

Bruna Sofia Teixeira Ferreira

Avaliação de desempenho de um sistema de
gestão de resíduos – caso de estudo do Aterro
Sanitário de Bigorne



Bruna Sofia Teixeira Ferreira

Avaliação de desempenho de um sistema de
gestão de resíduos – caso de estudo do Aterro
Sanitário de Bigorne

Tese de Mestrado
em Tecnologias Ambientais

Professora Doutora Isabel Paula Lopes Brás
Professora Maria Elisabete Ferreira Silva



Errata

	Onde se lê	Deve ler-se
Página 94 (Tabela V.I)	95	85
Página 94 (Tabela V.I)	ÁH	AH

RESUMO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do estágio curricular inserido no curso de Mestrado em Tecnologia Ambientais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, realizado no período entre o dia 30 de novembro de 2012 e o dia 31 de maio de 2013, na entidade gestora RESINORTE - Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A., mais concretamente na Unidade de Produção de Lamego.

Este estudo teve como objetivo analisar e comparar indicadores de desempenho utilizados na RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego com outras entidades gestoras, definindo-se alternativas ao sistema utilizado atualmente, de forma a melhorar o sistema de gestão. Paralelamente pretendeu-se analisar e comparar os indicadores de desempenho definidos pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) para os 23 sistemas de gestão de resíduos e em pormenor para a entidade gestora RESINORTE- Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A. Além disso, analisaram-se as principais características do lixiviado do aterro sanitário de Bigorne, por forma a avaliar o efeito da técnica de recirculação do lixiviado ao longo do período de exploração. Por último, estudou-se a presença das substâncias húmicas no lixiviado do aterro sanitário de Bigorne, efetuando-se o respetivo fracionamento e avaliação da sua possível valorização.

A proposta de redefinição dos indicadores internos da RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego permitiu integrar novos indicadores de desempenho nas classes já existentes, completando aspetos relevantes do desempenho da unidade de produção. Outros indicadores de desempenho devido à pouca informação que disponibilizavam foram retirados e outras classes de indicadores de desempenho foram inseridas. A análise e a comparação dos indicadores de desempenho da ERSAR para os 23 sistemas de gestão de resíduos permitiu constatar que existe alguma heterogeneidade no desempenho das várias entidades gestoras. Globalmente, da análise efetuada constata-se que os sistemas apresentam bons níveis de qualidade do serviço.

Para o estudo do efeito da recirculação do lixiviado no aterro sanitário de Bigorne, analisaram-se diversos parâmetros físicos e químicos ao longo do respetivo período de exploração. Esta análise sugere que o aterro se encontra no início da fase metanogénica. A maioria das correlações efetuadas entre a idade do aterro, o caudal recirculado e os elementos minerais evidenciou o efeito da idade do aterro na concentração de alguns desses elementos no interior do aterro.

Na caracterização das substâncias húmicas no aterro sanitário de Bigorne verificou-se que as frações de ácidos húmicos representam entre 6% e 15% do carbono orgânico total, enquanto as frações de ácidos fúlvicos encontram-se entre 85% e 94% em diferentes amostras de lixiviado. Da consulta da literatura constatou-se que a aplicação das substâncias húmicas como fertilizante pode ser benéfica, podendo por conseguinte ser uma via de valorização destas substâncias.

Palavra-chave: gestão de resíduos sólidos urbanos; indicadores de desempenho; recirculação de lixiviados; substâncias húmicas.

ABSTRACT

This report was carried out under the curricular traineeship integrated in the Environmental Technology Master of the *Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu*. It held between 30 November 2012 and May 31, 2013, in Resinorte - Valuation and solid waste treatment, S. A., specifically at Lamego Production Unit.

This study aimed to analyze and compare performance indicators used in Resinorte S.A. - Lamego Production Unit with other management entities, defining alternatives to the system currently used in order to improve the management system. At the same time, it was intended to analyze and compare the performance indicators of Services Regulatory Authority for Water and Waste (ERSAR) for 23 systems for waste management and in detail for Resinorte-Valuation and solid waste treatment, S. A.. Moreover, it was evaluated the main characteristics of the leachate from the Bigorne landfill in order to analyze the effect of the leachate recirculation technique during the exploration period. Finally, it was studied the presence of humic substances in the leachate from the Bigorne landfill, carrying out the respective fractionation and assessment of its possible valorization.

The proposal of a new internal indicators for Resinorte S.A.- Lamego Production Unit allowed integrate new performance indicators in the existing classes, completing relevant aspects of the production unit performance. Other performance indicators, due to the short information provided, have been removed and other classes of performance indicators were included. Analysis and comparison of performance indicators for the 23 ERSAR waste management systems allowed to find out that there is some heterogeneity in performance. Overall, the analysis reveals that the systems have good levels of service quality.

To study the effect of recirculation of the Bigorne landfill leachate, it was analyzed several physical and chemical parameter during the operation period. This analysis seems to point to the fact that the landfill is in the beginning of the methanogenic phase. Most of the correlations performed between the age of the landfill, the flow rate recirculated, and mineral elements showed the effect of the age of the landfill at a concentration of some of these elements within the landfill.

Regarding the presence of humic substances in Bigorne landfill, it was found that the humic acid fractions represent between 6% and 15% of the total organic carbon, while fulvic acid fractions are between 85% and 94% in the different leachate samples. In the literature it was found that the application of SH as fertilizer can be beneficial and may therefore be a way to valorize these substances.

Keywords: urban solid waste management; performance indicators; leachate recirculation; humic substances.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Professora Doutora Isabel Paula Lopes Brás e à Professora Maria Elisabete Ferreira Silva pela ajuda e orientação científica e pela maneira como ao longo deste trabalho demonstraram a satisfação com o resultado.

À Engenheira Rosa Novais pela oportunidade de estágio concedida nas instalações da RESINORTE - Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A., que me permitiu desenvolver este tema.

À Engenheira Rosa Rodrigues e à colaboradora Patrícia Oliveira pela receção, integração e ajuda prestada, bem como pela amizade manifestada durante o estágio.

A todos os meus amigos que de alguma forma me ajudaram a enfrentar mais uma etapa da minha vida e porque a vida é feita de bons e maus momentos, um muito obrigado do fundo do coração.

A toda a minha família pela compreensão e apoio demonstrados ao longo da realização deste trabalho.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
I. Introdução	1
I.1. Caraterização do estágio	2
I.2. Caraterização da RESINORTE- Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A.	3
I.3. Estrutura do documento	8
II. Gestão dos resíduos sólidos urbanos	11
II.1. Classificação dos resíduos.....	11
II.2. Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos	13
II.3. Propriedades dos resíduos sólidos urbanos	15
II.3.1. Propriedades físicas dos resíduos sólidos urbanos	15
II.3.2. Propriedades químicas dos resíduos urbanos	17
II.3.3. Propriedades biológicas dos resíduos urbanos	17
II.4. Produção de resíduos	17
II.5. Situação atual Portuguesa	18
II.6. Operações e gestão de resíduos sólidos urbanos	22
II.6.1. Redução de resíduos na fonte	23
II.6.2. Recolha e transporte de resíduos sólidos urbanos	23
II.7. Valorização dos resíduos sólidos urbanos.....	24
II.7.1. Compostagem	24
II.7.2. Digestão anaeróbia.....	25
II.7.3. Incineração	26
II.7.4. Destino final dos resíduos sólidos urbanos- aterro sanitário	26
II.8. Etapas de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em aterro	27
II.9. Sistemas de tratamento de lixiviados.....	29
II.9.1. Recirculação de Lixiviados	30

II.9.2. Composição dos lixiviados- As substâncias húmicas	31
II.10. Referências.....	33
III. Análise de indicadores das entidades de gestão de resíduos- o caso da RESINORTE S.A.....	37
III.1. Resumo.....	37
III.2. Introdução	37
III.2.1. Regulação do setor dos resíduos em Portugal	38
III.2.2. Sistema de avaliação da qualidade dos serviços prestados	39
III.3. Dados de base e metodologia	44
III.4. Resultados e discussão	45
III.4.1. Proposta de redefinição dos ID internos da RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego	45
III.4.2. O desempenho das entidades gestoras em Portugal	57
III.4.3. Evolução do desempenho da RESINORTE- Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A.	65
III.5. Conclusão	67
III.6. Referências.....	68
IV. Avaliação do efeito da recirculação de lixiviados num aterro sanitário	69
IV.1. Resumo.....	69
IV.2. Introdução	69
IV.3. Dados de base e metodologia	70
IV.4. Resultados e Discussão	74
IV.4.1. Monitorização das águas residuais tratadas	74
IV.4.2. Variação de volume de lixiviados produzidos	77
IV.4.3. Características químicas do lixiviado	78
IV.4.3.1. pH	78
IV.4.3.2 Condutividade.....	79
IV.4.3.3. CBO ₅ e CQO.....	80
IV.4.3.4. Azoto Amoniacal.....	82
IV.4.3.5. Elementos minerais	83
IV.4.4. Correlações entre os parâmetros operacionais e físico-químicos do aterro.....	85

IV.5. Conclusão	88
IV.6. Referências	88
V.Quantificação das substâncias húmicas nos lixiviados	91
V.1. Resumo	91
V.2. Introdução.....	91
V.3. Material e Métodos	92
V.3.1. Recolha e preservação das amostras.....	92
V.3.2. Extração das substâncias húmicas.....	92
V.3.3. Determinação do carbono orgânico total	93
V.3.4. Fracionamento dos ácidos fúlvicos e húmicos	93
V.4. Resultados e Discussão	93
V.5. Conclusão.....	95
V.6. Referências	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1- Modelo técnico implementado para a gestão de resíduos (adaptado do Relatório Ambiental Anual, 2011).	4
Figura I.2- Fluxograma da gestão integrada de resíduos no aterro sanitário de Bigorne.....	7
Figura I.3- Circuito dos resíduos efetuado na RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego...	8
Figura II.1- Mapa dos Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos, em Portugal continental (APA, 2011).	19
Figura II.2- Produção e capitação diária de resíduos sólidos urbanos em Portugal continental (APA, 2012).	20
Figura II.3- Produção de resíduos sólidos urbanos em Portugal continental, por região, em 2011 (APA, 2012).	20
Figura II.4- Composição dos resíduos sólidos urbanos em 2010, no continente (APA, 2011).	21
Figura II.5- Resíduos sólidos urbanos encaminhados para as diversas operações de gestão (APA, 2012).	22
Figura II.6- Processo de compostagem (Cordeiro, 2012).	25
Figura II.7- Funcionamento da incineração de resíduos sólidos urbanos (Morgado e Ferreira, 2006).	26
Figura II.8- Diferentes fases de decomposição dos resíduos sólidos urbanos (I-fase de ajustamento inicial, II-fase de transição, III-fase de acidificação, IV-fase metanogénica e V-fase de maturação) (Matos, 2008).	28
Figura II.9- Estrutura hipotética para o ácido fúlvico (Moravia, 2010).....	32
Figura II.10- Estrutura hipotética para o ácido húmico (Moravia, 2010).	32
Figura III.1- Resultados do indicador de desempenho Acessibilidade do serviço de recolha seletiva.	61
Figura III.2- Resultados do indicador de desempenho Reciclagem de resíduos de embalagem.....	63
Figura III.3- Resultados do indicador de desempenho Adequação dos recursos humanos.....	64
Figura III.4- Resultados do indicador de desempenho Qualidade dos lixiviados após tratamento.	65
Figura IV.1- Aterro Sanitário de Bigorne- Área de deposição de resíduos sólidos urbanos e a estação de tratamento de águas lixiviantes.....	73

Figura IV.2- Volume de lixiviado recolhido e recirculado do aterro sanitário de Bigorne e a precipitação anual, entre 2002 e 2011.	77
Figura IV.3- Variação de pH no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	79
Figura IV.4- Variação da condutividade no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	80
Figura IV.5- Variação da concentração de CBO ₅ e CQO no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	81
Figura IV.6- Variação da relação CBO ₅ /CQO no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	82
Figura IV.7- Variação da concentração do azoto amoniacal no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	83
Figura IV.8- Variação da concentração de elementos minerais (chumbo, crómio, zinco, cobre e manganês) no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	84
Figura IV.9- Variação da concentração de elementos minerais (potássio, ferro, cálcio, magnésio e sódio) no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.	84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I.1- Cronograma temporal das atividades realizadas durante o estágio.	2
Tabela I.2- População e áreas afetadas à Unidade de Produção de Lamego.....	3
Tabela II.1- Metas de gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal (ERSAR e APA, 2012).	15
Tabela III.1- Indicadores de qualidade do serviço de gestão de resíduos urbanos (ERSAR, 2011). ...	41
Tabela III.2- Dados do sistema de avaliação da qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos (ERSAR, 2011).....	42
Tabela III.3- Indicadores de desempenho da entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.....	46
Tabela III.4- Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.	48
Tabela III.5- Resultados das fichas de avaliação da qualidade do serviço (2011) disponibilizada pela ERSAR para as entidades gestoras: VALORMINHO, RESULIMA, BRAVAL, RESINORTE, LIPOR, AMBISOUSA, SULDOURO, RESÍDUOS DO NORDESTE, VALORLIS, ERSUC e ECOBEIRÃO.	58
Tabela III.6- Resultados das fichas de avaliação da qualidade do serviço (2011) disponibilizada pela ERSAR para as entidades gestoras: RESIESTRELA, VALNOR, VALORSUL, ECOLEZÍRIA, RESITEJO, TRATOLIXO, AMARSUL, GESAMB, AMBILITAL, AMCAL, RESIALENTEJO e ALGAR.	60
Tabela III.7- Resultados dos Indicadores de desempenho para os anos 2010 e 2011 para a entidade gestora RESINORTE S.A.	66
Tabela IV.1- Parâmetros e frequência de monitorização dos lixiviados gerados no aterro sanitário de Bigorne.	71
Tabela IV.2- Resultados analíticos das amostragens efetuadas ao permeado, no ano 2002 até 2012.	75
Tabela IV.3- Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> entre a idade do aterro, o caudal recirculado e a composição química dos lixiviados.	86
Tabela IV.4- Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> da idade do aterro, caudal recirculado e os elementos minerais.	87
Tabela V.1- Concentrações do carbono orgânico das SH, AH e AF das amostras do lixiviado.	94

I. Introdução

A evolução do homem de nómada a sedentário favoreceu a produção de resíduos, os quais se transformaram num problema crescente e de difícil resolução

Em Portugal, até a década de 90, a situação no sector da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) era problemática. Em espaços abertos sem monitorização depositavam-se continuamente os resíduos de origem urbana, com determinadas particularidades físicas, químicas e biológicas. Estes terrenos não tinham qualquer sistema de proteção e os resíduos eram queimados nesses locais de forma a reduzir o seu volume. Desta forma, a deposição incorreta dos resíduos acarretava problemas como a poluição sonora, do solo, atmosférica, das águas superficiais ou subterrâneas.

Presentemente, a sociedade portuguesa e os diversos setores governamentais começam a assumir a relevância do problema de gestão dos resíduos, particularmente em relação a aspetos ligados à saúde pública, ao ambiente e ao setor turístico e social (Neves, 2010).

