto A = produto B	129
Quadro 51	Avaliação do risco Turvação para o produto A	129
Quadro 52	Avaliação do risco Turvação para o produto B	129
Quadro 53	Avaliação do risco SST para o produto A	129
Quadro 54	Avaliação do risco SST para o produto B.....	130
Quadro 55	Avaliação do risco CQO para o produto A = produto B	130
Quadro 56	Avaliação do risco CBO ₅ para o produto A = produto B	130
Quadro 57	Avaliação do risco P-T para o produto A = produto B	130
Quadro 58	Avaliação do risco N-T para o produto A = produto B	131
Quadro 59	Avaliação do risco CF para o produto A	131
Quadro 60	Avaliação do risco CF para o produto B.....	131
Quadro 61	Quadro de identificação dos PCC	133
Quadro 62	Matriz de controlo dos riscos.....	135
Quadro 63	Análise SWOT da metodologia proposta de avaliação de desempenho de ETAR	143

ABREVIATURAS e SÍMBOLOS

AFESD	<i>Arab Fund for Economic and Social Development</i>
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CBO₅	Carência Bioquímica de Oxigênio aos 5 dias e 20°C (mg O ₂ /L ou kg O ₂ /L)
CCM	Centro de controlo de motores
CF	Coliformes Fecais (NMP/100mL)
CLP	Controlador Lógico Programável
COT	Carbono Orgânico Total (mg C/L)
CQO	Carência Química de Oxigênio (mg O ₂ /L ou kg O ₂ /L)
DCA	Departamento de Ciências Agrárias
EA	Época Alta
EB	Época Baixa
E_r	Eficiência de remoção (%)
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FCMA	Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente
HACCP	<i>Hazard Assessment and Critical Control Point</i> (Análise dos Pontos Críticos de Controlo do Perigo)
IBNET	<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities</i>
ID	Indicador de Desempenho
IRAR	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
ISA	Instituto Superior de Agronomia
IVL	Índice Volumétrico de Lamas (mL/g)
IWA	<i>Internacional Water Association</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Max.	Valor máximo da função
MAOT	Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território
MAOTDR	Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional
Med.	Valor da média aritmética simples
MEPI	<i>Ministry of Environmental Protection Israel</i>

Min.	Valor mínimo da função
MLSS	<i>Mixed Liquor Solid Suspend</i> (Sólidos Suspensos no Licor Misto) (mg/L)
MLVSS	<i>Mixed Liquor Volatile Suspended Solids</i> (Sólidos Suspensos Voláteis no Licor Misto) (mg/L)
NES	Núcleo de Engenharia Sanitária
NMP	Número Mais Provável
N-t	Azoto total (mg N/L)
OD	Oxigénio Dissolvido (mg/L)
OFWAT	<i>Office of Water Services</i>
O&G	Óleos e Gorduras (mg/L)
PCC	Ponto Crítico de Controlo
PCQ	Ponto Controlo da Qualidade
PEAASAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
PLC	<i>Programmable Logical Controller</i> (Controlador lógico programável)
P-t	Fósforo total (mg P/L)
Q	Caudal (m ³ /dia)
Q/A	Carga hidráulica (m/h)
Qw	Caudal de lamas em excesso (m ³ /dia)
QG EPA	<i>Queensland Government Environmental Protection Agency</i>
RAS	<i>Return Activated Sludge</i> (%)
rpm	Rotações por minuto
SIDS	Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
SST	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)
ST	Sólidos Totais (mg/L)
SV	Sólidos Voláteis (mg/L)
Temp.	Temperatura (°C)
UFC	Unidades Formadoras de Colónias
UNL	Universidade Nova de Lisboa
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UV	Ultravioleta
V₃₀	Sólidos sedimentáveis a 30 min. (mL/L)
VMA	Valor Máximo Admitido

VMR	Valor Máximo Recomendado
VP	Valor Paramétrico
WEF	<i>Water Environment Federation</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
ΔE_r	Variação da eficiência de remoção

SÍMBOLOS GREGOS

λ_s	Carga mássica superficial (kg/(m ² .dia))
λ_v	Carga mássica volúmica (kg/(m ³ .dia))
θ	Tempo de retenção hidráulico (h)
θ_c	Tempo de retenção celular ou idade das lamas (d)

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade necessária para satisfazer as necessidades humanas encontra-se seriamente ameaçada, tornando-se cada vez mais frequentes os estudos que vaticinam a falta de água como o mais sério problema com que a humanidade se terá de debater no século XXI (World Bank, 1994; Wolf, 1997). *“If the wars of this century were fought over oil, the wars of the next century will be fought over water”* (Ismail Serageldin vice-presidente do World Bank).

A própria Organização das Nações Unidas (ONU, 2002) admite que, dentro de vinte anos, metade da população mundial não terá acesso a água potável de qualidade satisfatória. Cada vez mais se torna pertinente a promoção do uso eficiente deste precioso líquido, ou seja, a água não deve ser desperdiçada e a sua qualidade deve ser adaptada ao tipo de utilização (*i.e.*, *“fit-for-use”*). Atendendo a este contexto global, surge a nível mundial um crescente interesse em fontes alternativas de água. Neste âmbito, desponta o interesse na reutilização de água residual como fonte alternativa de água.

No entanto, esta fonte levanta necessidades sanitárias e culturais, de garantia de segurança e qualidade do produto final aos diversos utilizadores. Embora actualmente já existam diferentes normas e guias relativos à qualidade exigida para as diferentes utilizações, ainda não existe um consenso generalizado.

Atendendo ao contexto regional do Algarve e aos possíveis utilizadores (procura) do produto produzido, esta tese terá em conta os padrões de qualidade requeridos para a rega de campos de Golfe.

1.2 Objectivos

Através da revisão bibliográfica sobre a reutilização de água para rega de campos de golfe a partir de águas residuais urbanas tratadas, verifica-se que esta é uma solução estratégica extremamente importante em muitas regiões do globo e, nomeadamente, na região Algarvia. No entanto, esta opção requer que o risco potencial associado à qualidade da água tratada seja reduzido para um nível aceitável, de forma a não colocar em causa os utilizadores e o ambiente. A avaliação de desempenho é um dos principais instrumentos para aumentar a eficácia e eficiência dos sistemas e, conseqüentemente, a qualidade da água tratada. No entanto, os sistemas actualmente disponíveis de avaliação

de desempenho de ETAR urbanas tratam insuficientemente os aspectos de desempenho operacional subjacentes à produção segura de água de qualidade. Estudos recentes sobre utilização de águas residuais tratadas apontam para as grandes potencialidades da aplicação da metodologia HACCP para avaliação dos riscos associados à qualidade da água residual (Van Oorscho *et al.*, 2007; Ashbolt *et al.*, 2008). Nesta área existem, todavia, poucos trabalhos de aplicação prática.

Atendendo a esta conjuntura, o objectivo deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento da ferramenta de avaliação do desempenho de ETAR urbanas concebida recentemente por Quadros *et al.*, (2009) como instrumento de apoio à gestão, ao nível da operação-projecto-reabilitação destas infra-estruturas. Pretende-se, designadamente, desenvolver a componente operacional que visa quantificar e, se possível, melhorar, o controlo eficiente do processo de tratamento, assim como a qualidade da água para rega de campos de golfe. Esta contribuição será desenvolvida com base na avaliação do risco e metodologia HACCP, que envolve a compilação e organização dos pontos críticos de controlo (PCC), dos pontos de controlo da qualidade (PCQ), limites de alerta, limites críticos, e medidas preventivas e reactivas face a variações de eficiência de tratamento e/ou de qualidade do efluente.

1.3 Metodologia

A estratégia adoptada para o cumprimento dos objectivos assenta na aplicação dos princípios do processo HACCP e avaliação do risco a um caso de estudo prático, a ETAR de Almargem, no Algarve. A cada PCC identificado serão aplicados indicadores e/ou outras medidas de avaliação de desempenho (*e.g.* índices de desempenho), e os limites de alerta e críticos serão estabelecidos considerando, por um lado os valores de qualidade da água para reutilização na rega de campos de golfe e, por outras condições chave de operação que condicionam a eficiência do tratamento e, conseqüentemente, a qualidade da água tratada.

Para a avaliação da eficiência global e das eficiências parciais das várias etapas do tratamento da ETAR de Almargem utilizaram-se os dados relativos ao período de 20 de Abril de 2007 a 30 de Novembro de 2008 do controlo analítico da ETAR (CQO, CBO₅, SST, SSV, P-t, N-t, óleos e gorduras, transmitância, turvação, pH, Cl⁻ e Coliformes Fecais). A caracterização da água residual bruta e tratada será feita em termos qualitativos e quantitativos através da comparação com as condições de projecto,

literatura, licença de descarga e limites propostos pela legislação e por bibliografia específica associada à qualidade de água para reutilização na rega de campos de golfe.

1.4 Estrutura da tese

A tese está estruturada em sete capítulos. No primeiro apresenta-se o enquadramento da tese, bem como os seus objectivos, metodologia e estrutura. No segundo, apresenta-se uma síntese da revisão bibliográfica das matérias abordadas na tese (designadamente, utilização de águas residuais tratadas, esquemas de tratamento de águas residuais urbanas, avaliação de desempenho e metodologia HACCP) que permitiu identificar os objectivos e estabelecer a metodologia de trabalho, bem como os conceitos necessários ao desenvolvimento da tese. No capítulo 3 descreve-se o caso de estudo, a ETAR de Almargem, cujos resultados de funcionamento, eficiências de tratamento e condições de operação são avaliados no capítulo 4. No capítulo 5 com base na metodologia HACCP identificam-se os PCC, PCQ, limites críticos, limites de alerta, acções preventivas e correctivas de controlo operacional da ETAR. A partir dos resultados obtidos para o caso de estudo propõem-se medidas de avaliação de desempenho operacional para reutilização de água para rega de campos de golfe de efluentes de ETAR urbana com tratamento através de vala de oxidação, tendo como objectivo a produção de água para rega de campos de Golfe. As conclusões e recomendações para trabalhos futuros constituem o capítulo 6. No capítulo 7 listam-se as referências bibliográficas citadas no texto.

2. REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

2.1 Reutilização de água a partir de águas residuais tratadas

2.1.1 Antecedentes históricos da prática da reutilização de água na rega

A prática da rega com água residual remonta à antiguidade, tendo-se verificado elevadas taxas de mortalidade associadas às doenças propagadas. O aproveitamento das águas residuais em Portugal não é recente, existindo fortes indícios da utilização na rega, pelos Mouros, em meados do século XIV (Beltrão, 2005).

Desde a década de 50, muitos países têm contemplado a utilização de efluentes de ETAR na sua política de gestão de recursos hídricos, principalmente aqueles em que uma parte do seu território se encontra em zonas áridas ou semi-áridas, designadamente a África do Sul, Índia, países do norte de África, do Médio Oriente, Israel e EUA. Aparentemente, países muito ricos em recursos hídricos, como a Alemanha, o Reino Unido, a Holanda e o Japão, também recorrem a esta prática para rega.

2.1.2 A importância da reutilização

Conforme foi reconhecido na Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento, que se realizou no Rio de Janeiro em 1992 (ECO'92), a reutilização de água constitui uma importante componente da estratégia da conservação deste recurso, devendo ser um princípio subjacente a qualquer política regional de gestão de recursos hídricos. Adicionalmente, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água indica a necessidade de reutilizar água a partir de águas residuais tratadas, nomeadamente na rega de campos desportivos, campos de golfe e outros espaços verdes de recreio (MAOT *et al.*, 2001). Também a legislação nacional (Decreto Lei n.º 152/97) indica que as águas residuais tratadas devem ser, sempre que possível ou adequado, utilizadas.

O uso sustentável da água é um importante objectivo e (elemento-chave) do desenvolvimento urbano sustentável. A opção de reutilização da água deve ser analisada no contexto do ciclo hidrológico e características específicas do local de aplicação, identificadas depois de considerados todos os fluxos e suas interações (Holt *et al.*, 2006). O ciclo urbano da água convencional consiste num sistema de larga escala centralizado nas fontes e sumidouros de água. A água é captada, tratada e distribuída através de canalização para os consumidores. Depois de utilizada, é novamente

reencaminhada por colectores e recolhida para as ETAR onde é tratada e posteriormente descarregada em lagos, rios e oceanos.

O desenvolvimento sustentável pretende minimizar o uso e dependência das fontes naturais e maximizar a reutilização dentro do ambiente antrópico construído (Figura 1) (Holt *et al.*,2006).

Na Figura 1, a linha cor de laranja tracejada separa o ambiente natural do ambiente antrópico (construído). A abordagem geral consiste em minimizar/evitar que a água e os poluentes atravessem esta fronteira, ao maximizar a reutilização da água dentro do ambiente antrópico. Isto pode ser alcançado através de:

- Redução da procura de água potável (através da gestão da procura);
- Utilização das fontes de água disponíveis para os fins mais apropriados (“*fit-for-use*”);
- Minimizar os efeitos das águas pluviais urbanas no ecossistema aquático.

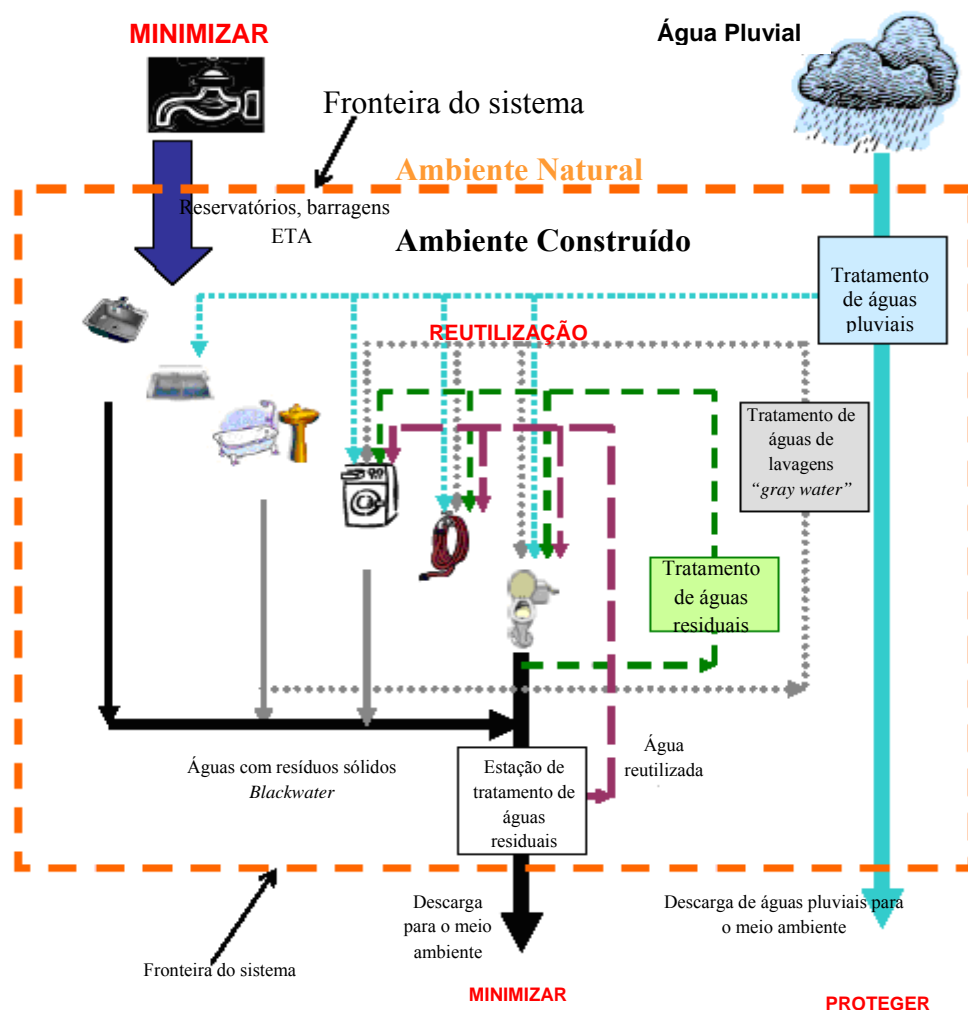


Figura 1 Ciclo da água considerando a reutilização de água para aplicações urbanas (adaptado de Holt *et al.*,2006)

2.1.3 Tipos e aplicações de águas residuais tratadas

A reutilização de água pode ser indirecta ou directa. A reutilização indirecta consiste no lançamento da água numa fase do ciclo hidrológico, por exemplo, em águas superficiais, que vão ser utilizadas para captação de água bruta e/ou para produção de água para consumo humano. Este tipo de reutilização é largamente praticado.

A reutilização directa da água pode prosseguir objectivos diversos, entendendo-se como reutilização directa todas as situações em que a água residual tratada é utilizada como origem de água para uso em finalidades diversas (Quadro 1).

Quadro 1 Várias aplicações de águas residuais tratadas

Rega	Agrícola (culturas, viveiros).
	Paisagística (parques, campos de golfe, jardins, etc.).
Abastecimento Industrial	Arrefecimento, processo, caldeiras, construção pesada.
Recarga de Aquíferos	Reforço do volume de águas subterrâneas.
	Controlo da intrusão salina.
Usos Urbanos	Lavagem de ruas, limpeza de colectores, protecção contra incêndios.
Actividades recreativas	Lagos, lagoas, aumento de caudal de ribeiros, pesca.

Apesar das varias aplicações das águas residuais tratadas (Quadro 1), a agricultura é a aplicação mais habitual, em virtude de, na maioria das situações, a rega ser compatível com a qualidade dos efluentes das ETAR de tipo mais comum, que asseguram, na sua grande maioria, um tratamento secundário (Monte, 2000).

2.1.4 Utilização de água residual tratada para a rega de campos de golfe no Algarve

A indústria do turismo é um dos sectores económicos fundamentais para o desenvolvimento de Portugal. Os empreendimentos turísticos com campos de golfe constituem um motor desta indústria, pois estão associados ao chamado turismo de qualidade. A região do Algarve é uma das regiões a nível nacional que mais tem contribuído para os proveitos totais da actividade turística nacional, dispondo de mais de 40% dos campos de golfe do país (Martins *et al.*, 2006). O Algarve é considerado pelos operadores turísticos como um dos melhores destinos turísticos de golfe a nível mundial, tendo mesmo sido aclamado em 2000 e 2006 pela *Association of Golf Tour* como o melhor destino de golfe do mundo. No entanto, existe o receio da massificação do golfe no Algarve conduzir a médio-prazo a desequilíbrios hídricos em determinadas zonas, devido aos elevados consumos a que geralmente esta actividade está associada e

às limitações dos recursos hídricos disponíveis para abastecimento. Estudos recentes apontam para um limite máximo de 41 campos de 18 buracos de modo a manter o desenvolvimento sustentável da actividade, *i.e.* a compatibilização das vertentes empresarial, socioeconómica e ambiental (Martins *et al.*, 2004).

Atendendo a este cenário, a utilização na rega de campos de golfe das águas residuais convenientemente tratadas constitui, segundo Asano *et al.* (1998) e Lazarova e Bahri (2005), uma vantagem competitiva a nível técnico-económico, além de ser uma opção ambientalmente recomendável. Antevê-se assim, com naturalidade, a utilização de águas residuais tratadas para rega de campos de golfe Algarvios, como, aliás, está consagrado no PEAASAR 2007-2013 (MAOTDR, 2006) que considera que a região Algarvia é uma das regiões onde a reutilização de água tem maior potencialidade de crescimento.

Actualmente estão em curso no Algarve ensaios pilotos de reutilização de água para rega de campos de golfe, e estudos (de oferta e procura) das potencialidades de utilização de águas residuais tratadas na rega de campos de golfe na região, promovidos pela empresa Águas do Algarve (AdA).

Em 2003, foi celebrado um protocolo entre a AdA e a LUSOTUR visando a utilização de águas residuais tratadas na rega de campos de golfe em Vilamoura, o qual resultou da Declaração de Impacte Ambiental (DIA) relativa ao EIA (Estudo de Impacte Ambiental) do 5.º campo de golfe de Vilamoura. Nos anos mais recentes tem-se vindo a intensificar o número de solicitações por parte de empreendimentos com campos de golfe em actividade ou em fase de licenciamento. No caso de campos de golfe existentes, a procura deve-se ao reduzido volume de água disponível para rega e/ou à sua elevada mineralização, o que condiciona a utilização desta água para o fim em vista. No caso de novos empreendimentos, tem sido norma a exigência, na fase de Declaração de Impacte Ambiental, do recurso à utilização de águas residuais tratadas para rega de campos de golfe (Martins *et al.*, 2006).

2.1.5 Requisitos de qualidade da água reutilizada

O crescente aumento da utilização da água residual tratada como parte importante de um desenvolvimento sustentável não tem sido acompanhado do aumento do conhecimento sobre a reutilização da água e a sua tecnologia.

Na reutilização da água permanecem questões por responder relativamente à segurança, aplicações sustentáveis de sucesso, níveis de tratamento requerido e o que se considera “água limpa”. A resposta a estas questões deve procurar-se caso a caso, numa abordagem “*Fit-for-use*”, isto é, em que o tratamento e o nível de qualidade da água devem ser estabelecidos de acordo com a sua aplicação.

Para os diferentes tipos de reutilização supracitados no ponto 2.1.3, as características dos efluentes – quer físicas, químicas ou microbiológicas – encontram-se sujeitas a padrões de qualidade, definidos através de recomendações específicas (VMR, Valor Máximo Recomendado) e dispositivos legais (VMA, Valor Máximo Admissível). Alguns aspectos relacionados com os níveis de contaminação salina, patogénica, de metais e/ou outras substâncias poderão limitar a utilização das águas residuais na rega (Beltrão, 2005).

Os princípios fundamentais para a reutilização de água são:

- Assegurar o eficiente tratamento das águas residuais para satisfazer as normas de qualidade da água para aplicação na utilização planeada;
- Protecção da saúde pública;
- Ganhar a aceitação pública.

Por seu lado, a qualidade das águas residuais tratadas deve:

- Ser avaliada em função da utilização pretendida e não em relação ao seu nível de tratamento; “The quality of water matters, not its degree of treatment” (J. M. Simpson, da *Australian Water Association*);
- Ser estabelecida pelas autoridades ambientais de forma a promover:
 - Protecção ambiental;
 - Utilizações úteis.

2.1.5.1 Legislação, normas e recomendações internacionais

Este item pretende apresentar o enquadramento mundial, das normas, recomendações e valores-guia da qualidade da água residual tratada. Com esse objectivo são apresentados exemplos de alguns países e organizações.

Como o objectivo de se alcançar um acordo, que servisse de suporte a decisões futuras ao nível do Mediterrâneo, em 2001, foi realizado o II Seminário de reutilização de água no Mediterrâneo. Como resultado foram estabelecidos padrões de qualidade da água reutilizada (Quadro 2).

Quadro 2 Classes e padrões de qualidade de água tratada resultantes do II Seminário de Reutilização de água do Mediterrâneo (adaptado de STRAUSS, 2000)

Usos da Água Residual Reutilizada		Critério de qualidade				Outros Critérios
		Biológico		Físico-Químico		
		Parasitas intestinais Ovos de Nemátodos	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos Suspensos Totais	Turvação	
1	Usos Residenciais: Rega de jardins privados, autoclismos, sistemas de ar condicionado, lavagem de carros.	< 1 ovos/10 L	0 UFC/100 mL	< 10 mg/L	< 5 UNT	
2	Utilizações urbanas: Rega de espaços abertos (parques, campos de golfe, campos de desporto, etc.). Lavagem de estradas, combate a incêndio, utilizações ornamentais e fontes decorativas	< 1 ovos/L	< 200 UFC/100 mL	< 20 mg/L	< 5 UNT	
3	Rega de culturas em estufas.	< 1 ovos/L	< 200 UFC/100 mL	< 20 mg/L	< 5 UNT	<i>Legionella pneumophila</i> 0 UFC/100 ml
4	Rega de culturas por escoamento. Rega por Sprinkler de árvores de fruto.	< 1 ovos/L	< 200 UFC/100 mL	< 20 mg/L	< 5 UNT	
5	Rega de pastagens para animais destinados à produção de leite.	< 1 ovo/L	< 1.000 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	<i>Taenia saginata</i> and <i>T. solium</i> < 1 ovo/L
6	Rega de campos de produção de produtos para a indústria conserveira e não consumidos crus. Rega de árvores de fruto, com excepção da rega por aspersão.	< 1 ovos/L	< 1.000 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	
7	Rega de instalações industriais, creches, forragens, cereais e culturas de sementes oleaginosas.	< 1 ovo/L	< 10 000 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	
8	Rega de áreas florestais, áreas de paisagem e áreas de acesso restrito. Silvicultura	<1 ovos/L	Limite não estabelecido	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	
9	Refrigeração industrial, com excepção da indústria agro-alimentar.	Limite não estabelecido	<10.000 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	0 UFC /100 ml
10	Corpos de água e riachos para uso recreativo em que o contacto do público com a água é permitido (excepto usos balneares).	< 1 ovos/L	< 200 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	
11	Corpos de água em que o acesso público não é permitido.	Limite não estabelecido	Limite não estabelecido	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	
12	Aquicultura (planta ou animal biomassa).	< 1 ovo/L	< 1.000 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	
13	Recarga de aquífero por percolação localizada através do solo.	< 1 ovos/L	<1.000 UFC/100 mL	< 35 mg/L	Limite não estabelecido	Azoto Total < 50 mg/L
14	Recarga de aquífero para injeção directa.	< 1 ovos/10 L	0 UFC/100 mL	< 10 mg/L	< 2 UNT	Azoto Total < 15 mg/L

Notas:

- Os seguintes gêneros são considerados dentro da categoria dos Nemátodos intestinais: *Ancylostoma*, *Trichuris*, *Ascaris*, *Strongyloides*, *Trichostrongylus*, *Toxocara*, *Enterobius* and *Capillaria*.
- A reutilização de água é permitida a para uso doméstico à exceção de consumo humano, que é estritamente proibido na *Hydraulics Public Domain Regulations* (Royal Decree 849/1986, dated 11 April), à exceção de catástrofes e situações de emergência.
- A reutilização de água para arrefecimento em indústrias agro-alimentares é estritamente proibida.
- Para as utilizações 10 e 11, em adição aos parâmetros mencionados, a água deve ser livre de odor.
- A reutilização de água para depurar marisco na aquicultura é estritamente proibida.
- A operação de recarga de aquíferos através de percolação localizada deve ser obrigatoriamente levada a cabo com a utilização de alturas de solo uniformes (mínimo de 1,5 m).

No contexto da região mediterrânea alguns países desenvolveram os seus próprios valores-guia, de que é exemplo a Jordânia. Em 2002 com base nos valores guias da OMS (Organização Mundial de Saúde) de 1989 e dos *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* da APHA (1998), substituiu os valores guias de 1995 (JS893/1995) pelos apresentados no Quadro 3 (JS893/2002).

Quadro 3 Classes e valores-guia de qualidade da água residual tratada, para rega, na Jordânia (JS:893/2002) (Adaptado de WHO, 2006a)

Grupo	Parâmetros									
	CBO ₅ (mg/L)	CQO (mg/L)	OD (mg/L)	SST (mg/L)	pH	Turvação (UNT)	NO ₃	N-t (mg/L)	<i>E. Coli</i>	Ovos de helminthas (ovos/L)
A Vegetais cozinhados, áreas de parque, recreios, e bermas das estradas nas cidades	30	100	> 2,0	50	6,0-9,0	10,0	30,0	45,0	100	≤ 1,0
B Árvores e zonas verdes, bermas das estradas fora da cidade.	200	500	-	150	6,0-9,0	-	45	70	100 0	≤ 1,0
C Campos de cultura, culturas industriais e silvicultura.	300	500	-	150	6,0-9,0	-	45	70	-	≤ 1,0

Parâmetros (mg/L)	Valores-Guia	Parâmetros (mg/L)	Valores-Guia	Parâmetros (mg/L)	Valores-Guia
FOG (óleos e gorduras)	8,0	Al	5,0	Cd	0,01
Fenol	<0,002	As	0,1	Zn	5,0
MBAS (Methylene Blue active substances)	100,0	Be	0,1	Cr	0,1
SDT	1500,0	Cu	0,2	Hg	0,002
P-T (PO ₄)	30	F	1,5	V	0,1
Cl ⁻	400	Fe	5,0	Co	0,05
SO ₄	500	Mn	0,2	B	1,0
HCO ₃	400	Mo	0,01	Li	0,2
Na	230	SAR	9,0		
Mg	100	Pb	5,0		
Ca	230	Se	0,05		

Em concordância, noutras áreas do mundo, foram desenvolvidos novos e variados padrões e valores-guia de qualidade da água residual tratada. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, cada estado desenvolveu a sua própria regulamentação e limites (Quadro 4) a partir dos quais foram desenvolvidos e propostos valores guias pela United States environmental Protection Agency (US EPA) (Quadro 5).

Quadro 4 Valores-guia e nível de tratamento regulamentados por alguns Estados Americanos para a qualidade da água reutilizada para rega de produtos não alimentares (US EPA, 2004)

	Arizona	California	Florida	Hawaii	Nevada	Texas	Washington
Nível de Tratamento	Secundário Desinfecção	Secundário Oxidação Desinfecção	Secundário Desinfecção básica	Oxidação Filtração Desinfecção	Secundário	NE	Oxidação Desinfecção
CBO₅ (mg/L)	NE	NE	20	NE	30	5	30
SST (mg/L)	NE	NE	20	NE	NE	NE	30
Turvação (UNT)	NE	NE	NE	2 (max)	NE	3	2 (med)
							5 (Max)
Coliformes (UFC/100mL)	Fecais	Totais	Fecais	Fecais	Fecais	Fecais	Totais
	200 (med)	23 (med)	200 (med)	2,2 (med)	200 (med)	20 (med)	23 (med)
	800 (max)	24 (max em 30 dias)	800 (max)	23 (max)	400 (max)	75 (max)	240 (max)

(NE) - Não especificado pelo regulamento estadual

Pelos valores do quadro anterior verifica-se que existe alguma discrepância entre os vários estados da América relativamente à regulamentação para a reutilização de água tratada. Relativamente aos parâmetros microbiológicos, a maioria dos estados utiliza os Coliformes fecais como organismos indicadores de contaminação fecal.

A organização mundial de saúde (OMS) e a Arab Fund for Economic and Social Development (AFESD) em 2004 na *Regional consultation to review national priorities and action plans for wastewater reuse and management* também estabeleceram valores-guia, classes de qualidade e recomendações para utilização de água reutilizada na agricultura com base em parâmetros físico-químicos e microbiológicos (Quadro 6 e 7).

Os valores-guia para reutilização de águas residuais tratadas da Austrália são de 2005, estando actualmente a ser elaborado um novo guia. O guia de 2005 elaborado pela Agência de Protecção Ambiental de Queensland baseia-se em classes de qualidade da água (Quadro 8 e 9) consoante a sua aplicação/utilização. Essa qualidade é definida com base em níveis de indicadores microbiológicos e físico-químicos definidos no Quadro 10.

Quadro 5 Valores-guia propostos pela USEPA para diferentes tipos de reutilização de água (adaptado de US EPA, 2004) ¹

Tipos de Reutilização	Tratamento	Qualidade da água reutilizada ²	Monitorização da água reutilizada	Distâncias de segurança ³
<p>Reutilização Urbana Rega de todos os tipos de paisagens (<i>e.g.</i> campos de Golfe, parques, cemitérios), lavagem de carros, autoclismos, rede de incêndios, ar condicionado comercial e outros usos similares de acesso e exposição à água.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Filtração⁵ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤10 mg/L CBO⁷ • ≤2 UNT⁸ • Valores não detectáveis de Coliformes Fecais por 100 mL^{9,10} • 1 mg/L cloro (Cl₂) residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - semanalmente • CBO - semanalmente • Turvação - continuamente • Coliformes – diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m de qualquer furo para produção de água potável.
<p>Rega de zonas de acesso restrito Plantações de forragens, silvicultura e áreas onde o acesso público é proibido, restrito, ou pouco frequente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,12,13,14} • 1 mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanalmente • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de qualquer furo para produção de água potável. • 30 m de zonas acessíveis ao público (se a rega for por aspersão).
<p>Reutilização Agrícola Produtos alimentares não processados comercialmente¹⁵ Rega de superfície ou por aspersão de qualquer alimento, incluindo os comidos crus.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Filtração⁵ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤10 mg/L CBO⁷ • ≤2 UNT⁸ • Valores não detectáveis de Coliformes Fecais por 100 mL^{9,10,12} • 1 mg/L cloro (Cl₂) residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - semanalmente • CBO - semanalmente • Turvação - continuamente • Coliformes – diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m de qualquer furo para produção de água potável.
<p>Reutilização Agrícola Produtos alimentares processados comercialmente¹⁵ Rega de superfície de pomares e vinhas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,13,14} • 1mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanalmente • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de qualquer furo para produção de água potável. • 30 m de zonas acessíveis ao público (se a rega for por aspersão).
<p>Reutilizações Agrícola Produtos não alimentares Pastagens para animais produtores de leite, fibras e sementes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,13,14} • 1mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanalmente • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de qualquer furo para produção de água potável. • 30 m de zonas acessíveis ao público (se a rega for por aspersão).

Tipos de Reutilização	Tratamento	Qualidade da água reutilizada	Monitorização da água reutilizada	Distâncias de segurança
Utilizações Recreativas Contacto com água residual tratada accidental (<i>e.g.</i> : pesca, remo) e contacto total do corpo, autorizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Filtração⁵ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤10 mg/L CBO⁷ • ≤2 UNT⁸ • Valores não detectáveis de Coliformes Fecais por 100 mL^{9,10} • 1mg/L cloro (Cl₂) residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH - semanalmente • CBO - semanalmente • Turvação - continuamente • Coliformes – diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 150 m de qualquer furo para produção de água potável (min), se não tiverem selados no fundo..
Utilizações Paisagísticas Utilizações estéticas, onde o contacto do público com a água não é permitido.	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,12,13,14} • 1mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanalmente • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 150 m de qualquer furo para produção de água potável (min), se não tiverem selados no fundo.
Utilizações na Construção Compactação de solo, controlo de pó, lavagem de agregados, produção de cimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,12,13,14} • 1mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	
Reutilização Industrial Arrefecimento (uma passagem)	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,12,13,14} • 1 mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanalmente • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de áreas acessíveis ao público
Recirculação em torres de arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ (pode ser necessário coagulação química e filtração⁵) 	<ul style="list-style-type: none"> • pH= 6-9 (Variável dependendo da razão de recirculação) • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,12,13,14} • 1 mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanalmente • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de áreas acessíveis ao público. Pode ser reduzido ou eliminado se forem atingidos níveis elevados de desinfecção.
Outras utilizações Industriais	Dependente de aspectos locais específicos.			

Tipos de Reutilização	Tratamento	Qualidade da água reutilizada	Monitorização da água reutilizada	Distâncias de segurança
<p>Reutilização Ambiental</p> <p>Zonas húmidas, sapais, habitat da vida selvagem, aumento de fluxos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Variável • Secundário⁴ e desinfecção⁶ (min) 	<p>Variável, mas não deve exceder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤30 mg/L CBO⁷ • ≤30 mg/L SST • ≤200 CF por 100 mL^{9,12,13,14} 	<ul style="list-style-type: none"> • CBO – semanalmente • SST – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual - continuamente 	
<p>Recarga de Água Subterrânea</p> <p>Por espalhamento ou injeção em aquíferos não utilizados para consumo público de água.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Especificações locais e dependendo dos usos • Primário (mínimo) para espalhamento • Secundário⁴ (mínimo) para injeção 	<p>especificações locais e dependendo dos usos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Depende do tratamento e usos 	<p>especificações locais</p>
<p>Uso Potável Indirecto</p> <p>Recarga de água subterrânea por espalhamento em aquíferos de água potável</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ • Poderá ser necessário filtração e/ou tratamentos avançados¹⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Desinfecção⁶ • Atingir os valores de água potável depois de percolar pela zona vadosa (zona não saturada)¹² 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclui, mas não limita: • pH – diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual – continuamente • valores de água potável - trimestralmente • Outros¹⁷ – dependendo dos constituintes • CBO – semanalmente • Turvação - continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> • 150 m de furos de extracção. Pode variar dependendo do tratamento efectuado e condições locais
<p>Uso Potável Indirecto</p> <p>Recarga de água subterrânea por injeção em aquíferos de água potável</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Filtração⁵ • Desinfecção⁶ • Tratamentos avançados¹⁶ 	<p>Inclui mas não limita:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH= 6,5-8,5 • ≤2 UNT⁸ • CT/100 mL não detectáveis^{9,12,10} • 1 mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ • ≤3 mg/L COT • ≤0,2 mg/L TOX • Atingir os valores de água potável 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclui, mas não limita: • pH – diariamente • Turvação – continuamente • CT- diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual – continuamente • Valores de água potável - trimestralmente • Outros¹⁷ – dependendo dos constituintes 	<ul style="list-style-type: none"> • 600 m de furos de extracção. Pode variar dependendo das condições locais

Tipos de Reutilização	Tratamento	Qualidade da água reutilizada	Monitorização da água reutilizada	Distâncias de segurança
Uso Potável Indirecto Reforço das reservas superficiais	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário⁴ • Filtração⁵ • Desinfecção⁶ • Tratamentos avançados¹⁶ 	Inclui mas não limita: <ul style="list-style-type: none"> • pH= 6,5-8,5 • ≤2 UNT⁸ • CT/100 mL não detectáveis^{9,10,12} • 1 mg/L cloro Cl₂ residual (min)¹¹ • ≤3 mg/L COT • Atingir os valores de água potável 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclui, mas não limita: • pH – diariamente • Turvação – continuamente • CT- diariamente • Coliformes - diariamente • Cl₂ residual – continuamente • Valores de água potável - trimestralmente • Outros¹⁷ – dependendo dos constituintes 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependendo das condições locais

Notas:

1. Estes Valores-guia são baseados nas práticas de reutilização dos Estados Unidos da América, e são especialmente direccionados para os estados que não desenvolverão os seus próprios Valores-guia. Apesar dos valores-guia poderem ser úteis em áreas fora dos Estados Unidos, em alguns países condições locais podem limitar os valores de aplicação.

2. Salvo referencia em contrário, os valores limite de qualidade recomendados para água reutilizada são referentes ao ponto de descarga da estação de tratamento.

3. As distâncias de segurança são recomendadas para proteger fontes de água de contaminação e proteger o Homem de riscos não razoáveis devido à exposição a água residual reutilizada.

4. O processo de tratamento secundário inclui processo de lamas activadas, leitos percoladores, discos biológicos rotativos, e pode incluir qualquer sistema de estabilização. O tratamento secundário deve produzir um efluente com CBO e COT inferior a 30mg/l.

5. Filtração significa a passagem da água residual através de um solo não “perturbado” ou meio filtrante *eg.*: areia, antracite, filtro de pano, ou passagem através de microfiltros ou outro processo de membranas.

6. Desinfecção significa a destruição, inactivação ou remoção de microrganismos patogénicos quimicamente, fisicamente ou por meios biológicos. A desinfecção por ser obtida por cloragem, radiação UV, ozonização, outros desinfectantes químicos, processos de membranas e outros processos. A utilização de cloro para definir o nível de desinfecção não exclui outro processo de desinfecção como meio aceitável de promover a desinfecção da água residual para reutilização.

7. Como determinado pelo teste CBO 5 dias.

8. O limite de turvação recomendado deve ser atingido antes da desinfecção. A média da turvação deve ser atingida num período de 24 horas. A turvação nunca deve exceder 5 UNT. Se os SST forem utilizados em vez da turvação, o seu valor não deve exceder 5 mg/l.

9. Salvo referência em contrário, os valores limite de coliformes são valores médios determinados a partir dos resultados bacteriológicos dos últimos 7 dias, para os quais a análise foi realizada. Tanto a técnica de membrana como os tubos de fermentação podem ser utilizados.

10. O número de Coliformes fecais não deve exceder nunca 14/100ml.

11. O cloro total residual deve ser medido depois de um tempo de contacto mínimo de 30 minutos.

12. É recomendável uma completa caracterização completa da qualidade microbiológica da água residual tratada antes de ser implementado um programa de reutilização.

13. O número de coliformes fecais não deve exceder nunca 800/100ml.

14. Algumas lagoas de estabilização são capazes de atingir este limite de coliformes sem desinfecção.

15. Culturas comercialmente processadas são as que antes de serem vendidas ao público ou outros, foram previamente sujeitas a processos físicos, químicos suficientes para destruir patogénicos.

16. Processos avançados de tratamento de águas residuais incluem a clarificação química, adsorção em carvão, osmose inversa e outros processos de membranas, air stripping, ultrafiltração e troca iónica.

17. A monitorização deve incluir compostos orgânicos e inorgânicos, ou classes de compostos que se sabem ou se esperam ser tóxicos, cancerígenos, teratogénicos ou mutagénicos e não estão incluídos nos valores-guia para água potável.

Quadro 6 Classes, recomendações e valores-guia da WHO e AFESD para a qualidade da água reutilizada para rega (WHO/AFESD, 2004)

Classes	Tipo de cultura	Grupos expostos	Técnicas de Rega	Parasitas intestinais (média aritmética ou ovos por litro)	Coliformes Fecais (média aritmética por 100mL)	Tratamento das águas residuais necessário para conseguir a qualidade microbiológica pretendida
A	Rega de culturas prováveis de serem consumidas cruas, campos desportivos, jardins públicos.	Trabalhadores, consumidores e público.	Quaisquer	$\leq 0,1$	≤ 1000	Uma série de lagoas de estabilização destinadas a atingir a qualidade microbiológica indicada, ou tratamento equivalente. (exemplo tratamento secundário convencional com filtração e desinfecção)
B	Rega de culturas cerealíferas, culturas industriais, forrageiras, pastagens e árvores.	Trabalhadores (mas não crianças com <15 anos), perto das comunidades.	Spray/Sprinkler	≤ 1	≤ 100000	Retenção em lagoas de estabilização durante 8-10 dias ou método equivalente para eliminação de parasitas intestinais e Coliformes Fecais, ou tratamento equivalente (exemplo tratamento secundário convencional com filtração e desinfecção)
		Trabalhadores (mas não crianças com <15 anos), perto das comunidades.	Inundação/ Escorrimento	≤ 1	≤ 1000	Como a classe A
		Trabalhadores incluindo crianças com <15 anos), perto das comunidades.	Qualquer	$\leq 0,1$	≤ 1001	Como a classe A
C	Rega localizada da Categoria B, se não houver exposição dos trabalhadores ou do público	Ninguém.	gota a gota	Não aplicável.	Não aplicável.	Pré-tratamento de acordo com o exigido pelo equipamento de rega com, pelo menos, sedimentação primária.

Quadro 7 Recomendações e valores limite da WHO e AFESD para a qualidade da água reutilizada de acordo com o tipo de uso (WHO/AFESD, 2004)

Parâmetro	Valor permitido		
	(A) Rega de árvores de fruto ornamentais e forragens	(B) Rega de vegetais prováveis de ser consumidos crus	(C) Descarga de autoclismos
CBO₅ (mg/L) Número de amostras	≤ 240 Amostragem/mensal	≤ 20 2 Amostras/mês	≤ 10 Amostragem/semanal
SST (mg/L) Número de amostras	≤ 140 Amostragem/mensal	≤ 20 2 Amostras/mês	≤ 10 Amostragem/semanal
CF (UFC/100m/L) Número de amostras	≤ 1000 2 Amostras/mês	≤ 200 Amostragem/2 x semana	≤ 10 Amostragem/semanal

Uso da Água residual reciclada	Classes ¹	Monitorização Recomendada
Utilizações Industriais • Sistema aberto (potencial contacto com o homem) e g. lavagem de carros ou qualquer operação onde contacto com aerossóis é possível	A+	Ver quadro 9
• Sistema aberto (potencial ou ocasional contacto com o homem, mas com a existência de barreiras de protecção)	A	<i>E. coli</i> semanalmente, turvação em contínuo, desinfecção em contínuo, pH semanalmente
• Sistema fechado (reduzido contacto com o homem) • Rega de áreas privadas	C	<i>E. coli</i> semanalmente, turvação em contínuo, desinfecção em contínuo, pH semanalmente
• Combate a incêndios	A+	Ver quadro 9
Complementar o abastecimento de água potável • Água superficial ou injeção em aquíferos	N/A	
Utilização recreativa • Fontes e estruturas aquáticas (sem contacto primário ou secundário)	A ⁶	<i>E. coli</i> semanalmente, turvação em contínuo, desinfecção em contínuo, pH semanalmente
• Recursos aquáticos exclusivamente para trabalhos em zonas de acesso controlado • Zonas húmidas artificiais ou naturais	C	<i>E. coli</i> semanalmente, desinfecção semanalmente, pH semanalmente. Depende das especificidades do local, do valor ambiental e qualidade pretendida.

Quadro 9 Especificações de qualidade recomendadas para a classe de água residual A+

Requisitos de Gestão	Plano de gestão da reciclagem de água (RWMP) incorporando elementod de HACCP
Usos sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecimento de água reciclada para casas e industrias, rega de jardins, lavagem de carros, casas e usos industriais (sustentabilidade determinada caso a caso)
Tratamento de esgoto bruto (se medido após sedimentação, gradagem primária pode reduzir-se 0,5log de bactérias e protozoários e 0,1log de vírus)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de 6log de vírus (bacteriófagos como indicadores) • Redução de 5log de bactérias (<i>E. coli</i> como indicador) • Redução de 5log de parasitas (<i>Clodtridium perfringens</i> como indicador)
Critério microbiológico	<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. Coli</i>: < 1UFC/100mL; <10UFC/100mL (95%) • <i>Clodtridium perfringens</i>:< 1UFC/100mL(média); <10UFC/100mL (95%) • F-RNA bacteriófagos:< 1UFP/100mL(média); <10UFP/100mL (95%) • Colifagos somáticos:< 1UFP/100mL(média); <10UFP/100mL (95%)

Critério Físico-químico	<ul style="list-style-type: none"> • Turvação <2 UNT (95%); 5 UNT (máximo) • Para os sistema de fornecimento de água residual tratada para casas e indústrias, cloro residual livre 0,2-0,5 mg/L no ponto de entrega, Para a classe A+, a necessidade de cloro residual deve ser determinada como parte da gestão de risco. • pH 6-8,5 (se a desinfecção assentar predominantemente em cloro e não em dióxido de cloro) ou 6-9,2 se forem utilizados outros sistemas de desinfecção • Para uma rega sustentável, a salinidade deve ser mantida o mais baixo possível ex: se SDT>1000mg/L ou EC>1600µS/cm, deve ser implementado um sistema de redução da salinidade • Qualquer critério físico ou químico que a fase de avaliação do risco do RWMP identifique um risco representativo para o solos, cultura ou saúde humana
Critério de Validação	20 eventos de amostragens (com três replicados cada amostras) que demonstram o cumprimento desta norma antes da entrega aos clientes
Testes de verificação	Amostragem semanal (com três replicados) durante o primeiro ano de operação Amostragem mensal (com três replicados) a partir do primeiro ano.
Outros requerimentos	Todas as não conformidades devem ser comunicadas à autoridade de Saúde de Queensland e tratadas em conformidade com a RWMP Todas as análises e amostragens devem estar com os principais métodos.

Quadro 10 Especificações de qualidade para classes de água reciclada de A a D da Agencia Ambiental de Queensland (Austrália)
(*Queensland Government EPA , 2005*)

Classes	E. Coli (UFC/100mL) (med)	CBO₅ (mg/L)	Turvação 95% ile (mg/L) (max.)	SST (mg/L) (med)	SDT (mg/L) ou Ecw (µS/cm) (med.) SDT/Ecw	pH
A	<10	20	2 alarme 5 desligar	5	1000/1600	6,8-5
B	<100	20	-	30	1000/1600	6,8-5
C	<1000	20	-	30	1000/1600	6,8-5
D	<10000	-	-	-	1000/1600	6,8-5

Em 2006, a OMS editou a terceira edição de *Guidelines for safe use of wastewater, excreta, and greywater* na qual apresentou novos valores-guia baseados em metas e valores alvo de bem-estar ou níveis de tolerância ao risco (risco tolerável ou aceitável). Para alcançar essas metas definiu-se valores de risco toleráveis para uma determinada doença (DALY - *Disable Adjusted Life Years*) a que está associada uma redução microbiológica.