A gestão dos resíduos realizada de forma integrada e sistemática, é a maneira de conceber, implementar e articular diferentes procedimentos que apontam para aspetos ambientais, socioeconómicos, tecnológicos e legais adequados. Esta gestão integrada tem como principais objetivos, uma adequada recolha, transporte, tratamento e valorização final dos (RSU) produzidos, garantindo a qualidade ambiental e de vida das populações, a valorização de recursos e a melhoria da eficiência/eficácia do serviço prestado.

Este trabalho teve o propósito de analisar os indicadores de desempenho internos do aterro sanitário de Bigorne, gerido pela empresa RESINORTE - Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A. (RESINORTE S. A.) para compreender qual o seu contributo para a melhoria da gestão integrada dos resíduos. Paralelamente, avaliou-se o efeito da técnica de recirculação de lixiviados do aterro sanitário, bem como a quantificação das substâncias húmicas desse efluente líquido.

A RESINORTE S. A. é uma organização que tem como principal atividade a exploração e gestão do sistema multimunicipal de recolha, triagem, valorização e tratamento de RSU do Norte Central, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região e do país.

O estágio curricular desenvolvido no âmbito do Mestrado em Tecnologias Ambientais, lecionado na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, foi realizado na instalação localizada na freguesia de Bigorne pertencente ao concelho de Lamego.

I.1. Caraterização do estágio

O estágio realizado na empresa RESINORTE S. A., teve a duração de seis meses e foi compreendido entre o dia 30 de novembro de 2012 e o dia 31 de maio de 2013. O tema principal do estágio foi “Avaliação do desempenho de um sistema de gestão de resíduos – caso de estudo do Aterro Sanitário de Bigorne”. O cronograma temporal de trabalhos do estágio é apresentado na Tabela I.1 onde se encontram as conseguintes fases e tarefas do mesmo.

Tabela I.1-Cronograma temporal das atividades realizadas durante o estágio.

Tarefa	Dezembro 2012	Janeiro 2013	Fevereiro 2013	Março 2013	Abril 2013	Maio 2013
Pesquisa bibliográfica	■					
Análise de indicadores de desempenho do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos		■				
Avaliar o efeito da recirculação de lixiviados no aterro sanitário		■				
Extração das substâncias húmicas de lixiviados do aterro sanitário					■	
Análise dos resultados e elaboração de proposta de melhorias						■

A pesquisa bibliográfica baseou-se num levantamento da informação relativa à gestão dos RSU no que concerne a aspetos legais relacionados. Seguidamente, analisou-se os indicadores de desempenho do sistema de gestão dos RSU, que inclui todos os aspetos do circuito dos resíduos, desde a recolha até ao seu destino final, avaliando se o processo está a cumprir com os objetivos pretendidos. Na avaliação do efeito da recirculação de lixiviados no aterro sanitário, efetuou-se a análise do historial dos dados analíticos para compreender as propriedades do lixiviado e efeitos desta técnica. A extração das substâncias húmicas do lixiviado envolveu a realização de ensaios no laboratório da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu após amostragem *in situ*. Assim, foi possível quantificar o carbono orgânico das substâncias húmicas e o respetivo fracionamento em ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. A análise dos resultados e a elaboração da proposta de melhorias envolveu o estudo dos resultados obtidos da análise dos indicadores de desempenho, da

monitorização do lixiviado do aterro sanitário e da quantificação do carbono orgânico das substâncias húmicas.

I.2. Caracterização da RESINORTE- Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A.

O sistema multimunicipal do Vale do Douro Sul, criado pelo Decreto-Lei n.º 93/2001, de 23 de março, administrou, inicialmente o aterro sanitário de Bigorne, com início de exploração em dezembro de 2001.

Em 2009, de forma a dinamizar a otimização dos sistemas de gestão dos RSU por via de processos de reconfiguração e integração de sistemas, foi criado o sistema multimunicipal do Norte Central (Decreto-Lei n.º 235/2009), sendo o Vale do Douro Sul um deles. Este sistema multimunicipal é gerido pela sociedade RESINORTE S. A.

A RESINORTE S. A., é um sistema multimunicipal que está dividido em quatro unidades de produção: Unidade de Produção Celorico de Basto (sede), Unidade de Produção de Boticas, Unidade de Produção Riba de Ave e Unidade de Produção de Lamego. Esta última tem sob alçada o aterro sanitário de Vila Real servindo os municípios de Alijo, Mesão Frio, Murça, Peso da Régua, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião e Vila Real, e o aterro sanitário de Bigorne que assiste os municípios de Armamar, Cinfães, Lamego, Moimenta da Beira, Penedono, Resende, S. João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço e Tarouca.

Os municípios que se encontram no âmbito geográfico do aterro sanitário de Bigorne englobam um total de 162 freguesias. A população e a área afetas a estes municípios são apresentadas na Tabela I.2. Os dados populacionais de cada município são referentes aos Censos de 2011 e são apresentados em número de habitantes.

Tabela I.2- População e áreas afetas à Unidade de Produção de Lamego.

Concelho	População 2011	Área (Km²)	Densidade populacional (hab/Km²)
Armamar	6297	112,2	56,12
Cinfães	20427	241,7	84,51
Lamego	26691	166,7	160,11
Moimenta da Beira	10212	219,8	46,46
Penedono	2952	132,7	22,25
Resende	11364	122,7	92,62
São João da Pesqueira	7874	267,6	29,42
Sernancelhe	5671	231,4	24,51
Tabuaço	6350	135,7	46,79
Tarouca	8048	101,5	79,29
Total	105886	1732	64,21

I. Introdução

Globalmente verifica-se que a densidade populacional destes municípios é variável, sendo mais elevada a do concelho de Lamego (160,11 hab/Km²) e, a mais baixa, a do concelho de Penedono (22,25 hab/Km²).

Todos os municípios foram dotados de equipamentos para a deposição de materiais recolhidos seletivamente, através de ecopontos compostos por três contentores para: embalagens de vidro (Vidrão), embalagens de papel e cartão (Papelaço) e embalagens plásticas e de metal (Embalão). A recolha seletiva inclui ainda as pilhas que são recolhidas num contentor para o efeito (pilhão), existente em cada ecoponto.

Os materiais depositados nos ecopontos são recolhidos em todos os municípios deste sistema. A taxa média a nível da gestão centralizada no aterro sanitário de Bigorne é de 1 ecoponto para 254 habitantes, englobando no total um conjunto de 318 ecopontos. Para complementar estes equipamentos, o modelo técnico definido para a gestão de resíduos conta com três estações de transferência, existentes em: Cinfães, Moimenta da Beira e S. João da Pesqueira, para servir respetivamente os municípios de Cinfães, Moimenta da Beira/Sernancelhe/Tabuaço e S. João da Pesqueira/Penedono. Paralelamente existem quatro ecocentros, estando localizados três nas estações de transferência e um no espaço físico do aterro sanitário de Bigorne.

A separação dos materiais depositados nos ecopontos e nos ecocentros, de forma a cumprir com as especificações da Sociedade Ponto Verde (SPV) para a reciclagem, é efetuada na estação de triagem, que se localiza no espaço físico do aterro sanitário. Na Figura I.1 apresenta-se o modelo técnico implementado para a gestão de resíduos.

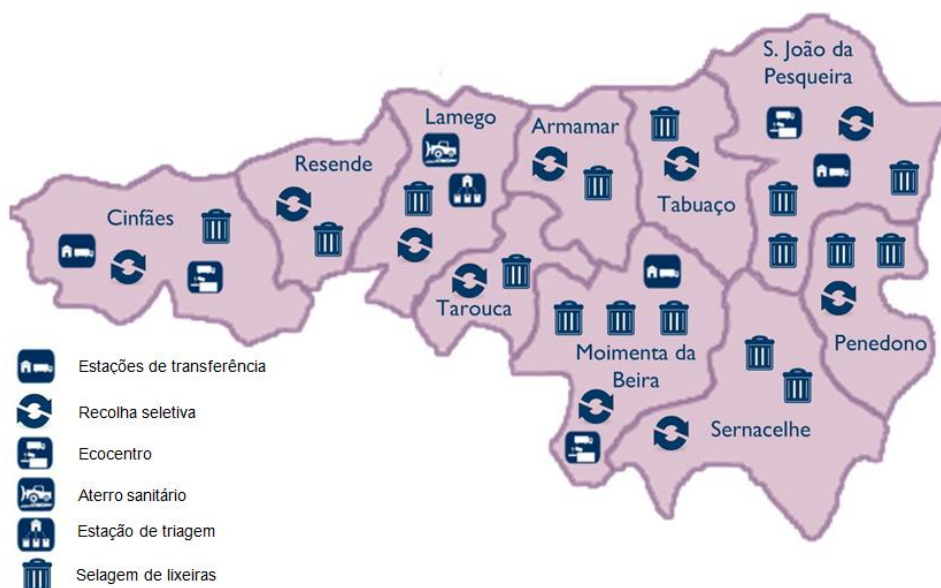


Figura I.1-Modelo técnico implementado para a gestão de resíduos (adaptado do Relatório Ambiental Anual, 2011).

I. Introdução

A RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego é constituída pelas seguintes infraestruturas de apoio:

- Aterro de resíduos não perigosos;
- Estação de tratamento de lixiviados com capacidade para o tratamento de 160 m³/dia. O sistema de tratamento dos lixiviados e das restantes águas residuais geradas no aterro é constituído pela obra de entrada para remoção de sólidos grosseiros, três lagoas de arejamento, um decantador secundário, uma unidade de osmose inversa e um coletor para descarga do permeado na Ribeira de Poldras;
- Pavilhão de armazenagem de Resíduos de Equipamento Elétrico e Eletrónico;
- Ecocentro;
- Estação de triagem;
- Oficina;
- Queimador de biogás com uma capacidade de aspiração de 300 Nm³/h e uma capacidade de queima de 1500 kW;
- Rede de incêndio;
- Serviços administrativos.

Para além das instalações referidas, o aterro sanitário é serviço por:

- Vias de acesso de internas;
- Redes de:
 - Abastecimento de água e redes de incêndio;
 - Drenagem de águas residuais domésticas;
 - Drenagem e captação de águas lixivantes;
 - Drenagem e captação de biogás;
 - Rede de drenagem de águas pluviais;
 - Eletricidade incluindo postos de transformação;
 - Telefones.

As monitorizações dos lixiviados gerados no aterro sanitário, das águas superficiais, das águas subterrâneas, do efluente tratado e do biogás são efetuadas por empresas externas.

A RESINORTE S. A. tem uma enorme atenção à grande diversidade e natureza dos resíduos suscetíveis de serem recebidos no aterro sanitário de Bigorne. Nesse sentido, cada produtor de resíduos sólidos que pretenda depositar no aterro tem de efetuar uma solicitação formal à RESINORTE S. A. constituindo o pedido de autorização de descarga.

I. Introdução

Este sistema multimunicipal efetua a apreciação do requerimento, podendo conceder autorização de descarga com/sem implicação de qualquer autorização específica ou pode recusar a autorização de descarga fundamentando a sua decisão.

A autorização para a utilização do aterro sanitário pode ser concedida para o ano civil em curso ou para utilização pontual.

As viaturas, quando chegam ao aterro, dirigem-se para a báscula de pesagem. Neste processo o operador da portaria regista um conjunto de dados, tais como o peso, proveniência da viatura, a entidade e a tipologia de resíduos que transporta, confirmando igualmente se pertence ao conjunto de entidades autorizadas.

Em caso de não admissão de resíduos no aterro sanitário de Bigorne, o operador notifica, no prazo máximo de vinte e quatro horas, a autoridade competente, identificando devidamente o produtor/detentor, as quantidades e a classificação dos resíduos em causa.

Após a descarga dos resíduos, as viaturas passam obrigatoriamente pela unidade de lavagem de rodados, evitando que se espalhem resíduos nas vias de circulação. As viaturas cuja tara não é conhecida, voltam a passar na báscula, no percurso de saída, sendo só entregue nesta fase o talão de registo de pesagem.

O circuito dos resíduos descrito anteriormente é esquematizado nas Figuras I.2 e I.3.

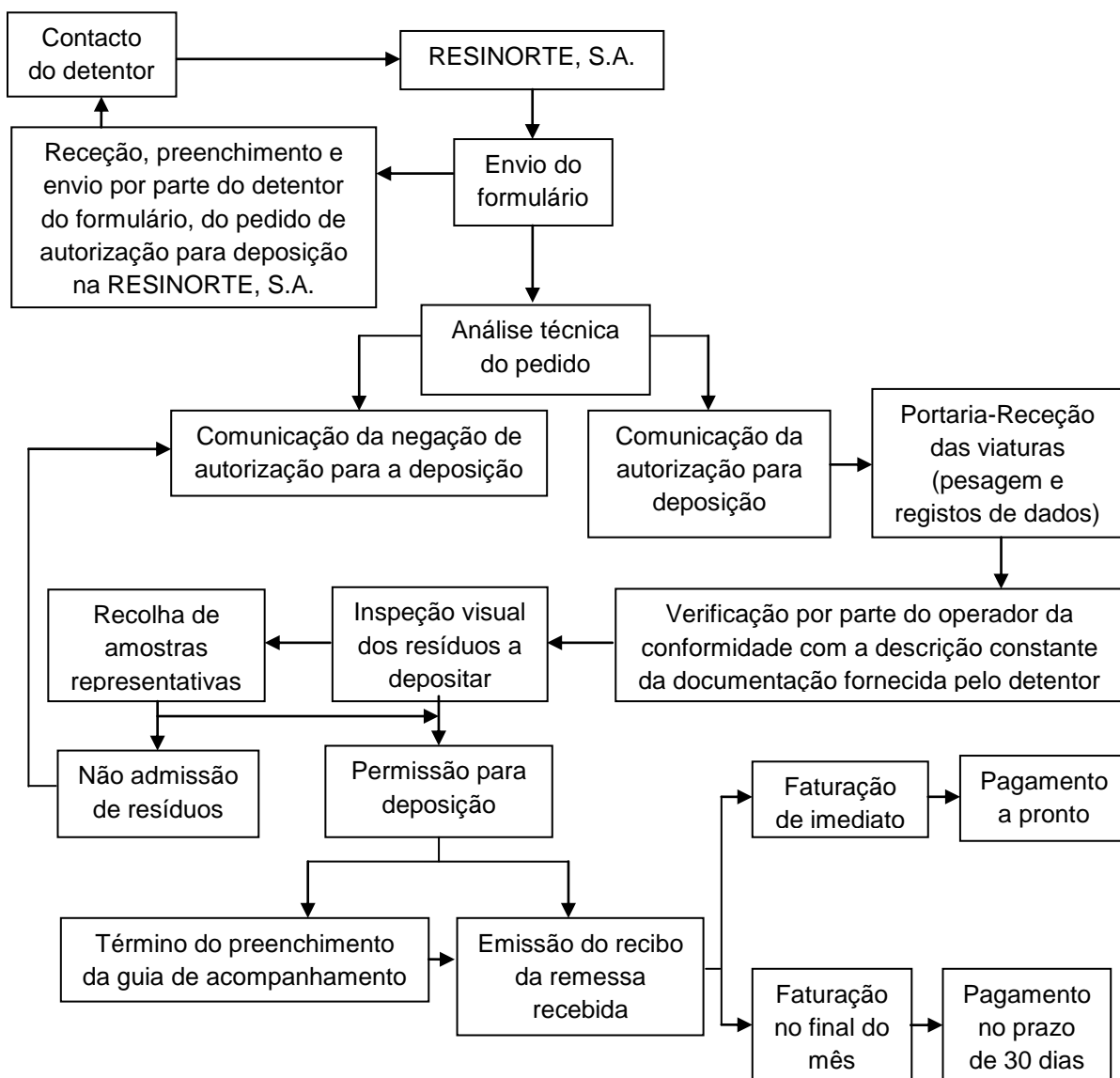


Figura I.2- Fluxograma da gestão integrada de resíduos no aterro sanitário de Bigorne.