Esta unidade mede o estado de saúde de uma população ou as consequências causadas por uma doença ou factor de risco. O DALYs pretende medir o tempo perdido devido a incapacidade ou morte causada por doença ou exposição a factores de risco, quando comparado com uma longa vida livre de incapacidades e doenças. Esta medida é uma importante ferramenta para comparar consequências/estados de doença ou saúde porque tem em conta não só os efeitos agudos na saúde, como também os crónicos, permitindo assim a sua comparação e ordenação.

A OMS apresentou para água de rega de alimentos a serem consumidos crus, o valor-guia de $\leq 10^{-6}$ DALY por pessoa por ano (Quadro 11), que corresponde também ao DALY da água potável.

Quadro 11 Valores da OMS para água residual tratada para utilização na agricultura (WHO, 2006b)

Cenário de exposição	Valores-guia de saúde (DALY por pessoa por ano)	Redução de patógenos necessária Log_{10}	Número de ovos de helmintas por litro
Rega sem restrições			
Alface	$\leq 10^{-6}$	6	$\leq 1^{a,b}$
Cebola		7	$\leq 1^{a,b}$
Rega restrita			
Altamente mecanizada	$\leq 10^{-6}$	3	$\leq 1^{a,b}$
Trabalho intensivo		4	$\leq 1^{a,b}$
Rega localizada (gota-a-gota)			
Culturas de crescimento rápido	$\leq 10^{-6}$	2	Não recomendado
Culturas de crescimento lento		4	$\leq 1^b$

Notas:

- Quando estão expostas crianças com menos de 15 anos, deve ser tomadas medidas adicionais de protecção (e.g.: tratamento $\leq 0,1$ ovo por litro, fornecer equipamento de protecção como luvas, sapatos/botas)
- Deve ser calculada a média aritmética na época da irrigação. O valor médio de ≤ 1 ovo por litro deve ser obtido em pelo menos 90% das amostras.

Para cada nível de protecção de saúde a OMS estabeleceu também o procedimento de cálculo do grau redução de patógenos necessário atingir e as medidas apropriadas para medição e verificação.

O guia da WHO (2006c) também sugere uma nova abordagem dos valores-guia para a protecção da saúde baseados na estratégia de Estocolmo, realizada em 2001. Esta

estratégia sugere a avaliação do risco antes da definição de metas, definindo abordagens de controlo e avaliando o impacto destas no estado da saúde pública (Figura 2). A estratégia é flexível e permite aos países ajustar os valores-guia às circunstâncias económicas e ambientais locais e comparar os riscos associados à reutilização de água com outras proveniências. Esta abordagem facilita a gestão de doenças infecciosas de forma integrada e holística e não as isola de outras doenças ou vectores de exposição.

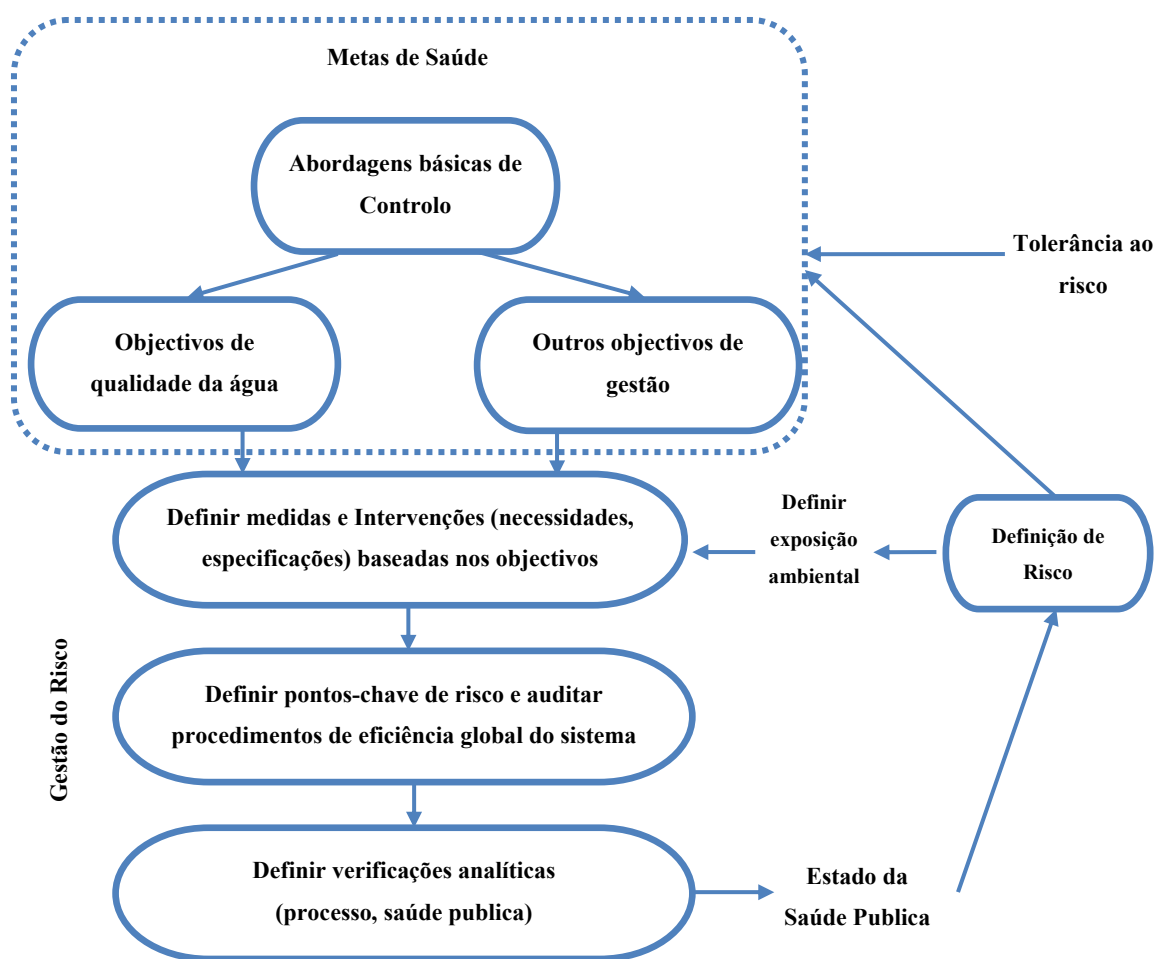


Figura 2 Diagrama Estratégia de Estocolmo (WHO, 2006c)

Em Dezembro de 2007 foram publicadas, simultaneamente, em Israel e em Espanha documentos orientadores para a reutilização de águas residuais tratadas. No Quadro 12 apresentam-se os valores-guia de qualidade da água residual tratada para rega em Israel. Em Espanha, os valores-guia para reutilização foram publicados no Decreto Real 1620/2007.

Quadro 12 Valores-guia de Israel, de Dezembro 2007, para a qualidade da água residual para reutilização (MEPI, 2008)

Parâmetro	Rega sem restrições	Rios	Parâmetro	Rega sem restrições	Rios
Condutividade (dS/m)	1,4	-	As (mg/L)	0,1	0,1
CBO (mg/L)	10	10	Ba (mg/L)	-	50
SST (mg/L)	10	10	Hg (mg/L)	0,002	0,0005
CQO (mg/L)	100	70	Cr (mg/L)	0,1	0,05
NH ₃ (mg/L)	20	1,5	Ni (mg/L)	0,2	0,05
N-t (mg/L)	20	10	Se (mg/L)	0,02	-
P-t (mg/L)	5	0,2	Pb (mg/L)	0,1	0,008
Cl (mg/L)	250	400	Cd (mg/L)	0,01	0,005
F (mg/L)	2	-	Zn (mg/L)	2	0,2
Na (mg/L)	150	200	Fe (mg/L)	2	-
CF (UFC/mL)	10	200	Cu (mg/L)	0,2	0,02
OD (mg/L)	<0,5	<3	Mn (mg/L)	0,2	-
pH	6,5-8,5	7,0-8,5	Al (mg/L)	5	-
Hidrocarbonetos (mg/L)	-	1	Mo (mg/L)	0,01	-
Cloro residual (mg/L)	1	0,05	V (mg/L)	0,1	-
Detergentes aniônicos (mg/L)	2	0,5	Be (mg/L)	0,1	-
Óleo total (mg/L)	-	1	Co (mg/L)	0,05	-
SAR (mmol/L),0,5	5	-	Li (mg/L)	2,5	
B (mg/L)	0,4	-			

2.1.5.2 Legislação, normas e recomendações nacionais

A legislação Portuguesa admite a utilização de águas residuais adequadamente tratadas para grande parte das culturas (Decreto-Lei n. 236/98 – capítulo V), estando as normas de qualidade definidas no mesmo diploma (artigo 60.º e anexos XVI e XVII). No entanto apresenta lacunas relativas à qualidade microbiológica e de critérios relativos aos sistemas de rega utilizados e características dos solos a regar (Beltrão, 2005). Existem também várias portarias (Portaria n.º557/2003 (DR160 Série I-B de 14 Julho) e Portaria n.º 591/2003 (DR164 Série I-B de 18 de Julho)) e o Decreto-Lei n.º 208/2008 de 28 de Outubro, que estabelecem programas com vista a reduzir a poluição das águas, estando identificadas em Portugal Continental 6 Zonas de Vulneráveis (aquíferos) e 8 Zonas Vulneráveis nos Açores (lagoas) (Beltrão, 2005).

Embora sem cariz legal, a norma Portuguesa NP 4434, publicada pelo Instituto Português da Qualidade em 2005, representa um importante contributo para a prática sustentável da utilização de águas residuais tratadas para rega, pois define:

1. Os requisitos de qualidade das águas residuais urbanas tratadas a utilizar como água de rega;
2. Os critérios a seguir na escolha dos processos e equipamento de rega a usar;
3. Os procedimentos a adoptar na execução das regas com vista a assegurar a protecção da saúde pública e do ambiente;
4. Os procedimentos de monitorização ambiental da zona potencialmente afectada por essa rega.

Esta norma aplica-se exclusivamente à reutilização de águas residuais urbanas (colectadas em sistemas de drenagem colectivos e sujeitas a tratamento em ETAR) na rega de culturas agrícolas, florestais, ornamentais, viveiros, relvados e outros espaços verdes. Relativamente ao Decreto-Lei n.º236/98, a NP4434 constitui uma evolução nas lacunas relativas à qualidade microbiológica, pois já apresenta valores máximos admissíveis para os coliformes fecais das águas para reutilização em rega e definição de esquemas de tratamento (Quadro 13).

Ainda no âmbito da reutilização de águas residuais tratadas, o IRAR elaborou a Recomendação n.º 02/2007 com o objectivo de salvaguardar a saúde pública e o ambiente. Esta recomendação cobre os aspectos de utilização, produção, distribuição, controlo de qualidade, utilizadores, tarifários de águas residuais tratadas e questões especificamente aplicáveis às entidades concessionárias de sistemas públicos de saneamento de águas residuais. Relativamente às questões de qualidade das águas, esta recomendação realça que o uso de águas residuais tratadas implica a existência de planos de monitorização da qualidade das águas residuais tratadas e dos meios receptores e que a qualidade das águas residuais tratadas deve satisfazer os requisitos definidos pelas entidades licenciadoras, e/ou propostos na norma portuguesa NP 4434 e/ou os valores-guia da OMS (WHO, 2006b), em complemento da legislação aplicável ou como forma de colmatar eventuais lacunas legais.

Quadro 13 Valores máximos admissíveis para reutilização de água (adaptado de NP 4434)

Classes	Tipo de cultura	Coliformes Fecais (NMP ou UFC/100mL)	Ovos de parasitas entéricos (ovo/L)	Esquemas de Tratamento Adequados	Observações
A	Culturas hortícolas para consumo, em cru.	100	1	Secundário=>Filtração=>Desinfecção ou Terciário=>Filtração=>Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem
B	Relvados, parques e jardins públicos e relvados para a prática de desportos, zonas florestadas com fácil acesso para o público.	200	1	Secundário=>Filtração=>Desinfecção ou Terciário=>Filtração=>Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem. A rega deve ser feita de modo a evitar contacto com o público.
C	Culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinhas e pomares	1000	1	Secundário=>Filtração=>Desinfecção ou Terciário=>Filtração=>Desinfecção ou Lagunagem (Sistema com 3 ou mais lagoas e $t_r \geq 25$ dias)	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem. A rega de vinhas e pomares deve ser efectuada de modo a evitar contacto com os frutos. Não devem ser aproveitados frutos caídos no solo.
D	Culturas cerealíferas*, culturas hortícolas, culturas destinadas à produção de matérias-primas para as indústrias têxtil, de extracção de óleos e essências vegetais e similares, culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso para o público ou com acesso controlado.	10000	1	Secundário=> lagoas de maturação ($t_r \geq 10$ dias) ou Secundário=>Filtração=>Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem. A rega deve ser feita de modo a evitar contacto com o público.

* Com exclusão do arroz, por ser regado por alagamento.

Nota: t_r - tempo de retenção; ufc- unidades formadoras de colónias

2.1.5.3 Requisitos de qualidade de água reutilizada na rega de campos de golfe

Os parâmetros de qualidade a considerar na avaliação da adequação de um efluente de uma ETAR para rega, não são os mesmos que deverão ser tidos em conta no caso de o destino final ser o lançamento no meio hídrico. Neste último caso, os parâmetros habitualmente considerados são carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO₅) e sólidos suspensos totais (SST), enquanto que, para a rega os dois primeiros não são muito relevantes (Monte, 2000).

A água para rega de campos de Golfe deve atender às seguintes condições (LUSOTUR, 1987):

- Não vincular agentes patogénicos nocivos para a saúde dos golfistas e outros frequentadores da zona de relva irrigada, bem como habitantes e pessoas que passam nas proximidades;
- Assegurar uma adequada alimentação hídrica da relva e não provocar a degradação de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, designadamente a sua permeabilidade ao ar, à água e às raízes, mantendo ao mesmo tempo as características biológicas dentro de níveis favoráveis à vida das plantas;
- Evitar a colmatção do equipamento de rega, particularmente dos aspersores.

No Quadro 14 são apresentadas as características mais relevantes para a utilização de águas residuais tratadas na rega de campos de golfe, ou seja as que afectam favorável ou desfavoravelmente o biosistema solo-planta.

Relativamente às características e condições gerais da qualidade das águas residuais utilizadas na rega de campos de golfe não há consenso generalizado (Quadro 1 e 2 do Anexo I) , resumindo-se os aspectos mais relevantes no Quadro 14.

No Quadro 1 e 2 do Anexo I apresentam-se os valores de qualidade físico-química e microbiológica da água para a rega de campos de Golfe propostos por vários autores e organizações. Estes valores têm em atenção não só a qualidade da água na vertente dos efeitos na saúde humana, mas também a nível dos efeitos no solo, relva e equipamentos de rega.

Quadro 14 Parâmetros que afectam a qualidade da água para rega de campos de golfe (adaptado de Asano *et al.*, 1984 e LUSOTUR, 1987)

Características	Parâmetros de avaliação	Efeito
Sólidos suspensos totais	SST	Concentrações de SST podem provocar depósitos de sólidos, condições anaeróbias, reduzir a permeabilidade do solo e provocar entupimentos no equipamento de rega.
Sólidos dissolvidos totais	SDT, Condutividade eléctrica, elementos específicos (<i>e. g.</i> : Na, Ca, Mg, Cl, B)	Salinidade excessiva pode causar danos à cultura. Alguns elementos podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl); o ião Na ⁺ pode induzir problemas de permeabilidade no solo.
Matéria Orgânica biodegradável	CQO, CBO	A decomposição destes compostos pode levar à depleção de oxigénio em massas de água e consequentemente o desenvolvimento de condições sépticas. Em efluentes tratados, o teor de matéria orgânica não causa, geralmente problemas.
Compostos orgânicos recalcitrantes	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados)	Resistência aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos, a sua presença pode ser limitativa da utilização do efluente para rega.
Macronutrientes	Azoto, fósforo e potássio	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas; a sua presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas podem induzir ao crescimento de vida aquática indesejável. Quando descarregados em grande quantidades nos terrenos podem provocar a poluição das águas subterrâneas.
Actividade hidrogeniónica	pH	O pH das águas residuais afecta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais	Cd,Cr,Cu,Fe;Hg,Ni;Zn	Alguns metais acumulam-se no ambiente e são tóxicos para as plantas e animais. A sua presença pode ser um factor limitante da utilização de águas residuais para rega.
Sais inorgânicos dissolvidos	SDT Condutividade eléctrica	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas.
Cloro residual	Cl livre Cl combinado	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. No entanto a maior parte do cloro nas águas residuais tratadas está na forma combinada, o que não causa problemas para as culturas. Por outro lado existe grande preocupação relacionada com o efeito tóxico dos compostos organoclorados no que diz respeito às águas subterrâneas.
Microrganismos patogénicos	Coliformes Fecais Helintas	Transmissão de doenças.

Como é possível verificar através dos Quadros 1 e 2 do Anexo I uma água com qualidade aceitável para rega definida por Carrow *et al.*, 1998 e Stowell, 1999 não têm de necessariamente cumprir os valores-guia definidos pela OMS ou pela US EPA. No limite podemos ter uma água com qualidade agronómica boa para rega da relva (aspecto agronómico), mas do ponto de vista de risco para a saúde pública não, uma vez que não são os mesmos parâmetros que são analisados nas duas vertentes. Enquanto que os parâmetros microbiológicos são importantes numa avaliação do risco para a saúde pública, numa avaliação agronómica não, sendo mais relevantes a concentração dos nutrientes dissolvidos. Só uma análise conjunta das duas vertentes, agronómica e risco para a saúde pública poderá definir os valores-guia mais adequados.

2.2 Esquemas de tratamento usualmente associados à reutilização

2.2.1 Etapas do tratamento

Um processo de tratamento da água residual capaz de atingir os padrões de qualidade exigidos para a reutilização e protecção da saúde pública é o elemento crítico do sistema de reutilização (Asano, 1998).

Um tratamento convencional de águas residuais consiste numa combinação de processos físicos, químicos e operações de remoção de sólidos, matéria orgânica, organismos patogénicos, metais e alguns nutrientes. Os termos mais vulgarmente utilizados para descrever os diferentes graus de tratamento são: tratamento preliminar, primário, secundário, terciário e tratamento de afinação.

Os processos de tratamento de uma ETAR para reutilização resultam da aplicação das mesmas tecnologias aplicadas nas ETAR convencionais. O desafio na concepção de uma ETAR para reutilização é conceber um esquema de tratamento atendendo a uma análise custo-benefício que cumpra os objectivos pretendidos. O tratamento a aplicar em cada ETAR para reutilização varia de acordo com a qualidade do produto final pretendido.

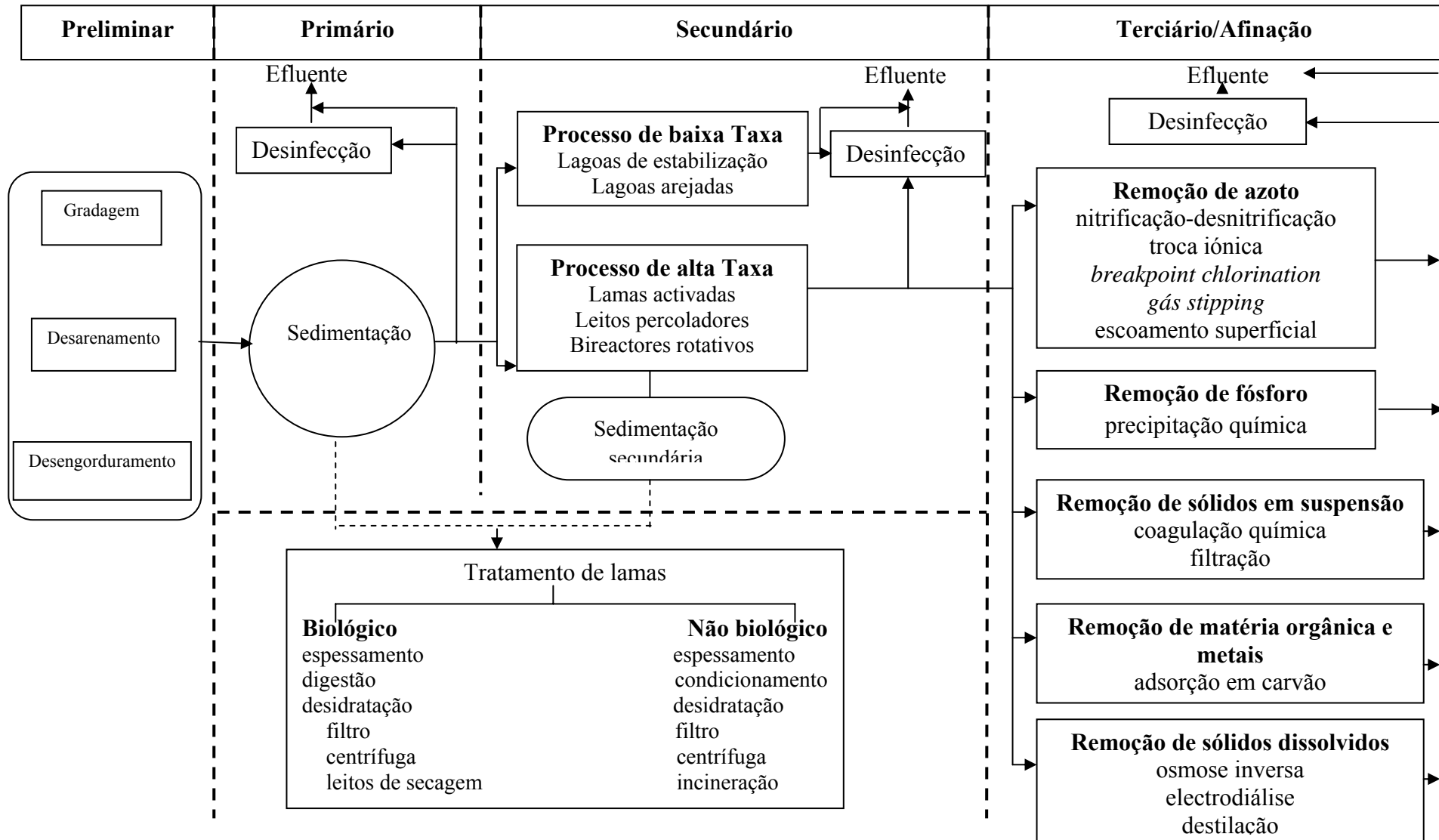
Os esquemas de tratamento simples envolvem processos de separação sólido-líquido e de desinfecção, processos mais complexos combinam processos físicos/químicos e biológicos aplicando uma abordagem de remoção multibarreira (Asano, 1998).

Na Figura 3 é apresentado um diagrama de fluxo típico e as tecnologias de tratamento mais comuns associadas a cada etapa do processo de tratamento de uma ETAR.

2.2.2 Tratamento preliminar (pré-tratamento)

O objectivo do tratamento preliminar é remover sólidos grosseiros e outros materiais de grandes dimensões normalmente presentes nas águas residuais. Esta operação é necessária para proteger os equipamentos e processo de tratamento a jusante. O tratamento preliminar típico inclui as operações de gradagem, desarenamento e desengorduramento. Nesta fase a água residual é preparada para as fases de tratamento subsequentes, podendo ser sujeita a um pré-arejamento e a uma igualização tanto de caudais como de carga (orgânica ou físico-química).

Figura 3 Diagrama de fluxo típico de uma ETAR e tecnologias de tratamento mais comuns associadas a cada etapa do processo de tratamento (adaptado de Asano *et al.*, 1984)



2.2.3 Tratamento primário

O objectivo do tratamento primário é remover os sólidos sedimentáveis e a matéria flutuante e assim reduzir o conteúdo em sólidos suspensos. Convencionalmente o tratamento primário é eficiente na remoção de partículas superiores 50 μm (Asano, 1998). Em geral cerca de 50 a 70% de SST e 25 a 40% de CBO_5 são removidos da água residual nesta etapa (Metcalf & Eddy, 2003). Nutrientes, constituintes hidrofóbicos, metais e microrganismos também podem ser removidos no tratamento primário. Cerca de 10 a 20% do azoto orgânico e cerca de 10% de fósforo são removidos num tratamento primário convencional. A eficiência de remoção do tratamento primário pode ser aumentada através da incorporação de um processo de coagulação/floculação a montante da sedimentação gravítica e/ou pela utilização de filtração após sedimentação. (Asano, 1998).

Para várias aplicações de reutilização, o tratamento primário fornece o tratamento necessário para se atingir os valores de qualidade pretendidos (Asano, 1998).

2.2.4 Tratamento secundário

O objectivo do tratamento secundário é remover a matéria orgânica biodegradável (em solução ou em suspensão) e os sólidos suspensos (Metcalf & Eddy, 2003). O tratamento secundário inclui um conjunto de processos de tratamento biológico conjuntamente com uma separação sólido/líquido. Processo biológico está desenvolvido de forma promover uma metabolização efectiva do substrato orgânico dissolvido ou suspenso na água residual. A biomassa de microrganismos interage com a água residual utilizando um processo de crescimento em suspensão ou em filme fixo. O processo de lamas activadas e lagoas de estabilização são exemplos de crescimento em suspensão, enquanto os leitos percoladores e biodiscos ou discos biológicos são processos de biofilme fixo.

Uma parte da matéria orgânica existente na água residual fornece energia e nutrientes que suportam o crescimento microbiano, enquanto a restante é oxidada pelos microrganismos em dióxido de carbono, água e outros produtos.

O sistema de tratamento biológico convencional consiste num reactor biológico arejado conjuntamente com um decantador secundário para remoção e concentração da biomassa produzida da conversão dos compostos orgânicos constituintes da água residual. Um importante aspecto do tratamento secundário de crescimento em suspensão, lamas activadas, é a formação de flocos, partículas de biomassa com 50 a 200 μm de tamanho, que podem ser removidos graviticamente por sedimentação,

deixando um líquido sobrenadante relativamente claro, designado como efluente tratado. Tipicamente o efluente tratado deste tipo contém níveis de 10 a 30 mg/l de CBO e SST atingindo eficiências de remoção de SST superiores a 99% (Asano, 1998 e Metcalf & Eddy, 2003). Dependendo do processo de operação, 10 a 50% de azoto orgânico é removido durante o tratamento secundário convencional e o fósforo é convertido em fosfato (PO_4^{3-}). As lamas biológicas produzidas durante o tratamento secundário são tratadas por digestão aeróbia ou anaeróbia, compostagem ou estabilização e desidratação.

Em todas as configurações de processos biológicos de crescimento em suspensão para remoção biológica do fósforo, inclui-se uma zona anaeróbia seguida de uma zona aeróbia. O processo de remoção de fósforo mais comum é um processo com uma fase anaeróbia seguida de uma aeróbia, normalmente designado por *Phoredox*, ou esquematicamente representado por A/O, sendo que o A representa a fase anaeróbia e o O a fase aeróbia. Existem várias modificações a esta configuração, como é exemplo o A²O e UCT (Processo da Universidade de Cape Down) (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.5 Tratamento terciário/tratamento de afinação

De uma forma geral o tratamento terciário refere-se à remoção adicional de sólidos suspensos, coloidais e dissolvidos por técnicas de separação físico-química como a adsorção, floculação/precipitação, membranas ou filtração avançada, permuta iónica e osmose inversa de sólidos que persistem após o tratamento secundário. O tratamento terciário é necessário se se pretende remover azoto, fósforo (nos casos em que o tratamento secundário não tem essa finalidade), e para a remoção adicional de sólidos, compostos orgânicos refractários, metais pesados e microrganismos (Metcalf & Eddy, 2003 e Asano, 1998).

Devido ao tratamento de afinação usualmente seguir um esquema de tratamento secundário de alta carga, é vulgarmente referido como tratamento terciário. Os processos de afinação são normalmente combinados com tratamentos primários e secundários (*e.g.*: lamas activas, leitos percoladores), ou em vez do tratamento secundário (FAO, 1992).

O tratamento terciário constitui um dos passos fundamentais para atingir os elevados padrões de qualidade requeridos para a reutilização mais restritas, como por exemplo, remoção de organismos patogénicos.

2.2.5.1 Coagulação química e floculação

O processo de coagulação/floculação envolve a adição de químicos à água residual para promover a agregação das partículas de forma a promover a separação sólido/líquido por sedimentação e filtração. Os coagulantes químicos inorgânicos são sais metálicos como por exemplo o alum (sulfato de alumínio), cloreto férrico ou sulfato férrico. O sal hidrolisa-se na água e reage com a superfície das partículas destabilizando-as. De forma a melhorar a eficiência do processo por vezes conjuntamente com os coagulantes inorgânicos também são utilizados polielectrólitos orgânicos. A dosagem de coagulantes depende das características da água residual e do processo de tratamento variando de 1 a 50 mg/L para coagulante inorgânicos e 0,5 a 10 mg/L para polielectrólitos orgânicos. A ozonização pode servir para melhorar a eficiência da coagulação (Asano, 1998).

Se a coagulação/floculação se realizar directamente a montante da filtração o processo é designado como filtração directa; se é precedido por sedimentação e filtração é definido como tratamento convencional.

2.2.5.2 Filtração

Os três tipos básicos de filtrações consideradas no tratamento terciário são a filtração em profundidade, filtração de superfície e filtração por membranas. A filtração em profundidade corresponde à remoção do material em suspensão através da passagem da água residual através de meio de filtração compacto ou granular. Este tipo de filtração é vulgarmente utilizada para a remoção de sólidos (incluindo CBO particulado) de águas residuais efluentes dum tratamento biológico ou químico. A filtração em profundidade é também utilizada como etapa de pré-tratamento para a filtração em membranas. Um único ou dois estágios de filtração também são utilizados para remover o fósforo precipitado quimicamente.

A filtração de superfície envolve a remoção de material em suspensão através de “peneiração mecânica”. O líquido passa por uma superfície fina (material filtrante) com orifícios entre 10 e 30 µm (filtros de pano) que retêm os sólidos em suspensão. As membranas podem ser fibras metálicas, tecidos e materiais sintéticos. A filtração de superfície é utilizada para remover sólidos em suspensão de efluentes secundários ou de efluentes de lagoas de estabilização (Metcalf & Eddy, 2003).

A filtração em membranas remove matéria particulada e coloidal da água, o tamanho das partículas removidas estende-se até aos constituintes dissolvidos (tipicamente 0,0001 a 1,0 µm). O papel das membranas é servir de barreira selectiva, permitindo a passagem de certos constituintes e retendo outros no líquido. O processo de filtração de membranas pode ser classificado em microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose inversa (OI), diálise e electrodiálise (ED), sendo classificadas de acordo com o tipo de material, natureza da força motriz, mecanismo de separação, qualidade da separação obtida (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.5.3 Desinfecção

A desinfecção constitui uma operação unitária essencial na maioria das ETAR que produzem água para reutilização, sendo o seu objectivo a destruição dos microrganismos patogénicos (Asano, 1998).

A etapa de desinfecção normalmente encontra-se no final de processo de tratamento das ETAR. A desinfecção química é baseada na adição de um forte oxidante químico (ex: cloro, ozono, peróxido de hidrogénio e bromo). A oxidação química, particularmente com ozono também pode ser eficiente na redução do odor e cor da água residual e melhor a biodegradabilidade dos constituintes orgânicos (Asano, 1998).

A radiação ultravioleta (UV) é outro processo bastante comum de desinfecção. A Luz ultravioleta é a porção de espectro electromagnético com comprimento de onda entre 100 e 400 nanómetros (nm), o comprimento de onda germicida situa-se localizado na região espectral de 200 a 300 nm. Os microrganismos são inactivados pela luz UV como consequência dos danos fotoquímicos provocados pela radiação UV nos ácidos nucleicos que altera a estrutura do DNA e RNA, impossibilitando a reprodução das bactérias e dos vírus. Os danos nas células dependem da dose de radiação UV absorvida e da sua resistência. A maioria dos vírus e bactérias apresenta baixa resistência de inactivação a pequenas doses de radiação UV. Regra geral as bactérias são mais resistentes que os vírus e os parasitas protozoários, tais como *Cryptosporidium* e *Giardia*, são mais sensíveis que a maioria das bactérias. Os bacilos negativos são mais sensíveis que os cocos positivos e os esporos bacterianos (Trojan, 2007).

A dose UV, fornecida por um sistema de desinfecção, é o produto da intensidade UV (milivolts por centímetro quadrado) pelo tempo de retenção (exposição) em segundos. Cada unidade da dose equivale a milivoltes segundos por centímetro quadrado

(mW.s/cm²) ou milijoules por centímetro quadrado (mJ/cm²). (Asano, 1998 e Trojan, 2007). A intensidade dos UV é afectada pela qualidade da água residual, cinética da inactivação microbiana, configuração do equipamento/lâmpada, idade e sujidade da lâmpada. A temperatura e o pH não afectam a desinfecção UV. Os parâmetros de qualidade da água residual que normalmente afectam a intensidade dos UV são os componentes orgânicos e inorgânicos (e.g.: ferro) e SST, mais propriamente o número, propriedades ópticas e tamanho da partícula. (Asano, 1998 e Trojan, 2007).

A eficiência dos UV é afectada pela transmitância das águas residuais que depende dos processos de tratamento a montante. Em geral, os processos de tratamento secundários produzem efluentes com transmitância entre 60% e 65% (Trojan, 2007). A filtração aplicada a montante dos UV melhora a sua eficiência de desinfecção (Asano, 1998).

Outros métodos alternativos de remoção de organismos envolvem a exposição de organismos patogénicos a ambientes alcalinos (e.g. tratamento com cal). Também podem ser utilizados métodos físicos como por exemplo a filtração em meios granulares e membranas.

O tipo de desinfecção mais comum na reutilização é a adição de cloro em dosagens que variam de 5 a 20 mg/L com um máximo de contacto de duas horas.

Uma vez que o cloro pode ter efeitos negativos nas culturas, o cloro residual na água residual tratada deve constituir um parâmetro a controlar. Em alguns sistemas é necessário proceder a uma etapa de descloragem, por dióxido de enxofre ou outro agente redutor. A adsorção em carvão também é utilizada na remoção de cloro. (Asano, 1998).

2.2.5.4 Remoção de nutrientes

O azoto e o fósforo são benéficos para a maioria das culturas, no entanto, devido às necessidades de armazenamento da água residual tratada para rega, podem constituir um problema devido a promoverem o crescimento de algas nos reservatórios e condutas.

Os sistemas de tratamento podem ser desenhados para remover azoto e/ou fósforo. Na água residual não tratada o azoto pode existir sob a forma dissolvida ou particulada e em vários estados de oxidação, sendo a amónia e o azoto orgânico as formas dominantes de azoto nas águas residuais. Durante o processo de tratamento biológico o azoto orgânico é convertido em amónia constituindo uma fonte de azoto para o crescimento microbiano. No crescimento microbiano algum azoto é oxidado pelos microrganismos a

nitritos e nitratos através de processos aeróbios, processo conhecido por nitrificação. O nitrato resultante pode ser convertido a azoto molecular (N_2) através de um processo biológico na ausência de oxigénio (anóxico), designado por desnitrificação. A combinação dos dois processos biológicos é responsável pela remoção de azoto da água residual. O azoto também pode ser removido por *air stripping*, oxidação química e troca iónica (Asano, 1998).

A remoção de fósforo é obtida através da conversão do fósforo solúvel em fósforo particulado através da adição de químicos precipitantes como por exemplo a precipitação sob a forma de fosfato de cálcio, através da adição de cal ou a precipitação através da adição de sais metálicos de ferro e alumínio. O processo biológico de remoção de fósforo obtém-se através de uma sequência anaeróbia-aeróbia, em que ocorre a libertação de ortofosfato inorgânico, sendo seguido pela absorção extra de fósforo na fase aeróbia. A separação das células dos microrganismos contendo fósforo, corresponde à remoção de fósforo da água residual. Em muitos casos a remoção biológica do fósforo é acompanhado por um sistema de remoção de azoto (Asano, 1998).

2.2.6 Esquemas de tratamento normalmente utilizados na reutilização da água

Os esquemas de tratamento utilizados numa ETAR tendo em vista a reutilização da água variam em função da qualidade pretendida e do uso que se pretende dar à água tratada.

Alguns organismos nacionais e internacionais, na definição dos requisitos de qualidade da água residual tratada, especificam não só os valores-guia de qualidade mas também os níveis e processos de tratamento a implementar. São exemplo dessa situação os valores-guia de 2004 apresentados pela US EPA (Quadro 4 e 5), os da WHO/AFESD de 2004 (Quadro 6 7) e a NP4434 (Quadro 13).

O Quadro 15 apresenta um resumo da qualidade da água obtida por aplicação de diferentes esquemas de tratamento.

Quadro 15 Qualidade típica esperada das águas residuais urbanas tratadas através de várias combinações de operações e processos unitários (adaptado de Metcalf e Eddy, 2003)

Processo de tratamento	SST (mg/L)	CBO ₅	CQO	N-t (mg N/L)	NH ₃ -N (mg N/L)	PO ₄ -P (mg -P/L)	Turvação (UNT)
		(mg O ₂ /L)					
Lamas activadas + filtração granular média	4-6	<5-10	30-70	15-35	15-25	4-10	0,3-5
Lamas activadas + filtração granular média + adsorção em carvão	<5	<5	5-20	15-30	15-25	4-10	0,3-3
Lamas activadas/nitrificação, num único estágio	10-25	5-15	20-45	20-30	1-5	6-10	5-15
Lamas activadas/nitrificação, em estágios separados	10-25	5-15	20-35	5-10	1-2	6-10	5-15
Adição de um sal metálico às lamas activadas + nitrificação/desnitrificação + filtração	≤5-10	≤5-10	20-30	3-5	1-2	≤1	0,3-2
Remoção biológica do fósforo	10-20	5-15	20-35	15-25	5-10	≤2	5-10
Remoção biológica do fósforo e azoto + filtração	≤10	<5	20-30	≤5	≤2	≤2	0,3-2
Lamas activadas + Filtração granular média + adsorção em carvão + osmose inversa	≤1	≤1	5-10	<2	<2	≤1	0,01-1
Lamas activadas/nitrificação-desnitrificação e remoção de fósforo + filtração granular média + adsorção em carvão + osmose inversa	≤1	≤1	2-8	≤1	≤0,1	≤0,5	0,01-1
Lamas activadas/nitrificação-desnitrificação e remoção de fósforo + microfiltração + osmose inversa	≤1	≤1	2-8	≤0,1	≤0,1	≤0,5	0,01-1

2.3 Avaliação de desempenho de estações de tratamento de águas residuais

2.3.1 O que é a avaliação de desempenho?

A avaliação de desempenho é um processo pelo qual a organização identifica em que medida o desempenho de cada ETAR contribui para satisfazer os objectivos estratégicos e atingir os resultados da organização.

A avaliação de desempenho não deve ser entendida como um instrumento de controlo, mas sim como um meio de obter um conhecimento mais eficaz do desempenho, de forma objectiva e rigorosa, proporcionando a melhoria contínua da sua *performance*.

Desta forma, a Avaliação de Desempenho não é um fim em si mesma, é apenas uma ferramenta que tem como objectivo melhorar os resultados da organização. (AERLIS, 2008). Assim, este processo deve ser encarado como um acompanhamento contínuo, onde dar e receber *feedback* (realimentação) constitui o essencial do percurso.

Apesar da importância dos estudos de avaliação de desempenho em diversas entidades, a utilização da avaliação de desempenho no sector da água não constitui uma prática generalizada (Crotty, 2003). No sector da água, em particular na avaliação de desempenho de ETAR foram realizados poucos trabalhos, quando comparadas com outras áreas, como por exemplo a distribuição de água e a drenagem de águas residuais.

2.3.2 A importância da aplicação de medidas de avaliação de desempenho

As medidas de avaliação de desempenho são muito importantes, pois a medição é a primeira etapa que leva ao controlo e eventual melhoria. Se não se medir, não se consegue entender o processo, se não se entende o processo não é possível controlá-lo. Se não se controla o processo, não é possível aperfeiçoá-lo.

De acordo com Alegre *et al.* (2006) as medidas de avaliação de desempenho classificam-se em três tipos: indicadores, índices e níveis de desempenho.

Indicadores de desempenho (ID) – No sector da água, um indicador de desempenho é uma medida quantitativa da eficiência (mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo optimizado para a produção do serviço) ou da eficácia (grau de cumprimento dos objectivos de gestão) de um aspecto particular do serviço prestado por uma entidade gestora de um sistema de abastecimento de água ou de um sistema de águas residuais (Alegre *et al.*, 2004). Cada indicador expressa o nível do desempenho efectivamente atingido, tornando directa e transparente a comparação entre objectivos de gestão e resultados obtidos, simplificando uma situação, que de outro modo, seria mais complexa e subjectiva (Ashley *et al.*, 2004). Os indicadores até hoje desenvolvidos são, em geral, calculados pela razão entre duas variáveis da mesma natureza (adimensionais, *e.g.*, expresso em percentagem) ou de natureza distinta (intensivos, *e.g.*, expressos em kWh/m³) (Stahre & Adamsson, 2004; Ofwat, 2005; Alegre *et al.*, 2006; Worldbank, 2006).

Índices de desempenho – Resultam da combinação de medidas individuais de desempenho, por exemplo indicadores de desempenho, agregando informação.

Enquanto que os indicadores, *per si*, não emitem qualquer informação em termos do maior ou menor desempenho, os índices já o podem fazer.

Níveis de desempenho – Ao contrário dos indicadores e índices, os níveis de desempenho são medidas de carácter qualitativo, expressas na forma de categorias (e.g.: mau, satisfatório, bom, muito bom). Podem resultar da agregação das medidas de outro tipo ou, directamente, de processos de avaliação qualitativos (e.g.: inquéritos para avaliação de satisfação dos consumidores). Em geral, recorre-se a níveis de desempenho quando não é viável calcular medidas quantitativas.

A comparação do desempenho de uma entidade gestora com metas pré-estabelecidas internamente ou com os resultados do desempenho de outras entidades gestoras é denominada “*benchmarking*” (Molinari, 2005). Existem dois tipos de *benchmarking*: *benchmarking* métrico e *benchmarking* de processo. *Benchmarking* métrico é uma avaliação de comparação quantitativa utilizando medidas de desempenho (usualmente indicadores), que permite às entidades gestoras analisarem o desempenho interno ao longo do tempo, compará-lo com o desempenho de outras entidades semelhantes e estabelecer metas de desempenho (Stahre & Adamsson, 2004; Molinari, 2005; Sharma, 2006). Podem, portanto, ser identificados os domínios com um bom desempenho, bem como aqueles onde existe necessidade de melhoria (Stahre e Adamsson, 2004).

O *benchmarking* de processo envolve, numa primeira fase, a identificação dos procedimentos específicos a serem melhorados através de um “*process mapping*” e posteriormente, a localização dos exemplos de excelência para o ajuste padrão e possível evolução (Molinari, 2005; Sharma, 2006).

2.3.3 Utilizadores de indicadores de desempenho

A avaliação de desempenho é uma ferramenta de grande utilidade na quantificação, análise e promoção da melhoria das organizações. Como tal, tem sido utilizada por diversas entidades: entidades gestoras, consumidores ou utilizadores directos, utilizadores pró-activos, administração pública, entidades reguladoras e financiadoras.

A informação obtida através da aplicação dos sistemas de avaliação de desempenho é muito útil, apesar de pouco generalizada, mas a sua aplicação tem vindo a aumentar, começando-se, pouco a pouco, a utilizar no sector da água.

A utilização de indicadores de desempenho pode ter diversas vantagens consoante o utilizador, nomeadamente:

- I. Ajudam a definir realisticamente os objectivos e a verificação do seu cumprimento;
- II. Uniformizam a informação recolhida;
- III. Fornecem informação de suporte a tomada de decisões;
- IV. Permitem monitorizar os efeitos das decisões;
- V. Permitem destacar os pontos fortes e fracos dos diversos sectores das entidades gestoras, apoiando, assim, a adopção de medidas correctivas para melhoria da produtividade, dos procedimentos e das rotinas de trabalho;
- VI. Facilitam a implementação de rotinas de *benchmarking*;
- VII. Permitem obter informação chave para efeitos de análise de risco e garantia da qualidade.

2.3.4 Domínios de avaliação de desempenho

Como consequência das características intrínsecas dos diferentes utilizadores, os indicadores que integram os diferentes sistemas de avaliação são consideravelmente distintos, existindo, no entanto, um número significativo que é comum a vários sistemas. Segundo Vieira *et al.*, (2006) os ID dos sistemas de avaliação de desempenho mais utilizados distribuem-se pelos seguintes domínios: **economia e finanças, tecnologia, organização e recursos humanos, qualidade do produto, qualidade do serviço e ambiente.**

ID económico-financeiros: são o princípio da maioria dos sistemas de avaliação de desempenho (Vieira *et al.* 2006). Correspondem a rácios de uso corrente no domínio económico-financeiro e relacionam-se com proveitos, custos correntes, custos de capital, investimentos, liquidez e rendibilidade, incorporando, por vezes informação de preços de venda de água.

ID tecnológicos: cobrem aspectos relativos à operação e manutenção dos sistemas de reabilitação de infra-estruturas, monitorização de qualidade da água, perdas de água (Crotty, 2003; Stahre & Adamsson, 2004; Alegre *et al.*, 2006), inspecção e avarias (Malntosh, 1997; Crotty, 2003; WUP, 2002; Alegre *et al.*, 2006; Adamsson, 2004; Molinari, 2005; Stahre e World Bank, 2006 e Silva, 2007).

ID organizacionais e de recursos humanos: avaliam a utilização dos recursos organizacionais e humanos de uma entidade gestora, e cobrem aspectos como o número, qualificação e formação do pessoal, e aspectos de saúde e segurança no trabalho (Crotty 2003 e Vieira *et al.*, 2006).

ID de qualidade do produto: devido à sua relevância em termos de saúde pública e por ser um aspecto com requisitos legais, os ID de qualidade do produto existem em praticamente todos os serviços de abastecimento de água e de águas residuais.

ID de qualidade do serviço: contemplam aspectos como satisfação do consumidor, relação com o consumidor, cobertura de serviço, reclamações dos clientes ao serviço prestado, resposta às reclamações, inundações e danos causados a terceiros.

ID ambientais em Alegre *et al.* (2006), e em Matos *et al.* (2003) são indicadores específicos de depleção de recursos hídricos, volume e frequência de descargas de águas residuais no meio receptor, utilização de águas residuais, produção e gestão de resíduos e consumo de energia (Vieira *et al.*, 2006).

2.3.5 Abordagens sistematizadas de avaliação de desempenho de ETAR

2.3.5.1 Aspectos gerais

Apesar da literatura ser abundante no âmbito da aplicação empírica da avaliação de desempenho, é escassa no campo ambiental e mais concretamente na aplicação prática em ETAR. A maioria das avaliações de desempenho das ETAR restringe-se à avaliação do cumprimento da legislação. A comparação dos resultados obtidos após depuração das águas residuais e a legislação vigente é o exemplo de avaliação de eficiência do processo de tratamento das ETAR mais divulgado em todo o mundo. Este sucesso deve-se ao facto do incumprimento da legislação ter implicações económicas e judiciais para as entidades intervenientes. No entanto, na opinião dos operadores/exploradores das ETAR a avaliação de desempenho é de extrema importância tanto ao nível do cumprimento da legislação como económico, na redução de custos.

Seguidamente, por ordem cronológica, descrevem-se algumas abordagens sistematizadas da avaliação de desempenho de ETAR que foram desenvolvidas por diversas entidades de diversos países, com destaque para os sistemas de indicadores e respectivos objectivos.