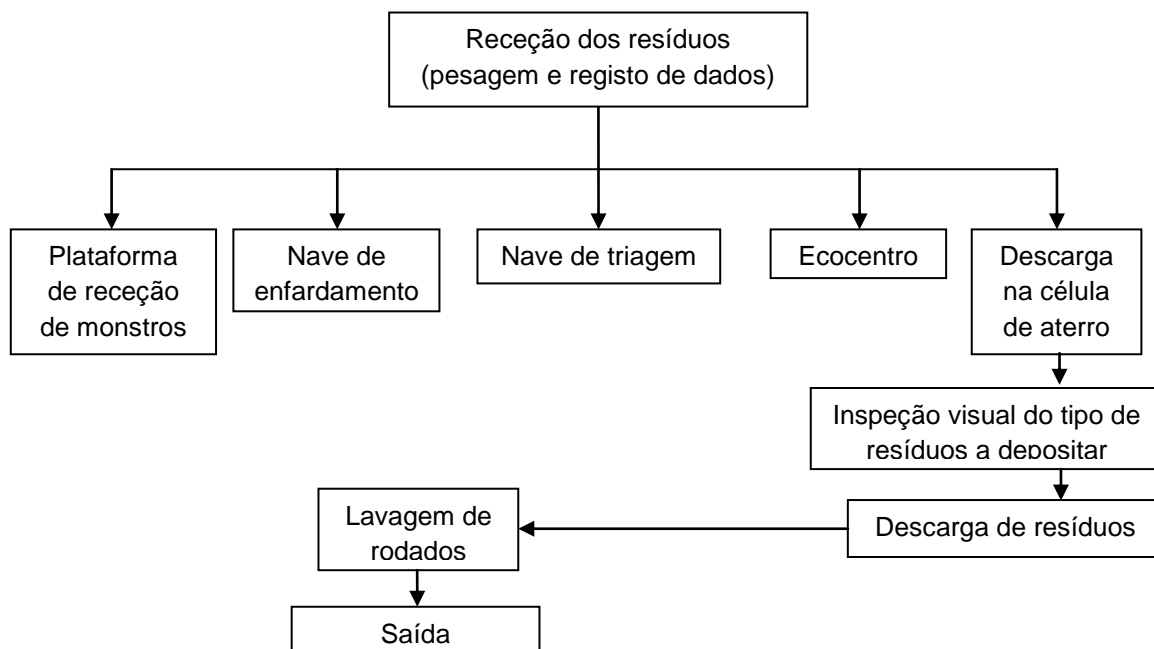


Figura I.3-Circuito dos resíduos efetuado na RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego.

I.3. Estrutura do documento

O presente documento encontra-se dividido em diferentes capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma abordagem teórica do tema de modo a enquadrar os casos práticos em análise e efetua-se uma breve caracterização do planeamento do estágio bem como da empresa RESINORTE S. A.

No segundo capítulo realiza-se uma revisão bibliográfica onde é apresentada uma descrição geral sobre a gestão dos RSU em Portugal.

Uma vez que os temas abordados neste relatório têm diferentes especificidades, a apresentação dos estudos de caso segue o formato típico de um artigo, enquadrando um resumo, introdução, metodologia, discussão, conclusão e referências bibliográficas. Assim, no terceiro capítulo apresenta-se a análise e a comparação dos indicadores de desempenho da RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego, com outras entidades gestoras e proposta de alternativas ao sistema utilizado. Desta forma pretende-se proporcionar um maior controlo da qualidade dos serviços prestados e a verificação do alcance de metas e objetivos pré-definidos, dos investimentos postos em prática e da quantificação do diagnóstico ambiental do próprio sistema.

No quarto capítulo avalia-se as principais características do lixiviado do aterro sanitário de Bigorne, por forma a analisar os efeitos do processo de recirculação ao longo do período de exploração.

I. Introdução

No quinto capítulo estuda-se a presença das substâncias húmicas no lixiviado do aterro sanitário de Bigorne, efetuando o respetivo fracionamento.

O sexto capítulo é a conclusão geral do estudo e do estágio.

II. Gestão dos resíduos sólidos urbanos

Na antiguidade, a quantidade de resíduos gerados pelo Homem era diminuta, sendo facilmente degradados e absorvidos pela Natureza. Com a sedentarização do Homem, a quantidade de resíduos produzidos aumentou, sendo substancial encontrar soluções para a sua eliminação.

O aparecimento de problemas de saúde pública como a Peste Negra e mais tarde a Revolução Industrial amplificou a problemática da gestão dos RSU. As primeiras regulamentações legais relacionadas com os resíduos surgiram nos finais do século XIX, traduzindo-se na recolha dos resíduos produzidos pelas comunidades. Esta foi a primeira medida capaz de reduzir o risco do aparecimento e propagação de doenças (Nagashima et al., 2011).

No início do século XX, os métodos mais utilizados para o destino dos RSU consistiam na sua deposição no solo, em descargas no meio hídrico, na sua queima e como alimentos para animais (Cruz, 2005).

A gestão dos RSU está ligada à prevenção e à redução da sua produção, bem como aos impactes adversos consequentes, em concordância com os princípios da preservação da saúde pública, economia, engenharia, conservação dos recursos e outros princípios ambientais.

Desta forma, a gestão dos RSU abrange uma interligação entre os aspetos administrativos, financeiros, legais, de planeamento e engenharia, na qual as soluções são interdisciplinares, envolvendo ciências e tecnologias oriundas da engenharia, economia, sociologia, geografia, planeamento regional, saúde pública, demografia, comunicações e conservação (Russo, 2003).

Presentemente, a gestão dos RSU depreende-se por diversos apoios estruturais que estabelecem uma política integrada, entre os quais: adoção de sistemas assentes na redução na fonte, na reutilização de resíduos, na reciclagem, na transformação dos resíduos (valorização energética e orgânica) e a deposição em aterros (Russo, 2003). No entanto, a escolha de opções sustentáveis depende do tipo de RSU a gerir.

II.1. Classificação dos resíduos

O regime jurídico de gestão de resíduos foi publicado pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva 2006/12/CE, de 5 de abril, do Parlamento Europeu e do Conselho, e a Diretiva 91/689/CEE, de 12 de dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho. Este documento legislativo descreve a estratégia da gestão de resíduos em várias vertentes de forma a controlar a produção dos resíduos e a sua gestão sustentável.

Posteriormente, foi alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, transpondo a Diretiva 2008/98/CE, de 19 de novembro, do Parlamento Europeu e do Conselho.

A classificação dos resíduos é uma das primeiras medidas a aplicar para uma adequada gestão dos RSU. O conceito de “resíduo” pode ser definido como “Quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer”. Ainda de acordo com o Decreto-Lei acima referido, os resíduos podem ser classificados quanto à sua origem e perigosidade. Nesse sentido, podem ser agrupados de acordo com a sua origem em:

- *“Resíduo urbano- o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações.”* Todos os resíduos urbanos podem ter origem residencial, comercial, institucional, da construção e demolição e serviços municipalizados, a partir de que sejam semelhantes a resíduos domésticos;
- *“Resíduo industrial- o resíduo gerado em processos produtivos industriais, bem como o que resulte das atividades de produção e distribuição de eletricidade, gás e água;”*
- *“Resíduo hospitalar- os resíduos resultantes de atividades de prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou a animais, nas áreas da prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou investigação e ensino, bem como de outras atividades envolvendo procedimentos invasivos, tais como acupuntura, piercings e tatuagens;”*
- *“Resíduo agrícola- o resíduo proveniente de exploração agrícola e ou pecuária ou similar.”*

No que se refere, à classificação dos resíduos de acordo com a sua perigosidade, estes podem ser agrupados em:

- *“Resíduo inerte- o resíduo que não sofre transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não pode ser solúvel nem inflamável, nem ter qualquer outro tipo de reação física ou química, e não pode ser biodegradável, nem afetar negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana, e cujo lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado são insignificantes e, em especial, não põem em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas;”*
- *“Resíduo perigoso- os resíduos que apresentam uma ou mais das características de perigosidade constantes do anexo III do presente decreto-lei, do qual faz parte integrante;”*
- *“Resíduo não perigoso”.*

A classificação dos resíduos não era realizada da mesma forma em todos os países da União Europeia, o que dificultava a sua comparação (Vitorino, 2008). Para ultrapassar esta situação, foi publicada a Lista Europeia de Resíduos (Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março). Este documento

legislativo define e reúne os resíduos em 20 categorias principais, sendo que no conjunto integram-se mais de 900 classes específicas, atribuídas por um código de seis dígitos.

II.2. Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

A legislação nacional dos resíduos enquadra várias áreas, abrangendo legislação geral no âmbito da gestão dos vários tipos de resíduos, o transporte e fluxos específicos (pneus, óleos, pilhas, entre outros).

O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) foi aprovado em julho de 1997, mostrando-se como um notável instrumento de planeamento nesta área. Firmou-se como meta o encerramento de todas as lixeiras, a criação de sistemas municipais de gestão dos RSU, a construção de infraestruturas de valorização e eliminação e sistemas de recolha seletiva (Vitorino, 2008).

Para assegurar a continuidade da política nacional e comunitária dos resíduos foi exigida a revisão do PERSU. Conforme o Programa do XVII Governo Constitucional, havia necessidade de se reforçar as políticas de redução, reutilização e reciclagem, assim como assegurar as infraestruturas necessárias de tratamento e eliminação.

O PERSU II foi publicado através da Portaria n.º 187/2007, de 12 de Fevereiro, constituindo um novo referencial para o horizonte 2007-2016, para os diferentes agentes do setor. Este plano vem igualmente rever a Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros, apresentada em julho de 2003, em resultado das obrigações previstas na Diretiva 1999/31/CE, de 26 de abril, referente à deposição de resíduos em aterros, transposta pelo Decreto-Lei n.º183/2009, de 10 de agosto. Parte das orientações estratégicas definidas no PERSU II provêm do Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados. Este último surge em cumprimento das orientações da Diretiva Quadro dos Resíduos (Diretiva 75/442/CEE, do Conselho de 15 de julho) que atribui a necessidade de elaborar um ou mais Planos de Gestão de Resíduos tendo como principais objetivos, o cumprimento das medidas de prevenção e valorização.

De forma, a realizar as referidas linhas orientadoras estratégicas preconizam-se cinco Eixos de Atuação que devem estruturar e unificar a estratégia do PERSU II 2007-2016: o Eixo I-Prevenção: Programa Nacional; Eixo II- Sensibilização/mobilização dos cidadãos; Eixo III-Qualificação e otimização da gestão de resíduos; Eixo IV- Sistema de informação como pilar da gestão dos RSU; Eixo V- Quantificação e otimização da intervenção das entidades públicas no âmbito da gestão de resíduos. De seguida, faz-se uma apresentação do Eixo I, III e V, visto serem os mais relacionados com o tema em estudo.

O Eixo I tem como objetivo potenciar a valorização dos resíduos e a utilização de recursos energéticos de maneira a minimizar a quantidade de resíduos a depositar no aterro sanitário. Assegura a implementação das infraestruturas de Tratamento Mecânico (TM) e Tratamento Mecânico e Biológico (TMB), permitindo pensar-se na produção do combustível derivado de resíduos (CDR) e na resultante diminuição de deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro para o cumprimento das metas comunitárias.

No caso particular do Eixo III equaciona-se o seguinte conjunto de medidas-chave:

- Otimização dos Sistemas de RSU: Reconfiguração/Agregação;
- Sustentabilidade dos Sistemas de RSU: Aposta em tarifas sustentáveis – introdução de um sistema de tarifação e cobrança; divulgação dos tarifários; informação clara aos cidadãos sobre o destino dos RSU;
- Reforço dos Sistemas a nível de infraestruturas e equipamentos;
- Reforço da Reciclagem: investigação e *marketing*;
- Estabelecimento de critérios de qualidade para os materiais reciclados, compostos e combustíveis derivados de resíduos/combustíveis sólidos recuperados (CDR/CSR);
- Abertura ao mercado da gestão das infraestruturas de tratamento dos resíduos e reforço da regulação.

Para a implementação do Eixo V é necessário a concretização de uma série de medidas-chaves, enquadrando a simplificação do licenciamento das instalações de gestão de resíduos, o reforço da fiscalização e inspeção e o reforço da entidade reguladora, abrangendo todos os sistemas e não só os multimunicipais, como se antecedia.

A estratégia da gestão dos RSU está condicionada pelo cumprimento de metas comunitárias, estabelecidas para os anos 2009, 2011 e 2016. Os principais objetivos estão determinados pela Diretiva “Aterros” (Diretiva 1999/31/CE, de 26 de Abril, do Parlamento Europeu e do Conselho) e pela Diretiva “Embalagens” (Diretiva 94/62/CE, de 20 de Dezembro de 1994, do Parlamento Europeu e do Conselho) (Tabela II.1).

Tabela II.1-Metas de gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal (ERSAR e APA, 2012).

Diretiva “Embalagens”	Diretiva “Aterros”
DL n.º 366-A/97, alterado pelo DL n.º 162/2000 e pelo DL n.º 92/2006	DL n.º 183/2009, de 10 de agosto
2011:	julho de 2013:
- Valorização total de RE: ≥ 60%;	- Redução de RUB destinados a aterro em 50% relativos à quantidade total (em peso) de RUB produzidos em 1995.
- Reciclagem total de RE: 55-80% - Reciclagem de RE de vidro: ≥ 60%;	
- Reciclagem de RE de papel e cartão: ≥ 60%;	julho 2020:
- Reciclagem de RE de plástico: ≥ 22,5% ;	- Redução de RUB destinados a aterro em 35% relativos à quantidade total (em peso) de RUB produzidos em 1995.
- Reciclagem de RE de metais: ≥ 50% ;	
- Reciclagem de RE de madeira: ≥ 15% .	

RE: Resíduos de Embalagens; RUB: Resíduos Urbanos Biodegradáveis

O Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de dezembro, é aplicável a todas as embalagens colocadas no mercado, sejam elas utilizadas ou produzidas, particularmente, aos níveis doméstico, industrial, agrícola ou do comércio, incluindo escritórios, lojas e serviços, e independentemente do material utilizado, e ainda aos resíduos dessas embalagens suscetíveis de recolha e tratamento pelos sistemas existentes ou a criar para o efeito. O Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, define o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e estabelece técnicas e requisitos a observar na conceção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros. Definindo como metas a redução da deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro para 50% e 35% da quantidade total (em peso) de resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995, para os anos 2013 e 2020, respetivamente.