2.3.5.2 Sistema do Six-Cities Group

Em 1995, o “Six-Cities Group” constituído por seis cidades da Escandinávia (Copenhaga, Gotemburgo, Helsínquia, Malmo, Oslo e Estocolmo) iniciou o desenvolvimento integrado de um sistema de *benchmarking* do desempenho de serviços de águas e águas residuais (Stahre & Adamsson, 2004). Este grupo desenvolveu um conjunto de indicadores de desempenho (ID), que podem ser considerados como uma linguagem de referência normalizada, necessária para a realização de comparações consistentes entre sistemas. Os ID deste sistema cobrem as seguintes áreas:

- Satisfação dos clientes: ID e métodos de medição que reflectem as expectativas dos clientes e a apreciação dos seus serviços;
- Qualidade: ID para completar os indicadores económicos e de satisfação dos clientes;
- Fiabilidade: ID que descrevem a fiabilidade da operação do sistema;
- Ambiente: ID que ilustram o cumprimento de objectivos ambientais alcançados pelos serviços;
- Organização/pessoal: ID que descrevem a eficiência e a relação entre serviços internos e *outsourcing*;
- Económica: ID que comparam os custos do sistema. Anualmente é realizado um relatório com os resultados dos indicadores, sendo também elaborada uma versão resumida do mesmo para os administradores das entidades gestoras.

Em 2001 foi iniciado o *benchmarking de processo* que, ao contrário do anterior, incide sobre aspectos específicos do sistema (*e.g.*: perdas de água, entupimento de colectores). O aumento de eficiência dos processos em análise é obtido através da identificação das melhores práticas em sistemas semelhantes das entidades que participam no grupo (Stahre & Adamsson, 2004).

2.3.5.3 Sistema do Banco Mundial

Em 1996, verificando a importância de se disponibilizar uma base de dados de indicadores de eficiência, o Banco Mundial promoveu uma iniciativa que permitiu aos

profissionais da água e saneamento interessados reduzir as barreiras através do processo de *benchmarking* (i) acordando um conjunto de indicadores, (ii) utilizando uma definição standard e (iii) um modelo de partilha de resultados. O primeiro produto desta iniciativa foi o IBNET Start-up Kit.

O IBNET – *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* é um projecto que privilegia a partilha da informação de diferentes países (74 países) através de uma rede de *websites* (www.ib-net.org). O IBNET considera um conjunto básico de 12 categorias de indicadores como o mínimo para iniciar o processo de *benchmarking* (Quadro 16). No Quadro 16 apresentam-se os ID relativos a serviços de águas residuais

Quadro 16 Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do Banco Mundial (World Bank, 2006)

CATEGORIAS	INDICADOR PRINCIPAL
A – Cobertura de serviço	Cobertura de serviço – águas residuais
C – Água não facturada	Água não facturada
D – Práticas de medição	Nível de medição
E – Desempenho das redes	Rupturas na rede Obstrução no sistema de esgotos
F – Custos de operação e recursos humanos	Custos operacionais unitários Funcionários /1000 ligações Funcionários/1000 habitantes servidos Relação: custos recursos humanos e custos operacionais Relação custos de energia e custos operacionais Relação custos de <i>outsourcing</i> e custos operacionais
G – Qualidade do serviço	Continuidade de serviço Consumidores com descontinuidade de serviço Água bruta – pelo menos tratamento preliminar
H – Facturação	Proveito unitário Proveito total por população servida/PIB Componente fixa da tarifa para consumidores domésticos Relação tarifa industrial e tarifa doméstica Taxa de ligação Período de facturação Razão de facturação
I – Finanças	Cobertura de custos correntes Taxa de cobertura do serviço da dívida
J – Recursos	Valor do imobilizado

O maior problema do sistema IBNET decorre da falta de um efectivo controlo da qualidade dos dados introduzidos.

2.3.5.4 Sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável

A origem dos indicadores de sustentabilidade à escala global teve origem em 1997 paralelamente à publicação “Os limites do crescimento” pelo grupo de Roma.

**Quadro 17 Sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável
(adaptado de Fabregas, 2006)**

	Indicador	Unidades
Indicadores Ambientais	1.Potência instalada na ETAR por habitante	(kW/hab.)
	2.Energia consumida na ETAR por habitante por ano	(kWh/(hab.ano))
	3.Percentagem de energia consumida na ETAR em relação ao consumo total de energia da população servida	(%)
	4.Percentagem de recuperação de energia a partir de processos de cogeração relativamente à energia total utilizada no tratamento na ETAR	(%)
	5.Productos químicos consumidos na ETAR por habitante por ano	(L/(hab.ano))
	6.Área total ocupada pela ETAR por habitante	(m2/hab.)
	7.Volume de betão utilizado na construção da ETAR por habitante	(m3/hab.)
	8. Percentagem de material reciclado utilizado na construção da ETAR sobre o total de material utilizado na construção	(%)
	9. Percentagem de análises que cumprem a legislação em relação ao total de análises realizadas (n.º de resultados que cumprem a legislação /n.º de resultados totais)	(%)
	10. Volume de gradados, areias e gorduras eliminados na ETAR por habitante por ano	(L/(hab.ano))
	11.Volume de lamas produzidas por habitante por ano	(m3/(hab.ano))
	12. Volume de água tratada reutilizada em relação ao volume total de água residual a tratar	(%)
	13. Volume de gases produzidos no tratamento das águas residuais que intervêm no efeito estufa por habitante por ano	(m3/(hab.ano))
	14. Biodiversidade de fauna	(n.º de espécies de fauna distintas/m2)
	15. Biodiversidade de flora	(n.º de espécies de flora distintas/m2)
Indicadores Económicos	1.Custos de construção civil da ETAR por habitante	(€/hab.)
	2.Custos do equipamento electromecânico e instalações eléctricas por habitante	(€/hab.)
	3. Custos do terreno ocupado por habitante	(€/hab.)
	4. Custos de investimento inicial por habitante por ano	(€/hab.)
	5. Custos de exploração e manutenção por habitante por ano	(€/hab.ano))
Indicadores Socioculturais	1.Odores	(odores/m³ar)
	2. Ruído (dB)	(dB)
	3.Qualidade do serviço (boa, média, má)	
	4. Impacto ambiental da ETAR em termos paisagísticos (alto, médio, baixo)	
	5. Turvação do efluente de saída da ETAR	UNT
	6.Percentagem da população servida que aceita positivamente a implantação e o tipo de tratamento da ETAR relativamente ao total de população servida	(%)
	7. Percentagem de comportamentos sustentáveis da população servida	(%)
	8. Número de habitantes da população servida que utilizam a ETAR ou as suas imediações (raio até 500 metros) como parque recreativos, para actividades de ócio e passeios sobre o total de população servida	(%)
	10. Número de projectos de estudantes que estudam o sistema de tratamento da ETAR por ano	(n.º de projectos/ano)

Fábregas (2006) constitui um exemplo desta aplicação, propondo 30 ID em três campos: **Indicadores Ambientais, Económicos e Socioculturais** (Quadro 17).

2.3.5.5 Sistema da Universidade Nova de Lisboa

A metodologia de avaliação do funcionamento de estações de tratamento de águas residuais urbanas desenvolvida pela UNL (1998) propõe a construção de um índice global de avaliação, resultante do somatório ponderado de quatro subíndices (Figura 4): - **subíndice de qualidade do efluente final ($I_{Q_{EF}}$), de qualidade de lamas (I_{Q_L}), de eficiência do tratamento primário ($I_{E_{TP}}$) e de eficiência do tratamento secundário ($I_{E_{TS}}$), sendo estes avaliados através da definição de classes de qualidade às quais corresponde um valor numérico, como a seguir se indica: Mau-0, Insuficiente -1, Razoável-2 e Bom-3.**

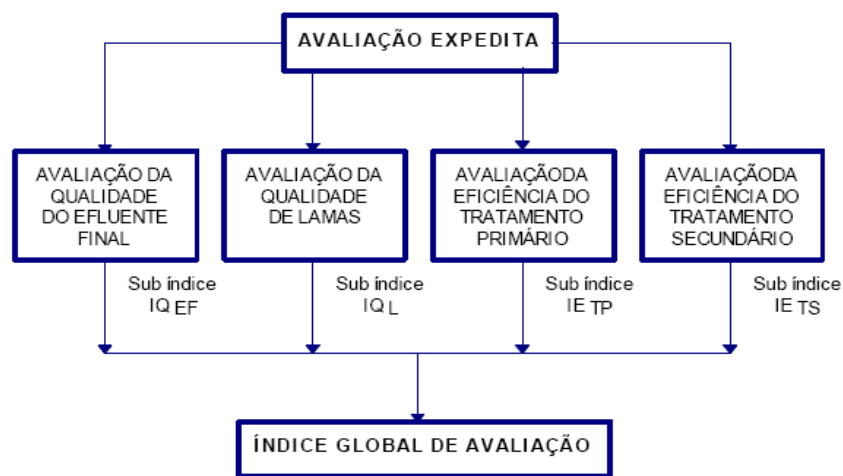


Figura 4 Esquema do processo de avaliação expedita do funcionamento de uma estação de tratamento de águas residuais urbanas (UNL, 1998)

Construção dos subíndices:

Para a determinação dos subíndices é proposto um conjunto de parâmetros de fácil determinação e relevantes na determinação da qualidade. Para o $I_{Q_{EF}}$ faz-se corresponder esses parâmetros a um valor máximo admissível, com base no Decreto-Lei 74/90, para o I_{Q_L} apresentam-se dois parâmetros, SST e SSV/SST, considerados relevantes em termos de estabilização de lamas, admitindo-se valores máximos admissíveis. Para o $I_{E_{TP}}$ e $I_{E_{TS}}$ admite-se um valor de eficiência média admissível para cada parâmetro.

Aos resultados dos subíndices aplicam-se classificações numéricas de 0 a 3, correspondendo o valor 0 à situação mais desfavorável. O índice global de qualidade é obtido através do somatório ponderado dos quatro subíndices, admitindo os seguintes

pesos: 5 ao $I_{Q_{EF}}$; 2 ao I_{Q_L} ; 1 ao $I_{E_{TP}}$ e 2 ao $I_{E_{TS}}$. Na Figura 5 reproduz-se o esquema para o cálculo do índice global.

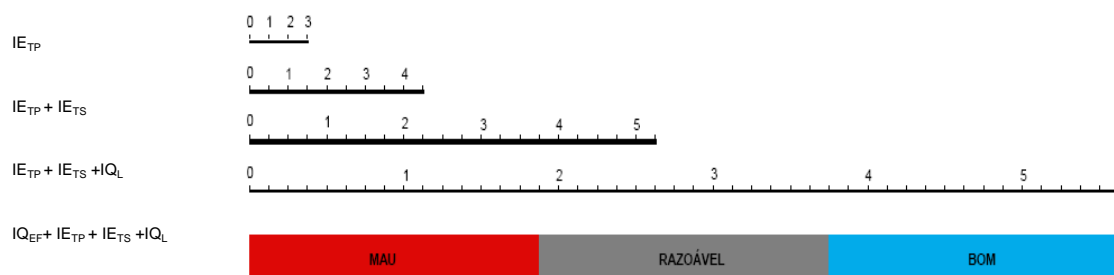


Figura 5 Avaliação expedita de funcionamento de ETAR urbana (UNL, 1998)

2.3.5.6 Sistema da *International Water Association*

Em Julho de 2000, a IWA produziu o Manual de Melhores Práticas, “*Performance Indicators for Water Supply Service*” (Alegre *et al.*, 2000). Com base nesta publicação foram realizados testes de campo em 70 entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água, dos quais surgiram um conjunto de sugestões, ajustes e recomendações à abordagem proposta. Esta abordagem foi posteriormente alargada aos serviços de águas residuais (Matos *et al.*, 2003).

O manual para serviços de águas residuais produzido pela IWA apresenta uma abordagem para a especificação, segregação e utilização dos ID comum à do manual para água de consumo, embora com diferentes indicadores específicos, usufruindo já das experiências de campo resultantes da aplicação do sistema em serviços de abastecimento de água (Matos *et al.*, 2003). O sistema de ID para águas residuais está estruturado em seis categorias de desempenho, tal como ilustrado no Quadro 18: **ambientais, recursos humanos, estruturais, operacionais, qualidade de serviço e económico-financeiros.**

Quadro 18 Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da IWA para serviços de águas residuais (adaptado de Matos *et al.*, 2003)

Domínio	Descrição	N.º ID
ID Ambientais (wEn)	Avaliam o desempenho da entidade gestora no que se refere aos impactos ambientais, incluindo a conformidade com normas de descarga de água residual, as descargas de excedentes de caudal e o destino final dos resíduos sólidos (lamas, sedimentos e gradados).	15
ID de Recursos humanos (wPe)	Avaliam a eficácia do pessoal da entidade gestora de águas residuais, considerando funções, actividades e qualificações. Considera-se, também formação profissional, saúde e segurança, e absentismo. A correcta interpretação destes ID passa pela referência cruzada com dados externos.	25
ID infra-estruturais (wPh)	Avaliam se as infra-estruturas de drenagem e de tratamento da água residual dispõem de capacidade suficiente (“encaixe”) para operarem correctamente e em segurança, garantindo que os seus objectivos de serviço podem ser atingidos. É considerada a utilização de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, bem como o grau de sobrecarga dos colectores. Também se inclui a utilização da capacidade de bombeamento, a sua automação e grau de controlo.	12
ID Operacionais (wOp)	Avaliam o desempenho da entidade gestora no que se refere às actividades de operação e de manutenção. As áreas a serem avaliadas incluem os colectores, as instalações auxiliares, a inspecção e manutenção das bombas e estações elevatórias, a calibração do equipamento, a inspecção do equipamento eléctrico, o consumo de energia, a reabilitação de colectores e de bombas, caudais entrados/infiltrações/exfiltrações, as falhas, a monitorização da qualidade da água residual e das lamas, a disponibilidade de veículos e o equipamento de segurança.	56
ID de Qualidade de serviço (wQs)	Medem o nível do serviço prestado aos clientes. Cobrem as áreas de nível de cobertura do serviço, inundações e relacionamento com os clientes, (<i>e.g.</i> , resposta a solicitações, danos a terceiros e perturbações do tráfego causadas pelas actividades da entidade gestora).	29
ID Económico-financeiros (wFi)	Abordam a eficácia e eficiência do uso dos recursos financeiros. Adicionalmente, fornecem os meios para interpretação da gestão do negócio, indicando à empresa o seu comportamento financeiro e a sua capacidade de expansão. Como unidade de referência, é utilizado o dólar dos EUA de forma a facilitar comparações a nível internacional. Estão excluídos indicadores sobre proveitos, custos, composição de custos correntes por tipo de custo, por função principal e por actividade técnica, composição dos custos de capital, investimento e eficiência, alavancagem (poder de comprar um activo sem ter dinheiro em caixa), liquidez e rendabilidade.	45

2.3.5.7 Sistema da *American Water Works Association/ Water Environment Federation*

A *American Water Works Association* (AWWA) e a *Water Environment Federation* promoveram um programa voluntário de *benchmarking*, denominado QualServe, com o objectivo de seleccionar e definir entre 5 e 20 indicadores de desempenho de entidades gestoras de sistemas de água (Crotty, 2003; Silva, 2007). Os indicadores de desempenho foram definidos em cada uma das seguintes categorias: Desenvolvimento organizacional, Relação com o consumidor, Operações de gestão e Operações dos sistemas (Quadro 19). Os resultados da informação de base e do cálculo anual destes indicadores constam, de forma anónima, de um relatório divulgado apenas entre os participantes (Crotty, 2003; Vieira *et al.*, 2006). Os resultados foram utilizados para desenvolver medidas estatísticas que permitem às entidades gestoras efectuar uma

comparação do seu desempenho com as normas da indústria (Crotty, 2003; Silva, 2007). Por analogia com os sistemas de tratamento de águas muitos dos indicadores propostos e existentes para os serviços de água potável podem ser aplicados na avaliação de desempenho das ETAR, com as respectivas adaptações e restrições (Quadro 19).

Quadro 19 Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da AWWA/WEF (Crotty, 2003)

CATEGORIAS	INDICADOR
Desenvolvimento organizacional	Índice de melhores práticas organizacionais
	Dias perdidos devido a acidentes de trabalho por empregado
	Horas de formação por empregado
	Clientes por empregado
	Volume de água de consumo distribuída por empregado
	Volume de água residual processada por empregado
Relação com o consumidor	Reclamações relacionadas com o serviço
	Reclamações relacionadas com aspectos técnicos
	Interrupções no abastecimento de água
	Custo do serviço de água para consumidores domésticos
	- Factura mensal de serviço de água
	- Factura mensal média de consumo de água
Operações de Gestão	Custo de gestão do contrato de um cliente
	Rigor da facturação
	Taxa de cobertura do serviço de dívida
	Taxa de renovação de infra-estruturas
	Taxa de substituição de infra-estruturas
Operações dos sistemas	Rendibilidade do activo
	Taxa de conformidade de qualidade de água para consumo
	Perdas de água no sistema de distribuição
	Rupturas no sistema de distribuição de água
	Custos de operação e manutenção
	Custos de manutenção planeada

2.3.5.8 Sistema do *Office of Water Services*

A Ofwat (Office of Water Services), regulador de água e águas residuais de Inglaterra e do País de Gales, tem utilizado o *benchmarking* como instrumento efectivo de regulação das várias companhias. Com efeito, criou um sistema de avaliação de desempenho que, de 5 em 5 anos, conforme os resultados da avaliação de desempenho de cada entidade gestora de águas residuais, autoriza a alteração das tarifas, recompensando as entidades com melhor desempenho (Ofwat, 2005).

As companhias de águas e águas residuais são avaliadas por um conjunto de indicadores agrupados em cinco categorias: serviço ao consumidor; qualidade e ambiente, distribuição de água e perdas (Crotty, 2003; Silva, 2007).

O OFWAT classifica estes indicadores e publica os resultados, promovendo a melhoria da eficiência das entidades.

Utiliza a eficiência relativa entre entidades gestoras de serviços como medida para determinar política futuras de gestão de investimentos em infra-estruturas

2.3.5.9 Sistema do Instituto Regulador de Águas e Resíduos

A nível nacional, a entidade reguladora do sector – Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) – tem como principal preocupação a protecção dos interesses dos utilizadores, através da promoção da qualidade de serviço prestado e da garantia do equilíbrio dos tarifários aplicados. O IRAR assenta a sua avaliação de desempenho de serviços de águas residuais num sistema de 20 indicadores derivados do sistema da International Water Association (IWA) (Melo Baptista *et al.*, 2006), distribuídos pelas três categorias e seis sub-categorias apresentadas no Quadro 20.

**Quadro 20 Indicadores de desempenho para saneamento de águas residuais urbanas
(Melo Baptista *et al.*, 2006)**

SUBCATEGORIAS	CÓDIGO	INDICADOR
Defesa dos interesses dos utilizadores		
Acessibilidade e qualidade de serviço ao utilizador	AR01	Cobertura do serviço (%)
	AR 02	Preço médio do serviço (€/m ³)
Qualidade do serviço prestado aos utilizadores	AR 03	Ocorrência de inundações (m ² /(100km colec.ano) ou n.º/(100 km colec.ano))
	AR 04	Respostas a reclamações escritas (%)
Sustentabilidade da entidade gestora		
Sustentabilidade económico-financeira da entidade gestora	AR 05	Rácio de cobertura dos custos operacionais (-)
	AR 06	Custos operacionais unitários (€/m ³)
	AR 07	Rácio de solvabilidade (-)
Sustentabilidade infra-estrutural da entidade gestora	AR 08	Utilização da estação de tratamento (%)
	AR 09	Tratamento das águas residuais recolhidas (%)
	AR 10	Utilização de bombeamento nas águas residuais na rede de drenagem (%)
	AR 11	Reabilitação de colectores (%/ano)
	AR 12	Reabilitação de ramais de ligação (%/ano)
Sustentabilidade operacional da entidade gestora	AR 13	Obstrução de colectores (n.º/(100km.ano))
	AR 14	Falhas em grupos electrobomba (horas/(grupo electrobomba.ano))
	AR 15	Colapsos estruturais em colectores (n.º/(100km.ano))
Sustentabilidade em recursos humanos da entidade gestora	AR 16	Recursos humanos (n.º/10 ⁶ m ³ /ano ou n.º/(100km.ano))
Sustentabilidade ambiental		
	AR 17	Análises de águas residuais realizadas (%)
	AR 18	Cumprimentos dos parâmetros de descarga (%)
	AR 19	Utilização dos recursos energéticos (kwh/m ³)
	AR 20	Destino final de lamas tratadas (%)

Na interpretação e comparação dos ID de desempenho de cada entidade gestora, o IRAR utiliza factores de contexto, cabendo a cada entidade gestora identificar o(s) mais

relevante(s) para o seu caso específico. A entidade gestora poderá ainda identificar, para qualquer indicador, um novo factor de contexto não contemplado nesta lista, desde que o considere determinante para a interpretação a efectuar pelo IRAR.

2.3.5.10 Sistema de Quadros *et al.*

Quadros *et al.*, (2008) desenvolveram um sistema de avaliação de desempenho de ETAR urbanas ^(a) que inclui uma vertente global e operacional à semelhança do sistema desenvolvido por Vieira *et al.* (2007; 2008a; 2008b; 2009) para estações de tratamento de água para consumo humano (Quadros *et al.*, 2008). A vertente global baseia-se em indicadores de desempenho (ID) e avalia o desempenho da ETAR como um todo, não só em termos de eficácia do tratamento, mas também da eficiência e da utilização sustentável dos recursos envolvidos. A vertente operacional baseia-se em índices de desempenho e analisa em pormenor a qualidade da água residual tratada e sua relação com as eficiências parciais das várias etapas do tratamento e com o funcionamento dos órgãos envolvidos, de forma a permitir identificar medidas de optimização e/ou de actualização tecnológica da ETAR (Quadros *et al.*, 2008).

O sistema de avaliação de desempenho proposto assumiu que o objectivo principal das entidades gestoras de ETAR consistia em garantir o tratamento eficaz da água residual bruta, de forma a cumprir os parâmetros de descarga estabelecidos, utilizando os recursos (tecnológicos, materiais, energéticos, recursos humanos e financeiros) disponíveis de uma forma eficiente e causando o menor impacto ambiental possível. A partir deste objectivo global foram estabelecidos objectivos específicos (Quadros *et al.*, 2008):

- proteger a saúde pública e os ecossistemas,
- garantir a eficiência e a fiabilidade do tratamento,
- promover a utilização eficiente de recursos como a água, energia, reagentes e outros materiais;
- minimizar os acidentes com produtos;
- optimizar os recursos humanos;
- optimizar os recursos financeiros,
- apoiar a tomada de decisões de planeamento a médio e curto prazo visando a sustentabilidade da instalação.

(a) No âmbito do projecto LNEC/Universidade dos Açores - POCI/ECM/57909/2004 (2005-2009) *Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Água e de Estações de Tratamento de Águas Residuais.*

Em face dos objectivos definidos Quadros *et al.*, (2008) estabeleceram oito domínios de avaliação de desempenho de ETAR urbanas: *Qualidade da água residual tratada, Eficiência e fiabilidade, Utilização de água, energia e materiais, Gestão de subprodutos, Segurança, Recursos humanos, Recursos financeiros e Apoio ao planeamento e projecto*. Para cada um dos domínios de avaliação foram identificados os aspectos relevantes a avaliar e para cada um destes aspectos foram formulados os indicadores de desempenho.

2.4 Avaliação do risco e metodologia HACCP

Nos últimos anos tem-se vindo a assistir a uma preocupação crescente, a nível mundial, no sentido de se considerar que os sistemas de tratamento de água, além de satisfazerem padrões de qualidade estabelecidos legalmente, devem apresentar níveis de desempenho que mereçam a confiança dos utilizadores. No entanto, os trabalhos de aplicação prática têm-se restringido essencialmente à água para consumo humano, começando muito tenuamente a surgir planos de segurança para águas residuais na Austrália, aplicando a metodologia HACCP.

HACCP é um processo preventivo cuja metodologia consiste em identificar os perigos e em definir as medidas de controlo apropriadas. É portanto, uma forma de controlo da qualidade do produto baseada na prevenção e não unicamente em testes aos resultados finais.

Trabalhos como o de Van Oorschot *et al.*, (2007) demonstram que a metodologia de avaliação do risco do HACCP é uma ferramenta de gestão e um mecanismo de segurança válido e com potencialidade no tratamento de águas residuais, que responde aos requisitos de qualidade impostos pela autoridade ambiental para descarga em cursos de água, reutilização e valorização de lamas biológicas. O Quadro 21 apresenta um exemplo de matriz de controlo de uma ETAR segundo a fonte e etapa do tratamento (Van Oorschot *et al.*, 2007).

Quadro 21 Matriz de controlo de risco de uma ETAR (Van Oorschot *et al.*, 2007)

Fase do processo	Fonte/causa	Perigo	Medida preventiva de controlo
Zona de entrada de afluente	Descargas ilegais	CBO ₅ , SST, pH, metais, compostos orgânicos e outros parâmetros	Leis, regulamento de descarga de água residual na rede de drenagem.
Câmara de grades	Colmatação das grades	Gradados.	Inspeção regular às grades, medição on-line da do nível a montante a e a jusante da grade.
Sedimentação primária	Falha da ponte raspadora	SST e possibilidade de CBO ₅	Inspeção e manutenção regular, monitorização dos SST no efluente, níveis de alarme de manto de lamas.
Tanque de arejamento	Falha mecânica de alguns sopradores reduzindo a capacidade de arejamento do tanque	CBO ₅ e amónia	Manutenção preventiva e monitorização <i>on-line</i> dos sopradores e oxigénio dissolvido.
Sedimentação secundária	Falha da clarificação, <i>ex.</i> 1) Devido a desnitrificação no decantador; 2) Falha do raspador.	SST	1) Monitorizar os nitratos, controlar as taxas de recirculação. 2) Monitorização <i>on-line</i> o funcionamento da ponte raspadora e envio de alarme aos operadores.
Desinfecção	Falha da cloragem. 1) Sobredosagem (falha do sistema de controlo de feedback); 2) Falha no fornecimento de cloro; 3) Dosagem incorrecta devido a falha do medidor de caudal ou erro de set-point.	<i>E. coli</i>	Inspeção regular e calibração regular. Adequado quantidade armazenada e forma alternativa de fornecimento do produto.

2.4.1 Definição de perigo e de risco

O aspecto mais importante na reutilização de água é garantir que a utilização de água residual tratada não representa um risco inaceitável. Os perigos podem classificar-se em biológicos e químicos. Os perigos biológicos estão relacionados com bactérias, vírus, parasitas, fungos e/ou toxinas. A água residual tratada deve atingir um nível microbiológico seguro que permita a sua utilização. Contudo, estabelecer um nível microbiológico para cada tipo de reutilização é, segundo Strauss (2000), uma tarefa muito difícil devido à lacuna de estudos epidemiológicos nesta área. Os compostos químicos das águas residuais tratadas também podem constituir um perigo para os seres humanos e ecossistemas. Estes compostos podem já existir na água residual bruta (doméstica ou industrial) ou podem ser adicionados ou derivarem do processo de tratamento. Nas águas residuais podem ser encontrados compostos tóxicos capazes de gerar intoxicações agudas, No entanto, esses compostos encontram-se normalmente em pequenas concentrações.

A identificação da potencial fonte, causa do perigo e risco associado a cada passo do diagrama de processo é uma das fases-chave da análise do risco. No entanto, existem na literatura várias definições de risco e perigo e nem sempre a separação dos dois

conceitos é clara, variando consoante o objectivo do estudo e/ou o objecto de análise. A definição de perigo varia de acordo com a necessidade e a experiência vivenciada pelo proponente (Dias, 2003). Por exemplo, o perigo pode ser definido como a probabilidade de existência de prejuízos, ferimentos ou danos ou de expor-se a eles. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define perigo como a propriedade intrínseca de um agente ou situação com potencial para causar efeitos adversos quando um organismo, sistema ou (sub) população são expostas a esse agente, risco é definido como o processo de controlo de situações em que um, sistema ou (sub) população podem ser expostos a uma situação de perigo (WHO, 2004).

Nesta dissertação adoptaram-se as definições de perigo e risco desenvolvidas pela *Queensland Government EPA (2005)* especificamente para a utilização de água residual tratada, assim como os diferentes intervenientes (solo, rega, planta/cultura, jogadores, trabalhadores):

Perigo: agente biológico, químico, físico ou radiológico com o potencial para causar danos às pessoas, animais, culturas/plantas, vida aquática, solos e ambiente em geral.

Risco: pode ser calculado através da combinação de uma probabilidade de ocorrência e severidade de um determinado perigo.

Risco está sempre associado a um perigo e resulta do cruzamento entre a probabilidade de ocorrência e a consequência/severidade do perigo.

2.4.2 Avaliação do risco

Para que se possa avaliar o risco é necessário definir categorias de probabilidade de ocorrência e categorias de consequência/severidade e aplicá-las a cada perigo encontrado. Não existe uma definição universalmente aceite para categorias de probabilidade de ocorrência e de consequência/severidade.

A proposta das categorias de severidade e probabilidade de ocorrência é uma tarefa subjectiva e intrínseca a cada processo de avaliação de risco. Assim, avaliações com objectivos diferentes podem apresentar categorias distintas para frequência e consequência, que podem variar desde o número de categorias até ao que abrange cada uma delas. Apresenta-se nos Quadros 22 e 23 as categorias de probabilidade de ocorrência e consequência adoptadas pela *Queensland Government EPA (2005)*, para uma análise preliminar do risco associado a um processo/instalação de reutilização de água residual a partir de água residual tratada. O passo seguinte na avaliação do risco é

o cruzamento da probabilidade de ocorrência com a consequência de cada perigo, ou seja a elaboração da matriz de análise do risco (Quadro 24).

No Quadro 25 apresenta-se outro modelo de matriz de análise do risco proposta por Betâmio de Almeida (2006).

Quadro 22 Categorias de impacto de perigos associados à utilização de água residual proposta pela *Queensland Government EPA (2005)*

Nível	Descritor	Saúde humana	Ambiente
1	Insignificante	Doença humana não detectável.	Impacto ambiental não detectável.
2	Menor	Curto prazo, baixo nível de doença, que afecta poucas pessoas.	Efeitos localizados, de curto prazo e impacto ambiental reversível.
3	Moderado	Curto prazo, baixo nível de doença, que afecta muitas pessoas ou doença mais grave que afecta poucas pessoas.	Efeito localizado, impacto ambiental que requer remediação, com recuperação a médio prazo.
4	Maior	Doença grave que afecta muitas pessoas.	Severo impacto sobre o ecossistema, exigindo reparação, com reparação a longo prazo.
5	Catastrófico	Morte de uma ou mais pessoas.	Impacto grave e irreversível no ecossistema, perda de espécies ameaçadas de extinção ou de populações.

Quadro 23 Categorias de probabilidade de ocorrência de perigos associados à utilização de água residual proposta pela *Queensland Government EPA (2005)*

Nível	Descritor	Descrição
A	Raro	Pode ocorrer só em situações excepcionais (<i>e. g.</i> uma vez em 100 anos)
B	Improvável	Pode ocorrer algum vez (<i>e. g.</i> uma vez em 20 anos)
C	Moderado	Pode ocorrer algum vez (<i>e. g.</i> uma vez em 5-10 anos)
D	Provável	Provavelmente irá ocorrer na maioria dos casos (<i>e. g.</i> uma vez em 1-5 anos)
E	Quase certo	Espera-se que a ocorra, na maioria das circunstâncias (<i>e. g.</i> várias vezes num ano)

Quadro 24 Matriz qualitativa da análise do risco proposta pela *Queensland Government EPA (2005)*

Frequência/ probabilidade de ocorrência	Impacto				
	1 Insignificante	2 Menor	3 Moderado	4 Maior	5 Catastrófico
A (raro)	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Alto
B (Improvável)	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Alto
C (Moderado)	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
D (Provável)	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	Muito alto
E (Quase certo)	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	Extremo

Quadro 25 Matriz qualitativa da análise do risco proposta por Betâmio de Almeida (2006)

Probabilidade	Consequência				
	Quase Nula	Marginal	Séria	Crítica	Catastrófica
Frequente (100 ocorrências/unid. tempo)	Indesejável	Indesejável Deve ser evitado Controlo necessário	Inaceitável	Inaceitável	Inaceitável Eliminado Transferido
Provável (10 ocorrências/unid. tempo)	Aceitável Se controlado	-	Indesejável	-	-
Ocasional (1 ocorrências/unid. tempo)	-	Aceitável	-	Indesejável	-
Remota (1 ocorrências/10 unid. tempo)	Desprezível	-	Aceitável	-	Indesejável
Improvável (1 ocorrências/100 unid. tempo)	-	Desprezível Não ação	-	Aceitável	-

2.4.3 Etapas do plano HACCP

O processo Análise dos Pontos Críticos de Controlo do Perigo (Hazard Analysis Critical Control Points – HACCP) foi desenhado para esquematizar a análise do risco e estabelecer medidas de controlo.

O plano HACCP tem **12 passos** (conforme definido no Programa *Codex Alimentarius* da FAO/WHO (1999) **compreendendo 5 pré-requisitos e 7 princípios**.

Os **cinco pré-requisitos** são (FAO/WHO, 1999):

- Criar a equipa;
- Descrever o produto;
- Identificar o uso futuro do produto;
- Construir o diagrama do processo;
- Confirmar o diagrama do processo.

Os **sete princípios do HACCP** são resumidamente (FAO/WHO, 1999):

Princípio 1: Identificar cada perigo e calcular o risco a este associado (pelo produto da probabilidade de ocorrência pela severidade).

Princípio 2: Identificar os passos do processo e os procedimentos operacionais que possam ser controlados para minimizar os riscos, isto é, os pontos críticos de controlo (PCC). Os PCC são importantes pontos de controlo operacional. Além dos PCC, a metodologia HACCP considera os pontos de controlo da qualidade (PCQ) que tal como os PCC são importantes etapas do processo, mas em que os perigos têm uma capacidade limitada de ser monitorizados ou corrigidos em tempo útil.

Os PCC são identificados através de uma metodologia padrão que compreende a uma série de questões apresentadas na árvore de decisão do *Codex Alimentarius* (Figura 6).

Princípio 3: Estabelecer limites críticos para cada PCC, que devem ser estabelecidos de forma a assegurar que cada PCC está sob controlo. Limite crítico é o valor que separa um risco aceitável de um risco não aceitável.

Princípio 4: Estabelecer um sistema de monitorização e controlo dos PCC.

Princípio 5: Estabelecer a “Acção correctiva” a ser tomada quando os valores de PCC estão fora dos limites críticos de controlo (ou fora de controlo).

Princípio 6: Estabelecer procedimentos de verificação e validação, incluindo testes suplementares, para assegurar que o sistema HACCP é eficaz.

Princípio 7: Elaborar documentação relativa a todos os processos e registos de forma a satisfazer os princípios anteriormente descritos.

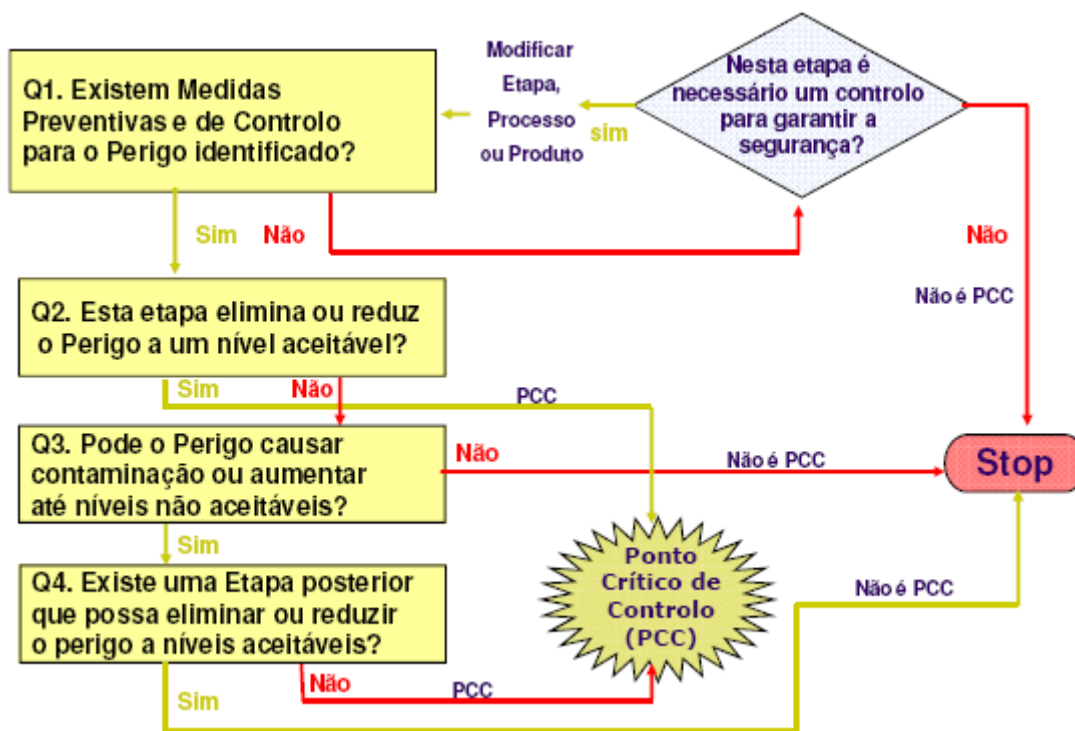


Figura 6 Árvore de decisão do Codex Alimentarius (Adaptado de FAO/WHO, 1999)

3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.1 Entrada em funcionamento e área servida pela ETAR

A ETAR de Almargem iniciou o seu funcionamento em Abril de 2007. Com a sua construção e entrada em funcionamento foi possível aumentar a área anteriormente servida no conselho de Tavira e desactivar as ETAR da Luz de Tavira, Pedras Del Rei I e II, Santa Luzia, Cabanas e a fossa séptica de Santo Estêvão.

O caudal afluente à ETAR de Almargem é conduzido através de um sistema interceptor elevatório com dez estações elevatórias com 26,90 km de extensão, dos quais 14,34 km correspondem a condutas elevatórias e 12,56 km a colectores gravíticos.

3.2 Bases de dimensionamento

O Quadro 26 resume as bases de dimensionamento da ETAR de Almargem.

Quadro 26 Bases de dimensionamento da ETAR de Almargem (AdA, 2006)

		Unidades	Ano arranque (2007)		ano HP (2025)		
			EB	EA	EB	EA	
POPULAÇÃO		Total	hab.eq.	8475	21217	23425	48152
ÁGUA RESIDUAL BRUTA	Caudal médio	Doméstico	m3/d	1307	3282	4127	8450
		Infiltração	m3/d	534	1294	1876	3711
		Total	m3/d	1841	4576	6003	12161
			m3/h	77	191	250	507
	L/s		21	53	69	141	
	Caudal de ponta	L/s	42	93	116	224	
		m3/h	151	335	419	805	
	CBO ₅	Concentração	mg/L	276	278	234	238
		Carga média	kg/d	509	1273	1406	2889
	SST	Concentração	mg/L	414	417	351	356
		Carga Média	kg/d	763	1910	2108	4334
	Azoto	Concentração	mg/L	69	69	58	59
		Carga média	kg/d	127	318	351	722
	Fósforo	Concentração	mg/L	18	19	16	16
Carga média		kg/d	34	85	94	193	
Coliformes Fecais		NMP/100 mL	2,30 x 10⁷	2,32 x 10⁷	1,95 x 10⁷	1,98 x 10⁷	
AFLUENTE AO TRATAMENTO BIOLÓGICO	Caudal médio	m3/d	2011	5001	6472	13124	
		m3/h	84	208	270	547	
	CBO ₅	Concentração	mg/L	272	273	233	236
		Carga média	kg/d	546	1366	1508	3099
	SST	Concentração	mg/L	420	423	361	366
		Carga média	kg/d	845	2115	2334	4799
	Azoto	Concentração	mg/L	64	64	55	55
		Carga média	kg/d	128	320	353	727

	Fósforo	Concentração	mg/L	18	18	15,5	15,7
		Carga média	kg/d	36	91	101	206
	Coliformes Fecais		NMP/100 mL	2,30 x 10⁷	2,32 x 10⁷	1,95 x 10⁷	1,98 x 10⁷
EFLUENTE TRATADO	CBO5		mg/L	≤ 25			
	CQO		mg/L	≤ 125			
	SST		mg/L	≤ 35			
	Azoto		mg/L	≤ 15			
	Coliformes Fecais		NMP/100 mL	≤ 2000			

3.3 Licença de descarga

A licença de descarga da ETAR de Almargem (N.º 20-AR/2007) contempla os parâmetros e valores apresentados no Quadro 27.

Quadro 27 Condições de descarga das águas residuais estabelecidos na licença de descarga

Parâmetro	Valor Limite de Emissão			Legislação aplicável
	Até 04/07/2008		A partir de 04/07/2008	
	Percentagem mínima de remoção	Concentração	Concentração	
CBO ₅	70%		25 mg/l O ₂	DL n.º 152/97, de 19/06
CQO	75%		125 mg/l O ₂	DL n.º 152/97, de 19/06
SST	90%		35 mg/l	DL n.º 152/97, de 19/06
Coliformes Fecais	—	2 000NMP/100mL	2 000NMP/100mL	DL n.º 236/98, de 01/08

3.4 Localização e enquadramento geográfico

A ETAR de Almargem localiza-se junto à margem esquerda da Ribeira de Almargem, em Tavira, ocupando uma área total de 2,1 ha. O efluente tratado é descarregado na Ribeira de Almargem, nas proximidades da zona lagunar da Ria Formosa (Figura 7).

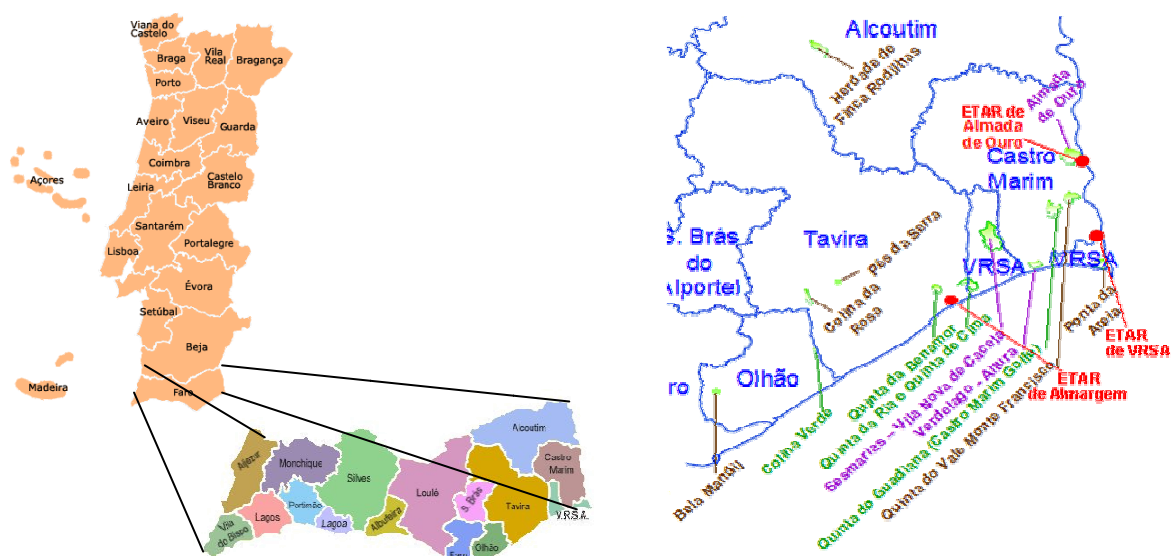


Figura 7 Localização geográfica da ETAR de Almargem

3.5 Diagrama Simplificado

A ETAR é constituída por duas linhas de tratamento para a fase líquida, duas para a fases sólida e uma para o tratamento de odores constituídas por (Figura 8),:

- Tratamento preliminar realizado em órgão compacto (gradagem/tamisação, desarenamento e desengorduramento), em duas linhas independentes (Quadro 28);
- Tratamento biológico em sistema de lamas activadas (com selectores biológicos), em regime de baixa carga, efectuado em reactores do tipo vala de oxidação e decantação secundária. Este tratamento biológico é realizado em duas linhas independentes (Quadro 29 e 30);
- Desinfecção final do efluente por radiação ultravioleta (Quadro 31);
- AFINAÇÃO do efluente a reutilizar através de radiação ultravioleta e filtração (Quadro 32);
- Espessamento mecânico das lamas e desidratação mecânica por centrifugação (Quadro 33);
- Desodorização do ar contaminado por biofiltração;

Na Figura 8 indicam-se também os pontos com instrumentação em linha.

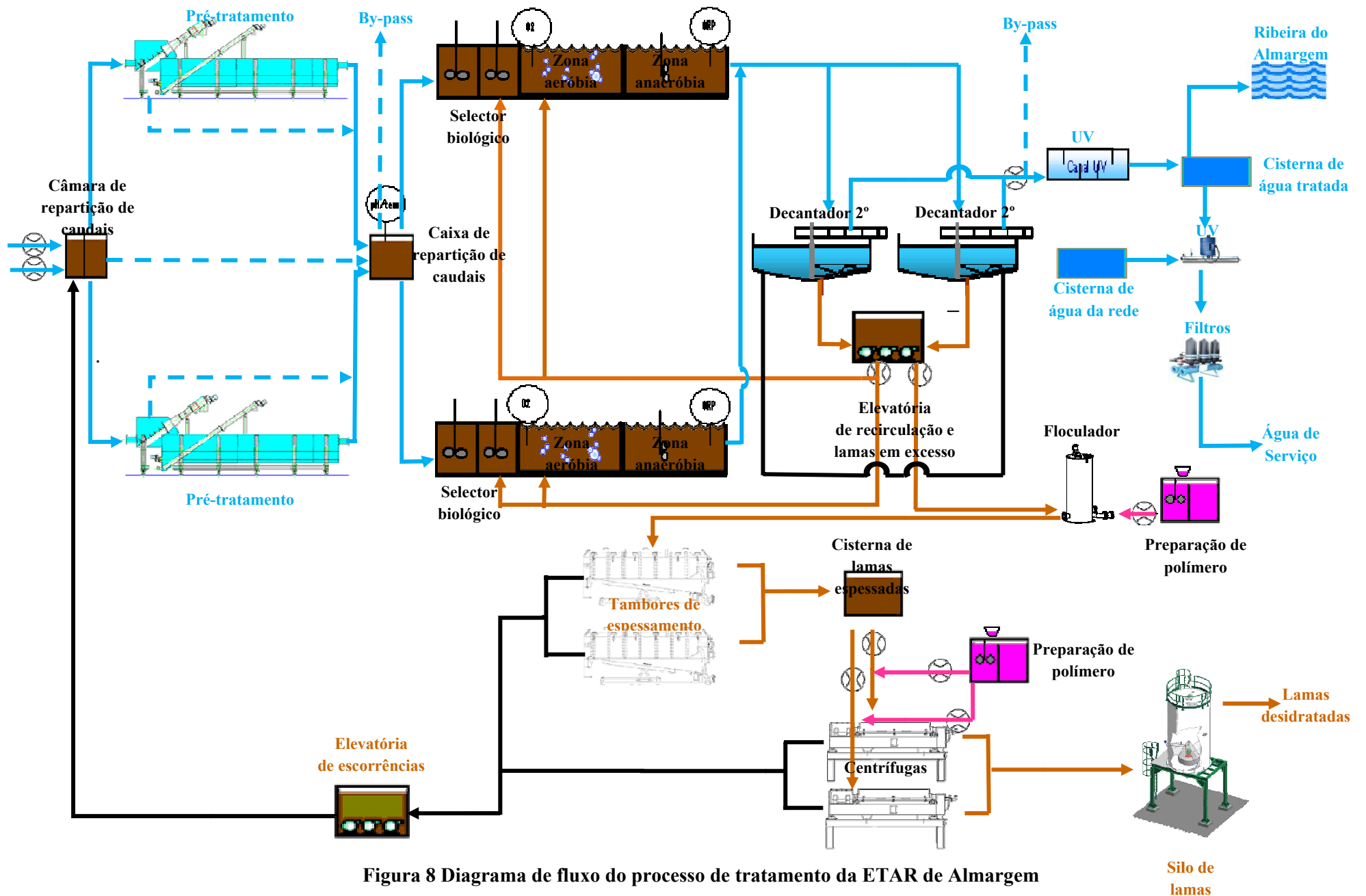


Figura 8 Diagrama de fluxo do processo de tratamento da ETAR de Almagem

3.6 Linha Líquida

3.6.1 Medição de caudal afluente à ETAR e by-pass

A água residual bruta chega à ETAR através de duas condutas elevatórias de escoamento em pressão (DN560 e DN250) correspondentes à EE7 (Tavira) e EE8 (Cabanas). A cada uma destas condutas está associado um medidor de caudal electromagnético (Figura 9) instalado a montante do pré-tratamento, numa caixa com interruptor de nível para detecção de inundações.

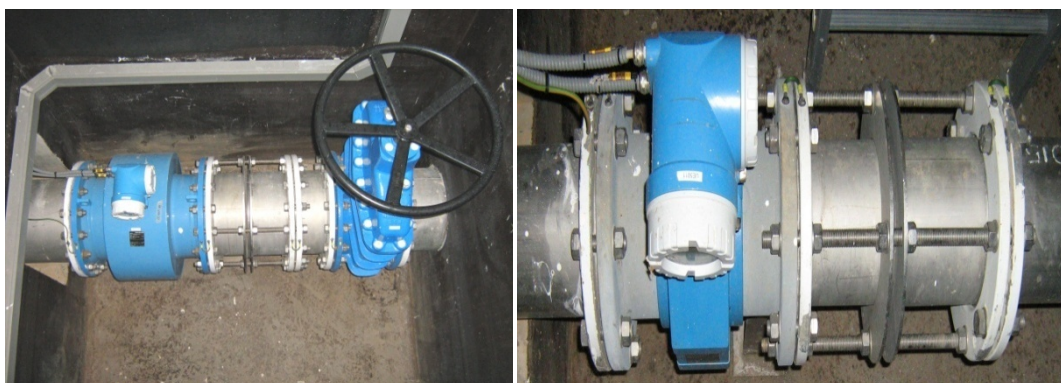


Figura 9 Caudalímetros a montante do pré-tratamento

Estas condutas descarregam o afluente na câmara de repartição de caudal onde dois descarregadores de superfície independentes repartem o caudal a duas linhas de tratamento. Nesta câmara existe também um descarregador de emergência regulável, que permite a descarga automática para *by-pass* ao pré-tratamento o caudal em excesso relativamente ao caudal de ponta dos equipamentos do pré-tratamento.

Também é possível desviar todo o caudal para *by-pass* ao pré-tratamento fechando as comportas de entrada aos equipamentos.

3.6.2 Pré-tratamento

O Pré-tratamento da ETAR de Almargem é constituído por dois equipamentos compactos onde se realizam as operações de desbaste de finos, remoção de areias e gorduras (Figura 10 e 11).

Cada unidade do pré-tratamento compacto está dimensionada para um caudal ponta de 150 L/s e é composta por um tanque de forma paralelepipedica, construída em aço inoxidável onde estão inseridos os 3 sistemas de tamisação/compactação de gradados, remoção de areias e remoção de gorduras (Figura 10 e 11).

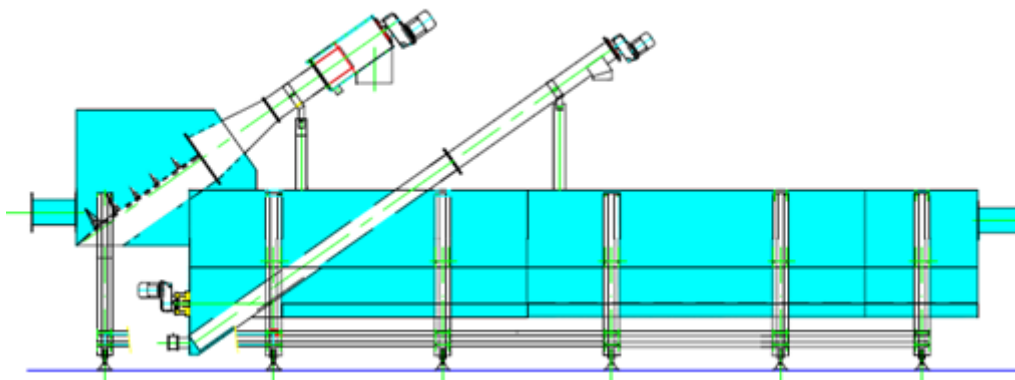


Figura 10 Unidade compacta de pré-tratamento

A operação de tamisação/compactação de gradados é constituída por um parafuso tamisador/compactador inclinado com funcionamento intermitente programável, que procede à remoção, compactação/desidratação dos gradados. No caso de ocorrer uma subida de nível do líquido na caixa de entrada, atingindo o Interruptor de nível máximo de segurança aí existente, o parafuso tamisador/compactador entrará automaticamente em funcionamento limpando a zona de tamisação e elevando os gradados. Estes passam então para a zona de transporte, sendo depois elevados para a zona de compactação onde serão desidratados sofrendo uma redução de volume. Nas zonas de tamisação e transporte deste parafuso, existe um sistema automático de lavagem com água, constituído por um tubo com pulverizadores e uma electroválvula que trabalha sincronizada com o movimento do parafuso. As características do tamisador/compactador são apresentadas no Quadro 28.

Depois do efluente passar pelo parafuso tamisador/compactador, continua para a operação de remoção de areias e gorduras.

A operação de desarenamento/desengorduramento é realizada na zona de maior volumetria do pré-tratamento da ETAR. Para facilitar a decantação das areias e elevação das gorduras para a superfície, esta unidade é equipada com um sistema de injeção de ar constituído por tubos difusores colocados no fundo do tanque e alimentados por um compressor externo. Este compressor deverá estar sempre a trabalhar desde que esteja a passar efluente pela unidade.

As características do desarenador/desengordurador são apresentadas no Quadro 28.

Quadro 28 Características do pré-tratamento (Acciona, 2006)

		Unidades	Projecto	Bibliografia			
				WPCF, 1998	Metcalf <i>et al.</i> , 2003	Hendricks <i>et al.</i> , 2006	
Geral	Caudal	nominal unitário	m ³ /h	472,5			
		ponta unitário	m ³ /h	540			
	Carga hidráulica	caudal nominal	m/h	30			
		Caudal ponta unitário	m/h	34,29			
Tamisação/compactação	Tipo de parafuso			Sem veio			
	Tipo de malha			Orifícios			
	Sistema de limpeza da malha			Escovas fixas no parafuso			
	Diâmetro externo da malha		mm	700			
	Dimensões da malha		mm	3			
	Diâmetro do parafuso na zona de tamizagem		mm	490			
	Diâmetro do parafuso na zona de transporte		mm	295			
	Inclinação do parafuso		°	35			
	Velocidade		rpm	10			
	Volume de redução de gradados		%	40-60			
	Secagem (matéria seca)		%	24-35			
Tempo de retenção a caudal de ponta (θ)		min	1,89	2-5	2-5	3-5	
Desarenador-desengordurador	Profundidade		m	1,80	2-5	2-5	
	Comprimento		m	10,50		7,5-20	15-60
	Largura		m	1,5		2,5-7	
	Área		m ²	15,75			
	Volume		m ³	17			
	Razão largura/profundidade			0,8	1-5	1-5	0,8
	Razão comprimento/largura			7	2,5-5	3-5	
	Fornecimento de ar						
	Sistema de injeção de ar			difusor			
	Tipo de bolha			fina			
	Número de difusores por aparelho		Und.	64			
	A caudal máximo		m ³ /(m ² .h)	8		12-30	
	A caudal médio		m ³ /(m ² .h)	6		12-30	
	Caudal max. ar por aparelho		m ³ /h	288			
Caudal med. ar por aparelho		m ³ /h	216				
Caudal max. ar por difusor		m ³ /h	4,5				
Caudal med. ar por difusor		m ³ /h	3,4				

Sistema de Remoção de Areias: No fundo de cada unidade está instalado um parafuso transportador horizontal que encaminha as areias que se vão depositando no fundo para um outro parafuso extractor de areias inclinado que as encaminha para o exterior (Figura 10). Estes dois parafusos trabalham controlados separadamente por temporizadores que são reguláveis, em função da quantidade de areia afluyente.

Sistema de Remoção de Gorduras: remoção de gorduras é realizada através de uma lâmina accionada por um motorreductor que efectua um movimento de translação à superfície do líquido e ao longo do comprimento da mesma, removendo e encaminhando as gorduras flutuantes para um compartimento de saída específico.

O efluente depois da remoção dos gradados, areias e gorduras sai da máquina para uma câmara de saída onde o caudal é dividido para as duas linhas de tratamento biológico, mediante comportas murais (caixa de repartição de caudais). Dessa câmara o efluente é conduzido por duas tubagens enterradas independentes de DN400 até cada uma das linhas dos reactores biológicos.



Figura 11 Pré-tratamento compacto

As gorduras recolhidas no equipamento do pré-tratamento antes de serem enviadas para os contentores de recolha, são previamente concentradas num concentrador de gorduras de forma a minimizar o volume ocupado pelas mesmas, diminuindo o seu teor em água. A eficiência de projecto para a remoção de areias é de cerca de 90 % para partículas de tamanho igual ou superior a 0,2 mm.

O equipamento de pré-tratamento instalado na ETAR de Almargem não é um equipamento típico, uma vez que apresenta num único módulo compacto e fechado com as etapas de tamisação, desarenamento e desengorduramento. Através do Quadro 28, verifica-se que o pré-tratamento instalado na ETAR, apresenta dimensões diferentes dos valores típicos, com tempos de retenção, profundidade, largura inferior aos valores típicos, e razão comprimento/largura superior.

3.6.3 Tratamento secundário

O tratamento biológico da ETAR de Almargem é do tipo lamas activadas, constituído por duas linhas, cada uma constituída por um tanque anaeróbio/selector biológico seguido de tanque de arejamento dividido em duas zonas, uma de arejamento e outra anóxica e finalmente o decantador secundário (Quadro 29). Este processo trata-se de um A²O (anaeróbio/anóxico/aeróbio) modificado aplicado a vala de oxidação em que a recirculação interna do efluente da zona aeróbia para a zona anóxica é garantida naturalmente pelo fluxo da vala de oxidação (Figura 12). Para além da recirculação típica do processo A²O existe ainda a possibilidade de recirculação das lamas do decantador secundário para a zona aeróbia e/ou anaeróbia.

Relativamente aos valores típicos apresenta valores de F/M inferiores e θ_c superiores (Quadro 29).

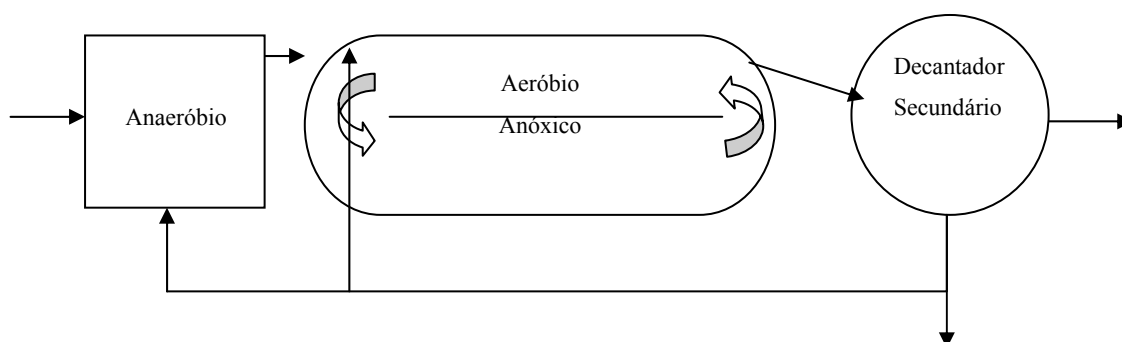


Figura 12 Esquema do tratamento biológico

3.6.3.1 Selector anaeróbio (selector biológico)

O tanque anaeróbio tem como função principal a de selector biológico. No entanto, nas épocas de maior temperatura do afluente pode contribuir para a eliminação biológica do fósforo, na medida em que o stress a que a cultura microbiana é sujeita estimula a transformação biológica. As características do selector biológico são apresentadas no Quadro 29.

3.6.3.2 Tanque de arejamento (vala de oxidação)

O tanque de arejamento tem 4000 m³ de capacidade total (cada linha), encontra-se dividido numa zona de arejamento e noutra anóxica, para a realização do ciclo de nitrificação/desnitrificação. Na zona de arejamento, o fornecimento de ar é realizado mediante 306 difusores de membrana instalados no fundo de cada linha, alimentados por 2+1 sopradores (1 de reserva) com 4020 Nm³/h a 6,95 m.c.a, de capacidade unitária.

Quadro 29 Valores operacionais do processo de tratamento A²O (AdA, 2006)

		Unidades	Projecto	Bibliografia		
				US EPA, 1987	Metcalf & Eddy, 2003	Park, 2008
Selector biológico/ Tanque Anaeróbio	N.º de linhas	und.	2			
	Nº de câmaras por unidade	und.	2			
	Caudal total de entrada	m ³ /h	1094			
	Volume unitário (linha)	m ³	180			
	Volume unitário (câmara)	m ³	90			
	Largura (câmara)	m	6			
	Comprimento (câmara)	m	2,4			
	Profundidade do líquido (câmara)	m	6,4			
	Caudal específico de recirculação de lamas (RAS)	%	100	20-50	25-100	25-75
	N.º agitadores (câmara)	und	1			
	Potência específica	w/m ³	22			
	Potência unitária	kW	2			
	Caudal específico de recirculação de lamas	m ³ /h	547			
	θ (zona anaeróbia)	h	0,33	0,5-1,5	0,5-1,5	0,1 -0,42
	CBO ₅ (entrada)	Concentração med.	mg/L	236		
		Concentração med.	kg/d	3099		
	CBO ₅ sol/Psol (afluente)				20-25	10
CQOsol/Psol (afluente)				34-43		
Reactor Biológico	n.º de linhas	und.	2			
	n.º de canais por linha	und.	1			
	Temperatura	°C	18			5-30
	Volume anóxico/Volume total			0,25		
	Volume útil	m ³	4000			
	Largura (canal)	m	6			
	Comprimento parte recta (canal)	m	46			
	Altura da água (canal)	m	6			
	θ (total)	h	14,6			
	θ (zona anóxica)	h		0,5-1	0,5-1	0,5-1
	θ (zona aeróbia)	h		3,5-6	4-9	3,5-6
	F/M	kg CBO ₅ /(kgMLVSS.d)	0,09	0,15-0,25		0,15-0,7
	Carga volumica (λ _v)	kg CBO ₅ /(m ³ .d)	0,39			
	Tempo de retenção celular (θ _c)	dias ⁻¹	8,53	4-8	5-25	
	MLSS (reactor biológico)	mg/l	4500	3000-5000	3000-4000	2000-4000
	MLSS (recirculação do decantador)	mg/l	8000			
	RAS	% do caudal afluente	100			
	Velocidade	m/s	0,30			
	Recirculação interna	% do caudal afluente		100-300	100-400	50-250
	Necessidade de oxigénio (máxima) (ponta)	kg O ₂ /h	635			
Necessidade de oxigénio (média)	kg O ₂ /h	410				
Produção de lamas	kg MS/dia	4220				
kg Ms /kg CBO ₅ eliminado	kg	1,36				

O tanque de arejamento é do tipo carrossel, cujo fluxo do licor misto é próximo ao tipo pistão. Este tanque funciona em circuito fechado e durante a sua circulação estabelecem-se zonas de concentração de oxigénio variável ao longo do reactor, estabelecendo-se zonas aeróbias e anóxicas.

O fluxo de circulação de água é assegurado por dois aceleradores de fluxo em cada linha. Os aceleradores de fluxo instalados são de baixa rotação e grande diâmetro de hélices, e asseguram uma velocidade de circulação de aproximadamente 0.30 m/s.

As características do reactor biológico da ETAR de Almargem são apresentadas no Quadro 29.

3.6.3.3 Decantador secundário

Estão instaladas na estação dois decantadores secundários em paralelo, tipo circular com alimentação central com o objectivo de promover a separação das lamas. Estes órgãos (Quadro 30) recebem o afluente proveniente do tanque de arejamento e promovem a separação dos sólidos da água, por acção gravítica.

Quadro 30 Características e condições de funcionamento dos decantadores da ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)

		Unidades	Projecto				Bibliografia	
			2007		2025		Metcalf & Eddy., 2003	Park, 2008
			EB	EA	EB	EA		
Caudal (para os dois decantadores)	Ponta/max.	m ³ /h	151	335	419	805		
	Médio	m ³ /h	77	191	250	507		
Carga hidráulica (Q/A)	Q ponta/max.	m/h	0,18	0,4	0,5	0,97	1-1,3	1,67-2
	Q médio	m/h	0,09	0,23	0,30	0,61	0,33-0,67	0,62-1,33
θ	Q ponta/max.	h	21,32	9,63	7,70	4,01		
	Q médio	h	42,07	16,89	12,90	6,37		
Carga de sólidos λ_s com RAS 100%	Q ponta/max.	kg SST/(m ² .h)	1,24	2,85	3,62	7,10	7	4,17-9,17
	Q médio	kg SST/(m ² .h)	0,83	2,07	2,71	5,49	1,0-5	2-6
λ_s sem recirculação	Q ponta/max.	kg SSR/(m ² .h)	0,82	1,81	2,27	4,36		
	Q médio	kg SST/(m ² .h)	0,42	1,03	1,35	2,47		
N.º de linhas	Und.	2						
Diâmetro (decantador)	m	23						
Altura cilíndrica	m	3,5						4-6
Altura média	m	3,88						
Pendente	%	10						
Área da superfície (decantador)	m ²	415,48						
Volume (decantador)	m ³	1613,43						

A lama que fica depositada no decantador secundário “*underflow*” é conduzida até ao tanque de lamas (estação elevatória de lamas secundárias) sendo a partir daí recirculadas ao tanque de arejamento ou selector biológico ou extraídas do sistema. A água decantada “*overflow*” é conduzida para o processo de desinfecção por radiação ultravioleta. As características do decantador secundário são apresentadas no Quadro 30.

Através da análise do Quadro 30, verifica-se que os valores de projecto de Q/A a caudal de ponta são inferiores aos valores típicos da bibliografia. Q/A a caudal médio e λ s (com recirculação) a caudal ponta, para o ano de 2007 e época baixa de 2025 são inferiores aos valores típicos. Verifica-se também que a altura cilíndrica é inferior aos valores da bibliografia.

Constata-se assim que os decantadores da ETAR de Almargem apresentam uma relação elevada do factor área superficial/profundidade e área superficial/caudal afluyente, sendo a situação neste último caso mais evidente para caudais baixos.

3.6.3.4 Recirculação de lamas

No processo de lamas activadas, depois da separação sólido/líquido no decantador, a biomassa é novamente introduzida, recirculada ao tanque de arejamento com o objectivo de manter uma concentração de biomassa constante.

Na ETAR de Almargem este processo realiza-se por bombagem em contínuo através de 2 +1 bombas do tipo submersível. O caudal de recirculação pode ser regulado através de dois variadores de frequência a duas das bombas.

A descarga da recirculação de lamas pode fazer-se opcionalmente nos reactores biológicos e/ou no selector anaeróbio, por meio do accionamento de válvulas de seccionamento manuais. Existem dois medidores de caudal electromagnéticos, um dos quais mede o total da recirculação e o outro mede a recirculação aos selectores anaeróbios.

3.6.4 Desinfecção do efluente por UV

Com o objectivo de garantir a qualidade bacteriológica do efluente decantado, este é sujeito a desinfecção por ultravioletas (UV3000+).

Para a desinfecção por UV, estão instalados em canal, 1 banco contendo 6 módulos de 8 lâmpadas, de alta densidade e de baixa pressão, cada.

O sistema Trojan instalado na ETAR de Almargem têm um sistema automático de limpeza que combina a limpeza química e mecânica e reduz significativamente o tempo de manutenção do operador.

As características do sistema de desinfecção da água decantada são descritas no Quadro 31.

Quadro 31 Características e condições de funcionamento do sistema de desinfecção da água decantada da ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)

		Unidades	Projecto	Bibliografia	
				Metcalf & Eddy, 2003	Park, 2008
Caudal	Ponta/max.	m ³ /h	800		
Transmitância do afluente		%	50	60-65	50-65
SST do afluente		mg/l	35		
Limite de desinfecção		NMP/100mL*	2000		
Potência instalada		KW	12		
Dose de UV		mW.s/cm ²	>31		30 água residual 50-100 reutilização 40 água potável
θ (mínimo)		s	5,03-6,79		

*Em 95% das amostras

A água depois de desinfectada é conduzida a um depósito de 15 m³ (cisterna de água tratada), imediatamente a jusante, do equipamento de desinfecção UV. Este reservatório foi concebido de forma a manter um nível constante, sendo a descarga de efluente tratado feita por descarregador para o emissário final. A descarga de fundo deste depósito realiza-se por accionamento de comporta. Contíguo a este depósito existe outro para armazenamento de água da rede com capacidade de 8m³ (cisterna de água da rede). O grupo hidropressor de água para reutilização pode servir qualquer destes depósitos. De acordo com o Quadro 31 verifica-se que o sistema de UV instalado apresenta características típicas de um sistema de desinfecção por radiação UV.

3.6.5 Desinfecção e filtração da água para reutilização

Na ETAR de Almargem encontra-se instalado um sistema de filtração e desinfecção por UV em linha com o objectivo de atingir a qualidade necessária para a reutilização da água tratada. Esta água é utilizada nas tarefas diárias de operação e rega do jardim da ETAR.

3.6.5.1 UV em linha

Para garantir a qualidade microbiológica da água para reutilização foi instalado o sistema de desinfecção por radiação ultravioleta (Trojan UV LOGIC 08AS20) (Figura 13).



Figura 13 Sistema UV de desinfecção em linha

O sistema é constituído por um reactor AS20 em aço inox 316 L, 8 lâmpadas UV High output de baixa pressão, um sistema de comando, controlo e distribuição de energia.

Os parâmetros de dimensionamento deste equipamento são os apresentados no Quadro 32.

Quadro 32 Características e condições de funcionamento do sistema de desinfecção da água para reutilização da ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)

		Unidades	Projecto	Bibliografia	
				Metcalf et al., 2003	Park, 2008
Caudal	Ponta/max.	m ³ /h	42		
Transmitância do afluente		%	55	60-65	50-65
SST do afluente		mg/l	25		
Limite de desinfecção		NMP/100mL*	100		
Potência instalada		KW	1,2		
Dose de UV		mW.s/cm ²	40		30 água residual 50-100 reutilização 40 água potável
Pressão max. de operação		bar	10		

*Em 95% das amostras

3.6.5.2 Filtros

A jusante da desinfecção de água para reutilização encontram-se instalados quatro filtros automáticos do tipo Giradisc com auto-limpeza, Modelo: 2DP4-GF50 (Figura 14).

Este filtro trabalha ao caudal máximo 50 m³/h a 7 bar para água com teor de sólidos de 35mg/l.



Figura 14 Filtros de água para reutilização

Os filtros com superfície de filtração total de 6260 cm², retêm partículas com dimensão a partir de 50 µm,

Trata-se de um equipamento de filtração com limpeza automática, que consegue realizar a lavagem das unidades filtrantes sem deixar de aportar água filtrada à instalação. O sistema realiza a limpeza das unidades sequencialmente, enquanto o resto das unidades continua a realizar a filtração da água.

A localização dos filtros a jusante dos UV é uma situação atípica. O esquema normal de tratamento coloca o sistema de filtração a montante do sistema UV de forma a reduzir os SST e turvação, antes da desinfecção, melhorando assim a eficiência de desinfecção dos UV.

3.7 Linha de lamas

A linha de lamas é constituída por espessamento e desidratação com a adição de floculante em ambas as fases.

As lamas oriundas dos decantadores secundários são reunidas num poço de bombagem (estação elevatória de lamas), onde estão instaladas 3 bombas submersíveis de recirculação (1 de reserva) e 3 bombas de lamas em excesso, do tipo parafuso excêntrico (1 de reserva). As lamas em excesso são enviadas para o floculador instalado a montante dos tambores de espessamento.

A extracção de lamas em excesso depende fundamentalmente das condições de funcionamento do tanque de arejamento, apresentando-se no Quadro 33 as características e condições de funcionamento da linha de lamas.

Quadro 33 Características e condições de funcionamento da linha de lamas (Acciona, 2006; AdA, 2006)

		Unidades	Projecto	
Espessamento	N.º de linhas	und.	2	
	Tambores de espessamento por linha	und.	1	
	Caudal afluyente (tambor)	Máximo	m ³ /h	90
		de projecto	m ³ /h	70
		Mínimo	m ³ /h	30
	Carga de SST afluyente	De projecto	kgMS/h	420
		Máximo	kgMS/h	600
	MS afluyente (min.)	%	0,6	
	Caudal unitário de polímero	l/h	5-500	
	MS efluyente	%	4	
	Escorrências			
	SST	mg/L	420	
	CBO ₅	mg/L	25	
NTK	mg/L	5		
P-t	mg/L	14		
Desidratação	N.º de linhas	und.	2	
	Centrifugas por linha	und.	1	
	Caudal unitário	m ³ /h	10	
	MS afluyente (min.)	%	4	
	Carga de SST afluyente (máx)	kgMS/h	400	
	Caudal unitário de polímero	l/h	5-500	
	MS efluyente	%	25	
	Escorrências			
	SST	mg/L	900	
	CBO ₅	mg/L	1500	
	NTK	mg/L	5	
	P-t	mg/L	14	

3.7.1 Espessamento mecânico das lamas

O espessamento de lamas é realizado por um conjunto de equipamentos constituído por: um sistema polipack de dosagem e preparação de polímero, um floclador, dois tambores de espessamento (Figura 15) e bombas.

As lamas antes de entrarem nos tambores de espessamento são condicionadas com polielectrólito catiónico, preparado em equipamento de funcionamento contínuo e, injectado no floclador através de três bombas doseadoras, sendo uma de reserva, de capacidade 50-500 l/h.

Após adição de polímero à lama, esta entra no tambor de espessamento caindo numa secção cónica do tambor giratório que está coberto por uma tela filtrante. A lama mantém-se no tambor enquanto a fase aquosa (filtrado ou escorrência) drena através da tela. O líquido separado das lamas é descarregado na estação elevatória de escorrências e daí é conduzido ao pré-tratamento da ETAR.

Após espessamento, as lamas são descarregadas no tanque de armazenamento de lamas espessadas com 60 m^3 , sendo aspiradas por bombas de parafuso para as centrífugas.



Figura 15 Tambores de espessamento

3.7.2 Desidratação das lamas

A desidratação de lamas é feita através de duas centrífugas de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ de capacidade unitária, caracterizadas no Quadro 33.

As centrífugas são alimentadas por três bombas de parafuso excêntrico com um caudal unitário de $6-10 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo uma de reserva. Antes de entrarem na centrífuga as lamas são condicionadas com polielectrólito catiónico, que é preparado num equipamento de preparação contínua e injectado na tubagem de alimentação à centrífuga através de três bombas doseadoras, sendo uma de reserva de capacidade $50-500 \text{ L/h}$.

O líquido separado das lamas é descarregado na estação elevatória de escorrências e daí é bombeado ao pré-tratamento. As lamas desidratadas são descarregadas directamente num parafuso transportador tipo sem-fim, que envia a lama para um silo.

A centrifugação consiste numa versão acelerada dos processos de decantação. Baseia-se na aceleração da sedimentação pelo uso da força centrífuga, actuando como tanques de sedimentação mais eficazes. A centrífuga instalada consiste num dos tipos mais comuns de centrífugas, tipo *solid-bowl scroll*, em que a lama é introduzida continuamente, com a adição de polímero, sendo a centrífuga montada na horizontal e afunilada no fim.

Consoante o tipo de lama é possível obter teoricamente uma concentração de sólidos entre 10 a 30% (Quadro 33).

3.7.3 Armazenamento das lamas

Uma vez desidratadas, as lamas são enviadas por parafuso transportador para duas (1+1) bombas de parafuso excêntrico que as elevam até ao silo de armazenamento. As bombas de elevação de lamas têm uma capacidade de 1 – 4 m³/h de pressão e 12 bar de elevação. Estas bombas estão equipadas com misturador para possibilitar a adição de cal às lamas, caso necessário.

O armazenamento de lamas é feito em silo de 70 m³ de capacidade permitindo a sua descarga em camião.

3.8 Rede de drenagem, escorrências e flutuantes

Na ETAR de Almargem existe uma rede de drenagem que descarrega na estação elevatória de escorrências. A esta estação elevatória chegam as escorrências dos tambores de espessamento, as escorrências das centrífugas, os sobrenadantes dos decantadores e as águas residuais dos edifícios da ETAR.

Esta estação elevatória bombeia ao pré-tratamento.

3.9 Tratamento de odores

Na estação de tratamento de águas residuais de Almargem, os processos que sofrem desodorização são os seguintes:

- Edifício do pré-tratamento
- Sala de espessamento e desidratação de lamas
- Silo de armazenamento de lamas
- Tanques anaeróbios (selectores biológicos)
- Poço de escorrências

O tratamento de odores realiza-se por aspiração de ar dos locais referidos anteriormente, mediante ventilador centrífugo, sendo o ar tratado num biofiltro, após passagem por uma torre de humedificação.

3.10 Automação

No que se refere à automação e modo de funcionamento, todos os motores instalados na estação dispõem de um selector (Auto-0-Manual) no Centro de Controlo de Motores (CCM) ou Quadro local (QL), que permite a selecção do modo de funcionamento dos equipamentos da estação em modo manual, desligado ou automático.

- Modo manual:

Ao colocar o selector em manual, arrancará o equipamento, podendo este ser arrancado ou parado desde a botoneira local. Esta manobra realiza-se através de tecnologia cableada e é independente do Controlador Lógico Programável (PLC).

- Modo automático:

Ao colocar o selector em modo automático (Auto), passa a ser o PLC a controlar o funcionamento do elemento.

A sequência específica para cada elemento encontra-se no “programa” do PLC, pelo que esta sequência será cumprida, ainda que exista avaria na interligação entre o PLC e o PC.

O modo Auto é o modo habitual de funcionamento dos elementos da estação.

3.11 Instrumentos em linha

3.11.1 Caudalímetros

Na ETAR de Almargem encontram-se instalados 11 medidores de caudal electromagnéticos. A localização e características dos mesmos encontram-se especificadas na Figura 9 e Quadro 34.

Quadro 34 Localização e características dos caudalímetros instalados na ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)

Localização	Diâmetro	Fluído	Unidades
Colectores de entrada	DN 400 / DN 200	água	1/1
Tubagem de água decantada	DN 500	água	1
Tubagem lamas à recirculação	DN 350	lama	2
Tubagem de lamas em excesso	DN 150	lama	1
Tubagem doseamento de polielectrolito	DN 25	polielectrolito	3
Tubagem de lamas a centrífugas	DN 50	lama	2

3.11.2 Outros instrumentos em linha

No Quadro 35 são apresentados outros instrumentos em linha existentes na ETAR assim como as suas características, localização e função.

Quadro 35 Localização e características dos instrumentos em linha instalados na ETAR de Almargem (Acciona, 2006; AdA, 2006)

Instrumento	Localização	Quantidade	Características	Função
Medidor de pH e temperatura	Saída do pré-tratamento	1	Pressão max 6Bar Gama temperatura 0-80°C Resolução (temp.) 0,1°C Gama de pH 0-14 Resolução (pH.) 0,01pH	Medição do pH e temperatura da água residual bruta
Medidor de potencial redox	Reactor biológico	2 (1 por reactor)	Pressão max 6Bar Gama temperatura 0-80°C Resolução (temp.) 0,1°C Gama de ORP -1000 a 1000mV Resolução (rH) 1mV	Medição do potencial redox no reactor biológico
Medidor de oxigénio dissolvido	Reactor biológico	2 (1 por reactor)	Pressão max 3Bar Gama temperatura -5 a 50°C Gama 0 a 20mg/l O ₂ a 20°C	Medição da concentração de oxigénio dissolvido no reactor biológico
Interruptores de nível tipo bóia	Caixas, elevatórias e cisternas	8	Temp. máx. de trabalho 60°C	Indicação de nível Paragem ou arranque de bombas
Medidor de nível ultra-sónico	Depósito de lamas espessadas Silo de Lamas	2	Temp.de trabalho -20 a 60°C Distância de bloqueio	Indicação de nível Paragem ou arranque de bombas
Varetas de deteção de By-pass	Saída do pré-tratamento	1		Deteção de by-pass

Relativamente à automação de regulação do teor de oxigénio, os medidores de oxigénio instalados em cada linha transmitem a sua leitura ao PLC. Este valor é comparado com o valor desejado e o PLC actua sobre o variador de velocidade do soprador. Se for necessário aumentar o oxigénio dissolvido, o variador de velocidade aumenta até 100% (velocidade máxima); se for necessário diminuir a quantidade de oxigénio dissolvido, o variador baixa a velocidade do soprador até 50%. Se o soprador atingir os 100 % e não for atingido o ponto de ajuste, é necessário verificar se: (i) foi introduzido o ponto de ajuste correcto, (ii) a sonda de oxigénio está a medir correctamente, ou se (iii) ocorreram variações das cargas de sólidos e/ou alterações das características do licor misto. Se nenhuma das situações anteriores se verificar, poderá supor-se que o caudal de ar fornecido pelo soprador é insuficiente para as necessidades. Nesta situação, é necessário realizar uma inspecção ao equipamento para verificar o seu correcto

funcionamento (nível de óleo, estado das correias, pressão, etc.). Se for necessário realizar alterações ao fornecimento de ar poder-se-á ainda alterar o diâmetro das *poleas*. Dado o facto da oxigenação das lamas ter uma grande inércia, as operações de ajuste devem realizar-se com intervalos de 15 a 20 minutos.

3.12 Plano de controlo analítico

Os pontos de amostragem seleccionados para a recolha das amostras, correspondem a pontos chaves do processo de tratamento e foram acordados entre o empreiteiro e o dono de obra para o período de arranque da ETAR.

As amostras recolhidas à entrada e à saída da ETAR são do tipo amostra composta (AC), de acordo com o especificado na alínea D) do anexo I do DL152/97 e do tipo instantâneas (AI) ou pontual.

Os quadros 36 e 37 apresentam o programa de controlo analítico, com a indicação dos parâmetros a analisar e a sua periodicidade.

Quadro 36 Plano de controlo analítico da ETAR de Almargem (fase líquida)

Local	Parâmetros	Tipo de amostra	Proposto	
			1º mês	meses seguintes
Efluente Bruto (1)	pH	pontual	diariamente	diariamente
	SST	composta	2X/semana	semanal
	CQO		2X/semana	semanal
	CBO5		semanal	semanal
	Óleos e Gorduras		semanal	mensal
	NH ₄ ⁺		caracterização inicial	caracterização inicial
	NO ₃ ⁻		caracterização inicial	caracterização inicial
	Nt		semanal	mensal
	P-t		semanal	mensal
Cloretos	2x/mês		Quando ocorrer uma nova ligação ao sistema	
Desarenador/Desengordurador (saída) (2)	SST	pontual	mensal	mensal
	Óleos e Gorduras		mensal	mensal
Selector Anóxico (saída) (3)	potencial Redox	pontual	2X/semana	2X/semana
	CQO solúvel		semanal	semanal
	NO ₃ ⁻		Esporadicamente	Esporadicamente
Licor Misto Reactor Biológico (4)	pH	pontual	2x/semana	2xsemana
	temperatura		2x/semana	2xsemana
	Oxigénio dissolvido		2x/semana	2xsemana
	potencial redox		2x/semana	2xsemana
	SST		2x/semana	semanal
	SSV		2x/semana	semanal
	Sólidos sedimentáveis (30min)		diário	diário
Lamas recirculadas = lamas a espessar (elevatória de lamas) (5)	ST	pontual	2x/semana	semanal
	SV		2x/semana	semanal
Efluente decantado (6)	NH ₄ ⁺	composta	2x/mês	trimestral
	NO ₃ ⁻		2x/mês	trimestral
	turvação	pontual	semanal	semanal
	Coliformes Fecais		2x/mês	2x/mês
Transmitância	2x/mês	2x/mês		
Efluente tratado (caixa saída UV) (7)	SST	composta	2X/semana	semanal
	CQO		2X/semana	semanal
	CBO5		semanal	semanal
	N-t		2x/mês	2x/mês
	P-t	2x/mês	2x/mês	
	Coliformes Fecais	pontual	2x/mês	2x/mês
Água de serviço (8)	SST	pontual	2x/mês	mensal
	Coliformes Fecais		2x/mês	mensal

Quadro 37 Plano de controlo analítico da ETAR de Almargem (fase sólida)

Local	Parâmetros	Tipo de amostra	Proposto 1º mês	Proposto meses seguintes
Lamas espessadas (9)	SV	pontual	semanal	2x/mês
	%MS (sicidade)		semanal	2x/mês
Lamas desidratada (10)	pH	pontual	semestral	semestral
	ST		semanal	2x/mês
	SV		semanal	2x/mês
	MS (%)		semanal	2x/mês
	MO (%)		semestral	semestral
	N-t		semestral	semestral
	NH ₄ ⁺		semestral	semestral
	NO ₃ ⁻		semestral	semestral
	P-t		semestral	semestral
Metais (Pb, Zn, Cr, Hg, Cd; Cu, Ni)	semestral	semestral		
Escorrências (filtrado desidratação + filtrado espessamento) (11)	SST	pontual	2x/mês	1x/mês

Os metais pesados analisados, na fase sólida, são os fixados no DL 118/06, relativo à utilização agrícola das lamas de depuração de águas residuais.

Para além das determinações dos parâmetros referidos, são ainda medidos “*in situ*” a temperatura, pH, oxigénio dissolvido, potencial redox.

4. RESULTADOS DO FUNCIONAMENTO DA ETAR DE ALMARGEM

4.1 Metodologia de análise dos resultados

Os dados utilizados para a avaliação do funcionamento da ETAR de Almargem correspondem aos primeiros 20 meses de funcionamento da ETAR (20 Abril de 2007 a 30 de Novembro de 2008). Este período de análise, além de abranger duas épocas altas, coincide com o ano zero da exploração da ETAR.

A avaliação do funcionamento da ETAR de Almargem foi feita em termos quantitativos e qualitativos. Os valores de exploração foram comparados com os valores de projecto em época alta (Julho, Agosto e Setembro), época baixa (restantes meses), horizonte de projecto (ano 2025), valores típicos e licença de descarga. Nesta análise apenas foi avaliada a fase líquida do processo de tratamento.

Para a análise da contribuição da pluviosidade no funcionamento da instalação, utilizou-se os valores de precipitação da estação meteorológica do Centro de Ciência Viva de Tavira.

4.2 Água residual bruta

Na Figura 16 é caracteriza-se quantitativamente a água residual bruta da ETAR de Almargem no período de 20 de Abril de 2007 a 30 de Novembro de 2008 e relaciona com a precipitação, caudais médio diários previstos em projecto para a época alta (EA) e época baixa (EB) de 2007 (ano de arranque) e 2025 (horizonte de projecto).

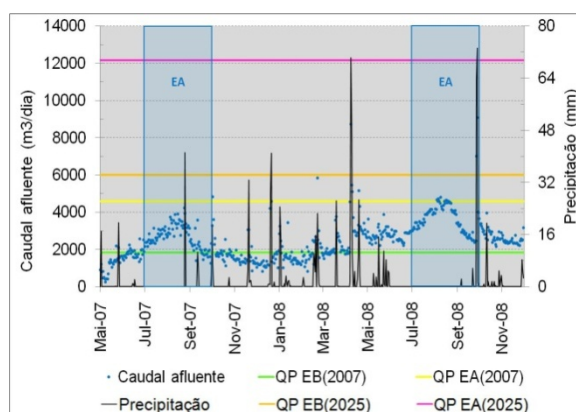


Figura 16 Caudal afluente à ETAR de Almargem e precipitação diária

Através da análise da Figura 16 é possível observar-se a existência de sazonalidade no caudal afluente à ETAR. Verifica-se que os caudais máximos são atingidos na época

alta entre os meses de Agosto e Setembro. Consta-se que a sazonalidade não é delimitada pelos meses definidos pelas épocas alta e baixa. Verificam-se caudais médios constantes entre Outubro e Abril, iniciando-se em Abril um aumento progressivo até Agosto/Setembro, onde é atingido o máximo, verificando-se em seguida uma diminuição até ao mês de Outubro a partir do qual se observam caudais médios reduzidos, próximos dos caudais de projecto para época baixa de 2007. Para além da sazonalidade, o regime do caudal afluente também revela ser claramente influenciado pela precipitação. Os picos máximos de caudal afluente correspondem aos valores mais elevados de precipitação, característica de colectores com infiltração de pluviais. A influência da precipitação é curta e de elevada amplitude, enquanto que a contribuição da sazonalidade é de menor amplitude e maior duração. Verifica-se que os valores de caudal registados em 2007 encontram-se dentro dos limites de época alta e época baixa (linhas amarela e verde) estabelecidos no projecto para o ano zero, o que indicia que a ETAR está bem dimensionada em termos de capacidade volúmica para o ano de arranque. No entanto os caudais afluentes em 2008 permaneceram nos valores de referência do ano zero, o que sugere reduzido crescimento de caudal afluente relativamente ao ano de arranque. Esta situação poderá ficar a dever-se à ETAR ainda não servir toda a cidade de Tavira como previsto no projecto.

A Figura 17 revela a variação da temperatura e pH da água residual bruta registada às 9h, ao longo do período em análise.

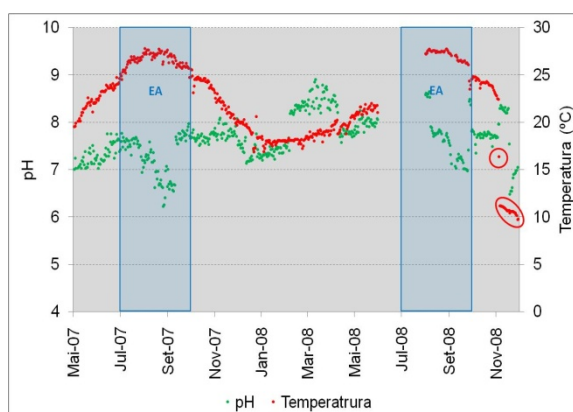


Figura 17 Temperatura e pH da água residual bruta

A temperatura da água é um parâmetro muito importante uma vez que influencia as reacções químicas e a taxa de biodegradação da biomassa. Através da análise da Figura 17 é possível identificar uma variação sazonal da temperatura decorrente da estação do ano, Verão ou Inverno. O valor mais elevado foi registado a 2 de Agosto de 2007,

27,8°C e o mais baixo 16,9°C a 22 de Dezembro de 2008. Enquanto que as temperaturas mínimas da água registadas durante 2007 se situaram nos 18 °C, no período homólogo de 2008 registou-se uma descida acentuada da temperatura com registos de temperaturas de 16,9°C no mês de Novembro. Com base nos registos de manutenção verificou-se que esta descida da temperatura foi consequência de problemas de funcionamento da sonda, que registou valores inferiores aos reais.

Em geral, o tratamento biológico é mais rápido a temperaturas mais elevadas (25-35°C) e mais lento a temperaturas mais baixas pelo que se supõem uma maior actividade biológica e rapidez de tratamento na ETAR de Almargem nos meses de Verão em relação aos meses de Inverno. Por outro lado a solubilidade do oxigénio diminui com o aumento da temperatura, sendo por isso necessário um aumento do fornecimento de oxigénio nos meses de Verão.

Os valores de pH da água bruta apresentaram variações acentuadas no período em análise. O valor médio de pH no período em análise foi de $7,6 \pm 0,5$, dentro da gama típica de 6 a 9, verificando-se contudo redução do pH na época alta. A acidificação da água residual bruta na época alta pode ficar a dever-se à redução do oxigénio dissolvido no meio, devido a uma mais rápida oxidação biológica da matéria orgânica e menor solubilidade do oxigénio a temperaturas mais elevadas.

A Figura 18 apresenta concentrações e cargas de SST, CQO, CBO₅, afluentes à ETAR de Almargem no período em análise, respectivas concentrações típicas (fraca, média e forte) (Quadro 38) e valores de projecto para as diferentes épocas.

Quadro 38 Caracterização típica de uma água residual doméstica não tratada (adaptado de Metcalf & Eddy, 2003)

Contaminantes	Concentração		
	Fraca	Média	Forte
Sólidos Totais (mg/L)	390	720	1230
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	120	210	400
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	95	160	315
Sólidos Sedimentáveis (m/L)	5	10	20
CBO ₅ (mg O ₂ /L)	110	190	350
CQO (mg O ₂ /L)	250	430	800
Carbono Orgânico Total (mg/L)	80	140	260
Azoto Total (mg N-t/L)	20	40	70
Azoto Orgânico (mg N/L)	8	15	25
Amónia (mg NH ₄ ⁺ /L)	12	25	45
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	0	0	0
Fósforo (mg P-t/L)	4	7	12
Óleos e Gorduras (mg/L)	50	90	100

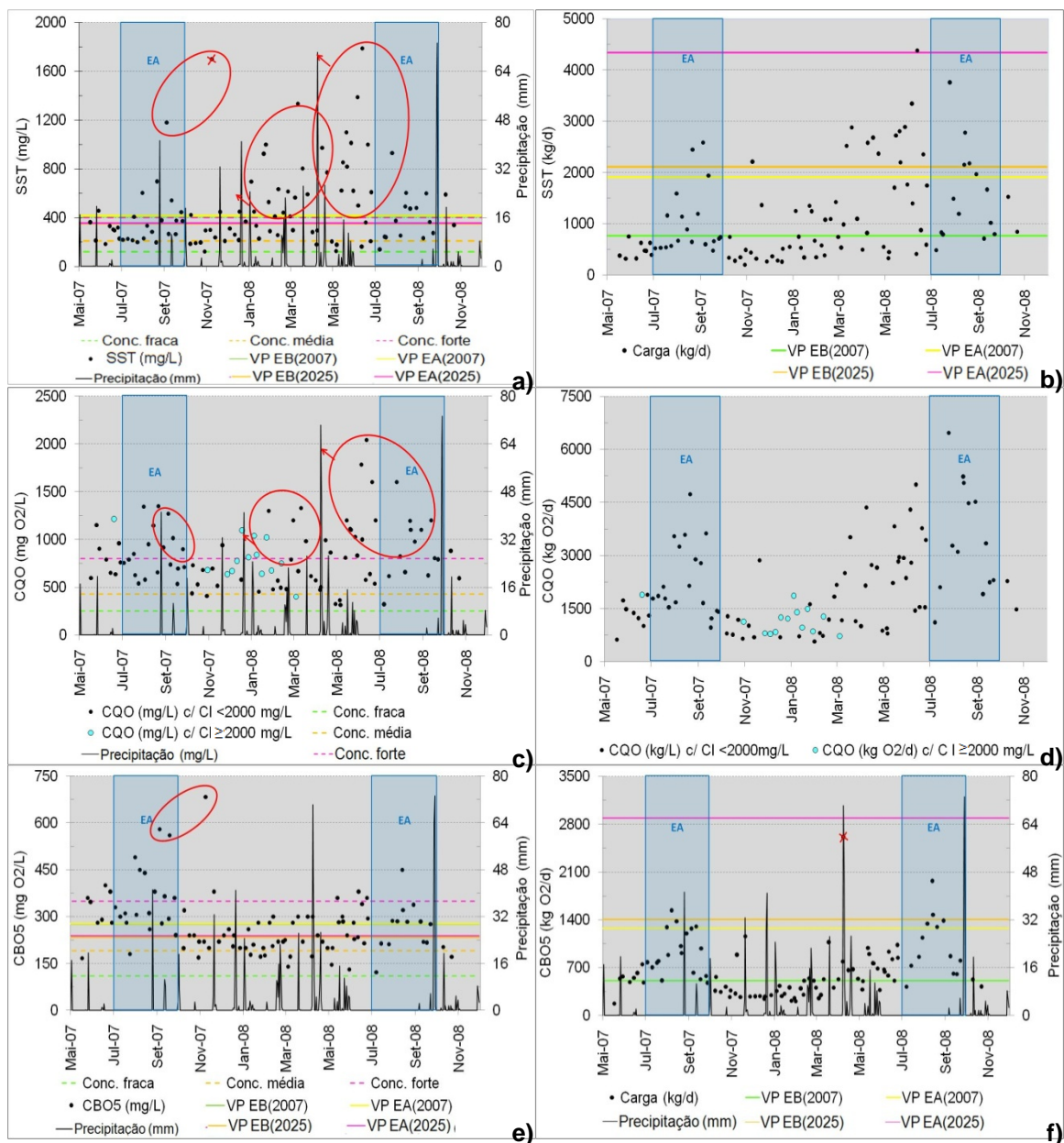


Figura 18 Concentrações e cargas de SST, CQO e CBO₅ na água residual bruta

Relativamente à **concentração de SST** (Figura 18a), segundo a classificação de Metcalf & Eddy (2003), podemos considerar a água residual bruta como de concentração média-forte, apresentando valores de SST afluente entre 200 e 600 mg/l. No entanto nos dias 4/09/2007, 8/11/2007 e entre Janeiro e Agosto de 2008 verificaram-se valores anormalmente elevados. De forma a descortinar a origem/tipo/causa dos valores anormalmente elevados relacionou-se a concentração de SST afluente com a precipitação (Figura 18a). Não se conferiu qualquer relação entre as concentrações elevadas do dia 8/11/2007, por isso foi considerado como *outlier*. Para os restantes valores elevados foi possível estabelecer uma relação com a precipitação, verificando-se que os valores elevados de SST normalmente ocorreram a seguir a um evento de

elevada precipitação. Episódios de elevada precipitação podem provocar o arrastamento do solo para os colectores e arrastamento de sólidos depositados nos próprios colectores. Com o objectivo de identificar a característica dos sólidos afluentes nos períodos de maior concentração afluente, relacionou-se a variação dos CQO, CBO₅ com o SST afluentes, tendo-se verificado que o aumento de SST estava normalmente associado a um aumento de CQO, ou seja a origem característica dos sólidos seria essencialmente não biológica. No entanto nos dias 4/09/2007 e 8/11/2007 os valores elevados de SST são maioritariamente de origem biológica, como se pode verificar pela Figura 18e que apresenta para as mesmas datas valores elevados de CBO₅.