II.3. Propriedades dos resíduos sólidos urbanos

O conhecimento das propriedades dos resíduos permite fazer a escolha mais adequada no que respeita ao seu destino, potenciando ao máximo a valorização de todos os fluxos.

II.3.1. Propriedades físicas dos resíduos sólidos urbanos

Das propriedades físicas dos RSU destacam-se o peso específico, o teor de humidade, o tamanho e distribuição das partículas constituintes e a capacidade de retenção de água.

- **Peso específico**

O peso específico, normalmente expresso em kg/m^3 , é a relação entre a massa de resíduos e o volume ocupado. A previsão da vida útil de um aterro sanitário, ou seja o tempo estimado até que a sua capacidade de armazenamento total seja alcançada, pode ser conjeturada através do conhecimento do peso específico (Vitorino, 2008).

O valor do peso específico é menor quanto maior for a quantidade de componentes leves (papel, cartão, plásticos), ou quanto menor for a quantidade de matéria orgânica (Borgatto, 2010). Resíduos como o papel, plásticos, vidro e madeira têm pesos específicos que variam na ordem dos 89 kg/m^3 , 65 kg/m^3 , 237 kg/m^3 e 146 kg/m^3 , respetivamente. Contudo, quando os RSU são depositados no aterro sanitário os valores do peso específico variam entre 451 kg/m^3 e 599 kg/m^3 , consoante o fator de compactação.

Os principais fatores que influenciam diferença de valores são a composição física dos RSU, a sua granulometria, o grau de compactação durante a deposição e o respetivo estado de biodegradabilidade.

- **Teor de humidade**

O teor de humidade dos RSU depende de diversos fatores como a composição gravimétrica, a distribuição granulométrica, o grau de degradabilidade dos componentes orgânicos e as condições climáticas na fonte e no local de deposição. Ao nível do aterro, os procedimentos operacionais e a eficiência do sistema de drenagem do lixiviado e do biogás, também afetam o teor de humidade.

Os componentes inorgânicos (papel, plásticos) apresentam, normalmente, um teor de humidade abaixo dos 10%, em oposição aos componentes orgânicos com cerca de 60% de humidade. Deste modo, quanto maior o conteúdo do material orgânico maior é a percentagem do teor de humidade (Borgatto, 2010).

- **Tamanho e distribuição das partículas**

Para a recuperação de materiais é importante conhecer o tamanho das partículas e a distribuição dos tamanhos das partículas dos componentes dos resíduos. Em média, as dimensões dos RSU variam entre 15 e 25 cm, contudo também existem materiais classificados como monstros, cujas dimensões não permitem a recolha convencional (Vitorino, 2008).

- **Capacidade de campo**

A capacidade de campo define-se como a capacidade da massa de resíduos conter a água absorvida, não permitindo que esta seja descarregada por gravidade no solo. Quando esta capacidade excede-se, a água que percola nos resíduos constitui o lixiviado (Vitorino, 2008).

Esta propriedade física dos RSU pode ser influenciada pela composição dos resíduos, o grau de tratamento, a granulometria das partículas e o teor de humidade inicial (Borgatto, 2010).

II.3.2. Propriedades químicas dos resíduos urbanos

O conhecimento das propriedades químicas dos RSU torna-se importante, visto que delas depende a sua capacidade de queima e o seu conteúdo energético, indispensáveis para uma suposta valorização energética. As principais análises químicas realizadas, são a matéria combustível volátil, o carbono fixo e o teor de cinzas (Vitorino, 2008).

A determinação dos teores de oxigénio, hidrogénio, azoto e enxofre são outras propriedades químicas de caracterização da matéria orgânica dos RSU. Usualmente, também se define a relação entre o carbono e o azoto (C/N), como sendo um indicador do grau de decomposição da matéria orgânica dos RSU nos processos de tratamento, como a compostagem, a digestão anaeróbia e a deposição final (Vitorino, 2008; Borgatto, 2010).

II.3.3. Propriedades biológicas dos resíduos urbanos

As propriedades biológicas dos RSU são administradas em função das populações microbianas e agentes patogénicos presentes, sendo que a biodegradabilidade é a principal propriedade biológica de interesse (Vitorino, 2008).

A biodegradação dos RSU é influenciada pelo tamanho das suas partículas, a sua idade, a sua composição, o seu teor de humidade, a temperatura no aterro sanitário, o pH dos líquidos, a densidade dos resíduos e o seu grau de compactação (Borgatto, 2010).

II.4. Produção de resíduos

O conhecimento da quantidade de resíduos e das suas características é necessário para o planeamento dos métodos e técnicas a aplicar no tratamento de resíduos, nomeadamente para avaliar o potencial de reciclagem. Ao longo do tempo, a quantidade de RSU produzidos sofre variações, devido a diversos fatores, entre os quais:

- Nível de vida da população;
- Dimensão do agregado familiar;
- Tipo e dimensão da habitação;
- Estação do ano (p. e. diferentes hábitos de alimentação, períodos de férias e festivos);
- Modo de vida das populações (tipo de atividade profissional, migrações pendulares, movimentos de fins-de-semana e feriados);
- Clima;
- Situação geográfica;
- Evolução tecnológica e de consumo.

Existe uma relação direta entre o nível de vida da população e a produção de resíduos “*per capita*”, ou seja à maior quantidade de RSU produzidos corresponde um aumento do nível de vida. No conjunto dos componentes usuais dos RSU, os plásticos constituem o caso mais notável que tem vindo a crescer continuamente (10% da totalidade dos RSU) (Vitorino, 2008).

II.5. Situação atual Portuguesa

Até às últimas décadas, o principal destino dos RSU produzidos nos vários agregados populacionais servidos por sistemas de recolha, eram as lixeiras. No entanto, estas foram erradicadas em 2002.

Em 2011, existiam 23 Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos (Figura II.1), envolvendo na íntegra todo o território continental, sendo 12 Multimunicipais e 11 Intermunicipais. Estes possuem infraestruturas que asseguram o destino final adequado para os RSU produzidos na respetiva área de abrangência (APA, 2011).

1	VALORMINHO
2	RESULIMA
3	BRAVAL
4	RESINORTE
5	LIPOR
6	AMBISOUSA
7	SULDOURO
8	RESÍDUOS DO NORDESTE
9	VALORLIS
10	ERSUC
11	ECOBELRÃO
12	RESIESTRELA
13	VALNOR
14	VALORSUL
15	ECOLEZÍRIA
16	RESITEJO
17	TRATOLIXO
18	AMARSUL
19	GESAMB
20	AMBILITAL
21	AMCAL
22	RESIALENTEJO
23	ALGAR

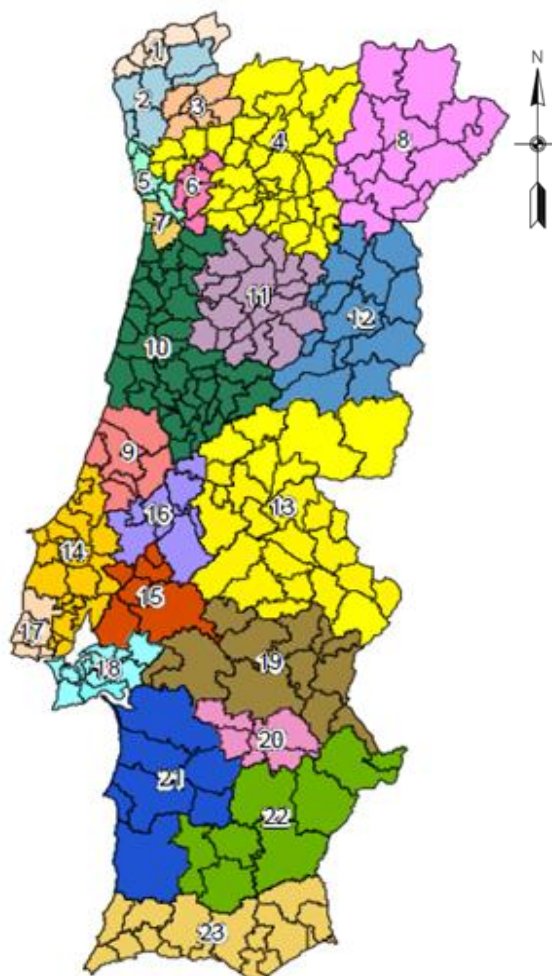


Figura II.1-Mapa dos Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos, em Portugal continental (APA, 2011).

Para a produção de RSU, o PERSU II constitui como meta para 2016, valores na ordem dos 4,94 milhões de toneladas. No ano de 2011, a produção de resíduos em Portugal continental foi de aproximadamente 4,89 milhões de toneladas, encontrando-se um pouco acima da meta prevista no PERSU II para o ano exposto (4,77 milhões de toneladas) (APA, 2012).

No ano de 2011, os quantitativos de resíduos produzidos por cada habitante em Portugal continental era em média 487 kg/ ano, correspondente a uma captação de 1,33 kg/ hab.dia, sendo inferior à média europeia (502 kg/ hab.ano), tal como se apresenta na Figura II.2 (APA, 2012).

II. Gestão dos resíduos sólidos urbanos

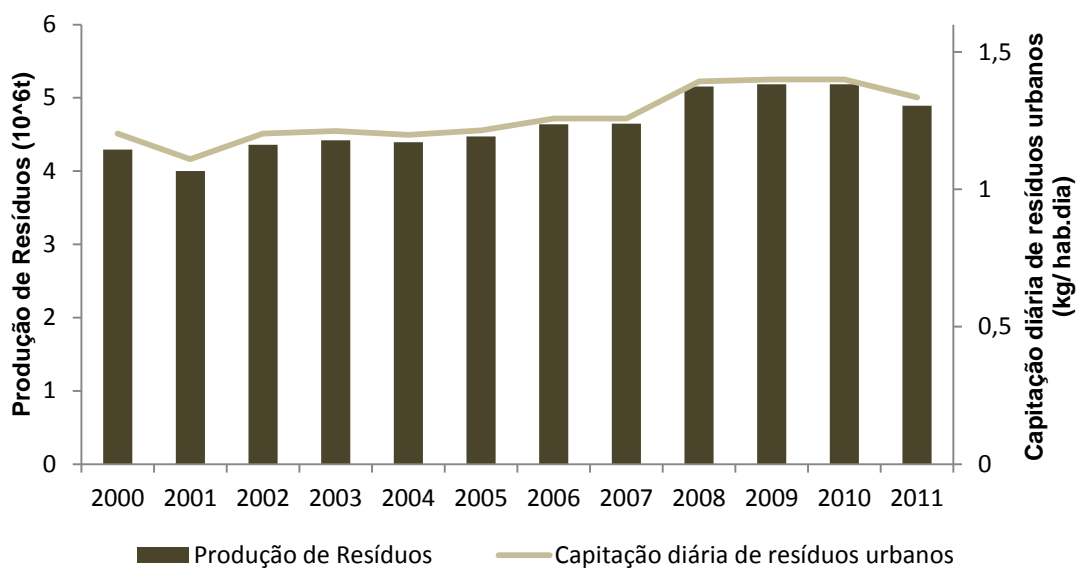


Figura II.2- Produção e capitação diária de resíduos sólidos urbanos em Portugal continental (APA, 2012).

A nível regional, em 2011, reconhece-se que a Região de Lisboa e Vale do Tejo apresentam a maior produção de RSU, sucedendo-se a Região Norte (Figura II.3) (APA, 2012).

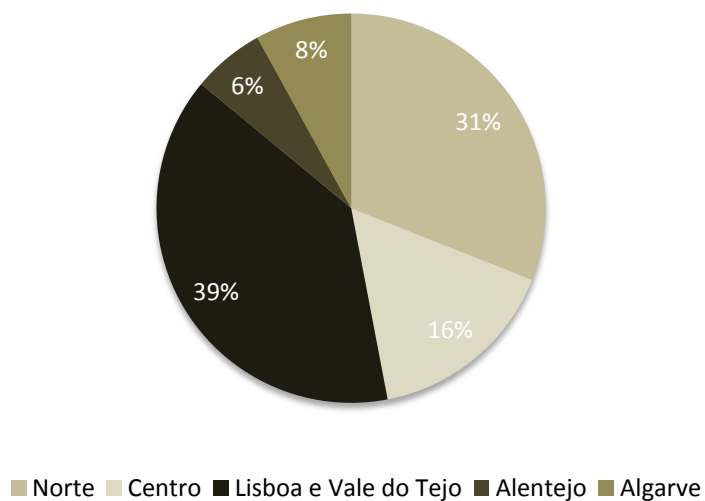


Figura II.3- Produção de resíduos sólidos urbanos em Portugal continental, por região, em 2011 (APA, 2012).

Na Figura II.4 apresenta-se a composição típica dos RSU, em Portugal.

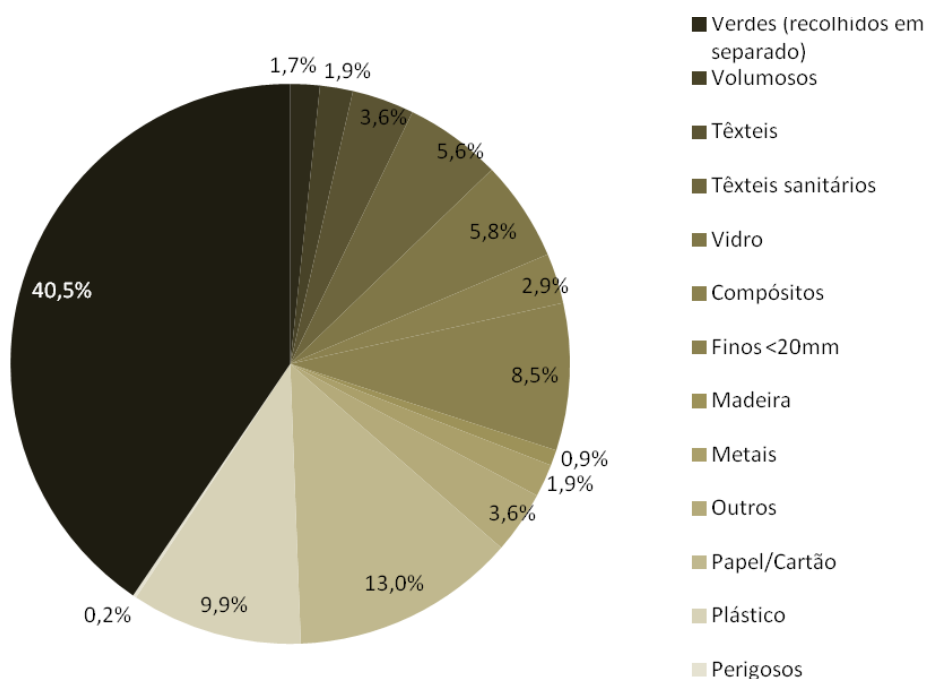


Figura II.4- Composição dos resíduos sólidos urbanos em 2010, no continente (APA, 2011).