Comparando a concentração de SST afluente com os valores de projecto, constata-se que no ano de 2007 a água residual bruta apresentou valores abaixo dos definidos no projecto para época baixa e superiores aos definidos para época alta em época alta (Figura 18a). No ano de 2008 verificou-se em média valores superiores aos definidos em projecto.

A carga de SST não apresenta qualquer sazonalidade (Figura 18b). Verifica-se uma variação sinusoidal, com os valores máximos nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro. De Outubro a Março/Abril as **cargas de SST** mantiveram-se constantes, inferiores ao valor de projecto definidos para época baixa de 2007. A partir de Março/Abril verifica-se um aumento de carga, até Outubro, com o máximo entre Junho e Setembro.

Em média a **CQO** afluente variou entre 250 e 1500 mg/L, apresentado uma concentração média-forte (Figura 18c). As concentrações de CQO afluente não apresentaram sazonalidade, no entanto as cargas afluentes apresentaram valores mais elevados nas épocas altas do que nas épocas baixas (Figura 18d).

Na Figura 18c e Figura 18d é apresentada a azul os valores de CQO medidos na água residual bruta quando esta apresentou valores de cloreto iguais ou superiores a 2000 mg/L, que teoricamente provocariam aumento dos valores de CQO medidos. No entanto não se verificaram alterações significativas.

Os **valores de CBO₅** (Figura 18e) foram em média próximos dos valores de projecto definido para a época alta de 2025, sendo a concentração afluente classificável, segundo a classificação de Metcalf & Eddy (2003), como média-forte. Não se observou sazonalidade nas concentrações de CBO₅ da água residual bruta.

A **carga de CBO₅ afluente** (Figura 18f) apresentou sazonalidade, registando-se valores médios para épocas baixas, próximos dos definidos em projecto para época baixa de

2007, e nas épocas altas valores médios próximos dos definidos em projecto para época alta de 2007 (1273 kg/d) e época baixa de 2025 (1406 kg/d). A variação da carga de CBO₅ revela um padrão fortemente marcado pela sazonalidade, as cargas mais elevadas verificaram-se na época alta, no mês de Agosto, à excepção de um valor extremamente elevado (2615 kg/d) registado dia 08/04/2008 que se considerou um *outlier* consequência do aumento de caudal originado pela elevada precipitação registada nesse dia.

A Figura 19 apresenta as **cargas e concentrações de nutrientes (N-t, P-t), óleos e gorduras e cloreto** afluentes à ETAR de Almargem no período em análise, respectivas concentrações típicas (fraca, média e forte) e valores de projecto para as diferentes épocas.

A **carga de azoto total** (Figura 19a) assim como a concentração (Figura 19b) apresentou sazonalidade, com valores mais elevados na época alta do que em época baixa. Nas épocas baixas apresentou valores de concentração inferiores aos definidos em projecto para EB 2007 e em época alta valores superiores ao definido para EA 2007. Considerou-se como *outliers* os valores registados nos dias 8/11/2007 e 25/01/2008.

A água residual bruta apresentou em média uma concentração média-forte de N-t, com valores superiores ao definido na licença de descarga para a água residual bruta (69 mg N/L) (Figura 19a). As cargas afluentes em EB aproximam-se do valor de projecto para EB 2007 (127 kg N/d) e as afluentes em EA, aproximam-se do definido em projecto para EA 2007 (318 kg N/d) (Figura 19b). No dia 8/04/2008 verificou-se um valor de carga de N-t, muito superior aos restantes valores, considerou-se tratar de um *outlier* consequência do aumento de caudal originado pela elevada precipitação registada nesse dia (Figura 19b).

No que diz respeito ao **fósforo total** da água residual bruta também apresentou uma concentração média-forte, não apresentado indícios de sazonalidade (Figura 19c). No entanto a carga afluente diária de P-t apresentou sazonalidade. Nas épocas baixas registaram-se valores inferiores ou iguais aos definidos em projecto para a EB 2007 (34 kg N/d) e nas épocas altas valores superiores (Figura 19d).

A concentração de **óleos e gorduras** da água residual bruta foi fraca (Figura 19e), apresentando sazonalidade no que se refere à carga diária (Figura 19f). Registaram-se aumentos de cargas na EA relativamente à EB, começando o efeito de aumento das cargas a registar-se no mês de Abril, antes do início da época alta.

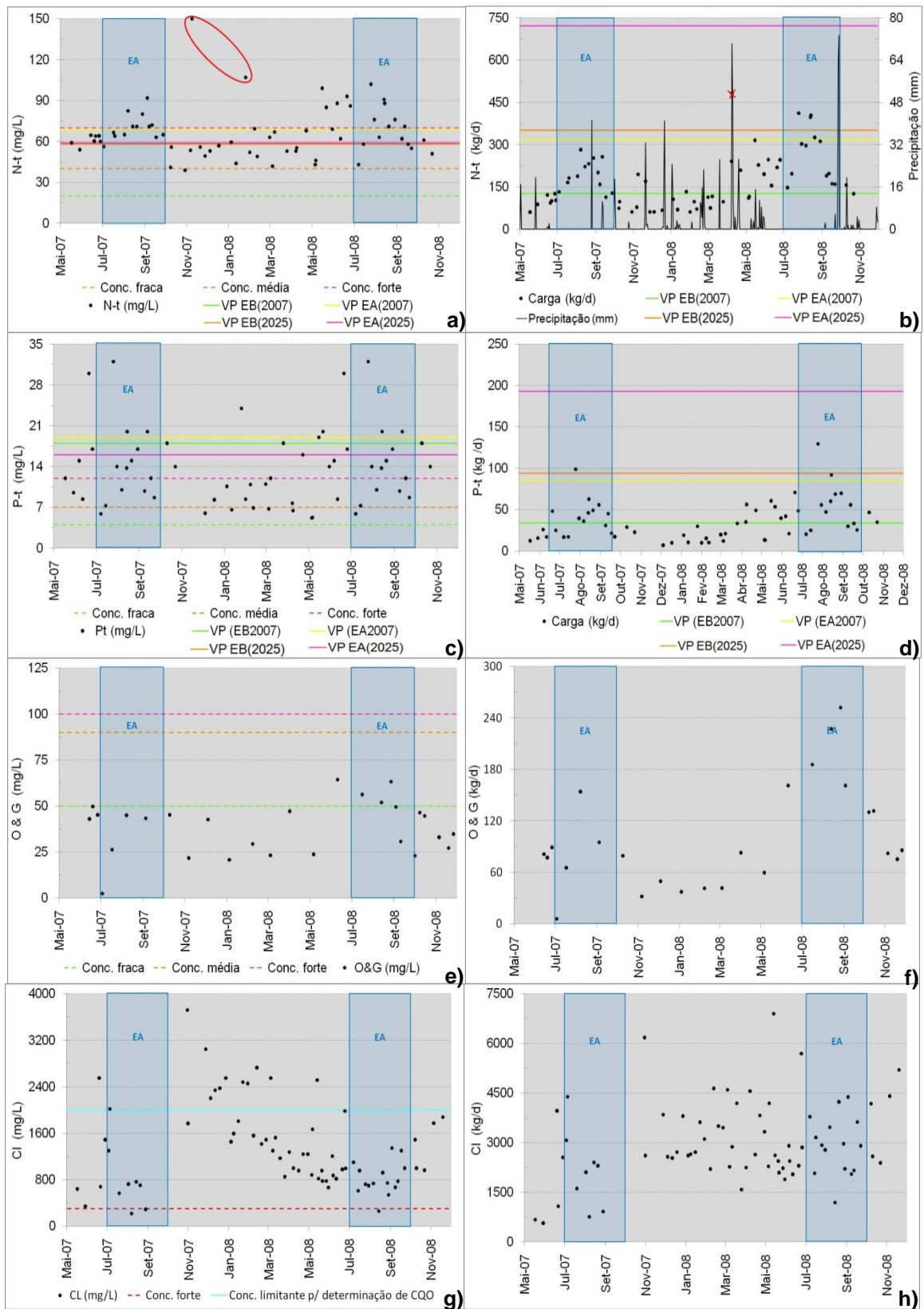


Figura 19 Concentrações e cargas de N-t, P-t; O&G e cloreto na água residual bruta

Uma vez que parte da bacia de drenagem da ETAR de Almargem se desenvolve em zona litoral, ao nível do mar, foi analisado o teor em **cloreto** da água residual bruta, de forma a avaliar a introdução de água salgada nos colectores (Figura 19g).

Verificou-se uma grande dispersão de valores ao longo do período em análise, com valores máximos e mínimos de, respectivamente 3722 e 220 mg/L. A concentração de cloreto afluente apresentou sazonalidade inversa aos restantes parâmetros, ou seja, aumenta na época baixa e diminui na época alta, possivelmente consequência da diluição causada pelo aumento de caudal na época alta.

A carga média da carga de cloreto afluente foi de 2969 ± 728 kg/d, não apresentando sazonalidade (Figura 19h). Um estudo realizado pela Águas do Algarve sugere que o elevado teor de cloreto na água residual bruta da ETAR de Almargem dever-se-á à existência de uma entrada constante de água do mar no sistema, acentuada pela altura das marés.

A Figura 20 apresenta a variação do **indicador de biodegradabilidade** da água residual bruta. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), uma água residual é facilmente estabilizada biologicamente se apresentar valores do indicador de biodegradabilidade (CBO_5/CQO) entre 0,3 e 0,8, correspondendo o valor ideal a 0,5.

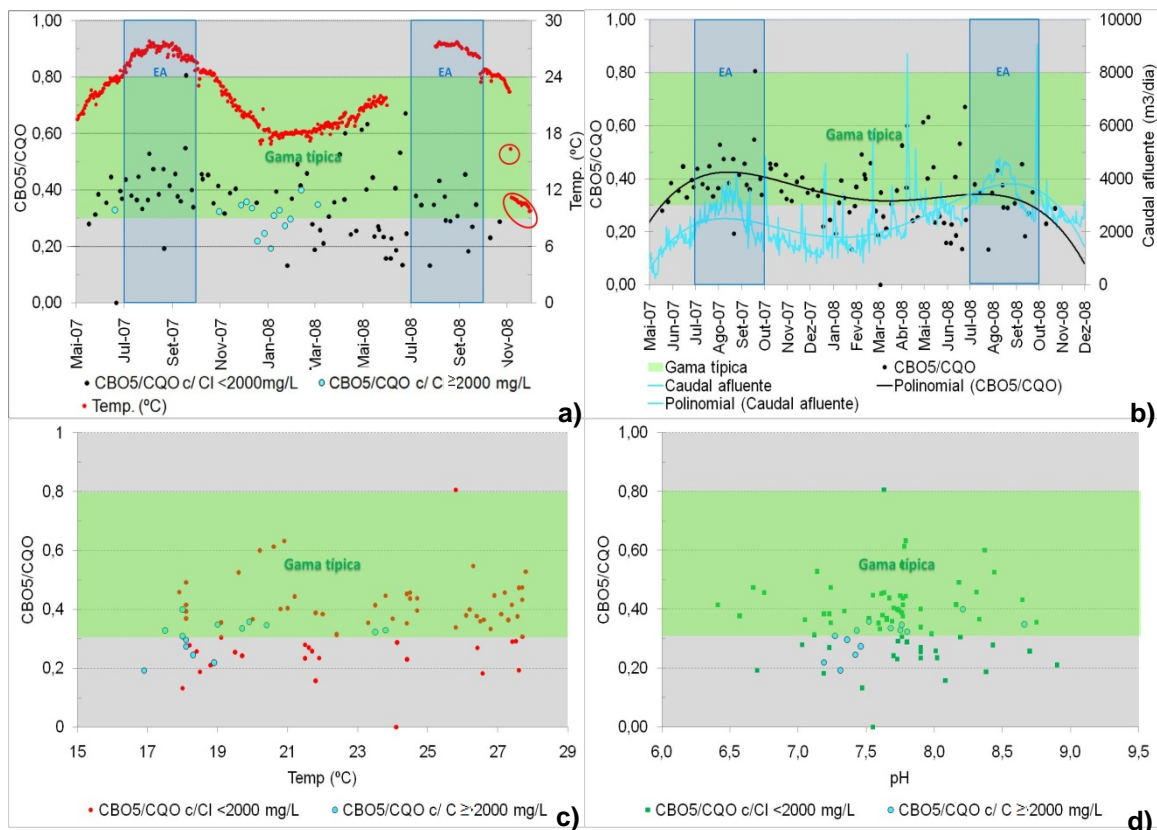


Figura 20 Indicador de biodegradabilidade da água residual bruta relacionado com o caudal, temperatura e pH

Analisando a Figura 20a verifica-se que o valor médio do indicador de biodegradabilidade se situou para todas as épocas no limite inferior típico para uma água residual urbana, ou seja no limite da eficácia do tratamento biológico na remoção

de matéria orgânica carbonácea. Os valores inferiores à gama típica verificaram-se em maior número na época baixa, o que poderá justificar-se pelo elevado tempo de retenção nos colectores e poços das estações elevatórias que propicia o início dos processos de estabilização da matéria orgânica no próprio sistema. O sobredimensionamento natural do sistema, característico dos primeiros anos de funcionamento, pode justificar o aumento de tempo de retenção hidráulico do sistema.

Pela análise da Figura 20b verifica-se que valores baixos do índice de biodegradabilidade estão associados a valores reduzidos de caudal afluente, o que permite associar a baixa biodegradabilidade do afluente da ETAR de Almargem ao elevado tempo de retenção no sistema colector. Caudais afluentes reduzidos correspondem a menor biodegradabilidade do afluente, pois o tempo que ficou retido nas estações elevatórias até ser atingido o nível de arranque das bombas das elevatórias, foi suficiente para dar início à sua degradação. Esta relação é comprovada pelas linhas de tendência: indicador de biodegradabilidade – linha preta e caudal afluente - linha azul.

A baixa biodegradabilidade da água residual bruta pode também ser resultado da contribuição das escorrências com elevados níveis de CQO.

A Figura 20c não revela, ao contrário do espectável, diminuição do indicador de biodegradabilidade com o aumento da temperatura. O pH não evidencia uma correlação Figura 20d com o índice de biodegradabilidade.

4.3 Caracterização de água para descarga

As Figura 21e 22 caracterizam a água para descarga ao nível dos parâmetros definidos na licença de descarga, pH, nutrientes e cloreto. A Figura 21 revela a variação da **temperatura** e **pH**. Tal como verificado para a água residual bruta, verifica-se que a temperatura da água para descarga também apresenta uma variação sazonal influenciada pela estação do ano, Verão ou Inverno. A **temperatura** média da água para descarga durante o período em análise foi de $22,0 \pm 3,0$ °C. O valor mais elevado foi registado a 10 de Setembro de 2008, $28,1$ °C e o mais baixo $13,10$ °C a 11 de Janeiro de 2008.

Os valores de pH da água para descarga apresentaram variações, encontrando-se no entanto dentro da gama típica (6 a 9). O valor médio de pH no período em análise foi de $7,2 \pm 0,3$. No dia 31/10/2008 identificou-se um valor de pH anormalmente baixo (5,17), considerou-se esse valor como *outlier*.

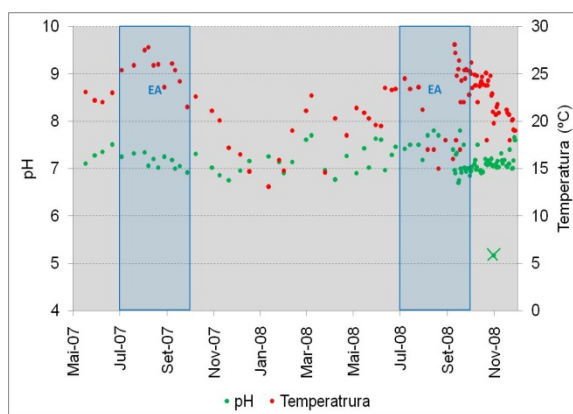


Figura 21 Temperatura e pH da água para descarga

A Figura 22 caracteriza a água para descarga da ETAR de Almargem ao nível dos parâmetros definidos na licença de descarga, nutrientes e teor em cloreto.

Conforme observado na água residual bruta, a água para descarga, durante o período em análise, não apresentou variação sazonal para a **concentração de SST**, no entanto os valores mais elevados foram atingidos na época alta, à excepção da época de arranque da estação (Figura 22a).

Na Figura 22b) pretendia-se relacionar a concentração de SST com a **turvação e transmitância**, no entanto tal não foi possível devido aos poucos dados disponíveis. Ao nível da transmitância o efluente apresentou em média valores de 60 % e de turvação 9 UNT.

Ao contrário do verificado na água bruta, o **CQO** da água para descarga apresentou sazonalidade associada à época alta (Figura 22c). No entanto o efeito da sazonalidade estende-se aproximadamente até Novembro. O valor máximo de CQO da água para descarga foi 91 mgO₂/L a 3 de julho de 2007 e o mínimo de 15 mgO₂/L a 20 de Maio de 2008 (Figura 22c).

A concentração de **CBO₅** da água para descarga assim como verificado para a água bruta não se observou qualquer efeito da sazonalidade (Figura 22d). O valor de CBO₅ da água de descarga apresentou o valor máximo de 45 mgO₂/L (arranque da instalação) e mínimo de 2 mgO₂/L (Figura 22d).

No que respeito ao **N-t** verificou-se que tal como para a água residual bruta apresenta sazonalidade (Figura 22e).

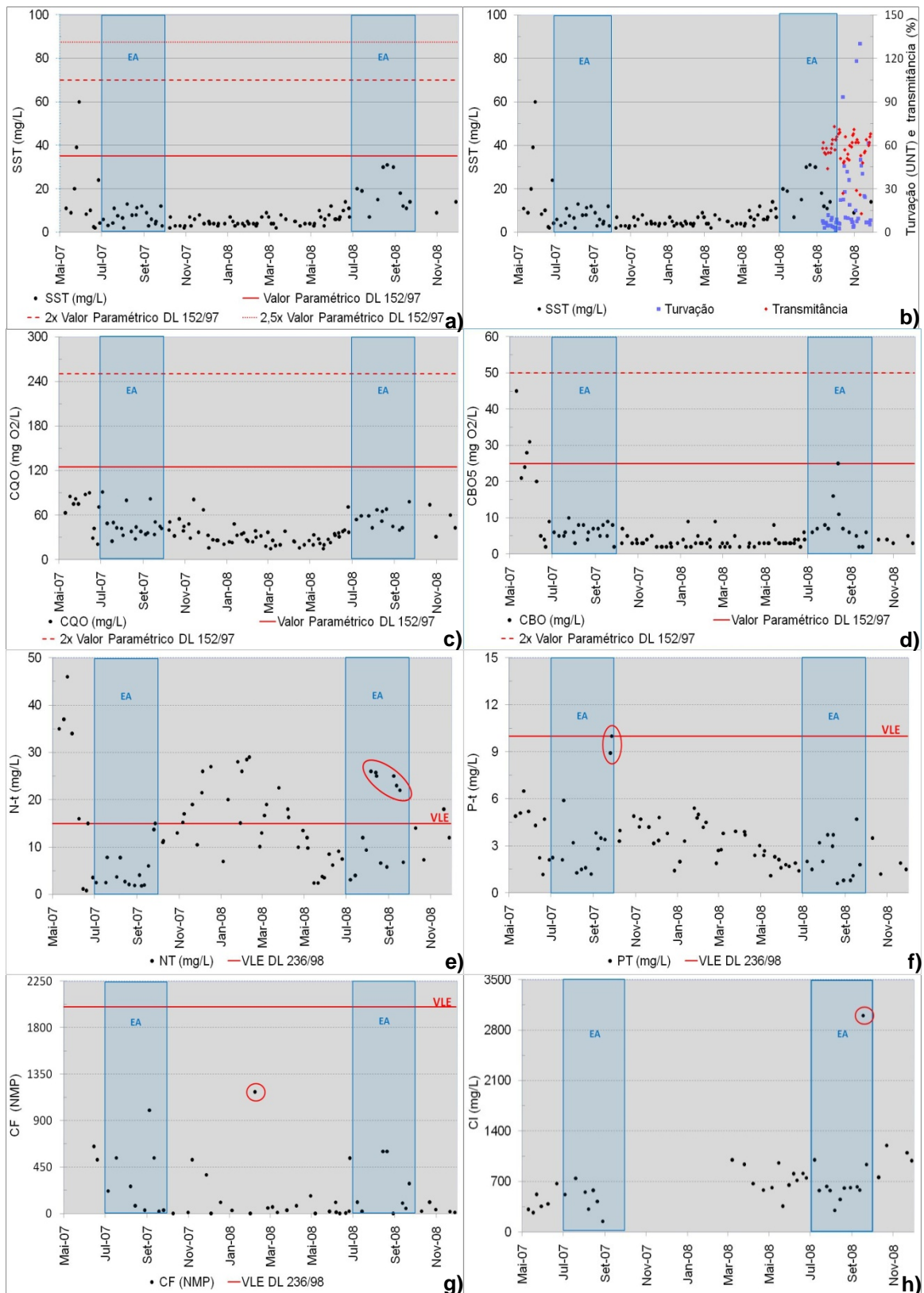


Figura 22 Água para descarga

No entanto inversa à apresentada na água residual bruta, ou seja verificam-se concentrações mais elevadas de N-t na água para descarga na época baixa. Nos dias 6, 13 e 14 de Agosto e 8, 12 e 17 de Setembro verificaram-se valores discordantes da tendência (Figura 22e).

As concentrações de **P-t** da água para descarga revelaram sazonalidade, no entanto não associada à época do ano (Figura 22f), conforme verificado na água residual bruta. Nos dias 25 e 27 de Setembro de 2007 registaram-se concentrações de P-t anormalmente elevadas 8,92 e 10 mg/L respectivamente, valores considerados *outliers*. A concentração mais baixa de P-t foi atingida dia 20 de Agosto de 2008, 0,6 mg/L (Figura 22f).

Os valores médios de **coliformes fecais** situaram-se entre 0 e 1178 NMP/100mL verificando-se um *outlier* no dia 7/02/2008.

Registou uma concentração média de **cloreto** de 680 mg/L correspondente a um valor máximo de 3000 mg/L e um mínimo de 149 mg/L.

Ao nível do teor de cloreto da água para descarga (Figura 22h) não foi possível verificar com os dados disponíveis se se verificava sazonalidade ou não. Atendendo ao teor de cloretos normalmente apresentado na água para descarga verifica-se que no dia 17 Setembro de 2009 este teor foi largamente ultrapassado registando-se um valor de 3000 mg/L.

4.4 Água para reutilização

A água para reutilização foi caracterizada ao nível do pH, temperatura, SST, transmitância, turvação e coliformes fecais. A Figura 23 caracteriza a água para reutilização da ETAR de Almargem, no período em estudo. No período em análise a água para reutilização apresentou em média uma temperatura média de $21,2 \pm 4$ °C e o pH variou entre 6,72 e 7,97. A partir do final de época alta de 2008, verificou-se uma ligeira diminuição do pH da água para reutilização (Figura 23a)

Assim como na água residual bruta e água para descarga verifica-se que a temperatura da água para reutilização é influenciada pela temperatura exterior, apresentado valores mais elevados na época alta (Figura 23a).

A concentração de SST na água para reutilização, tal como verificado para a água residual bruta e para descarga não revela sazonalidade. A água para reutilização apresentou valores de SST entre 1 e 10 mg/L à excepção de dia 16/07/2009, 24/09/2009 e 3/11/2008 em que foram atingidos os valores de 24,16 e 78 mg/L, valores anormais face ao padrão de resultados obtidos (Figura 23b).

Os resultados disponíveis de turvação e transmitância dizem respeito apenas aos últimos meses de 2008. Os valores médios de transmitância e turvação foram 56 % e 17 UNT respectivamente (Figura 23c).

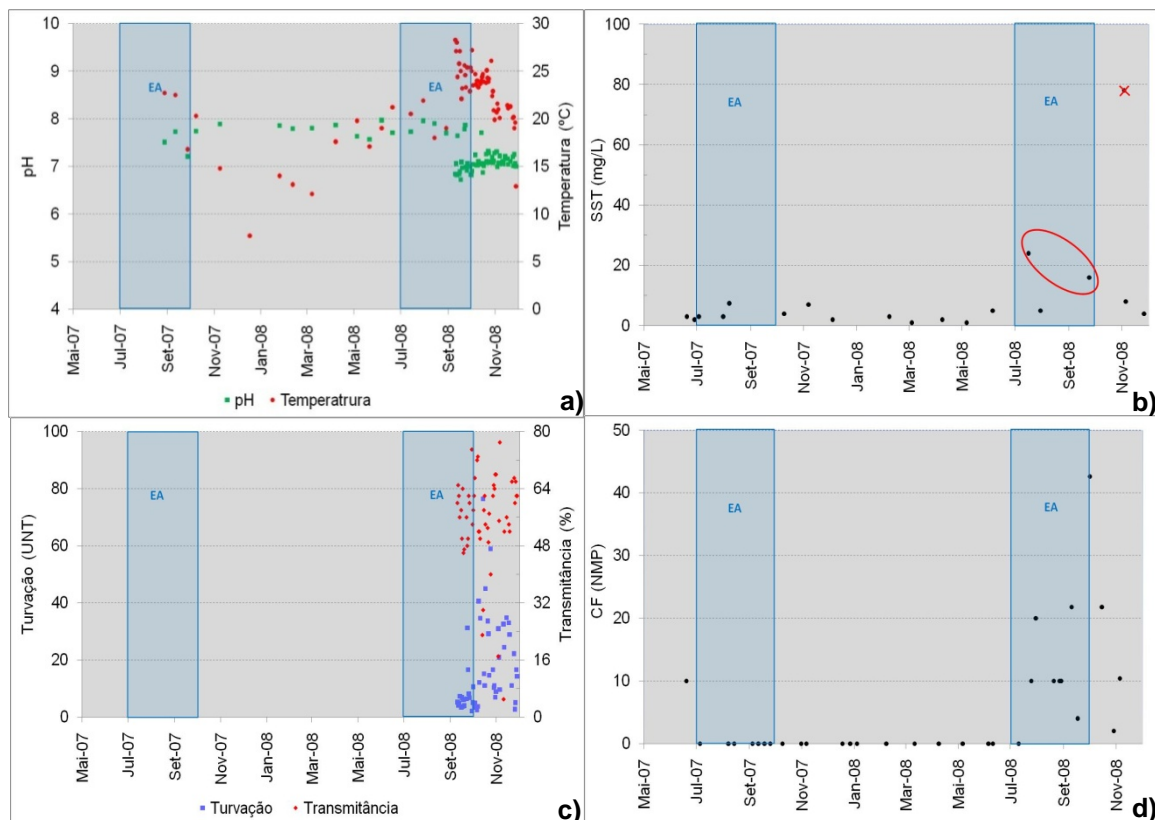


Figura 23 Caracterização da água para reutilização

Quanto às características microbiológicas da água para reutilização verificou-se que apresentou valores muito baixos de **coliformes fecais** até início da época alta de 2008, a partir da qual se verificou um aumento do valor de NMP de CF. Esta situação poderá decorrer do aproximar do tempo de vida útil das lâmpadas instaladas e consequente redução da sua eficiência.

4.5 Avaliação das eficiências globais de tratamento da água para descarga

A Figura 24 exibe as eficiências de remoção global da água para descarga da estação.

A Figura 24 revela que a ETAR apresentou boas eficiências de remoção global médias dos parâmetros SST; CQO e CBO₅, 98±3%; 94±3% e 98±2%, respectivamente, sendo estas de um modo geral iguais ou superiores às respectivas eficiências teóricas típicas (Qasim, 1999) e superiores às mínimas legisladas e de projecto.

Relativamente à remoção do **azoto** e **fósforo total** verifica-se sazonalidade, ou seja eficiências mais elevadas nos meses de verão e mais baixas nos meses de inverno. Esta é uma situação típica, uma vez que nos meses mais quentes, com consequente aumento da temperatura da água residual, é favorecida a actividade biológica acelerando o metabolismo dos microrganismos, originando eficiências de remoção de nutrientes mais elevadas. O N-t e P-t apresentam eficiências de remoção de 79±17% e 73±18%, no

entanto apresentam valores inferiores às gamas típicas de remoção na época baixa (Figura 24d e e).

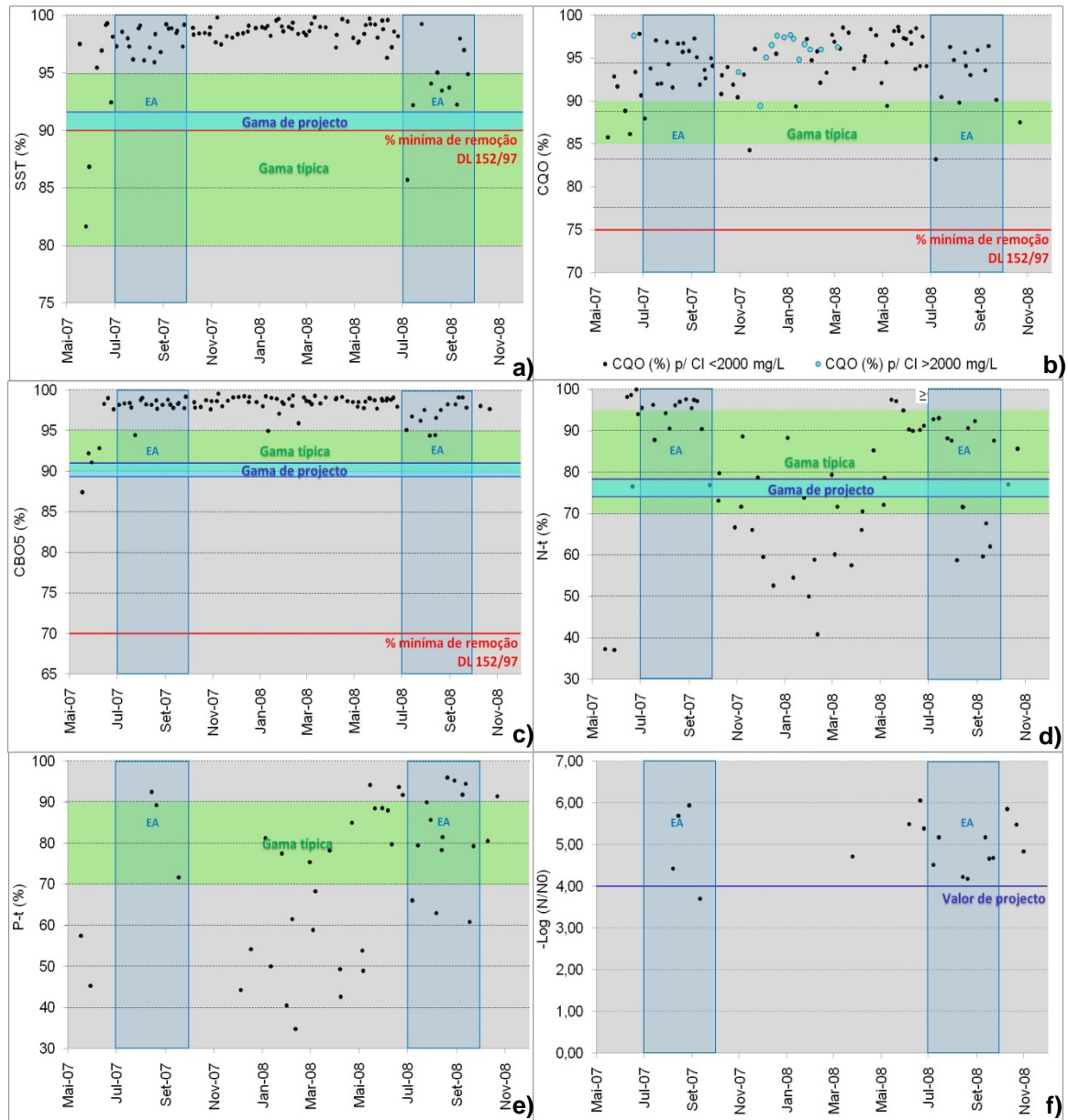


Figura 24 Eficiências globais de remoção

A eficiência de desinfecção em termos de coliformes fecais mantiveram-se acima de 3,70 Log (ou seja, sempre acima de 99,9%) e a média foi de 6,06 Log (Figura 24f).

4.6 Avaliação do cumprimento de requisitos

Atendendo ao objectivo deste trabalho a avaliação de cumprimento de requisitos foi efectuada para água de descarga e água para reutilização.

4.6.1 Avaliação do cumprimento de requisitos da água para descarga

Segundo a licença de descarga da ETAR de Almargem, a avaliação de conformidade dos parâmetros SST, CQO e CBO₅, até 4 de Julho de 2008 (período considerado de arranque), deve ser feita pelas percentagens mínimas de redução e posteriormente a esta data pelas concentrações, definidas no anexo I, do DL152/97, de 19 de Junho.

No que diz respeito ao parâmetro, coliformes fecais, em ambos os períodos o limite de emissão estabelecido é a concentração definida no DL 236/98, de 1 Agosto.

Para a caracterização e avaliação de requisitos da água para descarga, e uma vez que a avaliação do cumprimento da licença de descarga, corresponde também à avaliação da eficácia, independentemente do período em análise, foram considerados a avaliação por percentagens mínimas de redução, cumprimento dos VP definidos no DL152/97, VLE definidos no DL236/98 e do parâmetro coliformes fecais estabelecido pelo DL236/98. Esta opção prendeu-se com o facto do período em análise abranger os dois critérios de avaliação.

No estudo do cumprimento dos requisitos, foram considerados os valores paramétricos em concentração (número máximo de análises não conformes permitidas pelo Decreto-Lei, desvios de 100% do valor paramétrico admitidos para CBO₅ e CQO e de 150% do valor paramétrico de SST) Quadro 39.

Para os parâmetros abrangidos pelo DL236/98 foram calculadas as médias aritméticas mensais, e confrontadas com o respectivo VLE, “Valor limite de emissão”.

O Quadro 39 é um resumo do cumprimento dos requisitos da água para descarga relativamente aos parâmetros CQO, SST e CBO₅, para ETAR de Almargem no período em análise.




A licença de descarga da ETAR de Almargem não contempla a remoção de nutrientes, no entanto analisou-se os parâmetros fósforo total e azoto total na água para descarga com base no DL 236/98.

Como se pode observar pela Figura 22, Figura 24 e Quadro 39 durante todo o período em análise a ETAR de Almargem esteve a cumprir o DL152/97, tanto no que se refere às percentagens de redução como às concentrações. Verificou-se apenas duas amostras não conformes no parâmetro SST e três no parâmetro CBO₅, no mês de Maio 2007, decorrentes do arranque do reactor biológico.

Em relação ao requisito de impossibilidade de exceder o valor paramétrico em mais de 100% para o CQO e CBO₅ e em mais de 150% para os SST, foi sempre cumprido.

Quadro 39 Avaliação das conformidades dos parâmetros SST, CQO e CBO₅ relativamente ao DL n.º 152/97




Ano	SST					CQO					CBO ₅				
	1	2	N.º de amostras não conformes			1	2	N.º de amostras não conformes			1	2	N.º de amostras não conformes		
			% remoção	3	4			% remoção	3	4			% remoção	3	4
2007	47	5	2	2	0	47	5	0	0	0	46	5	0	3	0
2008	53	5	1	0	0	56	5	0	0	0	58	6	0	0	0

- 1- Total de análises realizadas anualmente;
 - 2- Número de análises não conformes permitidas pelo (DL 152/97);
 - 3- Análises que ultrapassam o VP, não mais de 100% (2VP).
 - 4- Análises não conformes, que excedem em mais de 100% valor paramétrico (VP) para o CQO e CBO₅ e em mais de 150% o valor paramétrico em SST (2,5VP).
-  Cumprimento
 Incumprimento
 Um dos requisitos não é cumprido

A Figura 22g e Quadro 40 revelam que ao nível dos coliformes fecais a ETAR encontrou-se sempre a cumprir a licença de descarga, ou seja a média mensal nunca ultrapassou o valor paramétrico definido no DL n.º 236/98, e o valor máximo observado por mês também não ultrapassou o dobro do valor limite.

Quadro 40 Avaliação das conformidades do parâmetro coliformes fecais relativamente ao DL n.º 236/98

Coliformes Fecais NMP/100mL				
Ano	Mês	Média mensal	N.º de amostras não conformes	
			Média mensal	2VP
2007	Junho	585	0	0
	Julho	378	0	0
	Agosto	123	0	0
	Setembro	397	0	0
	Outubro	5	0	0
	Novembro	447	0	0
	Dezembro	55	0	0
2008	Janeiro	15	0	0
	Fevereiro	615	0	0
	Março	35	0	0
	Abril	123	0	0
	Mai	10	0	0
	Junho	114	0	0
	Julho	65	0	0
	Agosto	400	0	0
	Setembro	147	0	0
	Outubro	56	0	0
	Novembro	14	0	0

-  Cumprimento
 Incumprimento
 Um dos requisitos não é cumprido

Apesar de não estar contemplado na licença de descarga constatou-se que o azoto apresentou eficiências típicas de remoção na época alta, no entanto na época baixa os valores de VLE para o azoto foram superados (Figura 22e e Figura 24d)

Através da Figura 22f e Figura 24e é possível observar que o processo de remoção biológica do fósforo é eficaz, pois apesar de não ser uma exigência da licença de

descarga é removido na estação, não sendo nunca ultrapassado o VLE no período em estudo.

Embora as boas eficiências de remoção da ETAR é necessário realçar que se trata de uma ETAR com elevada concentração de cloreto na água residual bruta, com variações de 3722 mg/L a 222 mg/L. A elevada salinidade no processo de lamas activadas afecta a eficiência de remoção de CQO e CBO₅ (Tang *et al.*, 2002; e Dan *et al.*, 2003). No entanto Dinçer *et al.* (1999) e Tang *et al.* (2003) revelam que o processo de nitrificação e desnitrificação são os mais afectados pela salinidade. Este facto deve-se à alteração do transporte de substâncias químicas entre o meio e o interior da célula microbiana, provocando mudanças no metabolismo e efeitos inibitórios, também tende a causar a lise celular devido às grandes diferenças de pressão osmóticas entre o citoplasma e o ambiente (Dan *et al.*, 2003).

Kargi *et al.* (1997) consideram valores superiores a 1% como capazes de inibir o metabolismo celular e causar plasmolise criando perda de actividade celular.

Kincannon *et al.* (1968) descobriram que a redução da concentração de sais causa efeitos negativos mais severos do que o aumento. O aumento da concentração de NaCl para 30 g/L, provoca a redução de aproximadamente 40 % da eficiência de remoção de CBO₅, a diminuição da salinidade, em lamas activadas aclimatizadas à salinidade, de 30 g/L para valores normais, provocam a redução de 75 % da eficiência de remoção de CBO₅.

Variações rápidas de salinidade podem provocar imediata libertação de constituintes celulares, resultando no aumento de CQO solúvel (Kargi *et al.*, 2002).

Kargi *et al.* (2002) sugere ainda que a existência de sal nos efluentes reduz a população de protozoários e organismos formadores de flocos, resultando em baixas eficiências de sedimentação.

As concentrações elevadas em cloreto também têm efeitos negativos ao nível da rápida deterioração dos materiais e equipamentos.

4.6.2 Avaliação do cumprimento de requisitos da água para reutilização na rega de campos de golfe

A avaliação do cumprimento de requisitos da água para reutilização na rega de campos de golfe foi realizada através da verificação do cumprimento dos parâmetros determinados no DL236/98 e requisitos de qualidade assumidos no Quadro 1 do Anexo I.

A avaliação do cumprimento de requisitos da água para reutilização na rega de campos de golfe foi efectuada aos dois produtos resultantes do processo de tratamento da ETAR: água para descarga: **produto A** e água para reutilização: **Produto B**

Devido ao plano analítico em vigor apenas, foi possível verificar a conformidade com o DL 236/98 para os parâmetros pH, SST, teor em cloreto e coliformes fecais.

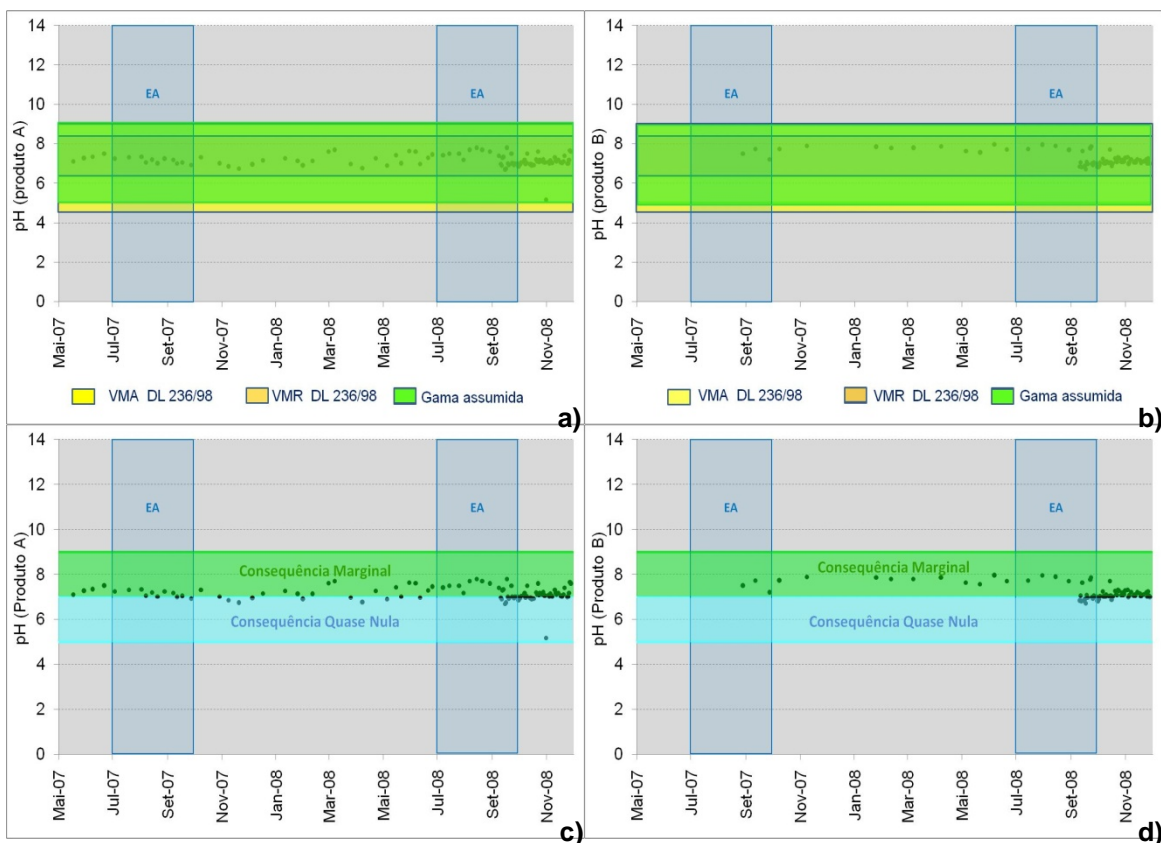


Figura 25 Avaliação da conformidade da água para reutilização para o parâmetro pH

Através da análise da Figura 25 verifica-se que o pH de ambos os produtos encontrou-se sempre no intervalo de valores máximos admissíveis (VMA) pelo DL236/98. O produto B apresentou valores de pH sempre dentro do intervalo de valores máximos recomendados (VMR), no entanto o produto A apresentou um valor de pH abaixo do limite inferior. O intervalo de pH assumido como qualidade necessária foi alcançado por ambos os produtos.

O plano analítico em vigor na ETAR de Almargem, no período em análise, não contemplava a análise dos parâmetros CQO, CBO5, Cl e nutrientes no produto B, apenas no produto A. Uma vez que o produto B resulta de um processo de afinação do produto A, que não se considera afectar a concentração dos parâmetros referidos, assumiu-se que para a concentração de CQO, CBO, Cl e nutrientes era igual para ambos os produtos Figura 26 e 27.

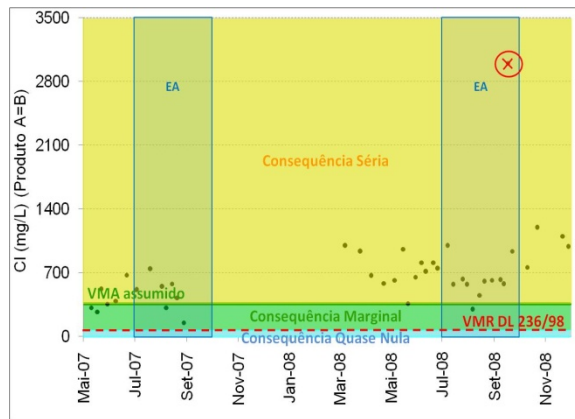


Figura 26 Avaliação da conformidade da água para reutilização para o parâmetro Cl

A Figura 26 demonstra que para os valores de Cl foram superiores ao VMR do DL236/98 e VMA assumido (355 mg/L).

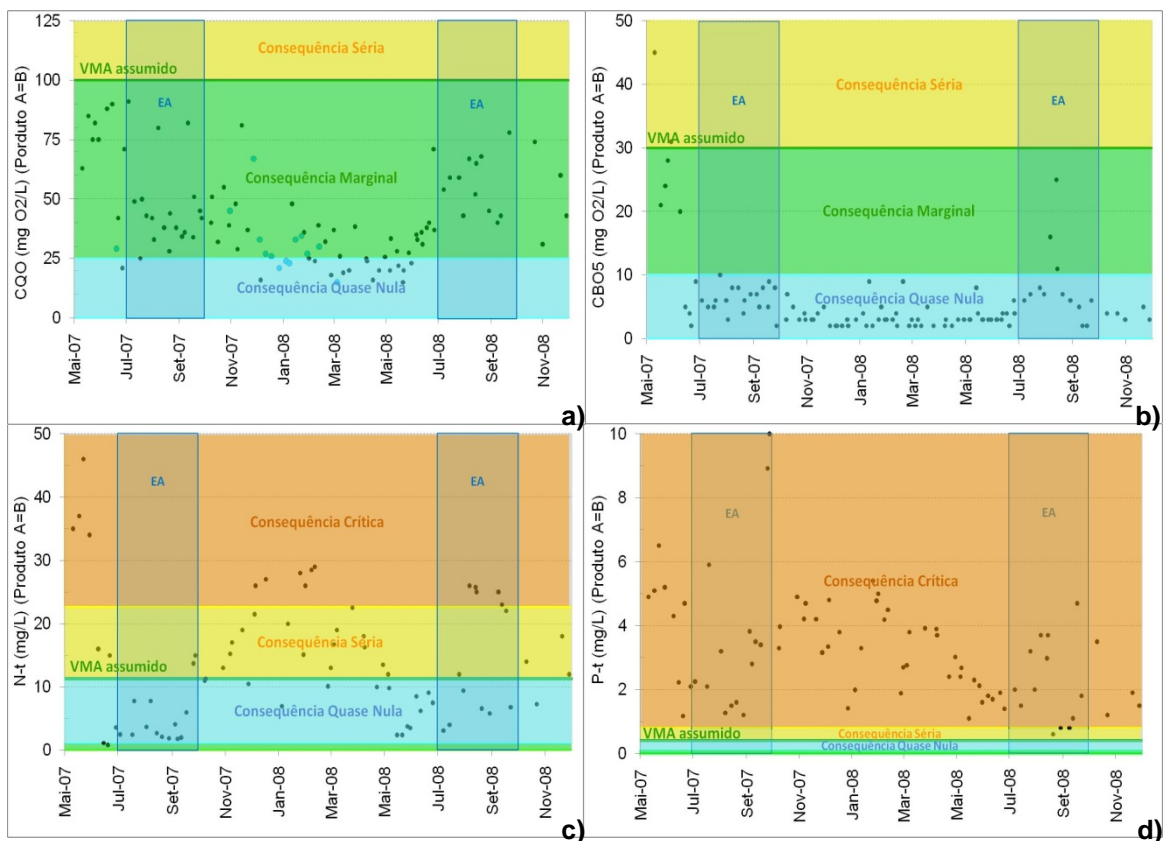


Figura 27 Avaliação da conformidade da água para reutilização para os parâmetros:
a) CQO; b) CBO₅; c) N-t e d) P-t

Constata-se que ambos os produtos apresentaram concentrações de CQO (Figura 27a) em média inferiores ao VMA assumido (100 mg O₂/L).

As concentrações de CBO₅ (Figura 27b) estiveram em média abaixo do VMA assumido (30 mg O₂/L), no entanto no período de arranque da instalação identificaram-se dois valores de CBO₅ superiores.

Os valores **azoto total** (Figura 27c) oscilaram entre valores superiores e inferiores ao VMA assumido (11,3 mg/l), enquanto o **fósforo total** (Figura 27d) apresentou sempre concentrações superiores ao VMA assumido (0,4 mg/L).

Os valores **SST** (Figura 28a e b) tanto para o **produto A** como para o **B** apresentaram-se inferiores ao VMR do DL236/98 de água para rega e VMA assumido (60 mg/l), à excepção de um único valor superior apresentado pelo produto B considerado *outlier*.

No que diz respeito à **turvação** (Figura 28c e d) os valores obtidos para ambos os produtos apresentaram-se superiores ao VMA assumido (10 UNT).

O VMA assumido para os **coliformes fecais** (100 NMP) foi superado no produto A (Figura 28e), para o produto B este valor não foi ultrapassado (Figura 28f).

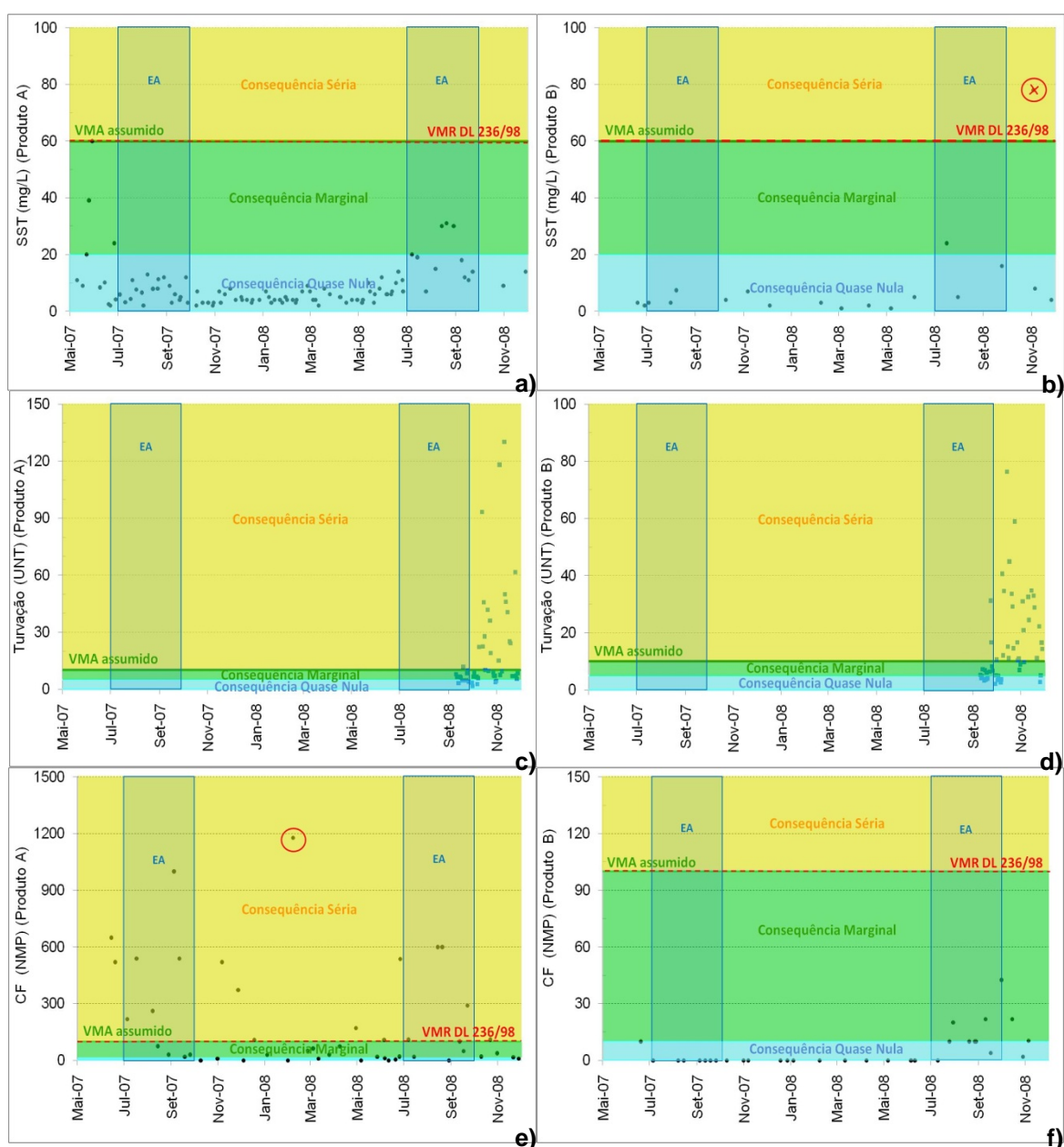


Figura 28 Avaliação da conformidade da água para reutilização para os parâmetros :
a) e b) SST; c) e d) turvação; e) e f) CF

4.7 Avaliação do funcionamento das etapas do tratamento

As etapas avaliadas foram o pré-tratamento (tamisação e desarenamento desengorduramento), o tratamento secundário (A²O + DS) e o tratamento terciário (desinfecção UV e filtração).

4.7.1 Tratamento preliminar

As eficiências parciais do pré-tratamento foram avaliadas relativamente aos parâmetros óleos e gorduras e SST (Figura 29 e 30).

Através da Figura 29a e b verificou-se que as eficiências de remoção de **SST e Óleos e Gorduras** no tratamento preliminar em média foi bastante baixa, apresentando valores negativos e com grande amplitudes de desvio.

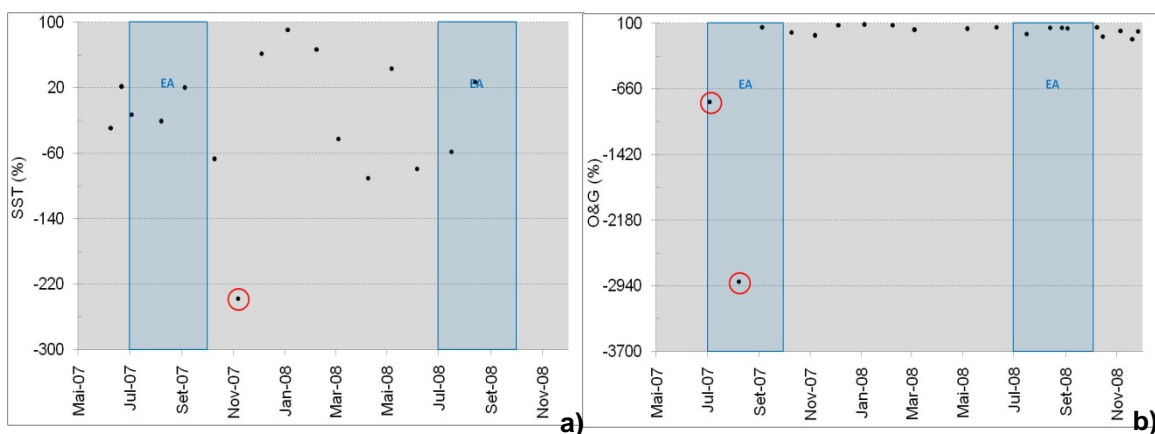


Figura 29 Eficiências de remoção parcial no pré-tratamento (abordagem A):
a) SST e b) O&G

Estes resultados levam-nos a suspeitar de problemas no sistema de amostragem. Uma vez que a análise dos parâmetros da água residual bruta era realizada sobre uma amostra composta enquanto a amostra após desarenador-desengordurador era uma amostra pontual, propôs-se que se iniciasse uma amostragem composta após tratamento preliminar, no entanto devido a questões logísticas, não foi possível implementar essa alteração e optou-se por realizar duas amostras pontuais adicionais uma à entrada e outra à saída do tratamento preliminar, tendo em conta o tempo de retenção do órgão. Esse novo procedimento (**abordagem B**) iniciou-se em 2008 e os resultados são apresentados na Figura 30.

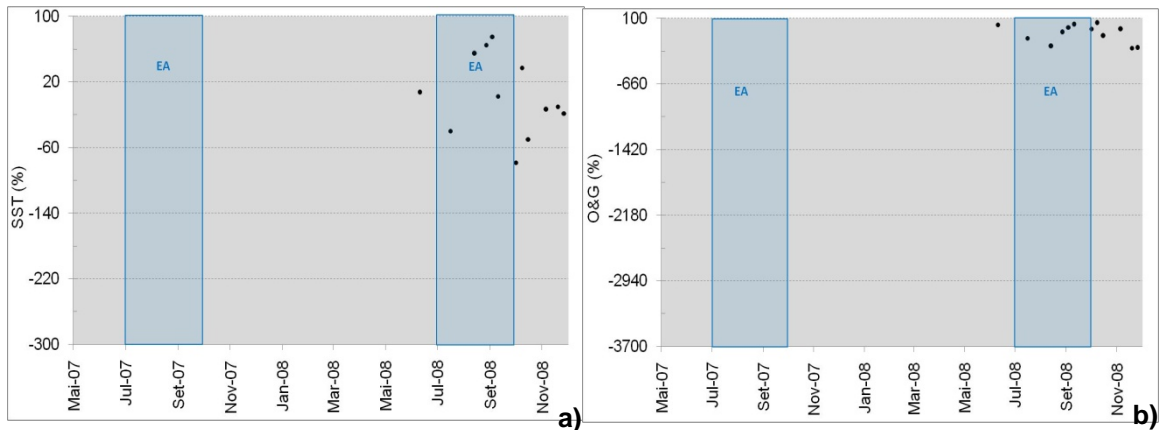


Figura 30 Eficiências de remoção parcial no pré-tratamento (abordagem B):

a) SST e b) O&G

Na abordagem B (Figura 30a e b) constatou-se um ligeiro aumento das eficiências de remoção de SST e O&G. Estes resultados sugerem que os métodos de amostragens deveram ser cuidadosamente analisados e executados de forma a reduzir alguma perturbação nos resultados da eficiência do órgão. Não obstante da amostragem ser um factor essencial para melhorar a análise das eficiências de remoção do tratamento preliminar, as eficiências negativas obtidas em ambos os cenários pode dever-se a dificuldades do sistema na remoção SST e gorduras.

De forma averiguar de uma forma mais concreta o problema, propõem-se a realização de testes de IVL à água residual bruta da ETAR e do efluente do desarenador-desengordurador.

4.7.2 Tratamento secundário

A análise da eficiência parcial do tratamento secundário ($A^2O + DS$) não pode ser devidamente estudada devido à insuficiência de parâmetros analisados à entrada desta etapa. Devido ao plano analítico em vigor, apenas foi possível determinar a eficiência parcial de remoção de SST (Figura 31).

Para o CQO, CBO5, N-t e P-t considerou-se que a remoção do tratamento secundária era igual à global (Figura 24b, c, d e e) uma vez que é nesta etapa onde são removidos em maior percentagem.

As gamas típicas utilizadas na análise das eficiências de remoção de SST do tratamento secundário foram as globais definidas por Qasim (1999). Verificou-se que a eficiência de remoção de SST do tratamento secundário foi sempre superior às eficiências típicas definidas na bibliografia, à excepção do dia 4 de Janeiro de 2008 que esteve dentro da gama típica (Figura 31).

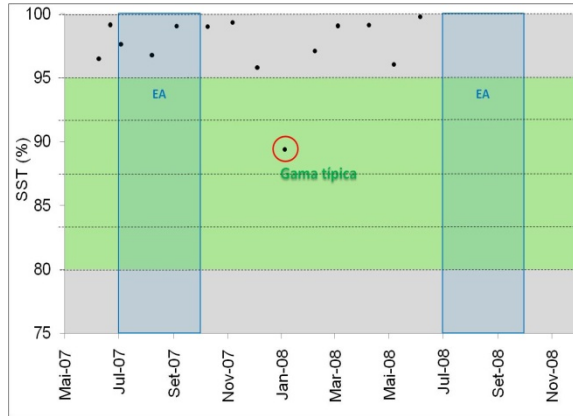


Figura 31 Eficiências de remoção parcial de SST do tratamento secundário

4.7.3 Tratamento terciário

No que diz respeito à avaliação das eficiências parciais do tratamento terciário avaliou-se a eficiência de remoção de SST (Figura 32a) e Turvação (Figura 32b). A avaliação das eficiências da filtração de água para reutilização foi realizada através do cálculo de remoção de SST e turvação (Figura 32a e b). A eficiência dos UV em linha (UV água para reutilização) foi feita através do cálculo das eficiências de remoção de CF (Figura 33).

A eficiência de remoção de **SST** apresentou resultados muito variáveis, com grande amplitude o que leva a questionar a fiabilidade/eficiência da filtração, eficiência da lavagem dos filtros, amostragem e resultados.

A eficiência de redução da **turvação** apresentou valores negativos e assim como a eficiência de remoção de SST valores muito variáveis o que reforça as dúvidas expressas anteriormente.

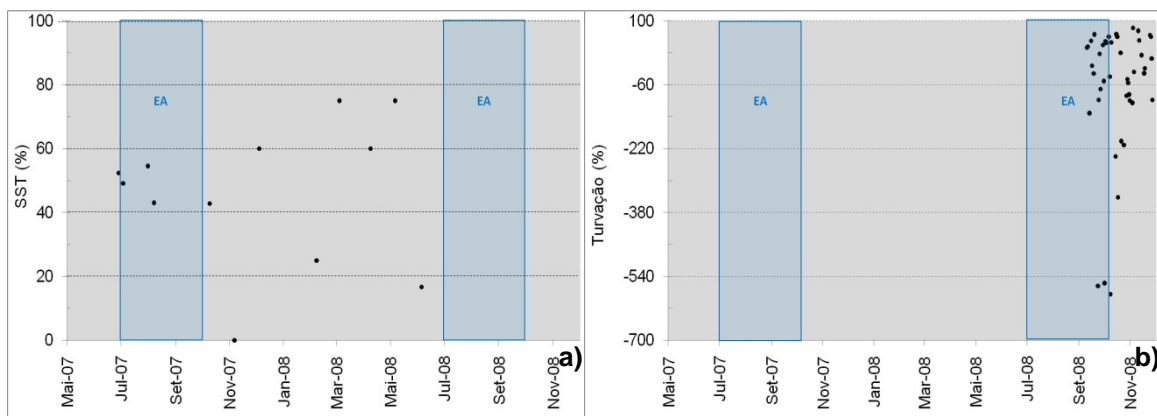


Figura 32 Eficiências de remoção parcial do tratamento terciário: a) SST e b) Turvação

A eficiência de **desinfecção** parcial alcançada pela desinfecção UV foi de 1 a 2 Log ou seja entre 90 a 99% de eficiência de desinfecção (Figura 33).

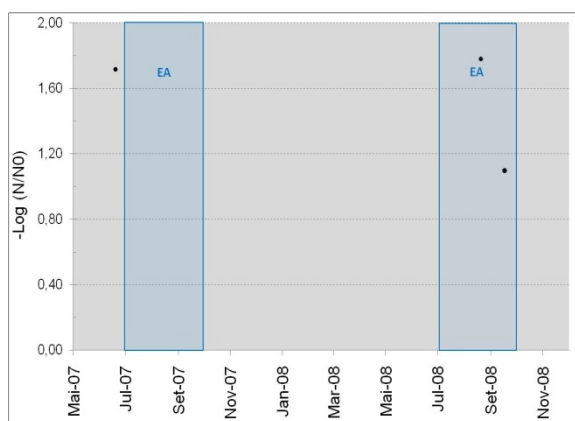


Figura 33 Eficiências da desinfecção do tratamento terciário

4.8 Determinação das condições críticas de funcionamento

Nesta secção, relacionaram-se as eficiências de remoção dos diversos parâmetros da água residual com as diferentes condições de operação de modo a identificar as condições críticas de funcionamento.

4.8.1 Tratamento preliminar

Uma vez que no tratamento preliminar, nomeadamente nos desarenadores-desengorduradores, é removida grande parte dos óleos e gorduras e parte dos SST, estudou-se a relação entre as eficiências de remoção parciais destes parâmetros e as condições de operação, cargas hidráulicas, tempo de retenção hidráulico, valores típicos e valores de projecto para a **abordagem A**, apresentada no ponto 4.7.1.

Através da análise da Figura 34a constata-se que a remoção de SST no tratamento preliminar evidenciou um possível comportamento gaussiano em relação ao SST afluente. Verificou-se que um aumento da concentração de SST afluente correspondia a um aumento das eficiências de remoção até a um máximo entre os 600-800 mg/L de SST afluente.

Com os dados disponíveis (Figura 34b) não foi possível estabelecer relação entre a carga de SST afluente e a eficiência de remoção.

A carga hidráulica e a eficiência de remoção de SST não demonstraram qualquer relação (Figura 34c). Observou-se no entanto que os valores de Q/A se situaram abaixo do valor de projecto.

Os dados disponíveis (Figura 34d) também não permitiram evidenciar qualquer relação entre o tempo de retenção hidráulico e a remoção de SST, observando-se apenas uma tendência de aumento das eficiências com o aumento do tempo de retenção, no entanto

os tempos de retenção calculados constituem valores superiores ao valor de projecto e gamas típicas.

A Figura 35 evidencia a relação das eficiências de remoção de O&G do tratamento preliminar e as condições de operação e valores típicos de projecto.

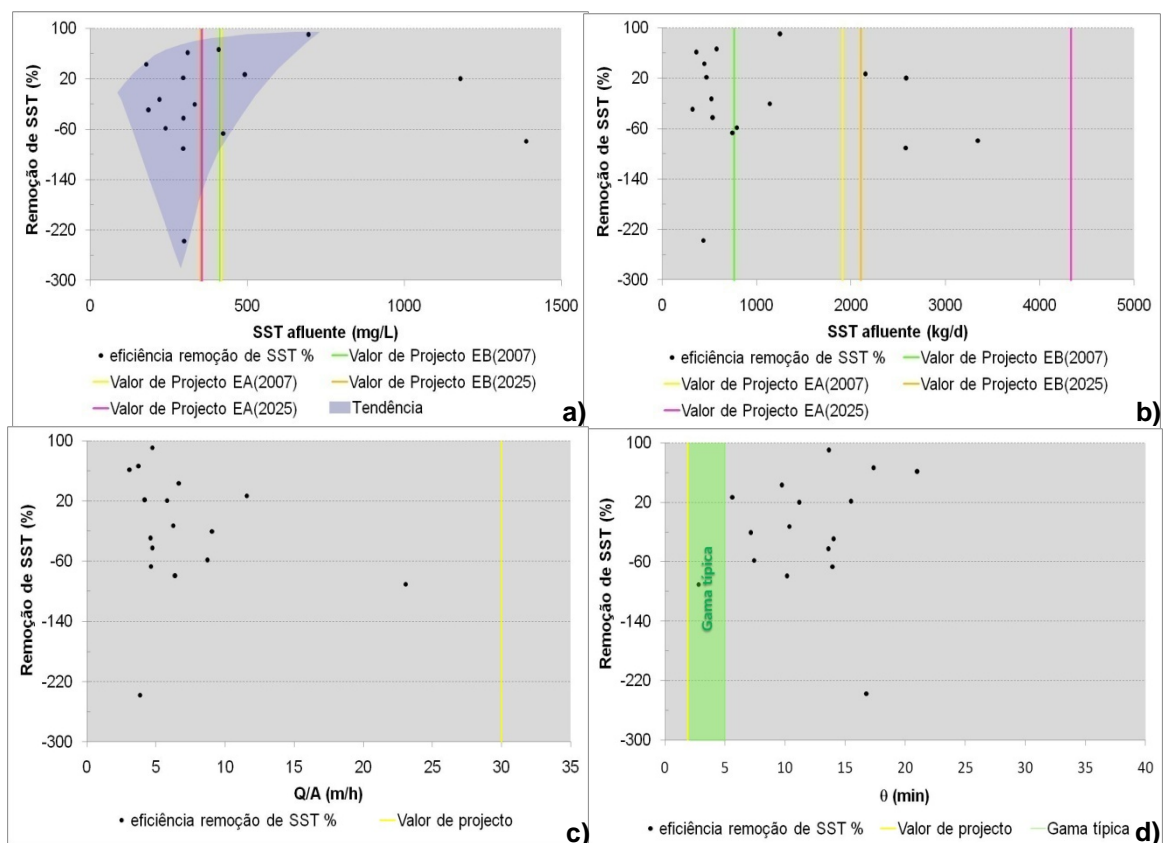


Figura 34 Eficiências parciais de remoção de SST no tratamento preliminar em função de: a) Concentração de SST afluente; b) Carga de SST afluente; c) Q/A e d) θ

Através da análise dos dados disponíveis (Figura 35) não foi possível constatar qualquer relação entre as condições de operação analisadas e a eficiência de remoção de **Óleos e Gorduras**.

Relativamente ao tempo de retenção hidráulico verifica-se uma tendência de aumento da eficiência com o seu aumento, no entanto os tempos de retenção hidráulicos de projecto são largamente ultrapassados e são observadas eficiências negativas.

A análise das condições óptimas de funcionamento do pré-tratamento não foi esclarecedora devido ao limitado número de dados disponíveis.

A **carga hidráulica (Q/A)** e o **tempo de retenção hidráulico (θ)** foram calculados com base no valor total diário afluente, o que devido ao facto da ETAR ser servida por elevatórias, não sendo por isso constante o caudal afluente, poderá originar discrepâncias entre a análise efectuada e a realidade.

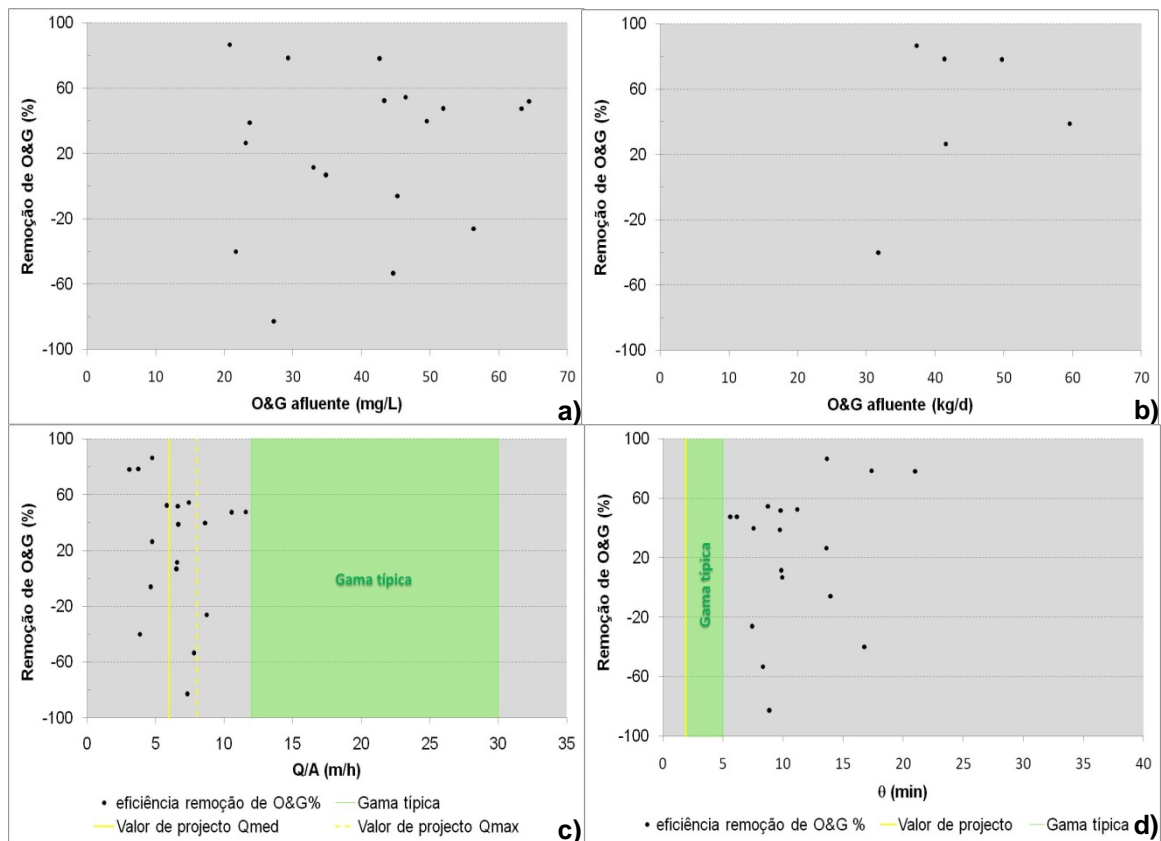


Figura 35 Eficiências parciais de remoção de O&G no tratamento preliminar em função de: a) Concentração de SST afluyente; b) Carga de SST afluyente; c) Q/A e d) θ

Devido a lacunas de informação foi também desprezada a influência da concentração e caudais das escorrências do tratamento de lamas que são descarregadas a montante dos desarenadores-desengorduradores.

Recomenda-se que num futuro estudo se proceda a uma análise ao perfil diário de caudais afluentes e caracterização das escorrências ao nível de concentração e cargas.

4.8.2 Tratamento secundário

Esta secção foi dividida em duas subsecções, uma para o reactor biológico tipo A²O e outra para os decantadores secundários.

Os resultados são apresentados no quadro síntese (Quadro 42) que pretende constituir uma ferramenta de operação da ETAR de Almargem. No quadro síntese descrevem-se e apresentam-se as diversas condições de operação que evidenciaram correlação com as eficiências de remoção.

4.8.2.1 Reactor biológico tipo A²O

As Figuras 36 à 39 mostram as relações existentes entre as eficiências de remoção dos parâmetros CQO, CBO₅, N-t e P-t e as condições que demonstraram ser críticas, no reactor biológico.

Tal como definido no ponto 4.7.2, considerou-se que a remoção do tratamento secundário para os parâmetros CQO, CBO₅, N-t e P-t era igual à global, uma vez que é nesta etapa que são removidos em maior percentagem.

Através da análise dos dados de processo disponíveis, verificou-se que a eficiência de remoção do CQO evidenciou relação com: o CQO afluente, o indicador de biodegradabilidade da água residual bruta (CBO₅/CQO), o índice volumétrico de lamas (IVL) e a carga mássica volúmica de CQO.

Da Figura 36 salienta-se que: i) a concentração de CQO afluente foi frequentemente superior à gama típica (250-800 mg/L); ii) observaram-se valores do indicador de biodegradabilidade CBO₅/CQO inferiores aos valores típicos (0,3 -0,8); iii) o índice volumétrico de lamas apresentou-se frequentemente entre os valores típicos de uma boa sedimentabilidade (100 mL/g) e os valores típicos associados a filamentosas (150 mL/g), no entanto registaram-se alguns valores superiores e inferiores a esta gama.

Seria de esperar que outros parâmetros, como o tempo de retenção celular, razão de recirculação e razão F/M, demonstrassem também relação com a percentagem de remoção, mas tal não se verificou, como pode ser observado no Anexo II, Figura 1. No Anexo I Figura 1 e 2 e Quadro 42 sobressai o facto de F/M e λ_v em CBO₅ apresentarem frequentemente valores inferiores aos valores de projecto, e a razão de recirculação (RAS) e tempo de retenção hidráulica (θ) e Celular (θ_c) apresentarem valores superiores aos valores de projecto.

Os elevados teores de MLSS, MLVSS aliados a uma razão de recirculação superior ao típico, aumentam a idade celular das lamas (θ_c). Esta situação sugere insuficiente purga de lamas e/ou recirculação superior ao necessário.

Relacionando os factos descritos anteriormente com valores de tempo de retenção hidráulica superiores aos valores de projecto, constata-se que a ETAR está a funcionar em condições de sobredimensionamento.

No Quadro 41 e 42 são resumidas as relações de eficiências de remoção do CQO no reactor biológico e as várias condições de operação avaliadas e evidenciadas na Figura 36.

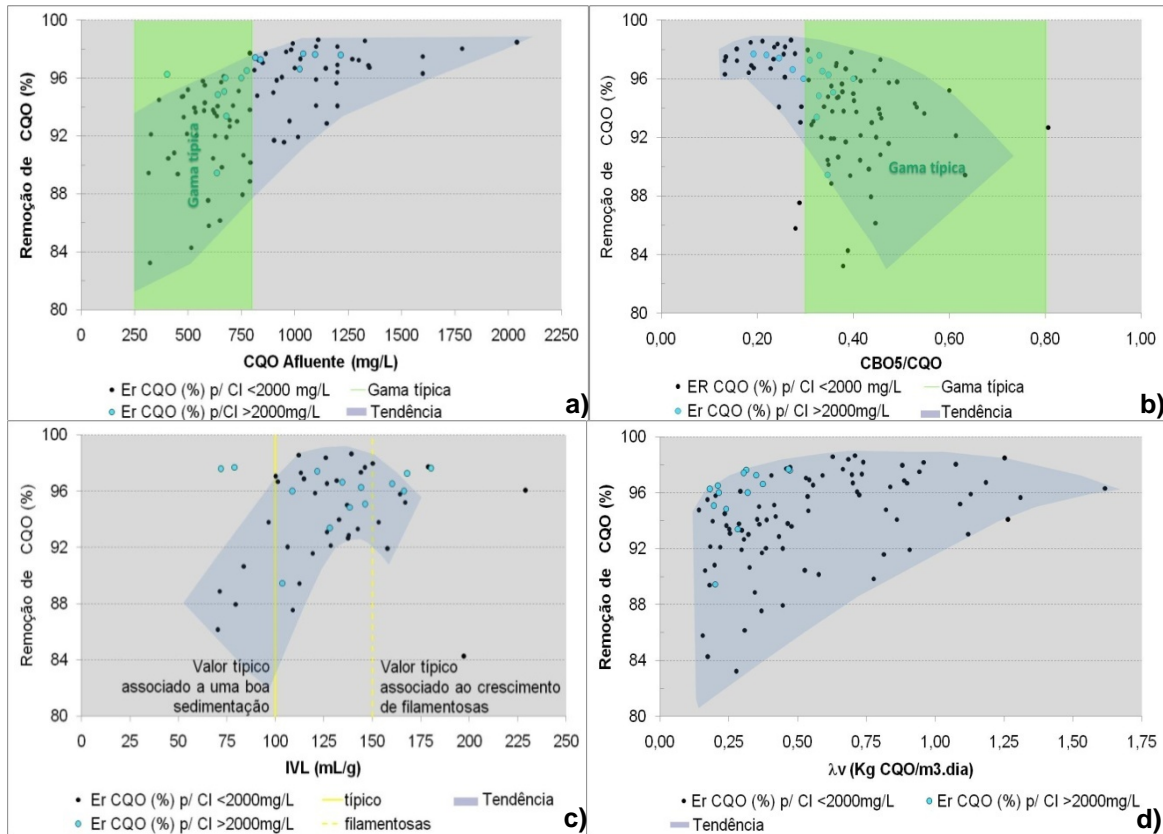


Figura 36 Eficiências de remoção global de CQO em função de: a) CQO e b) CBO₅/CQO na água residual bruta e de c) IVL e d) λ_v (CQO) no reactor biológico

Da Figura 37 salienta-se que: i) os valores de CBO₅ encontram-se em média dentro da gama típica; ii) as eficiências de remoção de CBO₅ foram normalmente superiores à gama de projecto e iii) os valores de θ encontram-se frequentemente muito superiores ao valor de projecto. Os resultados da Figura 37 corroboram a análise da Figura 36, evidenciando os elevados valores de θ que a estação se encontra sobredimensionada.

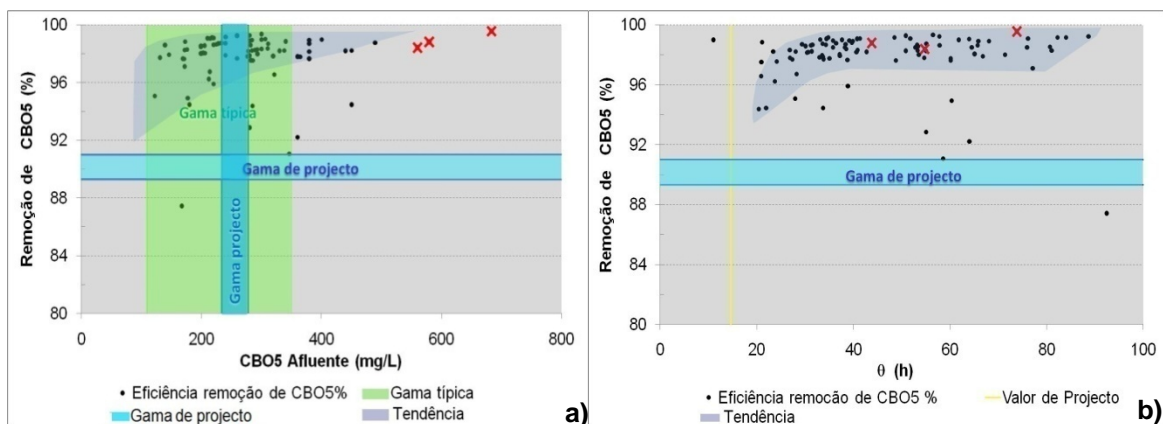


Figura 37 Eficiências de remoção global de CBO₅ em função de: a) CBO₅ afluente e b) θ no reactor biológico

Os Quadro 41 e 42 resumem as relações de eficiências de remoção do CBO₅ e as várias condições de operação evidenciadas na Figura 37. As condições de operação que não

evidenciaram ser críticas para a eficiência de remoção de CBO_5 são apresentadas no Anexo II Figura 3, 4 e 5.

Da Figura 38 distingue-se: i) que as concentrações de N-t afluyente situam-se normalmente na gama típica (20-70 mg/L) ou acima desta; ii) a Carga volúmica em CBO_5 é inferior ao valor de projecto.

A Figura 38 sugere que a eficiência de remoção de azoto total aumenta com a concentração de N-t até perto dos limites da gama típica e de projecto e diminui com o aumento índice volumétrico de lamias.

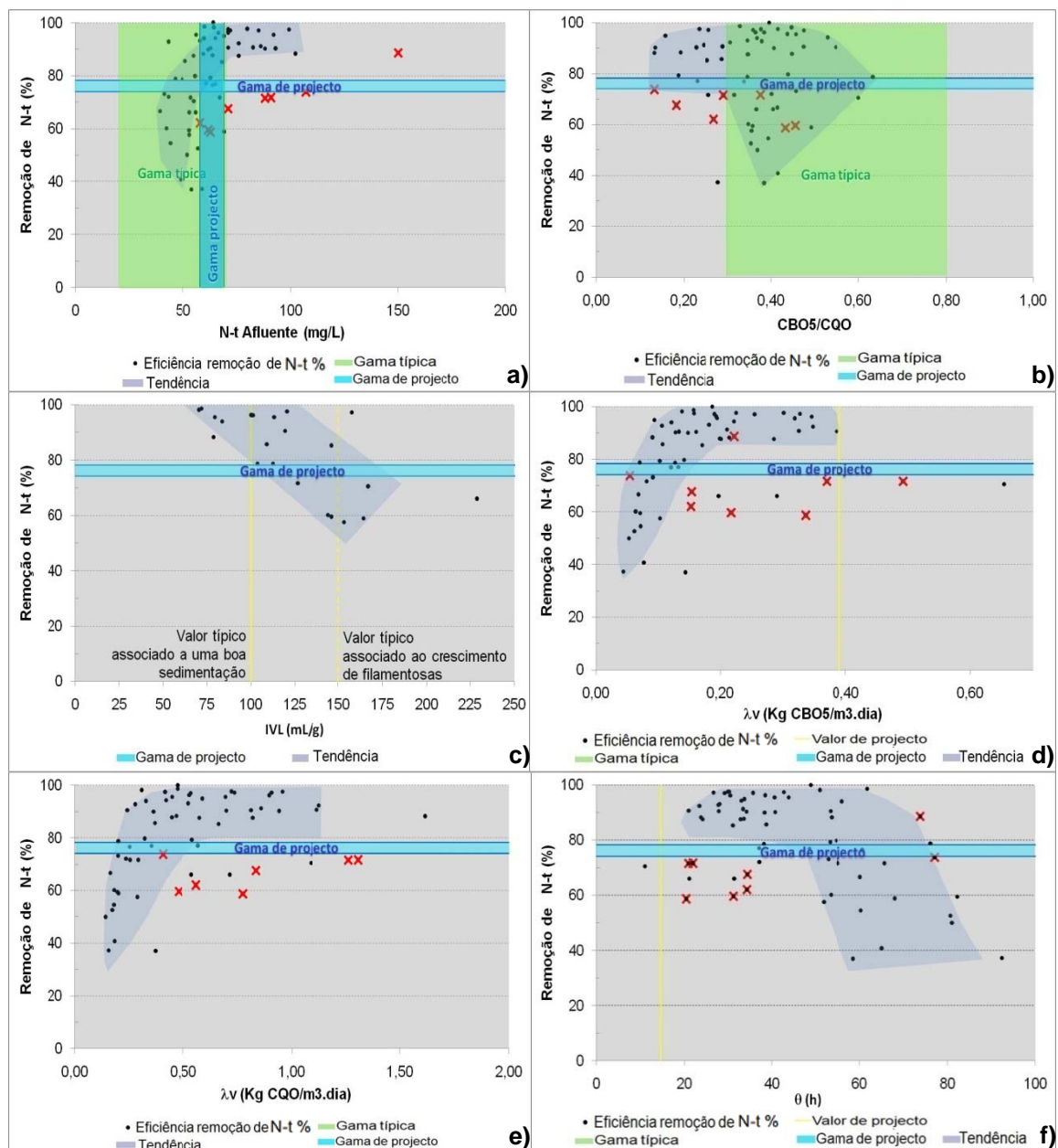


Figura 38 Eficiências de remoção global de N-t em função de:

a) N-t afluyente e b) CBO_5 /CQO na água residual bruta e de c) IVL; d) λ_v CBO_5 ; e) λ_v CQO e f) θ no reactor biológico

Constata-se também que as eficiências de remoção aumentam com a carga volúmica até um ponto a partir do qual estabiliza-se e/ou reduz-se a eficiência de remoção. Constata-se que o θ foi frequentemente superior ao definido em projecto, verificando-se redução da eficiência de remoção de N-t a partir das 50 h. A análise efectuada não permitiu estabelecer relações claras de remoção entre as eficiências de remoção de N-t e MLSS, MLVSS, F/M, RAS, OD, θ_c e Q_w (Anexo II, Figura 6 e 7). Porém, tal como se observou para o CQO, as eficiências de remoção do N-t evidenciaram relação com o indicador de biodegradabilidade CBO_5/CQO (Figura 38b), e com a carga volúmica em CQO (Figura 38e).

As eficiências de remoção de N-t apresentaram relação inversa com o IVL e não evidenciaram relação com o F/M. Este resultado não era espectável uma vez que o N-t é removido através da libertação de N_2 e não por incorporação na biomassa, por isso era espectável uma maior dependência da eficiência de remoção do N-t com F/M do que com o IVL.

A Figura 39 revela dispersão de resultados e dificuldade em estabelecer relações entre as condições de operação com as eficiências de remoção do fósforo, evento que pode dever-se ao facto do fósforo ser incorporado na biomassa e sedimento dos decantadores, inviabilizando as relações com muitas das condições de operação da vala de oxidação. Relativamente à eficiência de remoção do fósforo total, foi possível estabelecer relação com o P-t afluente, a razão CBO_5/CQO da água residual bruta, λ_v e θ (Figura 39). Apesar de não tão claramente as eficiências de remoção de P-t também revelarão possíveis relações com o MLSS, MLVSS e IVL (Figura 39). Verifica-se que o aumento das eficiências de remoção de P-t está relacionado com o aumento da sua concentração afluente. No entanto este comportamento só se verifica dentro dos valores da gama (4-19 mg/L), a partir dos quais a relação deixa de se verificar, constatando-se estabilização da eficiência de remoção (Figura 39a e Quadro 43). Quando à razão CBO_5/CQO apresenta uma relação de parabólica com a eficiência de remoção do P-t, apresentando um máximo na razão de 0,3, o limite inferior da gama típica (Figura 39b e Quadro 42). Constata-se também que um aumento das eficiência de remoção de P-t até ao valor de λ_v de projecto (Figura 39f), valor a partir do qual as eficiências começam a diminuir (Quadro 43)

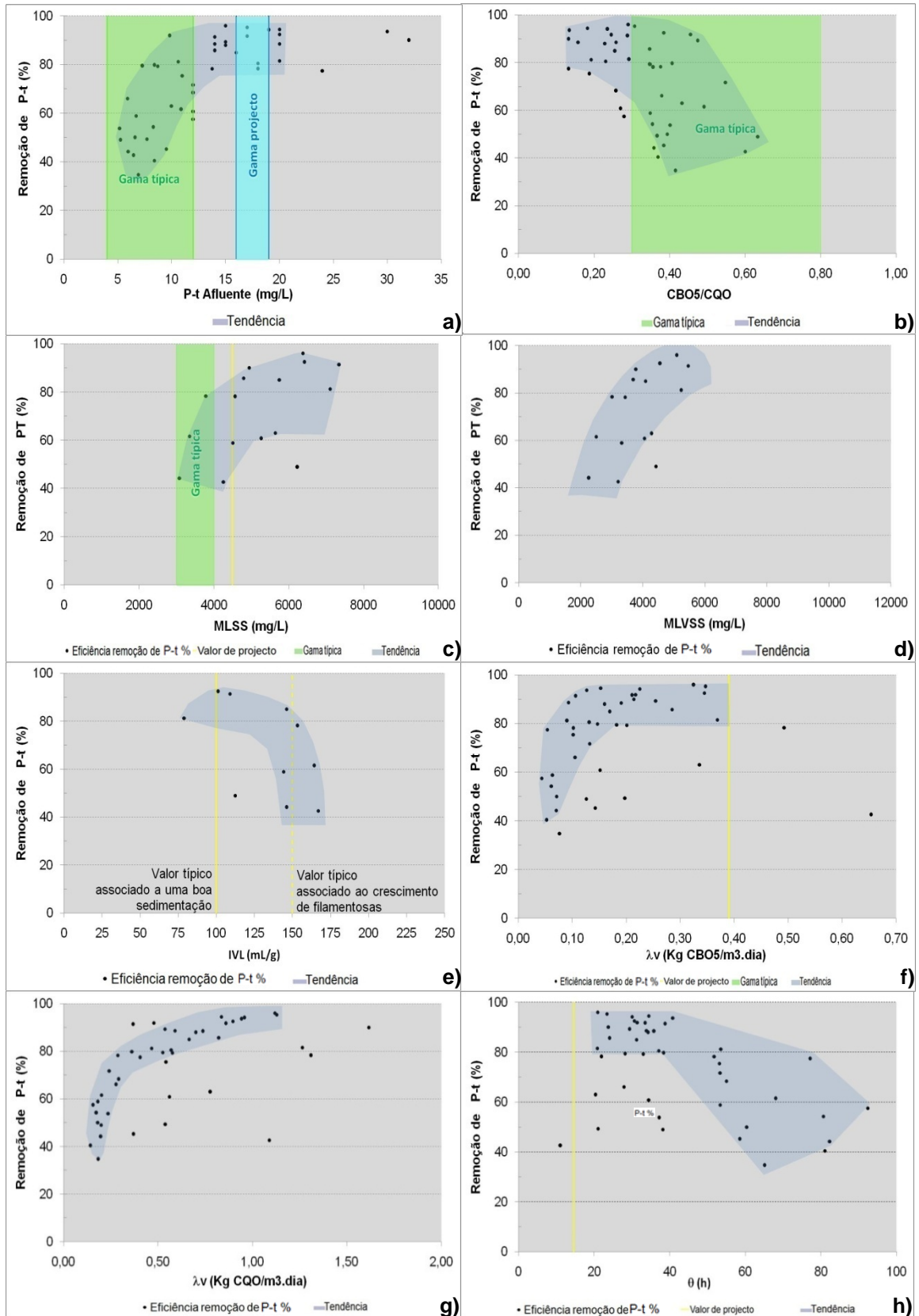


Figura 39 Eficiências de remoção global de P-t em função de: a) P-t afluente e b) CBO5/CQO na água residual bruta e de c) MLSS; d) MLVSS; e) IVL; f) λ_v CBO5; g) λ_v CQO e h) θ no reactor biológico

4.8.2.2 Decantadores secundários

A Figura 40 exibe a evolução da carga de sólidos aos decantadores secundários. Observa-se um aumento progressivo da carga de sólidos. No entanto os valores mantiveram-se dentro dos valores da gama típica (1-5 kg SST/m².d).

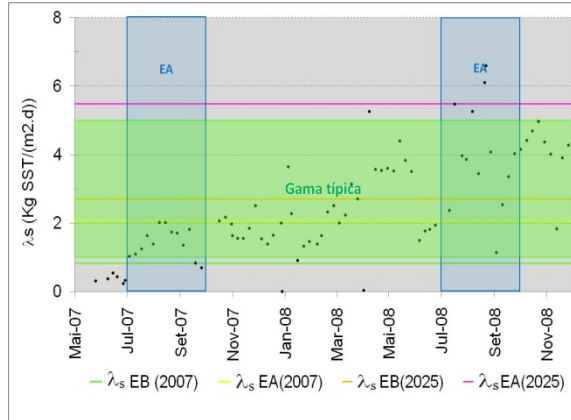


Figura 40 Carga de sólidos dos decantadores secundários

A Figura 41 revela, como expectável, que o tempos de retenção hidráulico são mais baixos na época alta do que na época baixa.