Tal como se pode constatar, mais de 50% dos resíduos produzidos são orgânicos, incluindo-se cerca de 41% de bio-resíduos. Reconhecendo o potencial de reciclagem desta fração associado ao requisito atrás referido de diminuição de deposição desta fração em aterro, infere-se que é essencial a aplicação de medidas que levem à efetivação da recolha seletiva.

Quanto ao tratamento e destino final de RSU, a deposição em aterro continua a ser o destino mais utilizado para os resíduos (Figura II.5).

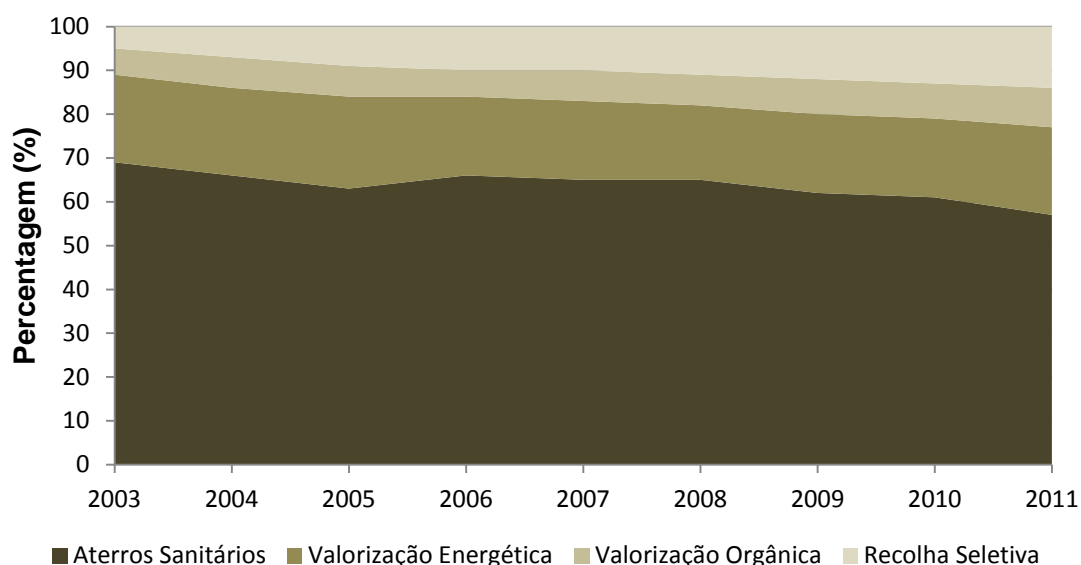


Figura II.5-Resíduos sólidos urbanos encaminhados para as diversas operações de gestão (APA, 2012).

Em Portugal continental, em 2011, foram encaminhados para aterro 57% dos RSU produzidos, correspondendo a uma diminuição de 3% em relação ao ano 2010. Os restantes RSU gerados em 2011 tiveram como destino a valorização energética (20%), a recolha seletiva (14%) e a valorização orgânica (9%), comprovando que o encaminhamento dos resíduos para estes destinos aumentaram respetivamente 2%, 1% e 1% quando comparado com o ano precedente. A recolha seletiva é a operação de gestão que mais tem aumentado, considerando o período em análise (2003-2011) (APA, 2012).

O PERSU II estabelece como uma das mestas a nível nacional para os RSU a valorização dos resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) através do desvio destes resíduos do aterro sanitário. Em 2011, 54% do total de RSU produzidos, eram RUB (2,620 milhões de toneladas de resíduos). Desta parte, cerca de 63% foi encaminhada para aterro, 21% para a valorização energética, 10% para a valorização orgânica e 6% (papel e cartão) para a reciclagem (APA, 2012).

II.6. Operações e gestão de resíduos sólidos urbanos

As operações de gestão de RSU englobam a recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, assim como as operações de descontaminação de solos e a monitorização dos locais de deposição, e posteriormente ao encerramento das respetivas instalações.

Em concordância com o Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, devem ser organizados os programas de prevenção de resíduos, assegurando-se o acompanhamento e a avaliação dos progressos da implementação das medidas (APA, 2012).

II.6.1. Redução de resíduos na fonte

A redução de resíduos na fonte é uma atividade considerável que subentende a consciencialização das populações e dos agentes políticos e económicos. Assim, torna-se fundamental que se adotem medidas legislativas, complementadas com incentivos fiscais para que as populações e as empresas sejam estimuladas a mudar de atitude.

Globalmente, a redução de resíduos inclui as vertentes de redução da respetiva quantidade e perigosidade. Relativamente, à redução da quantidade de resíduos produzidos, para a alcançar é fundamental a definição e a implementação sustentada de determinados mecanismos, tais como:

- A promoção da Política Integrada do Produto (PIP);
- Reforço do investimento em Investigação e Desenvolvimento;
- O reforço das medidas políticas em matéria de substâncias químicas;
- A promoção do eco-consumo e de outras medidas de carácter individual dos cidadãos.

A redução de resíduos na fonte pode ocorrer por meio de modificações no produto, através da aplicação de boas práticas operacionais e mudanças tecnológicas. No que respeita, à vertente de redução da perigosidade dos resíduos visa-se a modificação da composição dos RSU. Uma pequena quantidade de resíduos perigosos e algumas destas frações já são alvo de sistemas de gestão, particularmente as pilhas (ERSAR e APA, 2012).

II.6.2. Recolha e transporte de resíduos sólidos urbanos

As diversas operações existentes no plano de gestão de RSU para a recolha e o transporte de resíduos, proporcionam uma maior eficácia do sistema de gestão dos RSU (Beijoco, 2011). A recolha consiste na passagem dos RSU dos recipientes de deposição, com ou sem inclusão destes, para as viaturas de transporte. Existindo dois tipos de recolha:

- Recolha seletiva - passagem das frações valorizáveis dos RSU dos locais ou recipientes apropriados para as viaturas de transporte;
- Recolha indiferenciada - passagem dos RSU depositados indiferencialmente dos locais ou contentores para as viaturas de transporte.

Os resíduos resultantes da recolha indiferenciada têm um circuito simples. Após a recolha, estes podem ser transportados até as estações de transferência, no caso de se justificar economicamente, ou vão diretamente para as centrais de tratamento e valorização ou para aterros sanitários.

Os resíduos provenientes da recolha seletiva são separados na fonte e depositados nos ecopontos e ecocentros existentes e encaminhados diretamente para as estações de triagem, onde são separados em fileiras por processos mecânicos ou manuais. As fileiras mais visíveis ao público em geral são as do vidro, do papel de metal e de plástico. É de referir que, em relação às embalagens de plástico, devido à sua diversidade ainda são sujeitas a operações de separação em: Polietileno de alta densidade (PEAD), Polietileno de baixa densidade (PEBD), Poli-Tereftalato de Etileno (PET), Poli-Cloreto de Vinilo (PVC). Também existem o fluxo das pilhas, dos pneus, dos óleos lubrificantes usados, da madeira, dos equipamentos elétricos e eletrónicos, entre outros. Depois de separados por fileiras, os resíduos recicláveis são entregues no mercado terciário para a sua reintrodução no mercado.

O mercado terciário é constituído por várias empresas, sendo a de maior notoriedade o Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens (SIGRE), comumente conhecido por Sociedade Ponto Verde (SPV). Esta entidade é responsável pela retoma, valorização e reciclagem de resíduos de embalagem não reutilizáveis, criando um sistema periódico de utilização, deposição e reaproveitamento. Nesse sentido, existem outros sistemas similares à SPV mas noutras fileiras, como é o caso do Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados (SGPU) para os pneus, gerido pela Valorpneu, o Sistema Integrado de Pilhas e Acumuladores Usados (SIPAU) para as pilhas gerido pela Ecopilhas, ou o Sistema de Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE) gerido pela ERP Portugal – Associação Gestora de Resíduos, entre outros.

II.7. Valorização dos resíduos sólidos urbanos

Considerando a tipologia e a caracterização dos resíduos subsistem algumas técnicas para a sua valorização, entre as quais: a valorização orgânica (compostagem e digestão anaeróbia) e a valorização energética (incineração).

II.7.1. Compostagem

Na compostagem a matéria orgânica biodegradável sofre um processo de degradação biológica aeróbia, onde o teor de oxigénio, a temperatura, a humidade, o pH, o teor de matéria orgânica e a estabilidade do produto final são monitorizados e controlados. Durante este processo, existe uma sucessão de fases de acordo com a temperatura, incluindo-se uma fase termófila, que dura cerca de

25 a 30 dias, ocorrendo a libertação de substâncias com efeito fitotóxico. Deste processo, obtém-se um produto final designado por composto, possibilitando a valorização agrícola (Puna e Baptista, 2008; Cordeiro, 2010). Na Figura II.6 está esquematizado o processo de compostagem de forma simples e geral.

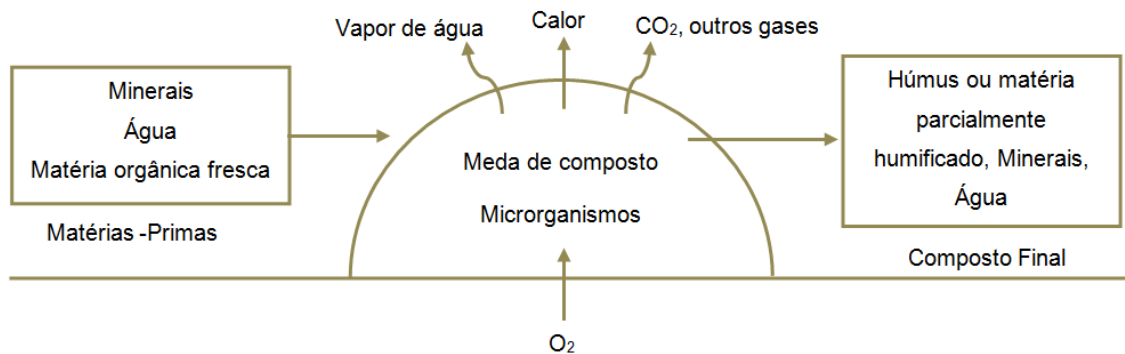


Figura II.6- Processo de compostagem (Cordeiro, 2012).

Algumas das vantagens associadas à compostagem são a redução de volume, da massa e do teor de humidade dos resíduos tratados, a estabilização química e biológica dos materiais putrescíveis e a obtenção de produtos com interesse agrícola (Cordeiro, 2010).

II.7.2. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia consiste num processo biológico, em que na ausência de oxigénio dissolvido e por via húmida, a matéria orgânica é decomposta.

O processo de digestão anaeróbia está agrupado em quatro etapas, em função dos microrganismos que nelas atuam e o tipo de processamento do substrato, designadas por: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese. Neste processo as primeiras três etapas são designadas por fermentação ácida e a última etapa por fermentação metanogénica. Desta decomposição resulta uma mistura gasosa composta particularmente por dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) (biogás) e um produto fitotóxico, húmido e contaminado microbiologicamente (Carrilho, 2012).

Desta forma, a digestão anaeróbia permite quer a valorização energética (biogás), quer a valorização agrícola dos resíduos com componente orgânica.

II.7.3. Incineração

A incineração (Figura II.7) é um processo que emprega temperaturas elevadas para a queima de resíduos, que entram em combustão completa. Este processo garante a destruição dos componentes orgânicos dos resíduos e transforma-os numa fase gasosa e outra sólida, minimizando a presença de características de perigosidade dos resíduos (Morgado e Ferreira, 2006).

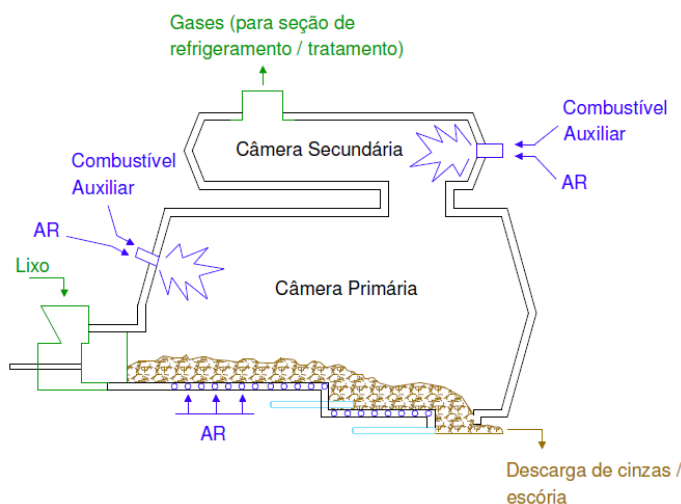


Figura II.7-Funcionamento da incineração de resíduos sólidos urbanos (Morgado e Ferreira, 2006).

Neste processo, os resíduos são queimados na câmara de combustão, onde a temperatura é de tal ordem elevada (500°C a 900°C) que garante que algumas substâncias presentes se tornem gasosas e outras sejam reduzidas a pequenas partículas. Uma vez que estas condições são controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes nos resíduos (chumbo, cádmio, cromo, mercúrio) e minimiza-se a formação de óxidos nitrosos (Morgado e Ferreira, 2006).

Os produtos finais deste sistema são: a energia calorífica (transformada em energia elétrica ou vapor), águas residuais, gases, cinzas e escórias. Os gases por serem constituídos por substâncias tóxicas (cobalto, furanos, clorofenóis, dióxido de enxofre) necessitam de um tratamento posterior. O efluente gerado pelo arrefecimento das escórias e pela lavagem dos gases, terá de ser encaminhado para um tratamento adequado numa Estação de Tratamento de Águas Lixiviantes (ETAL) ou numa Estação de Tratamento de Efluentes.

II.7.4. Destino final dos resíduos sólidos urbanos- aterro sanitário

Nos aterros sanitários ocorrem processos de decomposição física, química e biológica devido à degradação da fração orgânica biodegradável dos resíduos depositados, resultando efluentes gasosos (biogás) e efluentes líquidos (lixiviados). O efluente gasoso é composto por CH₄, CO₂ e

vapor de água, que pode ser queimado ou aproveitado como energia. A fase líquida resulta da percolação da água pela massa de resíduos, decompondo os seus materiais dissolvidos ou em suspensão (compostos orgânicos e inorgânicos), transferindo-os da fase sólida para a fase líquida. A proveniência deste líquido resulta não só da água contida nos resíduos depositados e da água que se liberta como efeito das reações de decomposição dos mesmos (lixiviado primário), como também pelas águas que permeiam no aterro, como as pluviais ou as de escoamento superficial (lixiviado secundário) (Pedroso, 2007; Santos, 2008).

II.8. Etapas de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em aterro

A decomposição dos resíduos inicia-se após a sua deposição no aterro. Este processo de degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos resíduos é constituído particularmente por processos biológicos e físico-químicos, sendo capazes de transformar os resíduos em substâncias mais estáveis, por meio da ação de organismos decompositores (Moravia, 2010).

Os mecanismos de biodegradação dos resíduos são afetados por alguns elementos, entre os quais: a granulometria, a composição, a idade, a humidade, o peso específico e o grau de compactação dos resíduos e, ainda, pelos aspetos quantitativos e qualitativos dos nutrientes, a temperatura e o pH dos líquidos existentes no aterro (Moravia, 2010).