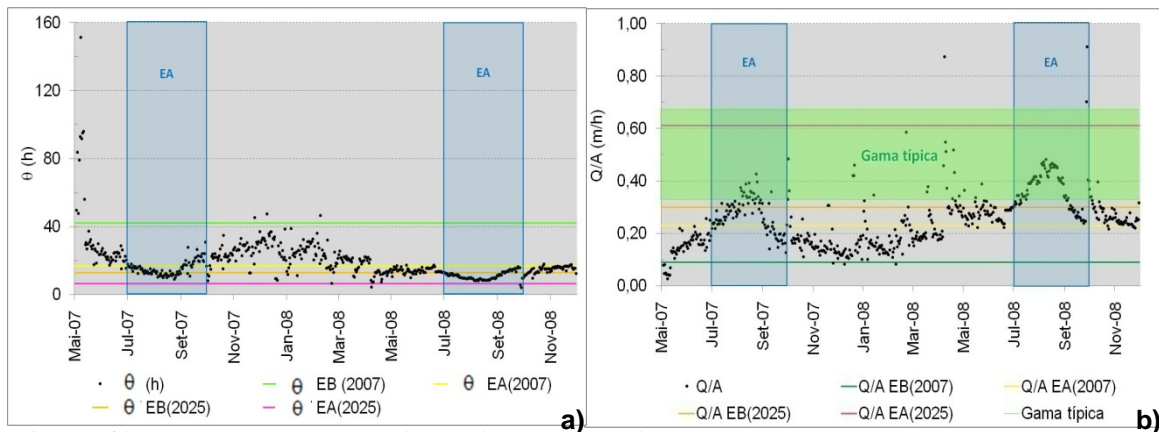


Figura 41 Tempo de retenção hidráulico e carga hidráulica dos decantadores secundários

Na época alta de 2007 os valores de θ estiveram próximos dos valores de projecto de época Baixa de 2025, no entanto na época alta de 2008 os valores de θ estiveram próximo dos definidos para época alta de 2025.

Verificou-se também que a carga hidráulica aos decantadores aumentou progressivamente ao longo do tempo, evidenciado como expectável picos na época alta. Os valores de carga hidráulica apresentaram-se normalmente inferiores à gama típica.

A Figura 42 apresenta as relações entre a eficiência de remoção de SST nos decantadores secundários e carga de sólidos, carga hidráulica, tempo de retenção hidráulica e F/M.

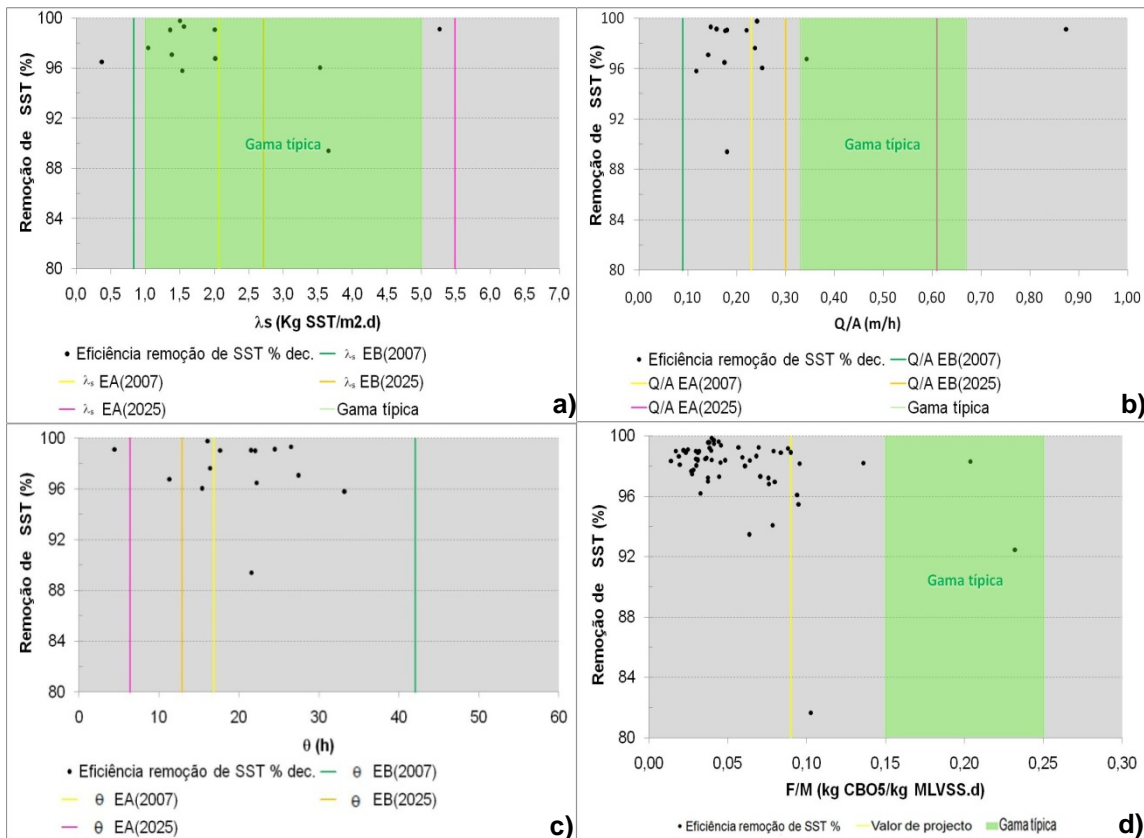


Figura 42 Eficiências de remoção de SST no decantador secundário em função de: a) λ_s ; b) Q/A; c) θ e d) F/M

A variação das eficiências de remoção parcial de SST em função do IVL é apresentada na Figura 43. Através dos dados disponíveis não é possível estabelecer uma relação entre estas condições de operação e a eficiência de remoção de SST. No entanto constata-se que as cargas hidráulicas e F/M foram inferiores às gamas típicas e valores de projecto.

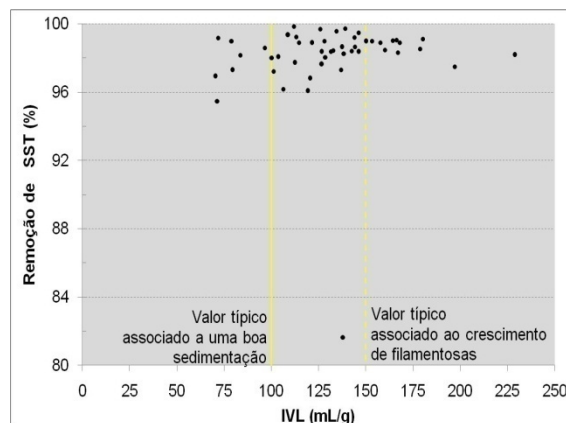


Figura 43 Eficiências de remoção de SST no decantador secundário em função de: IVL

De forma a conhecer melhor o processo de decantação e as variáveis condicionantes deste processo na ETAR de Almargem, estudou-se o efeito de diversas condições de operação na turvação do efluente decantado.

Considerou-se dois grupos de condições de operação que afectariam a turvação do efluente decantado, as condições de operação do reactor biológico (Figura 44 e 45) e as do decantador secundário (Figuras 45 e 46).

Através dos dados disponíveis não foi possível estudar a relação entre a turvação do efluente decantado com a sua concentração em SST.

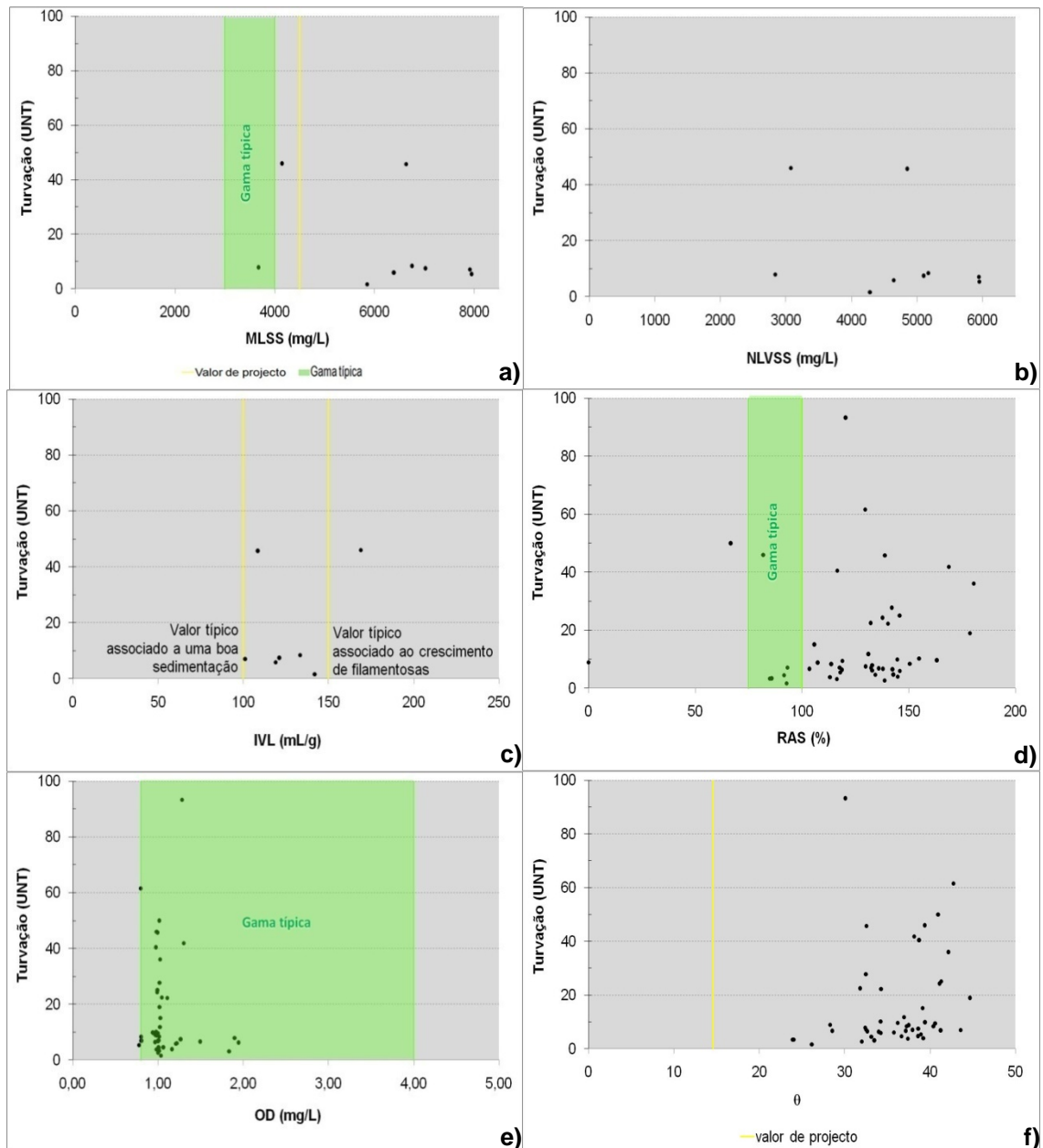


Figura 44 Turvação do efluente decantado em função das condições de operação do reactor biológico (MLSS, MLVSS, IVL, RAS, OD e θ)

Através das Figura 44 e 45 não se evidencia nenhuma clara relação entre as condições de operação do reactor biológico e a turvação do efluente decantado. No entanto é possível observar uma ligeira relação entre o aumento da turvação e o aumento do θ no reactor biológico (Figura 44f).

Devido aos dados disponíveis não foi possível estudar a relação entre F/M , θ_c , λ_v em CQO e CBO_5 no reactor biológico e a turvação do efluente decantado.

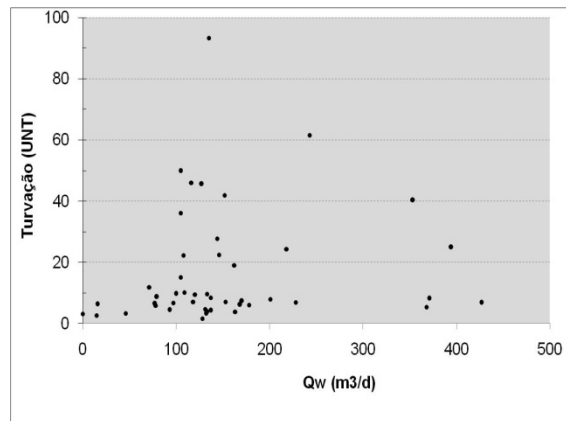


Figura 45 Turvação do efluente decantado em função do caudal de purga de lamas (Q_w)

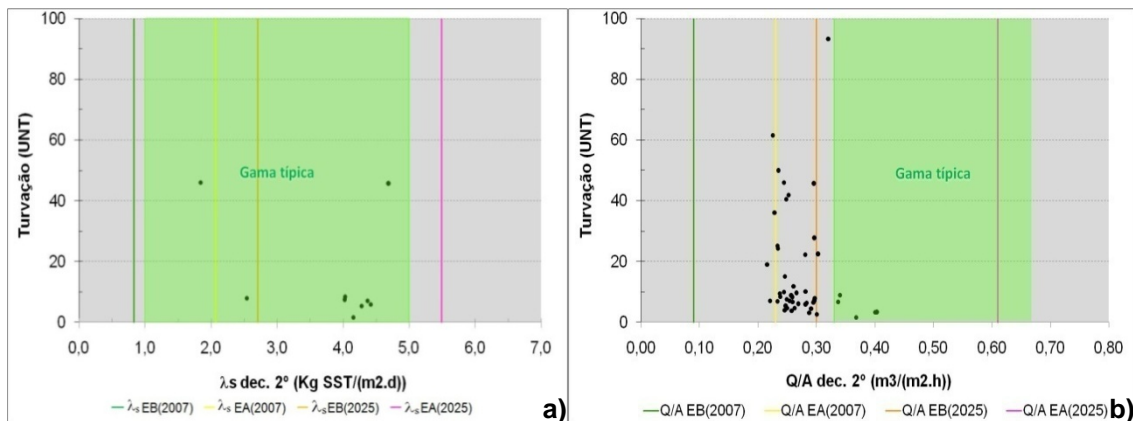


Figura 46 Turvação do efluente decantado em função de:
a) λ_s e b) Q/A no decantador secundário

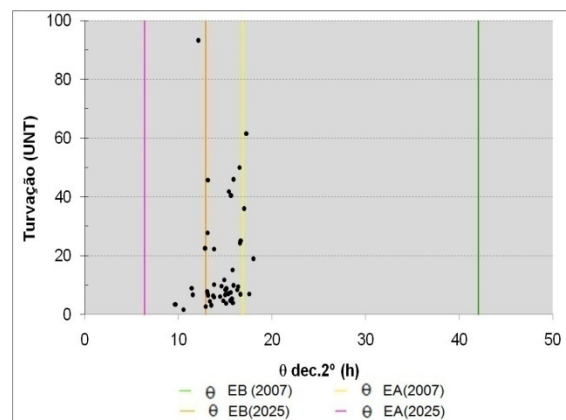


Figura 47 Turvação do efluente decantado em função de θ no decantador secundário

As Figuras 46 e 47 não revelam nenhuma relação evidente entre as condições de operação do decantador secundário turvação do efluente decantado. Observa-se, no entanto, um ligeiro aumento da turvação com θ e uma redução com Q/A.

4.8.3 Tratamento terciário

4.8.3.1 Tratamento de afinação para descarga

Devido aos dados disponíveis não foi possível relacionar a concentração de SST, turvação, transmitância e coliformes fecais do efluente do decantador secundário e a eficiência de desinfecção do sistema UV 3000+. No entanto seria de esperar que o aumento da concentração de SST e turvação afluente estivesse associada a uma menor eficiência de desinfecção UV e por consequente menor percentagem de remoção de coliformes.

4.8.3.2 Tratamento de afinação para reutilização

Conforme referido anteriormente no capítulo 3, a ETAR dispõe de um sistema interno de reutilização constituído por um sistema UV (UVLogic) seguido por um filtro. A eficiência do sistema de desinfecção da água para reutilização é apresentada na Figura 48, em função da concentração de sólidos e coliformes afluentes ao sistema de afinação. Devido ao número reduzido de dados (Figura 48) não foi possível estabelecer qualquer relação entre a eficiência de desinfecção UV dos sistemas de afinação e a concentração afluente em SST e CF.

Devido à carência de dados também não foi possível estudar o efeito da turvação e da transmitância na eficiência da desinfecção do processo de afinação.

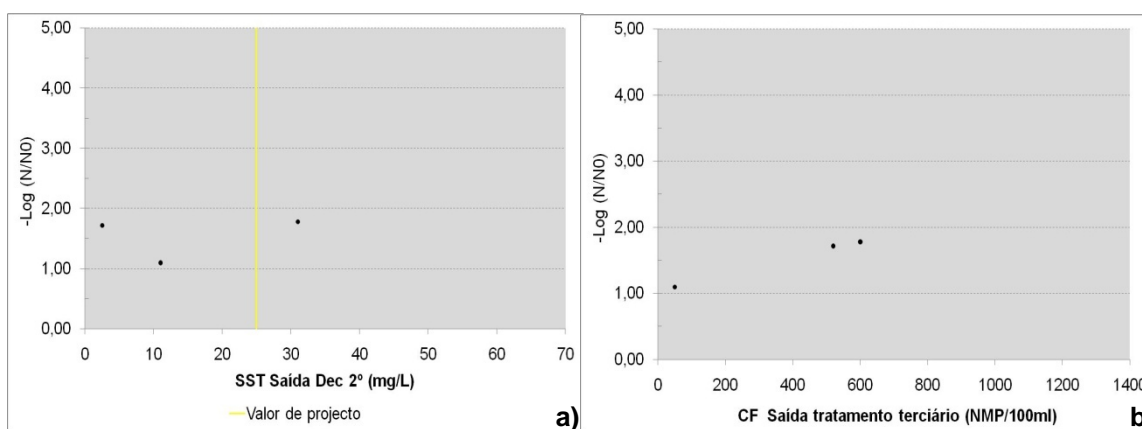


Figura 48 Eficiências de desinfecção por UV de afinação *versus* SST e CF da água a desinfectar

Devido à escassez de dados disponíveis apenas foi possível estudar a eficiência do sistema de filtração ao nível da relação da eficiência de remoção de SST face aos SST afluentes e eficiência de redução da turvação face à turvação e transmitância afluentes. No entanto não é perceptíveis relações evidentes e sustentadas de eficiências de remoção de SST e turvação e remoção de SST e SST afluentes. Observa-se mesmo assim uma ligeira tendência de aumento da eficiência de remoção da turvação com o aumento da turvação afluente (Figura 50a), assim como a redução da eficiência de remoção da turvação com o aumento da transmitância afluente (Figura 50b).

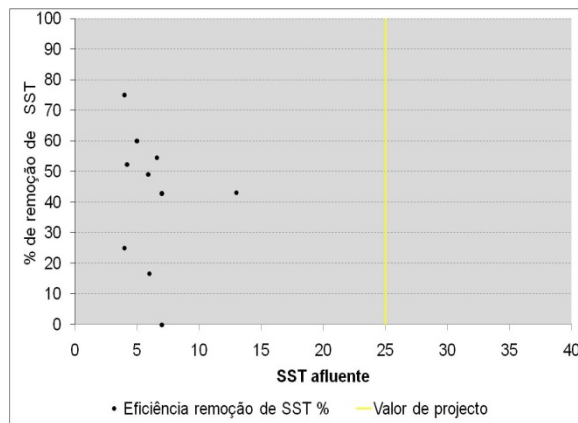


Figura 49 Eficiências de remoção de SST nos filtros de afinação *versus* SST da água a desinfectar

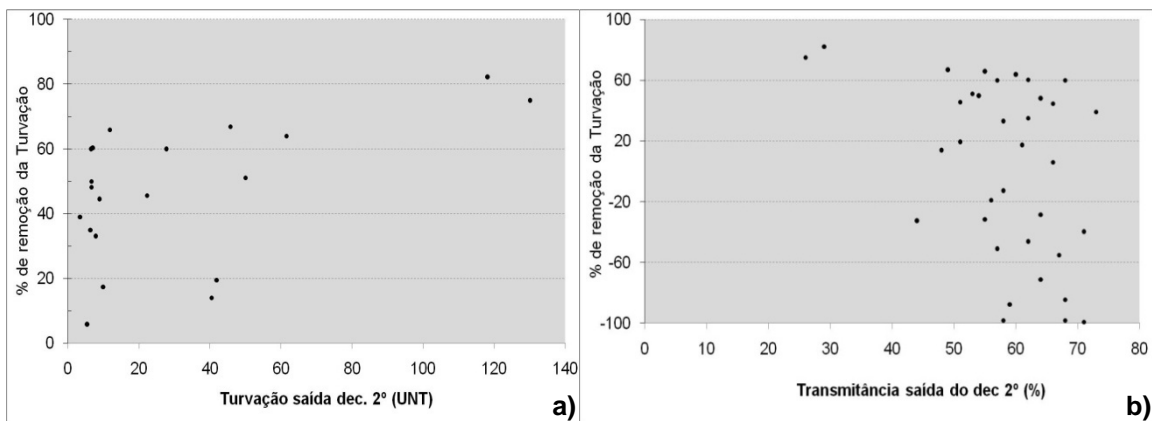


Figura 50 Eficiências de remoção de turvação nos filtros de afinação *versus* turvação e transmitância da água a desinfectar

4.8.4 Síntese das condições críticas de operação

Através da análise das Figuras 34a à 39a e através do Quadro 42, constata-se que, independentemente do parâmetro, as concentrações afluentes evidenciaram uma relação

logarítmica crescente com a eficiência de remoção (E_r) desse parâmetro, seguida de estabilização. Ou seja, E_r aumenta progressivamente com a concentração do parâmetro até um determinado ponto, a partir do qual estabiliza.

No que diz respeito a **SST**, apesar da gama de projecto restringir o valor afluente à gama 351-414 mg/L, através da análise da Figura 34a, constata-se que não ocorreu perda de eficiência de remoção no tratamento preliminar até **700 mg/L**. Considerou-se, por isso, que a água residual bruta poderia atingir, sem prejuízo, uma concentração de 700 mg/L.

Em relação à remoção de matéria orgânica no tratamento secundário, verificou-se crescimento logarítmico das eficiências de remoção de CQO até **1000 mg O₂/L em CQO afluente** seguido de estabilização (Figura 36a). Verifica-se assim a possibilidade de exceder em 200 mg O₂/L o valor máximo típico de CQO e, mesmo assim, manter E_r . A situação é também favorável em termos de CBO₅ afluente. A gama de projecto para CBO₅ afluente é de 234-278 mg/L, e constata-se através da Figura 37a que, para valores superiores a **240 mg O₂/L em CBO₅ afluente**, E_r estabilizou numa gama que superou (em regra, em mais de 5%) E_r definida em projecto (89-91%).

Quanto aos nutrientes, constata-se que só a partir de **69 mg/L N-t** afluente foi possível garantir as eficiências de remoção de projecto (Figura 38a). No que diz respeito a P-t, a sua remoção no tratamento secundário estabilizou apenas a partir de **19 mg/L P-t** (Figura 39a).

O indicador de biodegradabilidade CBO₅/CQO influenciou a remoção de CQO, N-t e P-t (Figura 36b, 38b e 39b). Encontrou-se uma relação quadrática entre E_r e CBO₅/CQO afluente, do tipo $Y = ax^2 + bx + c$, com $a < 0$. O ponto de inflexão desta função situou-se entre **0,25 e 0,30 CBO₅/CQO** nos três casos, gama a partir da qual as remoções de CQO, N-t e P-t diminuem. No entanto, as eficiências de remoção de CQO foram sempre muito elevadas (83-99%) e na gama típica para águas residuais domésticas (0,25-0,80; Metcalf & Eddy, 2003).

A remoção de CQO, N-t e P-t aumentou também de forma logarítmica assintótica com λ_v em CQO e CBO₅ (Figura 36d, 38e, 39g, 38d e 39f). A remoção de N-t definida em projecto (74-78%) só foi, em regra, garantida a partir de **0,45 kg CQO/(m³.dia)** (Figura 38e). P-t (Figura 39g) apresentou o mesmo ponto de inflexão que N-t, enquanto a remoção de CQO só se aproximou da estabilização acima de 88% a partir de **0,56 kg CQO/(m³.dia)** (Figura 36d). As linhas de tendência que definem E_r de N-t e P-t

vs. λ_v em CBO₅ apresentaram aproximadamente o mesmo ponto de estabilização **0,15-0,20 kg CBO₅/(m³.dia)** (Figura 38d e 39f).

A relação das remoções de CQO e P-t com IVL foram descritas por uma função quadrática com $a < 0$, e vértice entre 135 e 140 mL/g (Figura 36c e 39e). No entanto, a Figura 38c mostra que para garantir remoções de N-t iguais ou superiores aa 74% (valor de projecto) IVL não deve exceder **125 mL/g**.

A remoção global de CBO₅, N-t e P-t variou com o tempo de retenção hidráulico (θ) no reactor biológico. Para a CBO₅, observou-se uma relação positiva seguida de estabilização a partir das 32 h (Figura 37b). Para N-t e P-t a relação apresentou a forma de uma função quadrática com $a < 0$ evértice em 50 h para N-t e 40 h para P-t (Figura 38f e 39h). Além disso, a Figura 38f mostra, quando se excedeu 50 h, a eficiência mínima de remoção de N-t de projecto, não foi garantida, obtendo-se Er muito variáveis (desde quase 100% a 37%).

Relativamente à concentração em biomassa no reactor biológico, verificou-se que pode afectar positivamente a eficiência de remoção de P-t (Figura 39c e 39d), tendo-se atingido as eficiências de remoção mais elevadas a valores de MLSS próximos do valor de projecto (4500 mg/L).

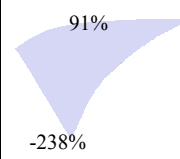
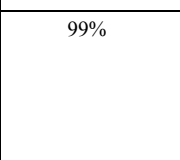
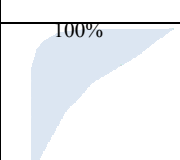
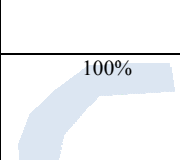

Quadro 41 Quadro-síntese das relações estudadas entre eficiências de remoção e condições de operação das etapas do tratamento

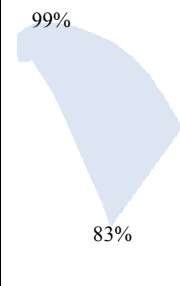
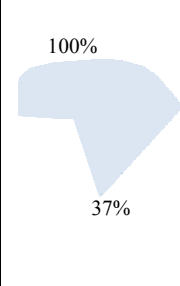
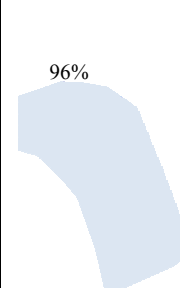
Parâmetros/ Condições de Operação		Eficiência de remoção por etapa de tratamento											
		Tratamento Preliminar		Reactor Biológico A ² O				Dec. 2 ^o	Tratamento Terciário				
									Afinação para Produto A		Afinação para Produto B		
		SST	O & G	CQO	CBO ₅	N-t	P-t	SST	SST	CF	SST	Turvação	CF
Pré-tratamento (Água Residual Bruta)	SST _{afluente bruto}	✓							✗ _{a)}				
	O&G _{afluente bruto}		✗										
	CQO _{afluente bruto}			✓									
	CBO ₅ _{afluente bruto}				✓								
	N-t _{afluente bruto}					✓							
	P-t _{afluente bruto}						✓						
	CBO ₅ /CQO _{fluente bruto}			✓	✗	✓	✓						
	Q/A (pré-tratamento)	✗	✗										
	θ (pré-tratamento)	! a)											
Decantador Secundário (Efluente decantado)	SST saída Dec 2 ^o									a)	a)		a)
	Turvação saída Dec 2 ^o									a)		! a)	a)
	Transmitância saída Dec 2 ^o									a)		! a)	a)
	λ _{vs} (Dec 2 ^o)							✗ _{a)}					
	Q/A (Dec 2 ^o)							✗ _{a)}					
	θ (Dec 2 ^o)							✗ _{a)}					
	CF Saída do Dec 2 ^o									a)			
Reactor Biológico (Lícor Misto)	MLSS			✗	✗	✗	! a)						
	MLVSS			✗	✗	✗	! a)						
	IVL			!	✗	! a)	! a)	✗					
	F/M			✗	✗	✗	✗	✗					
	θ _c			✗	✗	✗	✗						
	λ _v (CQO)			✓	✗	✓	✓						
	λ _v (CBO ₅)			✗	✗	✓	✓						
	RAS			✗	✗	✗	✗						
	OD			✗	✗	✗	✗	✗					
	θ (reactor biológico)			✗	✓	✓	✓	✗					
	Q _w			✗	✗	✗	✗ _{a)}						
Tratamento Terciário	CF Saída UV300+												a)

Legenda:



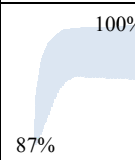
- ✓ : Evidência de Relação
- ✗ : Não houve evidência de relação
- ! : Possível relação (ligeira)
- a) Dados insuficientes

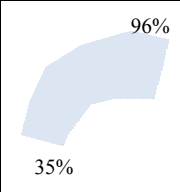
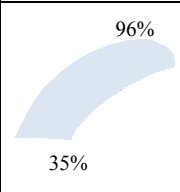
Quadro 42 Quadro-síntese das condições críticas de operação das várias etapas do tratamento

Condição de Operação		Gama Projecto	Gama Típica	Parâmetro cuja Er é afectada	Er global de Projecto	Etapa do tratamento	Figura	Relação (tendência)	Descrição do comportamento da eficiência
Concentrações afluentes	SST	351-414 mg/L	390-1230 mg/L	SST	90 - 92 %	Tratamento Preliminar	34a)		Crescimento logarítmico com até 700 mg/L. As eficiências de remoção tornam-se positivas a partir dos 300 mg/L. Verifica-se progressiva redução do intervalo de eficiências de remoção, reduzindo de ΔEr 281 para ΔEr 64. Er_{max} 91% ; Er_{min} -238%.
	CQO	- mg/L	250-800 mg/L	CQO	-	Reactor biológico A ² O	36a)		Crescimento logarítmico com estabilização a 1000 mg/L. As eficiências de remoção foram sempre positivas, acima de 80%. Verifica-se progressiva redução do intervalo de eficiências de remoção, reduzindo de ΔEr 12 para ΔEr 2. Er_{max} 99%; Er_{min} 83%.
	CBO ₅	234-278 mg/L	110-350 mg/L	CBO ₅	89 – 91 %	Reactor biológico A ² O	37a)		Crescimento logarítmico com estabilização a 240 mg/L . As eficiências de remoção foram sempre positivas, acima dos 85%. Verifica-se progressiva redução do intervalo de eficiências de remoção, reduzindo de ΔEr 3 para ΔEr 1. Er_{max} 87%; Er_{min} 100%.
	N-t	58-69 mg/L	20-70 mg/L	N-t	74 -78 %	Reactor biológico A ² O	38a)		Crescimento logarítmico com estabilização a 69 mg/L. As eficiências de remoção foram sempre positivas, acima dos 30%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10. Er_{max} 100%; Er_{min} 37%.
	P-t	16-19 mg/L	4-12 mg/L	P-t	-	Reactor biológico A ² O	39a)		Crescimento logarítmico com estabilização a 19 mg/L. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 30%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10. Er_{max} 96%; Er_{min} 35%.

Condição de Operação	Gama Projecto	Gama Típica	Parâmetro cuja Er é afectada	Er global de Projecto (%)	Etapa do tratamento	Figura	Relação (tendência)	Descrição do comportamento da eficiência
CBO ₅ /CQO	-	0,25-0,8	CQO	-	Reactor biológico A ² O	36b)	 <p>99%</p> <p>83%</p>	<p>A relação apresenta o aspecto de função quadrática $Y = ax^2 + bx + c$, com $a < 0$ e vértice aproximadamente no ponto(0,25;97).</p> <p>As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 83%. Verifica-se progressivo aumento do intervalo de eficiências de remoção, de ΔEr 1 para ΔEr 6. Er_{max} 99%; Er_{min} 83%.</p>
			N-t	74 -78 %	Reactor biológico A ² O	38b)	 <p>100%</p> <p>37%</p>	<p>Função quadrática $Y = ax^2 + bx + c$, com $a < 0$ e vértice se aproximadamente no ponto (0,25;90).</p> <p>As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 37%. Verifica-se progressivo aumento do intervalo de eficiências de remoção, de ΔEr 2 para ΔEr 35. Er_{max} 100%; Er_{min} 37%.</p>
			P-t	-	Reactor biológico A ² O	39b)	 <p>96%</p> <p>35%</p>	<p>Função quadrática, $Y = ax^2 + bx + c$, com $a < 0$ e vértice aproximadamente no ponto (0,30;91).</p> <p>As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se progressivo aumento do intervalo de eficiências de remoção, de ΔEr 16 para ΔEr 29. Er_{max} 96%; Er_{min} 35%.</p>

Condição de Operação		Gama Projecto	Gama Típica	Parâmetro cuja Er é afectada	Er global de Projecto (%)	Etapa do tratamento	Figura	Relação (tendência)	Descrição do comportamento da eficiência
λ_v	CQO	- kg CQO/m ³ . dia	- kg CQO/m ³ .di a	CQO	-	Reactor biológico A ² O	36d)	99% 83%	Crescimento logarítmico com estabilização a 0,56. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 83%. Verifica-se progressiva redução do intervalo de eficiências de remoção, de ΔEr 12 para ΔEr 2. Er_{max} 99%; Er_{min} 83%.
				N-t	74 -78 %	Reactor biológico A ² O	38e)	100% 37%	Crescimento logarítmico com estabilização a 0,45. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 37%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 100%; Er_{min} 37%.
				P-t	-	Reactor biológico A ² O	39g)	96% 35%	Crescimento logarítmico com estabilização a 0,45. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 96%; Er_{min} 35%.
	CBO5	0,39 kg CBO5/m ³ .dia	- kg CBO5/m ³ .d ia	N-t	74 -78 %	Reactor biológico A ² O	38d)	100% 37%	Crescimento logarítmico com estabilização a 0,15. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 37%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 100%; Er_{min} 37%.
				P-t	-	Reactor biológico A ² O	39f)	96% 35%	Crescimento logarítmico com estabilização a 0,15. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 96%; Er_{min} 35%.

Condição de Operação	Gama Projecto	Gama Típica	Parâmetro cuja Er é afectada	Er global de Projecto (%)	Etapa do tratamento	Figura	Relação (tendência)	Descrição do comportamento da eficiência
IVL	- mL/g	100-150 mL/g	CQO	-	Reactor biológico A ² O	36c)	99% 83%	Função quadrática $Y = ax^2 + bx + c$ com $a < 0$ e vértice aproximadamente no ponto (150;95). As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 83%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10. Er_{max} 99%; Er_{min} 83%.
			N-t	74 -78 %	Reactor biológico A ² O	38c)		Recta com declive negativo, $y = -0,26x + b$.
			P-t	-	Reactor biológico A ² O	39e)	96%  35%	Função quadrática $Y = ax^2 + bx + c$ com $a < 0$ e vértice aproximadamente no ponto (150;80). As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 96%; Er_{min} 35%.
θ	14,6 h	- h	CBO5	89 - 91 %	Reactor biológico A ² O	37b)	100%  87%	Crescimento logarítmico com estabilização a 32 h . As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 87%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 100%; Er_{min} 87%.
			N-t	74 -78 %	Reactor biológico A ² O	38f)	100% 37%	Função quadrática $Y = ax^2 + bx + c$ com $a < 0$ e vértice aproximadamente no ponto (50;90). As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 37%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er_{max} 100%; Er_{min} 37%.
			P-t	-	Reactor biológico A ² O	39h)	96% 35%	Função quadrática $Y = ax^2 + bx + c$ com $a < 0$ e vértice aproximadamente no ponto (40;90). As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se progressivo aumento do intervalo de eficiências de remoção, de ΔEr 10 para ΔEr 40. Er_{max} 96%; Er_{min} 35%.

Condição de Operação	Gama Projecto	Gama Típica	Parâmetro cuja Er é afectada	Er global de Projecto (%)	Etapa do tratamento	Figura	Relação (tendência)	Descrição do comportamento da eficiência
MLSS	4500 mg/L	3000-5000 mg/L	P-t	-	Reactor biológico A ² O	39c)		Crescimento logarítmico com estabilização a aproximadamente 4500 mg/L. As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er _{max} 96%; Er _{min} 35%.
MLVSS	8000 mg/L	- mg/L	P-t	-	Reactor biológico A ² O	39d)		Crescimento logarítmico na gama estudada (até 6000 mg/L). As eficiências de remoção foram sempre positivas, iguais ou superiores a 35%. Verifica-se um intervalo de eficiências aproximadamente constante, ΔEr 10 Er _{max} 96%; Er _{min} 35%.

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HACCP À ETAR DE ALMARGEM PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA NA REGA DE CAMPOS DE GOLFE

5.1 Plano HACCP para a ETAR de Almargem

5.1.2 Equipa HACCP

Conforme descrito na secção 2.4.3 o primeiro pré-requisito do plano HACCP consiste na criação da equipa.

A equipa responsável pelo desenvolvimento de um plano de HACCP deve ser constituída por (adaptado de Vaz *et al.*, 2000):

- Director da Qualidade (Líder da equipa)
- Responsável pelo Tratamento
- Responsável pelo Laboratório de Controlo de Qualidade
- Responsável pelos Aprovisionamentos e Armazém
- Responsável pela Manutenção

Tratando-se de uma tese de mestrado, a proposta apresentada na presente dissertação foi elaborada pela autora com a colaboração das orientadoras

5.1.3 Descrição do produto

O segundo pré-requisito do plano HACCP, conforme descrito na secção 2.4.3, consiste na descrição do produto.

Nesta análise foram considerados dois produtos:

- Produto A: Água residual para descarga
- Produto B: Água residual para reutilização

Os produtos distinguem-se pelo processo de tratamento aplicado.

O **produto A** corresponde ao definido na ETAR de Almargem como água para descarga. O esquema do seu tratamento é composto por pré-tratamento, processo lamas activadas A²O, seguido de desinfecção por UV.

O **produto B** corresponde ao definido na ETAR de Almargem como água para reutilização. Ao produto A acresce um processo de afinação, constituído por um sistema de desinfecção UV e filtração.

5.1.4 Identificação do potencial uso do produto

O terceiro pré-requisito do plano HACCP, conforme descrito na secção 2.4.3, consiste na identificação do uso futuro de produto. Como o próprio nome indica, o produto "água tratada para reutilização na rega de campos de golfe" servirá para rega de campos de golfe. As questões relacionadas com o volume de produção, o armazenamento e o transporte não se incluem no âmbito deste trabalho.

5.1.4.1 Matéria-prima

A matéria-prima para a produção dos produtos A e B é a água residual bruta afluyente à ETAR de Almargem, que apresenta as características expostas na secção 4.2.

5.1.4.2 Qualidade pretendida para o produto

No Quadro 1 do Anexo I apresenta-se uma compilação de diversos critérios de qualidade da água residual para rega de campos de Golfe definidos por vários autores, normas e recomendações. Consta-se que não existe unanimidade de critérios, tanto ao nível do tipo e número dos parâmetros como de gamas. Algumas fontes impõem apenas o cumprimento de quatro parâmetros, enquanto outras prescrevem 33 (Quadro 2, Anexo I). De uma forma geral, os parâmetros físico-químicos são sobrevalorizados e os microbiológicos desvalorizados; o parâmetro mais requerido é o pH, sucedido pelos parâmetros SST, SDT, E_{cw}, Cl, B, Cu, F, Zn (Quadro 2, Anexo I).

Atendendo às dificuldades de definição da qualidade pretendida para o produto, esta foi estabelecida através de uma análise dos aspectos agronómicos e gerais das várias fontes bibliográficas, tendo sido assumido o conjunto de requisitos-base apresentados na coluna da direita do Quadro 1 do Anexo I. Dos parâmetros apresentados, apenas foi possível analisar neste trabalho os contemplados no plano analítico da ETAR de Almargem (Quadro 43).

Estabeleceu-se o limite máximo admitido para cada parâmetro como o limite-máximo com consequência marginal (Quadro 1, Anexo I).

A qualidade assumida é genérica, não tendo em atenção especificidades de determinados tipos de terreno, relva, clima, ecossistema ou sistema de rega.

Quadro 43 Qualidade requerida assumida para o produto água residual tratada para reutilização na rega de campos de golfe

Parâmetro	Valor máximo admitido /Gama
pH	[5;9]
Cloreto (mg/l)	355
Turvação (UNT)	10
SST (mg/L)	60
CQO (mg O ₂ /l)	100
CBO ₅ (mg O ₂ /l)	30
Azoto total (mg/l)	11,3
Fósforo total (mg/l)	0,4
Coliformes fecais (NMP/100ml)	100

5.1.5 Construção do diagrama do processo

O quarto pré-requisito do plano HACCP, conforme descrito na secção 2.4.3, consiste na construção do diagrama do processo. O diagrama do processo está descrito na Figura 8.

5.1.6 Confirmação do diagrama do processo

O quinto pré-requisito do plano HACCP, conforme descrito na secção 2.4.3, consiste na confirmação do diagrama do processo. O diagrama do processo descrito na Figura 8 foi confirmado.

5.1.7 Identificação dos perigos e avaliação do risco

5.1.7.1 Identificação dos perigos

O primeiro princípio do plano HACCP consiste na identificação dos perigos e na avaliação dos riscos (secção 2.4.3).

Conforme referido no ponto 2.4.1, adoptou-se a definição de perigo utilizada pela *Queensland Government EPA* (2005) na reutilização de água residual na rega - **perigo é não cumprir a qualidade pretendida para o produto**. Ou seja, identificaram-se os perigos descritos no Quadro 43, *i.e.*, os parâmetros pH, Cl⁻, turvação, SST, CQO, CBO₅, N-t, P-t e coliformes fecais. Com base no plano HACCP e no histórico de resultados de funcionamento da ETAR, verificou-se no capítulo 4 que alguns dos parâmetros definidos como perigo apresentaram relação com algumas condições de operação das diferentes etapas do tratamento (Quadro 44). Essas condições de operação foram, portanto, também consideradas na aplicação da metodologia HACCP. As condições de operação que afectam o perigo podem ser condições de operação propriamente ditas ou

perigo(s)/parâmetro(s) considerados, e.g., a qualidade da água residual bruta e a transmitância/turvação da água desinfectar (Quadro 44).

Quadro 44 Parâmetros considerados perigos e condições que os afectam

Perigo	Condições de operação que afectam os perigos				
	Etapa do tratamento				
	Água Residual Bruta	Reactor Biológico	Decantador Secundário	Tratamento Terciário	
				Afinação para Produto A UV	Afinação para Produto B UV + Filtração
pH	pH	-	-	-	-
Cl ⁻	Cl ⁻	-	-	-	-
Turvação		θ	θ Q/A Turvação* Transmitância*	-	-
SST	SST	θ^*	-	-	-
CQO	CQO CBO ₅ /CQO	λ_v (CQO) IVL*	-	-	
CBO ₅	CBO ₅	θ	-	-	
N-t	N-t CBO ₅ /CQO	λ_v (CQO) λ_v (CBO ₅) θ IVL*	-	-	-
P-t	P-t CBO ₅ /CQO	λ_v (CQO) λ_v (CBO ₅) θ IVL* MLSS* MLVSS*	-	-	-
CF				Turvação* Transmitância*	CF

* Possível relação com os perigos identificados.

5.1.7.2 Proposta de categorias de probabilidade de ocorrência e de consequências

A cada perigo está associado um risco (definição na secção 2.4.1). A avaliação do risco associado à utilização dos produtos A e B foi efectuada com base numa adaptação das

categorias de consequência (Quadro 22) e de probabilidade de ocorrência (Quadro 23) propostas pela *Queensland Government EPA* (2005) e das matrizes de análise do risco propostas por esta Agência Australiana e (Quadro 24) e por Betâmio de Almeida (2008) (Quadro 25). Adotou-se as categorias de Betâmio de Almeida (2008) e a classificação do risco proposta por *Queensland Government EPA* (2005).

Quadro 45 Proposta de categorias de consequências de perigos associados à utilização da água tratada da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe

Perigos	Categorias de consequência	Requisitos assumidos
Parâmetros Físico-químicos		
pH	Quase Nula	[5;7]
	Marginal	[7;9]
	Séria	
	Crítica	
	Catastrófica	
CQO (mg/L)	Quase Nula	[0;25]
	Marginal	[25;100]
	Séria	[100;+∞[
	Crítica	
	Catastrófica	
CBO₅ (mg/L)	Quase Nula	[0;10]
	Marginal	[10;30]
	Séria	[30;+∞[
	Crítica	
	Catastrófica	
SST (mg/L)	Quase Nula	[0;20]
	Marginal	[20;60]
	Séria	[60;+∞[
	Crítica	
	Catastrófica	
Turvação (UNT)	Quase Nula	[0;5]
	Marginal	[5;10]
	Séria	[10;+∞[
	Crítica	
	Catastrófica	
Cl⁻ (mg/L)	Quase Nula	[0;70]
	Marginal	[70;355]
	Séria	[355;+∞[
	Crítica	
	Catastrófica	
P-t (mg/L)	Quase Nula	[0,1;0,4]
	Marginal	[0;0,1]
	Séria	[0,4;0,8]
	Crítica	[0,8;+∞[
	Catastrófica	
N-t (mg/L)	Quase Nula	[1,1;11,3]
	Marginal	[0;1,1]
	Séria	[11,3;22,6]
	Crítica	[22,6;+∞[
	Catastrófica	
Parâmetros Microbiológicos		
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	Quase Nula	[0;10]
	Marginal	[10;100]
	Séria	[100;+∞[
	Crítica	
	Catastrófica	

Quadro 46 Proposta de categorias de probabilidade de ocorrência de perigos associados à utilização da água da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe

Nível	Descritor	Descrição
A	Improvável	(1 ocorrências / 100 unid. temporal do histórico)
B	Remota	(1 ocorrências / 10 unid. temporal do histórico)
C	Ocasional]1; 10[/ histórico
D	Provável	[10; 100[/ histórico
E	Frequente	≥ 100 ocorrências / histórico

Quadro 47 Proposta de matriz qualitativa da análise dos riscos associado à utilização da água da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula	Marginal	Séria	Crítica	Catastrófica
A (improvável)	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Alto
B (Remota)	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Alto
C (Ocasional)	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
D (Provável)	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	Muito alto
E (Frequente)	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	Extremo

Os Quadros 45 e 46 expõem a proposta de categorias de consequências e de probabilidade de ocorrência que permitem a construção da matriz qualitativa de análise dos riscos (Quadro 47) proposta para utilização da água da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe.

5.1.7.3 Aceitabilidade do risco

A aceitabilidade e classificação do risco foi realizada com base no princípio de Alarp “o risco residual deve ser tão baixo quanto razoavelmente aceitável”. Com base neste princípio, definiu-se que seria apenas necessário intervir/controlar riscos razoavelmente não aceitáveis, ou seja, com classificação de risco superior a médio.

Com base no histórico disponível, determinou-se o número de ocorrências em cada intervalo de consequência e cruzaram-se a probabilidade de ocorrência com as consequências de cada perigo para a avaliação qualitativa do risco associado.

Determinada a classificação do risco, aplicou-se o triângulo de Alarp apresentado na Figura 51. Considerou-se apenas necessário controlar riscos com classificações superiores a médio.

Os riscos classificados como ‘altos’, ‘muito altos’ e ‘extremos’ foram agrupados na área inaceitável do triângulo de Alarp, uma vez que se considerou que estes riscos são

inaceitáveis para o indivíduo e para a sociedade, pelo que devem ser evitados e controlados. Os riscos classificados como ‘médios’ foram agrupados na área de Alarp ou área tolerante, pois constituem riscos aceitáveis, que os indivíduos e a sociedade estão dispostos a tolerar, com base num balanço custo-benefício.

Na área ‘aceitável’ do triângulo de Alarp foram incluídos os riscos classificados como ‘baixos’, uma vez que foram considerados insignificantes e adequadamente controlados.

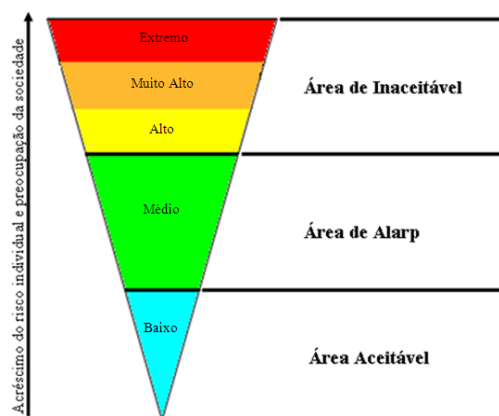


Figura 51 Adaptação do triângulo de Alarp

Para cada perigo identificado, efectuou-se uma avaliação do risco de acordo com a metodologia descrita.