A decomposição dos resíduos na maioria dos aterros sanitários de RSU ocorre em condições anaeróbias, sendo este um procedimento bioquímico complexo constituído por variadas reações sequenciais, tendo cada uma a sua própria população bacteriana (EPA, 2006). Para avaliar a estabilização dos resíduos são definidas cinco diferentes fases (Figura II.8), tornando-se fundamental conhecer cada uma das fases de biodegradação dos resíduos: a fase de ajustamento inicial, a fase de transição, a fase de acidificação, a fase metanogénica e a fase final (EPA, 2006).

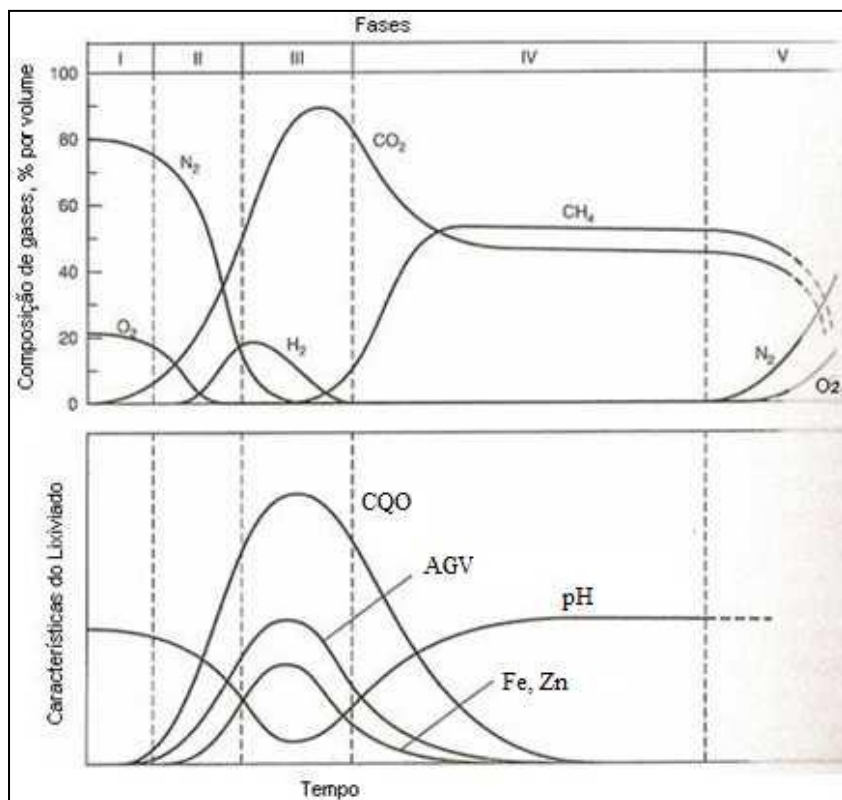


Figura II.8- Diferentes fases de decomposição dos resíduos sólidos urbanos (I-fase de ajustamento inicial, II-fase de transição, III-fase de acidificação, IV-fase metanogénica e V-fase de maturação) (Matos, 2008).

A fase de ajustamento inicial está associada à deposição dos resíduos e ao início da decomposição biológica pela via aeróbia. A presença dos microrganismos aeróbios facultativos advém particularmente do solo que é utilizado na cobertura diária do aterro, onde o teor de oxigénio vai diminuindo gradualmente devido à compactação dos resíduos. Esta fase dura tipicamente menos de um mês (EPA, 2006; Moravia, 2010).

A fase de transição é relativamente curta, devendo-se particularmente ao rápido consumo do oxigénio conduzindo à mudança de um ambiente aeróbio para um anaeróbio. O potencial redox diminui devido aos nitratos e sulfatos atuarem como recetores de eletrões em vez do oxigénio e a substituição deste pelo CO_2 . Nesta fase, o lixiviado apresenta ácidos gordos voláteis (AGV) que em conjunto com uma elevada concentração do CO_2 , leva a uma diminuição do pH das águas lixiviantes. A Carência Química de Oxigénio (CQO), a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5) e a condutividade do lixiviados aumentam devido à decomposição dos ácidos orgânicos (EPA, 2006; Moravia, 2010).

Na fase de acidificação dá-se início à conversão microbiológica, através de bactérias acetogénicas, dos produtos originados por hidrólise, levando a um rápido aumento dos AGV no lixiviado. No decorrer desta fase, os agentes de decomposição contribuem para um aumento da CQO e os AGV de cadeia longa são convertidos a ácido acético (CH_3COOH), CO_2 e hidrogénio (H_2). A quantidade de H_2 é relativamente reduzida e termina no final desta fase. O pH diminui (7,5-5,6), nesta fase, proporcionando um aumento da solubilização de compostos inorgânicos. E ainda, há o consumo

rápido de nutrientes em função do incremento dos microrganismos relacionados com a produção de ácidos. Nesta fase, a relação CBO_5/CQO é superior a 0,4 ou 0,7 (EPA, 2006; Moravia, 2010).

Na fase metanogénica, os ácidos (CH_3COOH , ácido propiónico ($C_3H_6O_2$) e ácido butírico ($C_4H_8O_2$)) formados na fase anterior são consumidos e convertidos em CH_4 e CO_2 . O pH do aterro e do lixiviado aumenta até a neutralidade, consequência do consumo dos AGV. Durante esta fase a carga orgânica do lixiviado decresce, correspondendo a um aumento de gases (CH_4 e CO_2). A relação CBO_5/CQO é normalmente inferior a 0,1. A durabilidade desta fase é mais longa, representando o período onde a maioria dos resíduos se decompõe (EPA, 2006; Moravia, 2010).

Após a matéria orgânica biodegradável disponível ter sido convertida a CH_4 e CO_2 , inicia-se a fase final de decomposição de resíduos sólidos. Esta é caracterizada por uma menor concentração de substrato e nutrientes e uma diminuição da taxa da atividade biológica. O lixiviado apresenta baixa carga orgânica e a produção de CH_4 é quase insignificante. Nesta fase presume-se que a matéria orgânica resistente à biodegradação se degrade lentamente e forme substâncias húmicas (EPA, 2006; Moravia, 2010).

II.9. Sistemas de tratamento de lixiviados

Para o tratamento das águas lixivantes dos aterros sanitários, os métodos mais utilizados são semelhantes aos sistemas de tratamento das águas residuais urbanas. Porém, as ETAL necessitam de ser mais flexíveis e de boa construção, uma vez que a qualidade e a quantidade de lixiviados sofrem uma grande variabilidade ao longo do tempo (Santos, 2008).

Uma ETAL, independentemente do processo que possua, necessita de um sistema de drenagem e captação de lixiviados, que deve ser constituído por valas de drenagem de águas lixivantes, por valas de recolha e/ou de desvio de águas pluviais e por poços de captação, servindo este último para coletar as águas lixivantes e escorrências. No entanto, para além do sistema de drenagem, necessita ainda a montante, de uma lagoa de regularização, de forma a regularizar e homogeneizar caudal em excesso consequente de situações irregulares de pluviosidade (Santos, 2008).

Os sistemas de tratamento de lixiviados convencionais englobam os processos biológicos (aeróbios e anaeróbios), processos físicos e químicos e o tratamento combinado com águas residuais. Contudo, além destes métodos é também considerado como sistema de tratamento, a recirculação de lixiviados no aterro sanitário (Santos, 2008).

II.9.1. Recirculação de Lixiviados

A recirculação de lixiviado é uma das técnicas que consiste na introdução das águas lixiviantes e outros líquidos, se necessário, na massa de resíduos, proporcionando uma diminuição dos constituintes da atividade biológica e a ocorrência de reações físico-químicas que se sucedem no interior do aterro (Pires, 2002).

Esta técnica antecipa a estabilização da massa depositada, já que promove um melhor contacto entre os substratos insolúveis, nutrientes e microrganismos ao mesmo tempo que trata o lixiviado e acelera a decomposição dos resíduos. Uma elevada percentagem de humidade permanece nos resíduos, provenientes da água, lixiviados e/ou outros líquidos não perigosos (Benson et al., 2006; Dillenburg, 2006; ITRC, 2006). Como resultado desta rápida decomposição e estabilização dos resíduos, verifica-se um aumento do peso específico e uma redução de volume dos resíduos, o que significa que a capacidade útil do aterro é maximizada (cerca de 20 a 40%) quando comparado com aterros tradicionais (ITRC, 2006).

O nível dos custos de tratamento deste método é reduzido, nomeadamente, na fase de controlo pós-encerramento, devido à redução de potenciais riscos e da diminuição do período mínimo estabelecido para a manutenção do aterro (5 a 10 anos). No entanto, verifica-se custos adicionais na fase de investimento e de operação, devido à sua complexa construção e ao acompanhamento adicional e controlo que deve ser realizado durante o seu funcionamento. Porém, a diminuição de custos a longo prazo compensará o seu aumento a curto prazo (Pacey et al., 1999; ITRC, 2006).

A implementação deste processo como a única forma de tratamento não pode ser considerado visto que, o lixiviado poderia exceder os limites admissíveis para as concentrações de compostos tóxicos, proporcionando um retardamento ou a interrupção da degradação dos resíduos (Rita, 2002). Portanto, existe a necessidade de conjugar a recirculação com outros tratamentos, nomeadamente a osmose inversa. No entanto, a recirculação de lixiviados deve ser implementada em regiões onde a taxa de evaporação é maior que a taxa de precipitação pluviométrica, ou seja onde o balanço hídrico é negativo (Moravia, 2010).

Um dos possíveis riscos ambientais deste método de tratamento é a poluição do solo e das águas subterrâneas, e o arrastamento de substâncias tóxicas pela infiltração de lixiviado, se a camada impermeabilizante estiver danificada (Moravia, 2010).

Em Portugal, a recirculação do lixiviado no aterro, tornou-se um ato comum e controverso. Em 2004, Levy e Santana sustentavam a ilegalidade desta prática no sentido que, segundo as análises laboratoriais realizadas, a percentagem em humidade, a concentração em azoto total, nitratos e azoto amoniacal não cumprem os limites expostos na Legislação Portuguesa. E, ainda, em alguns aterros as concentrações de metais pesados encontravam-se elevadas.

No ano de 2009 com a implementação do Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto, admitiu-se um novo avanço no âmbito dos requisitos para os aterros sanitários de resíduos não perigosos em fase de exploração. Ou seja, é possível e somente com o objetivo de promover o processo de degradação biológica dos resíduos, efetivar a humidificação da massa de resíduos através da reinjeção de lixiviado da unidade de tratamento avançado por membranas, de efluente e de lamas da unidade de tratamento dos lixiviados, desde que eventuais impactes ambientais sejam minimizados. Desta forma, esta alteração traduziu-se numa mudança de paradigma na forma como os aterros sanitários têm sido encarados.

II.9.2. Composição dos lixiviados- As substâncias húmicas

Os lixiviados produzidos nos aterros sanitários possuem uma composição altamente variável e complexa, no sentido que para além de depender das características dos resíduos depositados, é também influenciado pelas condições ambientais, pela forma como o aterro é operado e pela dinâmica dos processos de degradação que ocorrem no seu interior. Nos lixiviados subsistem quatro grupos de poluentes que os caracterizam: os macros componentes inorgânicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Cl^- , HCO_3^+), os metais pesados (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+}), os compostos orgânicos xenobióticos provenientes dos resíduos domésticos e químicos presentes em baixas concentrações (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, pesticidas) e o material orgânico dissolvido (compostos recalcitrantes).

Geralmente, nos lixiviados os compostos recalcitrantes estão associados à presença de substâncias húmicas, sendo estas as responsáveis pela coloração escura do lixiviado. As substâncias húmicas podem ser definidas como uma série de polímeros amorfos de alta massa molar e formados por reações de sínteses secundárias, bióticas e abióticas. Estas substâncias são classificadas em três classes, baseadas nas propriedades de solubilidade a diferentes valores de pH (Moravia, 2010; Kawahigashi, 2012):

- Os ácidos húmicos são a fração solúvel em meio alcalino e precipita em meio ácido ($\text{pH}<2$);
- Os ácidos fúlvicos são a fração que permanece em solução quando o meio é ácido;
- As huminas são a fração insolúvel em qualquer condição de pH.

A nível estrutural, as três frações húmicas são análogas, diferindo na massa molar e na quantidade de grupos funcionais. O ácido fúlvico é o que possui a menor massa molar, maior quantidade de oxigénio (CO_2H , OH , $\text{C}=\text{O}$) e menor de carbono e azoto que as outras duas frações húmicas. Quanto à fração humina e ao ácido húmico, estes apresentam similaridade no que respeita à estrutura química e às suas propriedades. Nas Figuras II.9 e II.10 são ilustradas propostas de estruturas, respetivamente, para os ácidos fúlvicos e os ácidos húmicos (Moravia, 2010; Kawahigashi, 2012).

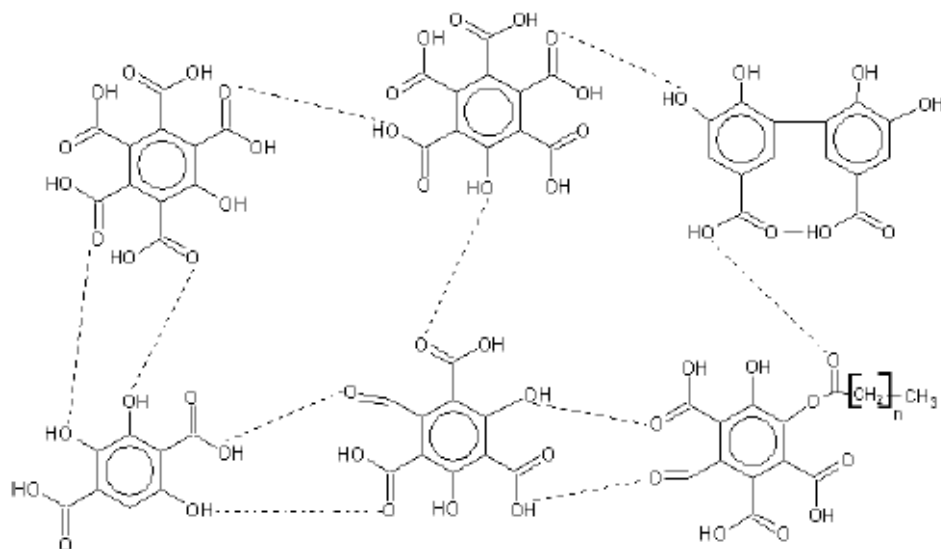


Figura II.9- Estrutura hipotética para o ácido fúlvico (Moravia, 2010).

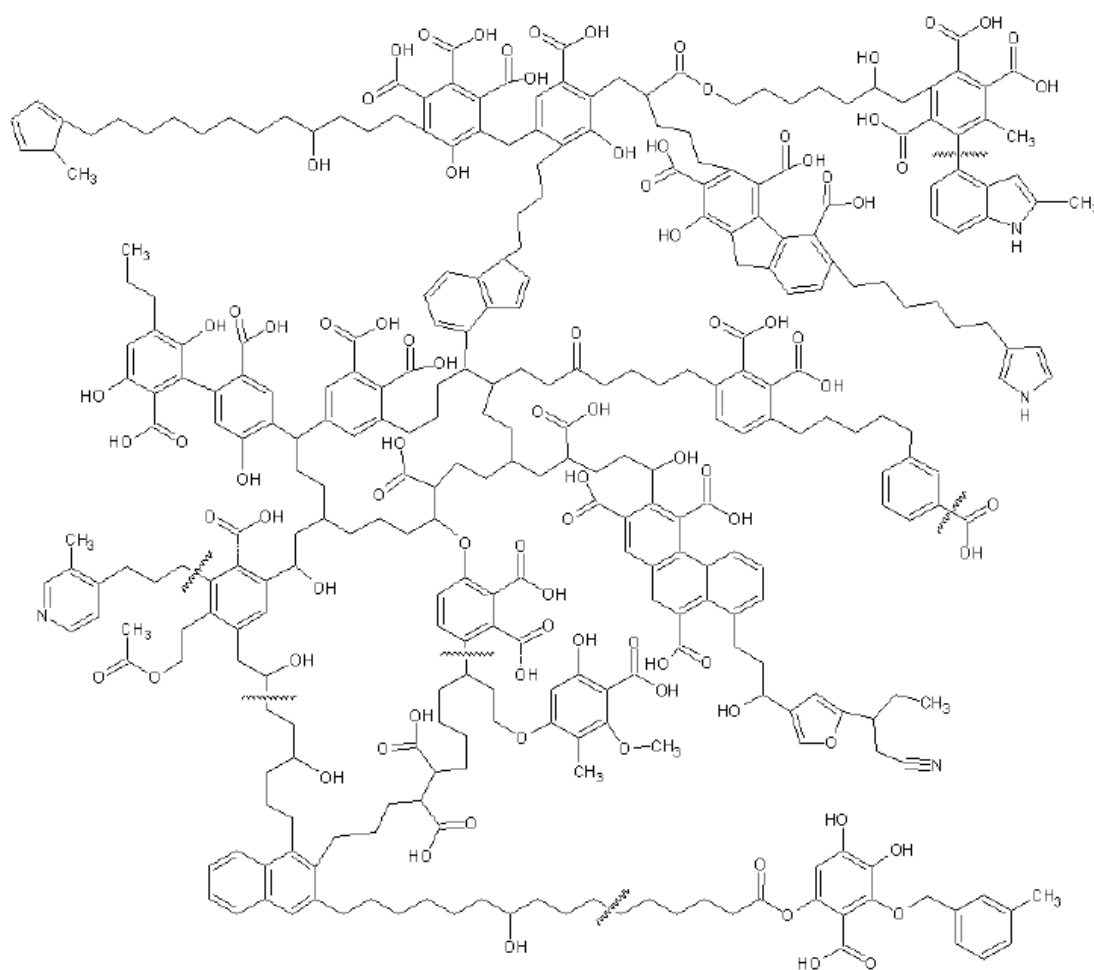


Figura II.10- Estrutura hipotética para o ácido húmico (Moravia, 2010).

Pelo facto das substâncias húmicas serem constituídas por uma mistura polidispersa de muitas substâncias com diferentes naturezas químicas e apresentarem diferentes graus de polimerização, é que ainda não há uma definição funcional ou sistemática para estas substâncias (Kawahigashi, 2012).

II.10. Referências

APA (2011). *Resíduos urbanos em 2010*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA (2012). *Relatório do Estado do Ambiente*. Agência Portuguesa do Ambiente.

Beijoco, A. F. P. (2011). *Otimização de um sistema de recolha e transporte de resíduos sólidos urbanos* (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa.

Benson, C.H., Barlaz, M.A., Lane, D.T., Rawe, J.M. (2006). Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. *Waste management journal, Elsevier*, 27, 13-29.

Borgatto, A. V. A. (2010). *Estudo das propriedades geomecânicas de resíduos sólidos urbanos pré-tratados* (Tese de Doutoramento). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

Carrilho, N. F. Q. (2010). *Valorização de bio-resíduos alimentares por digestão anaeróbia descentralizada-caso de estudo: Campus da FCT/UNL* (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa.

Cordeiro, N. M. (2010). *Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos-caso de estudo da ALGAR S.A.* (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa.

Cruz, M. L. F. R. (2005). *A Caracterização de resíduos sólidos no âmbito da sua gestão integrada* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho.

Decreto-Lei n.º366-A/97 de 20 de dezembro (1997). Estabelece os princípios e as normas aplicáveis ao sistema de gestão de embalagens e resíduos de embalagens (revoga o Decreto-Lei n.º 322/95, de 28 de Novembro).Diário da República I-A Série. N.º293 (97-12-20), 6732- (498)-6732-(502).

Decreto-Lei n.º 152/2002 de 23 de maio (2002). *Estabelece o regime jurídico a que fica sujeito o procedimento para a emissão de licença, instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros destinados à deposição de resíduos e procede à transposição para a ordem jurídica nacional da Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros*. Diário da República I-A Série. N.º119 (02-05-23), 4680-4699.

Decreto-Lei n.º 92/2006 de 25 de maio (2006). *Segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2004/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro, relativa a embalagens e resíduos de embalagens.* Diário da República I-A Série. N.º 101 (06-05-25), 3504-3507.

Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de setembro (2006). *Aprova o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro.* Diário da República I Série. N.º 171 (03-09-05), 6526-6545.

Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de agosto (2009). *Estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na concepção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, aplica a Decisão n.º 2003/33/CE, de 19 de Dezembro de 2002, e revoga o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.* Diário da República I Série. N.º 153 (09-08-10), 5170-5198.

Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho (2011). *Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos, e procede à alteração de diversos regimes jurídicos na área dos resíduos.* Diário da República I Série. N.º 116 (11-06-17), 3251-3300.

Dillenburg, M. E. (2006) *Variação da taxa de recirculação de lixiviado determinada pela concentração de ácidos voláteis no tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos domésticos* (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo.

Diretiva 75/442/CEE do Conselho de 15 de julho (1975). *Relativa aos resíduos.* Jornal Oficial das Comunidades Europeias (75-07-15), L194/47- L194/49.

Diretiva 91/689/CEE do Conselho de 12 de dezembro (1991). *Relativa aos resíduos perigosos.* Jornal Oficial das Comunidades Europeias (91-12-12), L377/20-L377/27.

Diretiva 94/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de dezembro (1994). *Relativa a embalagens e resíduos de embalagens.* Jornal Oficial das Comunidades Europeias (94-12-20), L62/1-L62/23.

Diretiva 1999/31/CE do Conselho de 26 de abril (1999). *Relativa à deposição de resíduos em aterros.* Jornal Oficial das Comunidades Europeias (99-04-26), L182/1-L182/19.

Diretiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de abril (2006). *Relativa aos resíduos.* Jornal Oficial da União Europeia (06-04-05), L114/9-L114/21.

Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro (2008). *Relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas*. Jornal Oficial da União Europeia (08-11-19), L312/3-L312/30.

ERSAR; APA. (2012). *PERSU II: Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016. Relatório de Acompanhamento 2010*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Agência Portuguesa do Ambiente.

EPA (2006). *Landfill bioreactor performance Second Interim Report Outer Loop Recycling & Disposal Facility Louisville, Kentucky*, U. S. EPA/600/R-07/060. U. S. Environmental Protection Agency.

ITRC (2006). *Technical/Regulatory Guideline Characterization, design, construction, and monitoring of bioreactor landfills*. Interstate Technology & Regulatory Council

Kawahigashi, F. (2012). *Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Londrina.

Levy, J. Q., Santana, C. (2004). Funcionamento das Estações de Tratamento de Águas Lixivantes e Definição das Acções para a sua Beneficiação. *Ecoserviços*, 1-8. Recuperado em 4 fevereiro, 2013 de http://www.ecoservicos.pt/index_htm_files/Funcion_estacoes_aguas_lixiviantes.pdf

Matos, A. R. V. (2008). Contribuição para o estudo da influência da recirculação de lixiviados no comportamento de aterros de resíduos sólidos urbanos (Dissertação de Mestrado), Universidade Nova de Lisboa.

Moravia, W. G. (2010). *Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas*. Universidade Federal de Minas Gerais.

Morgado, T. C. e Ferreira, O. M. (2006). Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia. Estudo para a gestão metropolitana de Coiânia. *Coiânia UCG*.

Nagashima, L. A., Júnior, C. B., Andrade, C. C., Silva, E. T. e Hoshika, C. (2011). Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos – uma proposta para o município de Paranavaí, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Technology*, 33, 39-47.

Neves, A. I. (2010). *Avaliação de desempenho ambiental do sistema de gestão de resíduos do nordeste (São Miguel)* (Dissertação de Mestrado). Universidade dos Açores.

Pacey, J., Augenstein, D., Reinhart, D., Yazdani, R. (1999). The bioreactor landfill - An innovation in solid waste management. *Solid Waste Association of North America*, 1-14.

Pedroso, M. A. R. (2007). *Análise do desempenho ambiental de 5 aterros de resíduos não perigosos abrangidos pelo regime PCIP* (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa,

Pires, J. C. A. (2002). *Projeto de tratamento do chorume produzido no aterro metropolitano de gramacho através de "Wetland"* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Portaria n.º209/2004 de 3 de março (2004). *Aprova a Lista Europeia de Resíduos*. Diário de República I-B Série. N.º 53 (04-03-03). 1188-1206.

Portaria n.187/2007 de 12 de fevereiro (2007). *Aprova o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II)*. Diário da República I Série. N.º30 (07-02-12). 1045-1118

Puna, J. F. B. e Baptista, B. S. (2008). A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos- Perspectiva ambiental e económica-energética. *Quim. Nova*, 31, 645-654.

RESINORTE, S.A. (2011). *Relatório ambiental anual*. RESINORTE - Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A.

Russo, M. A. T. (2003). *Tratamento de Resíduos Sólidos* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Coimbra.

Rita, F. (2002). *"Desempenho de um reator UASB em escala piloto para o tratamento anaeróbio de líquidos percolados de resíduos sólidos urbanos"*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.

Santos, I. M. B. T. (2008). *Diagnóstico e Avaliação da Gestão de Lixiviados produzidos em aterros sanitário de resíduos urbanos* (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa.

Vitorino, S. C. C. P. (2008). *Um contributo para a avaliação do desempenho do serviço de gestão de RSU do município de Tarouca* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

III. Análise de indicadores das entidades de gestão de resíduos- o caso da RESINORTE S.A.

III.1. Resumo

Nos últimos anos, o setor dos serviços dos RSU tem vindo a sofrer grandes desenvolvimentos, estabelecendo-se metas ambiciosas em termos de tratamento de resíduos produzidos. Esta conjuntura tem-se traduzido em operações de recolha e tratamento de RSU cada vez mais exigentes, tanto a nível económico (controlo dos custos) como a nível da procura de um serviço eficiente. Por conseguinte, torna-se necessário avaliar o desempenho das entidades gestoras e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) tem assumido essa tarefa, sendo os indicadores de desempenho (ID) um bom instrumento de avaliação quer para a entidade reguladora, quer para as entidades gestoras.

Este estudo teve por objetivo analisar e comparar os ID utilizados pela RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego com outras entidades gestoras e definir alternativas, nomeadamente na vertente operacional com benefícios evidentes na gestão do serviço. Pela análise dos ID propostos e utilizados pela RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego, alguns ID foram integrados visando a melhoria da gestão dos resíduos urbanos, como por exemplo a Taxa de eficiência do plano de manutenção, o Refúgio da central de triagem e o Índice de compactação de resíduos no aterro. No entanto, outros ID foram retirados devido à pouca informação que disponham ou à simplificação dos dados, tais como o Índice de frequência e o Índice de gravidade, o Tempo de resposta às reclamações, o Custo por Km e os Custos por tonelada de fileira recolhida. Por outro lado, foram inseridas novas classes de indicadores, tais como a Formação aos Colaboradores e a Comunicação e Imagem. Paralelamente, analisou-se e comparou-se os ID que auxiliam a avaliação da qualidade do serviço definido pela ERSAR para os 23 sistemas de gestão de RSU, para o ano de 2011. Globalmente, da análise efetuada constata-se que os sistemas apresentam bons níveis de qualidade do serviço. Em pormenor, analisando os ID definidos pela ERSAR para a RESINORTE S. A., nos anos 2010 e 2011, pode-se verificar que para os ID, Acessibilidade do serviço de recolha seletiva e Utilização dos recursos energéticos, no ano de 2010, obteve-se um desempenho insatisfatório. O ID Adequação dos recursos humanos foi o único onde se verificou uma melhoria no desempenho.

III.2. Introdução

A noção de desenvolvimento de uma sociedade é caracterizada pela capacidade em proporcionar aos seus cidadãos condições de bem-estar, satisfazendo as suas necessidades básicas. Os habitantes de um país desenvolvido requerem determinados serviços nas suas residências, como o

abastecimento de água, de saneamento das águas residuais, de eletricidade, de aquecimento e da recolha de RSU.

Uma sociedade ambientalmente sustentável contende, na maioria das vezes, com o seu desenvolvimento económico. No passado, a importância do serviço de RSU era, praticamente, reduzida ou inexistente, convertendo-se hoje num dos principais serviços públicos locais. Em Portugal, o mercado dos RSU organiza-se em sistemas em “alta” e em “baixa”. O sistema em “baixa” é designado como a parte do processo que serve diretamente o utilizador, ou seja é o sistema de gestão dos RSU, desde os locais de deposição às estações de transferência ou às estações de tratamento e de valorização, nos casos de ausência desta infraestrutura. O sistema em “alta” compreende as operações de gestão que se iniciam nas estações de transferência até à deposição final em aterro (Simões, 2007). Devido ao elevado custo das infraestruturas de transferência e destino final de resíduos urbanos, os sistemas em “alta” englobam mais que um município. Assim, as entidades que gerem este tipo de sistema são as concessionárias multimunicipais, as associações de municípios e as empresas intermunicipais.

III.2.1. Regulação do setor dos resíduos em Portugal

A regulação do setor dos resíduos torna-se fundamental para incentivar uma melhoria na gestão, no ambiente ou na qualidade do serviço, no sentido que garanta condições aceitáveis para os utilizadores, para o Estado e para o ambiente. Além disso, a regulação transforma-se na única verificação por parte do Estado sobre o investimento na construção dos aterros sanitários, nas centrais de incineração e outros equipamentos remunerados com dinheiros estatais e com a concessão destes, aprovado pelo Decreto-Lei n.º379/93, de 5 de novembro.

A entidade responsável pela regulação dos setores de água, águas residuais e dos resíduos em Portugal é a ERSAR. O modelo de regulação desenvolvido pela ERSAR divide-se pela regulação estrutural do setor, pela regulação comportamental das entidades gestoras dos serviços de águas e resíduos e por atividades complementares. Associado à regulação comportamental das entidades gestoras surge a regulação da qualidade de serviço prestado, avaliando o serviço aos utilizadores e comparando as entidades gestoras entre si (benchmarking), desde que sejam similares e que atuem em zonas geográficas distintas, através da aplicação de um sistema de indicadores (regulação sunshine), para promover a eficiência (ERSAR, 2011). A regulação sunshine consiste na agregação dos resultados do desempenho dos prestadores num relatório anual. Este documento inclui uma avaliação conjunta do desempenho, sendo realizadas comparações entre as entidades gestoras e uma avaliação individual de cada operador (Simões et al., 2013).