Quadro 48 Avaliação do risco pH para o produto A

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [5;7]	Marginal [7;9]	Séria	Crítica	Catastrófica
A (improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)					
D (Provável)	X	X			
E (Frequente)					

Quadro 49 Avaliação do risco pH para o produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [5;7]	Marginal [7;9]	Séria	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)					
D (Provável)	X	X			
E (Frequente)					

Quadro 50 Avaliação do risco CI para o produto A = produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;70]	Marginal [70;355]	Séria [355;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)	X				
C (Ocasional)		X			
D (Provável)			X		
E (Frequente)					

Quadro 51 Avaliação do risco Turvação para o produto A

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;5]	Marginal [5;10]	Séria [10;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)					
D (Provável)	X	X	X		
E (Frequente)					

Quadro 52 Avaliação do risco Turvação para o produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;5]	Marginal [5;10]	Séria [10;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)					
D (Provável)	X	X	X		
E (Frequente)					

Quadro 53 Avaliação do risco SST para o produto A

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;20]	Marginal [20;60]	Séria [60;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)			X		
C (Ocasional)		X			
D (Provável)	X				
E (Frequente)					

Quadro 54 Avaliação do risco SST para o produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;20]	Marginal [20;60]	Séria [60;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (improvável)					
B (Remota)			X		
C (Ocasional)		X			
D (Provável)	X				
E (Frequente)					

Quadro 55 Avaliação do risco CQO para o produto A = produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;25]	Marginal [25;100]	Séria [100;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (improvável)					
B (Remota)			X		
C (Ocasional)					
D (Provável)	X	X			
E (Frequente)					

Quadro 56 Avaliação do risco CBO₅ para o produto A = produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;10]	Marginal [10;30]	Séria [30;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)		X	X		
D (Provável)	X				
E (Frequente)					

Quadro 57 Avaliação do risco P-T para o produto A = produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0,1;0,4]	Marginal [0;0,1]	Séria [0,4;0,8]	Crítica [0,8;+∞]	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)	X	X			
C (Ocasional)			X		
D (Provável)				X	
E (Frequente)					

Quadro 58 Avaliação do risco N-T para o produto A = produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [1,1;11,3]	Marginal [0;1,1]	Séria [11,3;22,6]	Crítica [22,6;+∞]	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)		X			
D (Provável)	X		X	X	
E (Frequente)					

Quadro 59 Avaliação do risco CF para o produto A

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;10]	Marginal [10;100]	Séria [100;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (Improvável)					
B (Remota)					
C (Ocasional)					
D (Provável)	X	X	X		
E (Frequente)					

Quadro 60 Avaliação do risco CF para o produto B

Probabilidade de ocorrência	Consequência				
	Quase Nula [0;10]	Marginal [10;100]	Séria [100;+∞]	Crítica	Catastrófica
A (improvável)					
B (Remota)			X		
C (Ocasional)		X			
D (Provável)	X				
E (Frequente)					

Através dos Quadros 48 ao 60 constata-se que **CF e turvação constituem riscos altos para a reutilização tanto do produto A como do produto B** na rega de campos de golfe. Os nutrientes **N-t e P-t constituem riscos altos a muito altos para ambos os produtos A e B**. O parâmetro microbiológico **CF apresentou risco alto no produto A e risco baixo a médio no produto B**.

As matrizes adoptadas revelam que, como esperado pelos processos de tratamento a que são sujeitos, em qualquer das gamas de concentração dos perigos considerados, o risco do produto A é igual ao do produto B, com excepção dos aspectos microbiológicos CF. Ou seja, o processo de afinação utilizado na ETAR de Almargem apenas permite

reduzir o risco microbiológico expresso pelo parâmetro CF, não reduzindo o risco associado ao cloreto, turvação e nutrientes. Em consequência, a afinação disponível não é considerada a indicada para viabilizar a reutilização da água na rega de campos de golfe.

Como processo de obtenção de um produto com risco médio-baixo para a rega de campos de golfe, sugere-se o processo de osmose inversa aplicado ao produto A.

5.1.8 Identificação dos pontos críticos de controlo e dos pontos de controlo da qualidade

O segundo princípio do plano HACCP consiste na identificação dos pontos críticos de controlo (PCC) e pontos críticos da qualidade (PCQ) (secção 2.4.3).

A identificação dos PCC e PCQ baseou-se na aplicação da árvore de decisão do *Codex Alimentarius* (Figura 6).

Através do Quadro 61 identificaram-se os PCC das várias etapas do tratamento associados a cada perigo que necessita ser controlado.

Constatou-se que o reactor biológico, a decantação e o tratamento terciário constituem PCC, como seria de esperar são fases operacionais onde é possível monitorizar, corrigir e controlar os riscos. A afluência de água residual bruta constitui um PCQ, uma vez que é essencial para a garantia do processo mas não permite acções de correcção.

Quadro 61 Quadro de identificação dos PCC

Fase do Processo	Perigo	Q1. Existem medidas preventivas e de controlo para o perigo identificado?	Q2. Esta etapa elimina ou reduz o perigo para um nível aceitável?	Q3. Pode o perigo causar contaminação ou aumentar até níveis não aceitáveis?	Q4. Existe uma etapa posterior que possa diminuir ou reduzir o perigo para níveis aceitáveis?	PCC/PCQ
Afluência de Água Residual Bruta	Cl	Sim	Não	Sim	Sim	PCQ
	N-t					
	P-t					
Reactor Biológico (Licor misto)	Turvação	Sim	Sim	-	-	PCC
	N-t					
	P-t					
Decantador Secundário	Turvação	Sim	Sim	-	-	PCC
Tratamento Terciário	CF	Sim	Sim	-	-	PCC
	CF					

5.1.9 Proposta de matriz de controlo dos riscos

De acordo com a metodologia HACCP, devem ser definidas medidas de controlo para cada PCC, que poderão ser utilizadas para ajustar a eficiência do processo de produção, de forma a atingir-se a qualidade final pretendida. Deverão também ser estabelecidos limites críticos ou de alerta para os parâmetros e/ou condições de operação. Estes limites deverão ser mensuráveis e controláveis, e deverão permitir que a instalação funcione normalmente (terceiro princípio do plano HACCP, secção 2.4.3).

Deverão ser tomadas acções preventivas de forma a evitar que os limites críticos sejam excedidos. Se o limite crítico é excedido, considera-se que a instalação está “fora de controlo” e são necessárias acções correctivas (quinto princípio do plano HACCP (secção 2.4.3)). Nesse caso, a situação deverá ser reportada às partes interessadas, informando-as qual o perigo a que estão expostas. Em função do pré-estabelecido no contrato de fornecimento de água para reutilização, poderá ainda haver necessidade de interromper o fornecimento.

Quando é atingido o limite de alerta deveram ser reforçadas as medidas preventivas.

De forma a garantir a qualidade de todo o processo, deve ser aplicado um sistema de monitorização adequado à qualidade e segurança pretendida (quarto princípio do plano HACCP, secção 2.4.3).

Atendendo aos requisitos estabelecidos pelo plano HACCP, criou-se o Quadro 62, que constitui uma proposta de matriz de controlo dos riscos associados à utilização da água tratada da ETAR de Almargem na rega de campos de golfe. Esta matriz contempla os

limites de alerta, os sistemas de monitorização e as acções preventivas e correctivas. Na elaboração desta matriz não se considerou a introdução de novos equipamentos no processo, considerou-se que o processo permaneceria como descrito no histórico e pretendeu-se, através das medidas de controlo, preventivas e correctivas, reduzir os riscos associados aos produtos produzidos.

Como **limite crítico** assumiu-se a qualidade pretendida para o efluente final (Quadro 43). Os limites críticos nunca deverão ser ultrapassados. Considerou-se como **limite de alerta** todas as condições de operação associadas ao processo de tratamento descritas no Quadro 44 que podem provocar alteração no nível de risco. As acções correctivas e preventivas associadas a determinado perigo podem ser efectuadas directamente no perigo ou sobre os parâmetros e condições de operação que afectam o perigo Quadro 44).

As medidas preventivas e as acções correctivas foram propostas com base no histórico de funcionamento da instalação (Quadro 42), nos dados de projecto, e em outras características específicas do funcionamento da ETAR e em informação bibliográfica.

Para a determinação da periodicidade de monitorização considerou-se que: i) perigos altos e condições de operação que os afectam devem ser monitorizados duas vezes por semana; ii) perigos muito altos e condições de operação que os afectam devem ser monitorizados diariamente. Para os coliformes fecais (perigo biológico) considerou-se necessário efectuar uma amostragem diária, pelo perigo que constitui em termos de saúde pública.

Quadro 62 Matriz de controlo dos riscos

PCC	Monitorização					Medidas preventivas	Acções correctivas (se necessário ou possível)	Registo. Documentos de suporte
	O quê?	Como?	Com que frequência?	Quem?	Limites de alerta			
Ponto 1: Afluência de Água residual Bruta	Cl	Medição através de sonda	2x Semana	Técnico responsável	355 mg/l b)	Impedir descargas que não cumpram as características definidas. Reduzir as infiltrações de água do mar no sistema interceptor, através da sua reabilitação.	Correcções das medições de CQO se $Cl \geq 2000$ mg/L	Registo no diário de exploração da ETAR e na folha de registo Excel.
	CBO ₅ /CQO	Determinação em laboratório	Semanal	Técnico responsável	Valores fora da gama [0,25; 0,80] a)	Impedir descargas que não cumpram as características definidas. Controlo da concentração de CQO nas escorrências dos tambores de espessamento e centrífuga. Redução dos tempos de retenção da água residual bruta no sistema interceptor.	-	
	N-t	Determinação em laboratório	Diária	Técnico responsável	65 mg/L c)	Impedir descargas que não cumpram as características definidas.	-	
	P-t	Determinação em laboratório	Diária	Técnico responsável	19 mg/L c)	Impedir descargas que não cumpram as características definidas.	-	

PCC	O quê?	Como?	Com que frequência?	Quem?	Limites de alerta	Medidas preventivas	Acções correctivas (se necessário ou possível)	Registo. Documentos de suporte
Ponto 2: Reactor biológico (Licor Misto)	MLSS*	Determinação em laboratório	2x Semana	Técnico responsável	Valores fora da gama [3000; 4500 mg/L] c)	Realização diária de testes de sedimentação aos 30 min. Ajuste da recirculação e extracção de lamas. Manutenção dos sopradores e aceleradores de fluxo, sondas de O2 e redox.	Ajuste da recirculação e extracção de lamas.	Registo no diário de exploração da ETAR e na folha de registo Excel.
	MLVSS*	Determinação em laboratório	2x Semana	Técnico responsável	8000 mg/L a) d)			
	θ	Determinação em laboratório	Semanal	Técnico responsável	Valores fora da gama [14,6; 40 h] d) c)	Adaptar o número de linhas de funcionamento ao caudal afluente. Colocação da segunda linha em funcionamento antes de épocas altas ou períodos em que se preveja caudais elevados.	-	
	IVL*	Determinação em laboratório	2x Semana	Técnico responsável	150 mL/g a) c)	Realização diária de testes de sedimentação aos 30 min. Observação regular ao microscópio da lama activada. Controlo da concentração de O ₂ . Ajuste da recirculação e extracção de lamas. Manutenção dos sopradores e aceleradores de fluxo, sondas de O2 e redox.	Ajuste da recirculação e extracção de lama. Regulação da RAS.(manter a 100%). Regulação da razão F/M.	
	λ_v CQO	Determinação em laboratório	Semanal	Técnico responsável	0,56 kg CQO/(m3.dia) c)	Ajuste da recirculação e extracção de lamas.	Ajuste da recirculação e extracção de lama. Regulação da RAS.(manter a 100%). Regulação da razão F/M.	
	λ_v CBO5	Determinação em laboratório	Semanal	Técnico responsável	0,15kg CBO5/(m3.dia) c)	Ajuste da recirculação e extracção de lamas.	Ajuste da recirculação e extracção de lama. Regulação da RAS.(manter a 100%). Regulação da razão F/M.	

PCC	O quê?	Como?	Com que frequência?	Quem?	Limites de alerta	Medidas preventivas	Ações correctivas (se necessário ou possível)	Registo. Documentos de suporte (se existirem)
Ponto 3: Decantador Secundário	θ	Cálculo	2xSemana	Técnico responsável	d)	Adaptar o número de linhas de funcionamento ao caudal afluente. Colocação da segunda linha em funcionamento antes de épocas altas ou períodos em que se preveja caudais elevados.	-	Registo no diário de exploração da ETAR e na folha de registo Excel.
	Q/A				d)		-	
Tratamento Terciário	Turvação*	Medição através de sonda ou determinação em laboratório	Diária	Técnico responsável	10 UNT e)	Promover a formação de um bom floco e sedimentação. Ajuste da recirculação e extracção de lamas. Manutenção dos sopradores e aceleradores de fluxo, sondas de O2 e redox. Monitorização do nível do manto de lamas. Ajuste de O2 conforme as necessidades da carga do biológico. Garantir θc e RAS de projecto.	Aumentar extracções e recirculações ajustes de OD.	
					55% d)			
	CF	Determinação em laboratório	Diária	Técnico responsável	100 NMP/100mL (para utilização produto A) e)	Limpeza e manutenção do sistema UV. Garantir que a idade das lâmpadas não supera as 10000 h. Reduzir os ciclos ON/OFF do equipamento. Monitorizar a turvação e a transmitância do afluente.	Aplicação de cloro. (atendendo à formação de subprodutos)	
	Ponto 5: Filtros + UVLogic	CF	Determinação em laboratório	2xSemana	Técnico responsável	>100NMP/100mL	Limpeza e manutenção do sistema UV. Garantir que a idade das lâmpadas não supera as 10000 h. Reduzir os ciclos ON OFF do equipamento. Monitorizar a turvação e a transmitância do afluente.	

* Possível relação com os perigos identificados

a) Metcalf & Eddy (2003)

b) Considerando que a ETAR não remove Cl⁻.

c) Baseado no Quadro 44

d) Gama ou valor de projecto

e) Qualidade assumida para o produto (Quadro 43)

5.1.10 Procedimentos de verificação e validação

A **verificação e validação** da implementação do plano HACCP (sexto princípio do plano HACCP (secção 2.4.3)) será da responsabilidade da equipa HACCP.

Os procedimentos de verificação deverão permitir saber se “estamos a fazer o planeado” (Van Oorschot *et al.*, 2007) e deverão incluir (adaptado de Vaz *et al.*, 2000):

- **Verificação** da segurança do produto através de análises microbiológicas e químicas, conforme as periodicidades estabelecidas.
- Verificação da eficiência do equipamento e da eficácia do sistema de controlo, através de relatórios mensais de eficiências globais e parciais de remoção e através de auditorias internas e externas.
- Verificação do estado de funcionamento dos equipamentos segundo o plano de manutenção.
- **Validação** deverá avaliar se “estamos a fazer o correcto” (Van Oorschot *et al.*, 2007), ou seja, deverá garantir que os limites de alerta e os limites críticos estabelecidos são eficientes e demonstrá-lo através de uma avaliação técnica e científica.

Os processos de verificação e validação deverão incluir auditorias internas e externas.

Auditorias Internas

As auditorias internas ao plano HACCP serão da responsabilidade da equipa HACCP. Deverão ser realizadas seis vezes por ano e deverão incluir a verificação dos registos de monitorização e das acções correctivas (adaptado de Vaz *et al.*, 2000).

Poderão também ser realizadas auditorias extraordinárias, a pedido do Departamento da Qualidade ou de Produção, e deverão ser elaborados relatórios das auditorias internas (adaptado de Vaz *et al.*, 2000).

Auditorias Externas

As auditorias externas deverão ser realizadas anualmente por uma empresa especializada, em regime de contrato (adaptado de Vaz *et al.*, 2000), de forma a garantir a isenção dos resultados e a permitir a validação dos mesmos.

5.1.11 Sistema de documentação

O sétimo princípio do plano HACCP consiste na elaboração de documentação relativa a todos os processos e registos de forma a garantir os restantes princípios (secção 2.4.3).

O sistema de documentação do plano HACCP da ETAR de Almargem deverá ser constituído por (adaptado de Vaz *et al.*, 2000):

1. Plano HACCP
2. Folhas de registo de análises das matérias-primas e dos produtos acabados.
3. Folhas de registo dos PCC
4. Folhas de registo do plano de limpeza
5. Folhas de registo das acções correctivas
6. Relatórios de auditorias internas
7. Relatórios das revisões do plano HACCP

A responsabilidade pela emissão, arquivo e revisão dos documentos do plano HACCP será do Departamento de Qualidade.

5.1.12 Revisão do plano

A responsabilidade da revisão do plano de HACCP (quinto e sexto princípios, secção 2.4.3) será da equipa HACCP. Esta deverá reunir anualmente para rever o plano HACCP com base nos relatórios das auditorias internas e externas, nos registos das acções correctivas e em reclamações de clientes (Vaz *et al.*, 2000).

A revisão do plano HACCP deverá ocorrer extraordinariamente sempre que ocorrerem quaisquer alterações do processo de tratamento ou do equipamento.

Deverão ser mantidos registos dos resultados das revisões (Vaz *et al.*, 2000).

5.2 Síntese da proposta de avaliação de desempenho operacional da ETAR baseada na metodologia HACCP

A proposta apresentada, desenvolvida e testada, foi concebida como instrumento de avaliação de desempenho operacional de ETAR associado à utilização da água residual tratada na rega de campos de golfe. No entanto, pode ser adaptada a outras utilizações da água residual tratada na ETAR e daí a existência da primeira fase da proposta: Revisão do estado de arte e definição de objectivos (Figura 52).

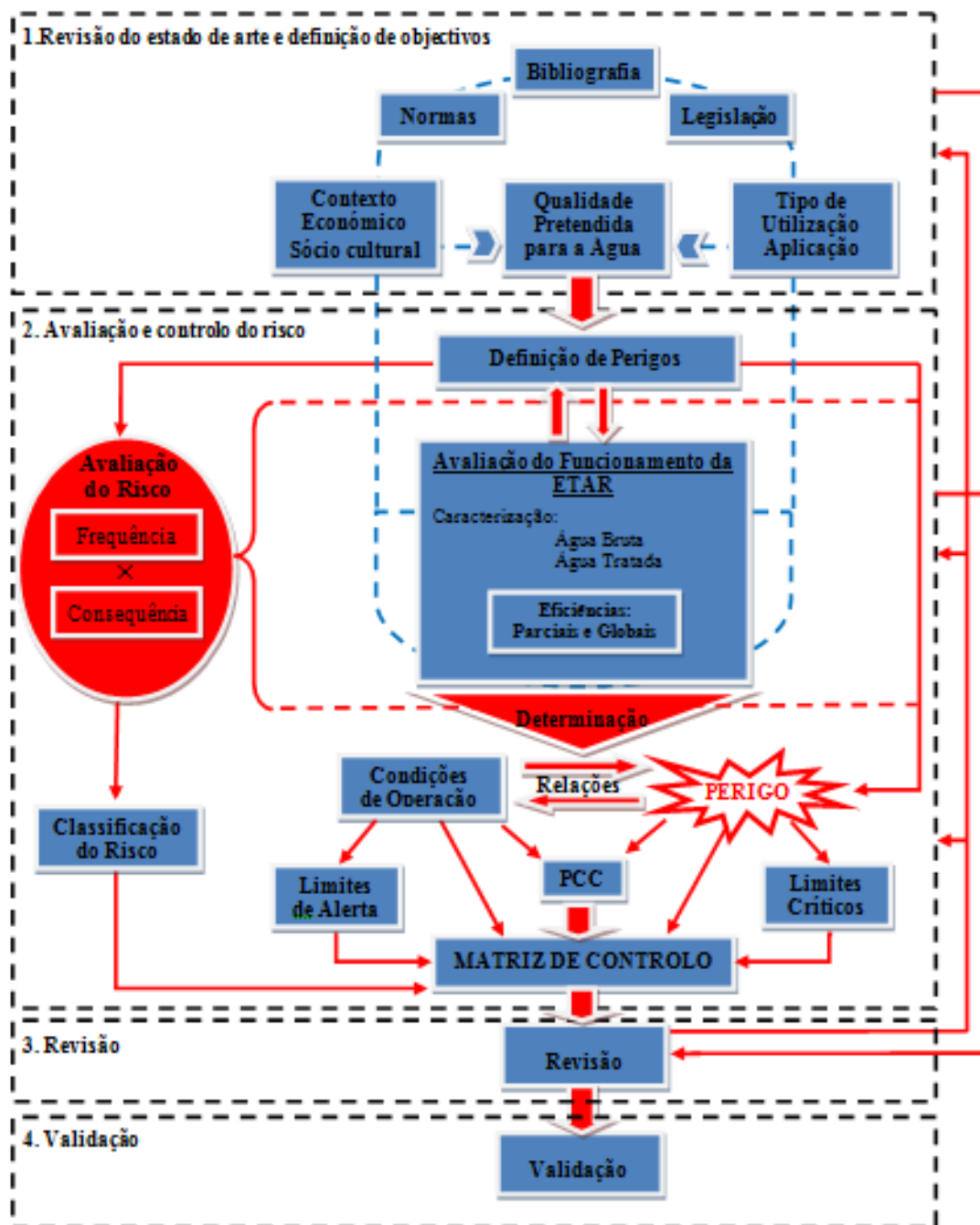



Figura 52 Esquema da proposta de avaliação de desempenho operacional de ETAR baseada na metodologia HACCP

Legenda:

 Operação

 Cálculo

 Sentido do fluxo

 Delimitação

Código de Cores:

Preto - limites de áreas/secções

Azul - relações interligações

Encarnado - acções

A Figura 52 esquematiza a proposta de metodologia de avaliação de desempenho operacional da ETAR desenvolvida e testada na tese. A metodologia proposta é constituída por quatro módulos ou fases: i) revisão do estado de arte e definição de objectivos; ii) avaliação e controlo do risco; iii) revisão e iv) validação. A primeira fase é de planeamento e é onde devem ser definidos os critérios e os objectivos que se pretende alcançar, ou seja a qualidade (parâmetros e limites críticos) pretendida para a água tratada (produto final) e o(s) uso(s) que se pretende dar a essa água. Essa definição deverá basear-se na legislação em vigor, normas, bibliografia e contexto económico e sócio-cultural, dependendo do tipo de utilização que se pretende dar à água tratada. Os parâmetros considerados na qualidade da água tratada definem os perigos do sistema de tratamento, uma vez que são o que eventualmente poderá não ser cumprido.

A segunda fase da metodologia proposta corresponde à avaliação e controlo do risco. Através da avaliação do histórico do funcionamento da ETAR (características da água bruta, características da água tratada, eficiências parciais e globais do tratamento) determinam-se as condições de operação que afectam os perigos e os pontos críticos para o seu controlo (PCC).

Através da análise do histórico de funcionamento da ETAR é também possível efectuar uma avaliação do risco, através do produto da frequência pela consequência do perigo em avaliação. Em resultado da avaliação do risco, obtém-se uma classificação que será tida em conta na elaboração da matriz de controlo da ETAR. Esta matriz resumirá os parâmetros a controlar em cada PCC, assim como as condições de operação que poderão estar na sua origem, apresentando os limites de alarme respectiva(s) acção(ões) correctiva(s) e/ou preventiva(s). Os limites críticos serão definidos pelo próprio perigo e deverão corresponder ao nível máximo de risco aceitável. Os limites máximos das condições de operação que afectam os perigos constituem os limites de alarme, ou seja os limites a partir dos quais se deve actuar imediatamente para impedir que a estação fique fora de controlo e que sejam atingidos os limites críticos.

A classificação do risco permite avaliar a qualidade do produto final e estabelecer periodicidades de monitorização, que deve ser mais apertada para riscos mais elevados e mais espaçada para riscos menores.

Os PCC apresentados na matriz de controlo devem ser identificados a partir da aplicação da árvore de decisão do *Codex Alimentarius*.

Seguindo a metodologia definida pelo plano HACCP, no final do processo da sua implementação deverá proceder-se à verificação e validação do mesmo. O processo de

verificação é um processo dinâmico e interactivo com todas as fases anteriores, alimentando e sendo alimentado pelas mesmas. A proposta apresentada pressupõe a aplicação da filosofia de melhoria contínua do ciclo de Deming (PDCA) (*Plan, Do, Study/Check, Act*), sendo sustentada por documentação ao longo de todas as fases (Figura 53).

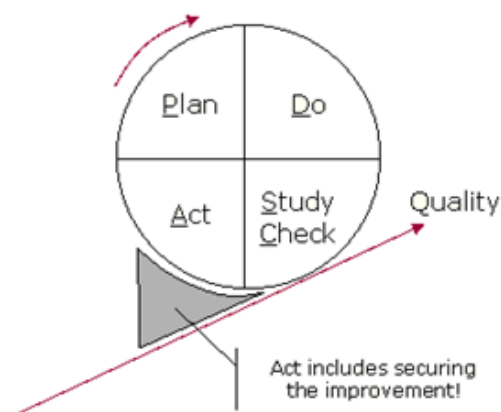


Figura 53 Ciclo de Deming (Watson, 1986)

Estabelecendo um paralelo com a metodologia “*plan-do-check-act*” a fase 1 da proposta de metodologia corresponde ao Planeamento (*Plan*), a 2 ao Agir (*Do*) e a 3 à fase Avaliar (*Check*) e a 4 ao Modificar/ Ajustar (*Act*) (Figura 53).

Efectuou-se uma análise SWOT à proposta de metodologia apresentada, como forma de efectuar uma avaliação crítica da mesma (Quadro 63). Esta análise constitui um instrumento de avaliação capaz de posicionar a metodologia no contexto actual ao nível interno – descrevendo, de forma esquemática, os seus pontos fortes (**Strengths**) e fracos (**Weaknesses**) – e ao nível externo, através da descrição das oportunidades (**Opportunities**) e ameaças (**Threats**).

Quadro 63 Análise SWOT da metodologia proposta de avaliação de desempenho de ETAR

***S*trengths (Pontos Fortes)**

- Melhorar e promover o de planeamento.
- Melhorar a coordenação e comunicação.
- Tornar mais rápida e eficaz a resposta a situações inesperadas.
- Permitir responder a exigências legais.
- Promover uma organização documental auditável.
- Facilitar o processo de certificação.
- Identificar e parametrizar procedimentos.
- Promover uma atitude proactiva face ao problema.
- Melhorar a comunicação interna, e externa (comunidade e autoridades).
- Melhorar o controlo de investimentos.
- Assegurar um produto de qualidade, aumentando a fiabilidade do processo.
- Identificar os perigos e avaliar os riscos.
- Possibilitar a avaliação da qualidade.
- Promover a melhoria contínua.
- Facilitar a adaptação a novas exigências.
- Promover a priorização de problemas.
- Melhorar a imagem externa, perante o consumidor e restante comunidade.
- Promover a simplificação e documentação de procedimentos.

***W*eaknesses (Pontos Fracos)**

- Possível ocorrência de erros na avaliação do risco, (sub ou sobrevalorização do risco).
- Falta de bibliografia de estudos causa-efeito que sustentem escalas de consequência.
- Poucos casos-estudo e de pouca duração de aplicação prática.
- Possível utilização de critérios menos correctos na definição de gamas de frequência e consequência.
- Possível ocorrência de erros no processo de validação e verificação.
- Fraca disponibilidade de históricos de longa duração.

***O*pportunities (Oportunidades)**

- Crescentes imposições de qualidade da água tratada.
- Novas tecnologias de tratamento de afinação.
- Crescente procura de fontes alternativas de água.
- Necessidade crescente de garantir a qualidade do produto/serviço prestado.
- Venda de produto certificado.

***T*hreats (Ameaças)**

- Recursos limitados para a sua aplicação (históricos de instalações e económicos).
 - Aumento inicial dos custos
-

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho pretendeu contribuir para o desenvolvimento de uma ferramenta de controlo e de avaliação do desempenho operacional de ETAR urbanas, baseada na metodologia HACCP. Para atingir o objectivo proposto, foi necessário proceder à execução de quatro etapas principais: revisão do estado de arte e definição de objectivos; avaliação e controlo dos riscos associados; revisão da metodologia e sua validação.

Através da análise dos aspectos agronómicos e gerais das várias fontes bibliográficas, normas e legislação definiu-se uma qualidade genérica pretendida para a água destinada à rega de campos de golfe. Dos parâmetros apresentados, apenas foi possível analisar neste trabalho os contemplados no plano analítico da ETAR de Almargem, designadamente: pH, Cl⁻, turvação, SST, CQO, CBO₅, N-t, P-t e coliformes fecais. Com base na definição de perigo da *Queensland Government EPA* (2005), os parâmetros seleccionados foram considerados os perigos da utilização da água tratada. Os limites críticos estabelecidos por parâmetro consistiram nos limites máximos com consequência marginal, tendo sido definidos os seguintes limites críticos: pH [5;9]; cloreto 355 mg/L; turvação 10 UNT; SST 60 mg/L; CQO 100 mg O₂/L; CBO₅ 30 mg O₂/L; Azoto total 11,3 mg/L; Fósforo total 0,4 mg/L e coliformes fecais 100 NMP/100mL.

A avaliação do funcionamento da ETAR baseou-se no histórico do controlo analítico realizado pela Águas do Algarve, S.A. e pela Acciona Água, S.A. no período de 20 de Abril de 2007 a 30 de Novembro de 2008, período que, além de abranger duas épocas altas, coincide com o ano de arranque da exploração da ETAR.

Os PCC e as condições críticas de controlo da ETAR foram então estabelecidos com base na análise do histórico de funcionamento da ETAR. A avaliação do risco foi depois efectuada com base numa adaptação das categorias de consequência e de probabilidade de ocorrência propostas pela *Queensland Government EPA* (2005) e das matrizes de análise do risco propostas por *Queensland Government EPA* (2005) e por Betâmio de Almeida (2008) (Quadro 25).

A aceitabilidade do risco foi feita com base no triângulo de Alarp. Os PCC associados aos riscos considerados não aceitáveis foram alvo de análise e para cada risco não aceitável definiu-se uma matriz de controlo que inclui os limites críticos, os sistemas de monitorização e as medidas preventivas e de controlo..

Através da análise realizada, constatou-se que o caudal de água residual afluyente à ETAR de Almargem apresentou forte correlação com a precipitação, característica de

sistema de colectores unitários. Esta situação acarreta problemas para o processo de tratamento e gestão da ETAR, pelo que se sugere a alteração do sistema de colectores “em baixa” do concelho de Tavira para um sistema separativo.

Ainda ao nível da água residual bruta, verifica-se uma concentração anormal em cloreto, superando os valores característicos de uma água residual doméstica. Esta situação afecta a sedimentabilidade dos sólidos, podendo gerar problemas de incumprimentos da licença de descarga ao nível do parâmetro SST.

O afluente à ETAR de Almargem no período em análise evidenciou variação sazonal, apresentado valores mais elevados de caudal nos meses de Verão (época alta).

A concentração em SST na água residual bruta afluente à ETAR pode ser classificada como média-forte, variando na gama 123-1786 mg/L, assim como a de CBO₅ (122 -683 mg O₂/L). Relativamente ao parâmetro CQO, o afluente pode ser classificado como de concentração média-forte (316-2041 mg O₂/L), sendo fraco em óleos e gorduras (2,40-64,40 mg/L) e média-forte em azoto e fósforo total (respectivamente, 30-150 mg/L e 5,20-32 mg/l).

O indicador de biodegradabilidade da água residual bruta apresentou valores no limite inferior de uma água residual doméstica, ou seja, no limite da eficácia do tratamento biológico para remoção de matéria orgânica carbonácea. Constatou-se que a possível causa destes valores seria o elevado tempo de retenção do afluente nos colectores e poços das estações elevatórias, que conduziria à estabilização da matéria orgânica no próprio sistema de drenagem. Relativamente a esta situação, recomenda-se o controlo das escorrências da desidratação e espessamento como fonte de incremento de CQO afluente (ponto crítico) e aconselha-se realizar novas ligações ao sistema, de forma a diminuir o tempo de retenção no sistema interceptor.

No que diz respeito ao cumprimento de requisitos, verificou-se que a ETAR cumpriu a licença de descarga e outros requisitos (legais), tanto ao nível de concentrações como de eficiências de remoção.

Também se verificou que, embora não contemplado no projecto, ocorre remoção biológica de fósforo, que portanto não ultrapassou o VLE no período em estudo.

O azoto total, igualmente não contemplado na licença de descarga, também foi analisado, apurando-se a existência de sazonalidade na sua remoção, sendo superior no Verão, comportamento típico de processos de tratamento de baixa carga.

O estudo das condições de operação revelou θ e θ_c elevados – característicos de um sistema sobredimensionado como o da ETAR de Almargem no período em análise – e

valores elevados de IVL, que denotam baixa sedimentabilidade dos sólidos, possivelmente consequência das elevadas e muito variáveis concentrações de cloreto na água residual bruta.

Relativamente ao sistema de afinação para produção de água para reutilização, aconselha-se a alteração do esquema de tratamento, colocando os filtros de anilhas a montante do sistema UV, de forma a diminuir a turvação e a aumentar a eficiência de desinfecção.

Da avaliação do risco baseada no sistema HACCP, concluiu-se que os parâmetros cloreto e turvação constituem um risco alto para reutilização da água tratada na rega de campos de golfe, tanto para o produto A como para o produto B. O azoto total e o fósforo total constituem risco alto a muito alto para ambos os produtos. O perigo biológico expresso pelos coliformes fecais apresentou um risco alto para o produto A e baixo a médio para o produto B.

Através das matrizes de risco e das classes de risco adoptadas, constatou-se que o risco do produto A é igual ao do produto B, com excepção dos aspectos microbiológicos CF. Ou seja, o processo de afinação utilizado na ETAR de Almargem apenas permite reduzir o risco microbiológico expresso pelo parâmetro CF, não reduzindo o risco associado ao cloreto, turvação e nutrientes. Em consequência, a afinação disponível não é considerada a indicada para viabilizar a reutilização da água na rega de campos de golfe.

Atendendo aos resultados obtidos da avaliação de risco, com base na qualidade pretendida para a água tratada para reutilização, não se considera segura a reutilização da mesma na rega de campos de golfe, uma vez que apresenta risco alto e muito alto de ultrapassar alguns limites impostos. Se após aplicação da matriz de controlo proposta se verificar que a mesma não consegue (como expectável, pelo menos em termos do teor em sais) reduzir o risco para níveis aceitáveis, sugere-se a reabilitação do processo de afinação da qualidade da água para reutilização, através, por exemplo, de um sistema de osmose inversa (barreira segura contra a presença na água de partículas, incluindo microrganismos, e de material dissolvido, incluindo cloreto).

Por último, considera-se que a metodologia desenvolvida para avaliação do desempenho operacional de uma ETAR urbana constitui uma ferramenta muito útil não só no controlo e definição dos PCC e limites críticos, mas também ao nível da organização e esquematização de procedimentos, medidas de controlo e verificação, assim como na criação de um sistema de documentação processual de rápida e prática consulta e de

identificação de etapas a modificar. No entanto, para a sua completa aplicação e eficiente utilização, são necessários mais estudos dose-resposta sobre os impactos gerados, para se conseguir um conhecimento concreto e sustentado da avaliação do risco.

A avaliação da dose-resposta nas vertentes áreas de influência (relva, solo, saúde humana, equipamentos), estabelecendo relações entre dosagens estimadas e efeitos da reutilização de água, ainda está envolta em grande incerteza, tanto ao nível químico como biológico. Apesar de existirem gamas sustentadas como seguras, não existe uma gradação da consequência dose-efeito que permita a classificação gradativa do impacto gerado que sustentaria plenamente a análise HACCP realizada.

Assim, propõe-se a aplicação desta ferramenta em períodos mais alargados de tempo, assim como a outras ETAR, bem como estudos de acompanhamento de avaliação dose-resposta integradores da vertente agronómica, risco para a saúde humana e equipamento, de forma a obter informação que sustente, de uma forma mais robusta, o plano HACCP, a avaliação do risco associado à água residual tratada, em última instância, o real desempenho operacional da ETAR.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acciona Água. (2006). *Dimensionamento da ETAR de Almargem*.
- AdA. (2006). *Memória Descritiva e Justificativa do Dimensionamento do Processo de Tratamento da ETAR de Almargem*.
- AERLIS - Associação Empresarial da Região Sul (2008). *Avaliação de Desempenho: Porquê?* Sintra.
- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J.M., Parena, R. (2000). *Performance indicators for water supply services*. 1st edition. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing, London. ISBN 1-900222-272.
- Alegre, H.; Baptista, M. J.; Pareana, R.; Hirner, W. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Guias técnicos*. International Water Association (IWA), LNEC/IRAR. Lisboa.
- Alegre, H.; Baptista, J.M.; JR E. C.; Cubillo, F.; Duarte, P.; Hirner, W.; Merkel, W.; Parena, R. (2006). *Performance indicators for water supply services*. 2nd edition. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing, London. ISBN 1843390515.
- APHA (1989). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. APHA, Washington, D.C..
- Asano, T.; Tchobanoglous, R. (1984). *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater – A Guidance Manual*. State Water Resources Control Board. Sacramento, EUA.
- Asano, T.; Levine, A. (1998). *Wastewater Reclamation, Recycling, and Reuse: An Introduction and Reuse*. Water Quality Management Library – Volume 10. TeChnomic Publishing Co., Inc Lancaser, Pennnsylvania.
- Ashbolt, J. N.; Schonning C.; Stenstrom A. T.; Westrell T. (2008). QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. In H.K. Kim *et al.* - *Water Science & Technology*. IWA Publishing, Vol 50 No2 pp 23–30.
- Ashley, R.; Cardoso, A.; Duarte, P.; Matos, R.; Molinari, A.; Schulz, A. (2004) *Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais. Guias técnicos* International Water Association (IWA), LNEC/IRAR. Lisboa. ISBN 9729935432

- Ayres, R. S.; WESTCOTT, D. W. (1985). *Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper 29, Rev1.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Beltrão, J. (2005). Recursos hídricos não convencionais. O caso da reutilização das águas residuais. In *Recursos às águas subterrâneas e efluentes tratados.* Expresso Gráfico, Lisboa. pp.3-17
- Betâmio de Almeida, A. (2006) PowerPoint da aula: *Segurança e risco. Instalações Hidroeléctricas.* IST
- Carrow, N. R.; Duncan, R.R.; Huck, M. (1998). *Understanding water quality and Guidelines to Management.* USGA Section Record, USA.
- Crotty, P. (2003). *Selection and definition of performance indicators for water and wastewater utilities.* American Water Works Association Research Foundation, USA.
- Dan, N.P.; Visvanathan, C. A. (2003). *Comparative Evaluation of Yeast and Bacterial Treatment of High Salinity Wastewater Base don Biokinetic Coefficients.* Bioresource TeChnology, v.87, pp. 51-56.
- Decreto Real 1620/2007. Espanha, de 7 de Dezembro de 2007.
- Dias, A. (2003). *Definição, Identificação e análise do perigo no projecto do produto.* Brasil.
- Dinçer, A.; Kargi, F. (1999). *Salt inhibition of nitrification and desnitrification in saline wastewater.* Environmental Technology 20.
- DL 118/2006. «D.R. I-A Série» 118 (2006-06-21).
- DL 152/97. «D.R. I-A Série» 139 (97-06-19).
- DL 208/08. «D.R. I-A Série» 209 (08-10-28).
- DL 236/98. «D.R. I-A Série» 176 (98-08-01).
- Duncan, R.R.; Carrow, N. R.; (2001). *Wastewater and Seawater use for trufgrasses: Potencial Problems and Solutions.* Universidade da Georgia, EUA.
- Fabregas, C. A. (2006). *Aplicación de indicadores de sostenibilidad a Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de poblaciones rurales de Portugal.* Projecto ICREW – Improving Coastal and Recreational Waters. Universidade Politénica da Catalunha, Barcelona.

- FAO (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture – FAO irrigation and drainage, paper47*. Roma,
- FAO/WHO. (1999) *Codex Alimentarius*. Food Standards Programme, Food hygienic - Basic Texts. Rome.
- Harivandi, A. M. (2004). *Evaluation Recycled Waters for Golf Course Irrigation*.
- Hendricks, D. (2006). *Water Treatment Unit Process: Physical and Chemical*. CRC/Taylor & Francis.
- Holt, P.; James, E. (2006). *Wastewater reuse in Urban Environment: selection of technologies*. Landcom's WSUD strategy. Australia.
- IBNET - *The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* - [Web Page] «(2005 www.ib-net.org)» Acedida em Fevereiro de 2007.
- Kargi, Uygur, A. (1997). *A Biological Treatment of saline wastewater in a rotating biodisc contactor by using halophilic organisms*. Bioprocess and Biosystems Eng.
- Kargi, F. (2002). *Enhanced biological treatment of saline wastewater by using halophilic bacteria*. Biotechnology letters, volume 24, N.º 19.
- Kincannon, D. F.; Gaudy, A. F.; (1968). *Response of biological waste treatment to changes in salt concentration*. Biotechnol. Bioengng.10.
- Lazarova, V.; Bahri, A. (2005). *Water reuse for irrigation agriculture, landscapes, and turf grass*. CRC press, Lusiana.
- LUSOTUR – Sociedade financeira de turismo. (1987) *Reutilização do efluente da ETAR de Vilamoura para rega do campo de golfe n.º3*. Portugal.
- Malntosh, A. C.; Yñiguez, C. E. (1997). *Second Water Utilities Data Book, Asian and Pacific Region*. National Library of the Philippines, Asian Development Bank.
- MAOT, Instituto da Água. (2001). *Programa Nacional para o uso eficiente da água*. Estudo elaborado pelo LNEC com apoio do ISA. Lisboa.
- MAOTDR. (2006). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013*.
- Martins, M. V.; Correia, A. H. (2004). *O Golfe no Algarve – O Presente e o Futuro*. Universidade do Algarve. Faro.

- Martins, A.; Freire, J.; Sousa, J.; Ribeiro, A. (2006) *Potencialidades de Reutilização de Águas Residuais para Rega de Campos de Golfe na Região do Algarve*. Águas do Algarve, Faro.
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., Schulz, A. (2003). *Performance indicators for wastewater services*. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing, London. ISBN 19002229006.
- Melo Baptista, J.; Alegre, H.; Matos, R.; Neves, E. B.; Cardoso, A.; Duarte, P.; Pássaro, D. A.; Santos, R. F.; Fernandes, T.; Almeida, J.; Escudeiro, M. H.; Nunes, M.; Ribeiro, A., Silva, J. C.; Neves, T.; Freixial, P.; Figueiredo, R.; Ramos, R.; Rodrigues, R. (2006). *Guia de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos Prestados aos Utilizadores*. LNEC & IRAR, Lisboa.
- MEPI (2008) Internet Site: <http://english.sviva.gov.il> consultado em Março 2008.
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd edition. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Molinari, A. J. (2005). *Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado*. Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Ameritas.
- Monte, M. M. (2000). *Gestão de Águas residuais tratadas para rega de campos de Golfe*. Dissertação de licenciatura em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico.
- National Academy of Sciences and National Academy of Engineering. (1972). *Water quality criteria*. US EPA, Washington DC. Report n.º EPA-R373-033.
- NP 4434 (2005). *Reutilização de águas residuais tratadas para rega*. Instituto Português da Qualidade.
- OFWAT (2005). *Levels of service for the water industry in England & Wales. 2004-2005 report*. Office of Water Services, UK.
- ONU (2002). *Desafio Global, Oportunidade Global*. ONU, Nova York.
- Park, J. (2008). *Biological Nutrient Removal Theories and Design*. University of Wisconsin, Madison.
- Portaria n.º557/2003 «D.R. I-B Série» 160 (03-07-14)
- Portaria n.º591/2003 «D.R. I-B Série» 164 (03-07-18)

- Pratt P.F. (1972). *Quality criteria for trace elements in irrigation waters*. California.
- Qasin.S. (1999). *Wastewater treatment Plants: Planning, Design and Operation, Disposal and Reuse*. 2nd Technomic Publishing Company, Inc.
- QUEENSLAND GOVERNMENT EPA (2005). *Queensland Water Recycling Guidelines*. Queensland Government EPA, Australia.
- Quadros, S.; Rosa, M. J.; Alegre, H. (2008) *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de águas residuais urbanas. Revisão do estado da arte e proposta de sistema de avaliação de desempenho global*. LNEC, Lisboa.
- Salgot, M. (2001). *Utilization de aguas recicladas en campos de golf*. I Simposio de Golf, água y Medio Ambiente. La Manga.
- Sharma, A. (2006). *Urban Water Sector in South Asia. Benchmarking Performance*. Water and Sanitation Program (WSP).
- Silva C. (2007). *Aplicação de Medidas de Avaliação de Desempenho a Estações de Tratamento de Água da Águas do Algarve*. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade do Algarve, Faro.
- Stahre, P., Adamsson, J. (2004). *Performance benchmarking. A powerful management tool for water and wastewater utilities*. Watermarque, Suíça.
- Stowell, L. (1999). *Pointers on reclaimed water contract negotiations*. - Pace Pointers.
- Strauss, M. (2000). *Humana waste (Excreta and Wastewater) Reuse*. Technical Document for the Second Seminar on Water Reuse in The Mediterranean to be Held in Rabat 2001. Suíça.
- Tang, S. L.; Lee T. H. (2002). *Treatment of mixed (fresh and salt) wastewater*. 28th WEDC Conference. Calcutá, India.
- Trojan (2007). *Trojan UV3000PLUS “Manual de operação e manutenção”*. Technologies Inc., USA.
- UNL (1998) *Metodologia de avaliação do funcionamento de estações de tratamento de águas residuais urbanas – Avaliação expedita*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa e Instituto da Água - Ministerio do Ambiente, Lisboa.
- US EPA (1987). *Design Manual. Phosphorous Removal*. US EPA, Cincinnati.
- US EPA (2004). *Guidelines for water Reuse*. (EPA)/625/R-92/108

- Van Oorschot, R.; French, C.; Vincent, D.; Nadebaum, P. (2007). *HACCP Principles in Wastewater Treatment*. GHD Pty Ltd, Australia.
- Vaz, A.; Moreira, R.; Hogg, T. (2000). *Introdução ao HACCP*. Serviços de Edição da ESB/UCP.
- VIEIRA, P. (2009). Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano. Tese de Doutoramento em Ciências e Tecnologias do Ambiente, Especialidade de Tecnologias do Ambiente. Universidade do Algarve. Faro.
- Vieira, P., Alegre, H., Rosa, M.J. (2007). *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água - Revisão do estado da arte e proposta de sistema de avaliação de desempenho*. Relatório 215/2007 – NES, LNEC, Lisboa.
- Vieira, P., Quadros, S., Pimentel, F., Rosa, M.J., Alegre, H. (2006). Estações de Tratamento de Água e de Águas Residuais: caracterização da situação nacional. *Águas & Resíduos*, serie III. N.º 2, Outubro/Dezembro (2006) 28-39.
- Vieira, P., Silva, C., Rosa, M.J., Alegre, H., Lucas, H., Sancho, R., Ramalho, P. (2008a). Indicadores de desempenho para ETA – teste e validação num caso de estudo. In *Actas do 13.º Encontro Nacional de Saneamento Básico*, Covilhã, 14-17 Outubro.
- Vieira, P., Rosa, M.J., Alegre, H., Lucas, H. (2008b). Metodologia para avaliação de desempenho operacional de ETA. In *Actas do 13.º Encontro Nacional de Saneamento Básico*, Covilhã, 14-17 Outubro.
- Water Pollution Control Federation. (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse*. Volume 10. San Francisco
- Watson, M. (1986). *The Management Methods*. Nova York.
- WHO (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. WHO, Geneva.
- WHO (2004). *IPCS Risk Assessment Terminology*. WHO, Geneva.
- WHO (2006a). *A compendium of standards for wastewater reuse in Eastern Mediterranean Region*. WHO, Copenhagen.
- WHO (2006b). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater. Volume 1: Policy and regulatory aspects*. WHO, Switzerland.

- WHO (2006c). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture*. WHO, Switzerland.
- WHO/AFESD (2004). *WHO/AFESD regional consultation to review priorities and action plans for wastewater reuse and management*. Jordania.
- Wolf, A. (1997). Water Wars' and Water Reality: Conflict and Cooperation along International Waterways. *In International Water Management in the 21st Century*, Valencia, 18-20 Dezembro.
- World Bank (1994). *World Development Report 1994: Infrastructure for Development*. Oxford University Press, New York.
- World Bank (2006). *IBNET indicator definitions*. World Bank, Washington.