III.2.2. Sistema de avaliação da qualidade dos serviços prestados

A ERSAR para efetuar a regulação da qualidade do serviço prestado pelas entidades gestoras necessita de recorrer a um sistema de avaliação da qualidade do serviço. Este sistema é uma ferramenta que se baseia no uso de indicadores de qualidade do serviço, permitindo quantificar o cumprimento dos principais objetivos do serviço. Os indicadores de qualidade do serviço adotados são constituídos por ID (ERSAR, 2011).

Os ID possibilitam a medição da *performance* e podem ser vistos como elementos essenciais na avaliação da eficiência e da eficácia da prestação de serviços por uma entidade gestora. Analisar individualmente um ID tem um reduzido interesse. Por isso, deve ser incluído num quadro ou sistema de ID, respeitando, no caso dos RSU, uma série de condicionantes, entre as quais: integrar os aspetos relevantes do desempenho da entidade gestora e possibilitar uma exposição global do sistema por um reduzido número de ID; proporcionar uma medição quantificada, objetiva e imparcial do sistema; incluir ID exclusivamente independentes entre si; requerer apenas equipamento que as entidades gestoras possam utilizar; facilitar a verificação e revisão dos resultados de forma regular, de acordo com procedimentos bem definidos; estar referenciado a um dado período de tempo bem definido (um ano é o período de cálculo básico recomendado); estar referenciado a uma área geográfica bem definida; ser aplicável a entidades gestoras, com diferentes características e estádios de desenvolvimento; ser calculado a partir de variáveis determinadas a custos aceitáveis; refletir o desempenho do operador, tanto quanto possível independentemente do contexto em que se insere (Sequeiros, 2012).

Os ID são geralmente indicados por rácios entre variáveis e expressa-se em unidades específicas, podendo ser adimensionais ou de modo a expressarem a sua intensidade.

Para o cálculo dos indicadores os dados podem ser produzidos diretamente pela entidade gestora (dados internos) ou recolhidos externamente (dados externos) (Vieira e Batista, 2008). Os dados internos de cada entidade gestora definem o perfil da entidade gestora, os ID e os fatores de contexto. Para garantir a qualidade dos dados internos, estes têm de estar de acordo com o definido pela ERSAR, fazer referência ao período de tempo a que corresponde à avaliação, referenciar a área geográfica de intervenção da entidade gestora e ser tão exato e fiável quanto à técnica e economicamente possível (ERSAR, 2011). Com o propósito de auxiliar a interpretação de alguns ID a entidade gestora poderá usar os fatores de contexto que sejam relevantes para a interpretação a efetuar pela ERSAR (ERSAR, 2011). Estes compreendem fatores externos que são independentes das opções de gestão, como os fatores climáticos ou fatores topográficos, e fatores internos que dependem das opções de gestão (Vieira e Batista, 2008).

O sistema de avaliação da qualidade de serviço prestado aos utilizadores conta com dezasseis ID para a gestão dos resíduos sólidos urbanos, divididos em três subsistemas distintos (ERSAR, 2013):

- Indicadores que traduzem a defesa dos interesses dos utilizadores, correspondentes a aspetos que estão diretamente relacionados com a qualidade de serviço que lhes é prestado e por ele sentidos diretamente;
- Indicadores que traduzem a sustentabilidade da entidade gestora, correspondentes a aspetos relacionados com a sua capacidade económica e financeira, infraestrutural, operacional e de recursos humanos e contínua aos utilizadores;
- Indicadores que traduzem a sustentabilidade ambiental, correspondentes a aspetos relacionados com o impacte ambiental da atividade gestora, nomeadamente em termos de conservação dos recursos naturais.

Nas Tabelas III.1 e III.2 apresentam-se os ID definidos e utilizados para a avaliação de desempenho das entidades gestoras dos RSU e os dados do sistema de avaliação da qualidade do serviço a fornecer anualmente à ERSAR, respetivamente. Os indicadores estão numerados de 1 a 16, na Tabela III.1, e estão referenciados com a sigla RU, uma vez que se trata do sistema de indicadores de gestão dos RSU. Na Tabela III.2 apresenta-se os dados do sistema de avaliação da qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos que estão enumerados de 1 a 58 e estão referenciados com a sigla dRU.

Tabela III.1-Indicadores de qualidade do serviço de gestão de resíduos urbanos (ERSAR, 2011).

Indicadores de Qualidade do Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos	Sistema em “Alta”	Sistema em “Baixa”
Adequação da interface com o utilizador		
<u>Acessibilidade do serviço aos utilizadores</u>		
RU01 – Acessibilidade física do serviço (%)	•	•
RU02 – Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (%)	•	•
RU03 – Acessibilidade económica do serviço (%)	•	•
<u>Qualidade do serviço prestado aos utilizadores</u>		
RU04 – Lavagem de contentores (-)	•	•
RU05 – Resposta a reclamações e sugestões (%)	•	•
Sustentabilidade da gestão do serviço		
<u>Sustentabilidade económica</u>		
RU06 – Cobertura dos gastos totais (-)	•	•
<u>Sustentabilidade infraestrutural</u>		
RU07 – Reciclagem de resíduos de embalagem (%)	•	•
RU08 – Valorização orgânica (%)	•	n.a.
RU09 – Incineração (%)	•	n.a.
RU10 – Utilização da capacidade de encaixe de aterro (%)	•	n.a.
RU11 – Renovação do parque de viaturas (km/viatura)	•	•
RU12 – Rentabilização do parque de viaturas [kg/(m ³ · ano)]	n.a.	•
<u>Produtividade física dos recursos humanos</u>		
RU13 – Adequação dos recursos humanos (número/1000 t)	•	n.a.
Sustentabilidade ambiental		
<u>Eficiência na utilização de recursos ambientais</u>		
RU14 – Utilização de recursos energéticos		
	(kWh/t)	•
	(tep/t)	n.a.
		n.a.
<u>Eficiência na prevenção da poluição</u>		
RU15 – Qualidade dos lixiviados após tratamento (%)	•	n.a.
RU16 – Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO ₂ /t)	•	•

n.a.- não aplicável; tep- tonelada equivalente de petróleo

Tabela III.2-Dados do sistema de avaliação da qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos (ERSAR, 2011).

Dados do Sistema de Avaliação da Qualidade do Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos	Sistema em “Alta”	Sistema em “Baixa”
Identificação da entidade gestora	•	•
dRU01 – Identificação da entidade gestora (-)	•	•
dRU02 – Modelo de governância (-)	•	•
dRU03 – Utilizador do(s) sistema(s) (-)	•	•
dRU04 – Tipologia da área de intervenção (-)	•	•
dRU05 – Composição acionista (-)	•	•
dRU06 – Período de vigência do contrato (-)	•	•
Alojamentos		
dRU07 – Alojamentos com serviço de recolha de resíduos (número)	n.a.	•
dRU08 – Alojamentos com serviço de recolha seletiva (número)	•	•
dRU09 – Alojamentos existentes (número)	•	•
Reclamações		
dRU10 – Reclamações e sugestões (número/ano)	•	•
dRU11 – Respostas a reclamações e sugestões (número/ano)	•	•
Quantidade de resíduos		
dRU12 – Resíduos urbanos recolhidos (t/ano)	•	•
dRU13 – Resíduos entrados nas infraestruturas de processamento em alta (t/ano)	•	n.a.
dRU14 – Resíduos urbanos entrados nas infraestruturas de processamento em alta (t/ano)	•	n.a.
dRU15 – Resíduos de embalagem retomados para reciclagem (t/ano)	•	n.a.
dRU16 – Resíduos de embalagem recolhidos seletivamente (t/ano)	n.a.	•
dRU17 – Volume de atividade para reciclagem (t/ano)	•	•
dRU18 – Resíduos sujeitos a valorização orgânica (t/ano)	•	n.a.
dRU19 – Resíduos urbanos depositados diretamente em aterro (t/ano)	•	n.a.
dRU20 – Resíduos sujeitos a incineração (t/ano)	•	n.a.
dRU21 – Resíduos urbanos depositados em aterro (t/ano)	•	n.a.
dRU22 – Resíduos não urbanos depositados em aterro (t/ano)	•	n.a.
dRU23 – Resíduos a depositar em aterro previstos na licença (t/ano)	•	n.a.
dRU24 – Resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente (t/ano)	n.a.	•
dRU25 – Objetivo de retoma de resíduos de embalagem (t/ano)	•	n.a.
dRU26 – Objetivo de recolha de resíduos de embalagem (t/ano)	n.a.	•
dRU27 – Capacidade de processamento de resíduos urbanos biodegradáveis definidos no Plano Estratégico (t/ano)	•	n.a.

n.a.- não aplicável

Tabela III.2 (cont.) -Dados do sistema de avaliação da qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos (ERSAR, 2011).

Dados do Sistema de Avaliação da Qualidade do Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos	Sistema em “Alta”	Sistema em “Baixa”
Viaturas, equipamentos e sua utilização		
dRU28 – Quilómetros percorridos pelas viaturas (km)	•	•
dRU29 – Viaturas afetas à gestão de resíduos (número)	•	•
dRU30 – Capacidade instalada de viaturas de recolha de resíduos (m ³ /ano)	n.a.	•
dRU31 – Emissões de CO ₂ das viaturas de recolha de resíduos (kg CO ₂)	•	•
dRU32 – Número de contentores lavados (número/ano)	•	•
dRU33 – Número de contentores (número/ano)	•	•
Qualidade dos lixiviados		
dRU34 – Análises realizadas aos lixiviados tratados (número/ano)	•	n.a.
dRU35 – Análises realizadas aos lixiviados tratados conformes com a legislação (número/ano)	•	n.a.
Energia		
dRU36 – Combustível consumido (tep/ano)	n.a.	•
dRU37 – Energia consumida da rede exterior (kWh/ano)	•	n.a.
dRU38 – Energia vendida obtida por valorização energética (kWh/ano)	•	n.a.
Economia		
dRU39 – Encargo médio com o serviço de gestão de resíduos urbanos (€/ano)	•	•
dRU40 – Rendimento médio disponível familiar (€/ano)	•	•
dRU41 – Rendimentos e ganhos totais (€/ano)	•	•
dRU42 –Gastos totais (€/ano)	•	•
dRU43 – Tarifa aprovada (€/t)	•	n.a.
Recursos Humanos		
dRU44 – Pessoal afeto ao serviço de gestão de resíduos (número)	•	•
dRU45 – Pessoal em outsourcing afeto ao serviço de gestão de resíduos urbanos (número)	•	•
Infraestruturas		
dRU46 – Ecopontos (número)	•	•
dRU47 – Ecocentros (número)	•	•
dRU48 – Estações de triagem (número)	•	n.a.
dRU49 – Unidades de valorização orgânica (número)	•	n.a.
dRU50 – Unidades de incineração (número)	•	n.a.
dRU51 – Aterros (número)	•	n.a.

n.a.- não aplicável; tep- tonelada equivalente de petróleo

Tabela III.2 (cont.) -Dados do sistema de avaliação da qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos (ERSAR, 2011).

Dados do Sistema de Avaliação da Qualidade do Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos	Sistema em “Alta”	Sistema em “Baixa”
Infraestruturas		
dRU52 – Estações de transferência (número)	•	n.a.
dRU53 – Capacidade instalada de incineração (t/ano)	•	n.a.
dRU54 – Capacidade instalada de contentores (t/ano)	n.a.	•
Certificações		
dRU55 – Certificação de sistemas de gestão ambiental (-)	•	•
dRU56 – Certificação de sistemas de gestão de qualidade (-)	•	•
dRU57 – Certificação de sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho (-)	•	•
dRU58 – Outras certificações (-)	•	•
n.a.- não aplicável		

A ERSAR efetua a avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores através da comparação do valor obtido com o correspondente valor de referência. Os valores de referência servem não só para medir o grau de desempenho, como também para estabelecer metas para períodos temporais futuros.

Considerando que a RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego é constituída por três ecocentros, uma estação de triagem, um aterro sanitário e três estações de transferência. O presente estudo pretende analisar e comparar os ID utilizados por esta entidade com outras entidades gestoras e definir alternativas ao sistema utilizado atualmente, de forma a melhorar o sistema de gestão. Paralelamente pretende-se analisar e comparar os ID da ERSAR para os 23 sistemas de gestão de resíduos e em pormenor para a entidade gestora RESINORTE S.A. no sentido de avaliar o alinhamento das entidades com os valores de referência. Por último, pretende-se avaliar a evolução dos ID da RESINORTE S.A. desde o período da sua constituição até à data para compreender o respetivo grau de desempenho.

III.3. Dados de base e metodologia

A RESINORTE S. A., é um sistema multimunicipal que está dividido em quatro unidades de produção: Unidade de Produção Celorico de Basto (sede), Unidade de Produção de Boticas, Unidade de Produção Ribá de Ave e Unidade de Produção de Lamego.

A informação para o estudo da análise e comparação de ID, foi recolhida essencialmente por contacto direto com as entidades gestoras e também, nas situações de ausência de informação por

via da análise dos relatórios e contas. Outra informação requerida foi a ficha de avaliação da qualidade do serviço disponibilizada pela ERSAR.

Seguidamente efetuou-se:

- O levantamento dos indicadores internos utilizados pela entidade gestora em estudo, no ano de 2012;
- A análise comparativa dos indicadores internos e dos indicadores de qualidade do serviço de gestão dos RSU, entre as 23 entidades gestoras, no ano de 2011;
- A análise em pormenor para a RESINORTE S. A, nos anos 2010 e 2011.

A caracterização da eficácia/eficiência da RESINORTE S.A.- Unidade de produção de Lamego não pode ser efetuada para os ID internos, visto que os dados correspondentes só foram disponibilizados para o ano de 2012.

A avaliação incide em três perspetivas: a defesa dos interesses dos utilizadores, a sustentabilidade da entidade gestora e a sustentabilidade ambiental. Desta forma, o conjunto de ID proposto neste estudo compreende 12 classes de ID em conformidade com as perspetivas apresentadas.

III.4. Resultados e discussão

III.4.1. Proposta de redefinição dos ID internos da RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego

Na Tabela III.3 efetua-se a apresentação dos ID realizada pela RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego para o acompanhamento da gestão dos RSU, para o ano de 2012. Cada ID é identificado por uma codificação interna (RN), seguido da sua designação e das suas respetivas variáveis.

Tabela III.3-Indicadores de desempenho da entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Designação	Unidades
RN02 -Controlo de Gestão e Monitorização de Informação	RN02in-02-Taxa de cumprimento do Programa Anual de Ensaios/Monitorizações	%
	RN02in-03- Taxa de cumprimento do plano de monitorização ambiental	%
	RN03in-01-Índice de Frequência	Número
RN03 - Gestão Ambiental e de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho (SHST)	RN03in-02-Índice de Gravidade	Número
	RN03in-03-Índice de Severidade (avaliação da gravidade)	Número
	RN03in-04-Índice de Incidência	Número
	RN03in-05-Energia consumida por instalação	tep
	RN03in-06-Água consumida por instalação	m ³
	RN03in-07-Combustíveis consumidos na frota	tep
RN05-Recursos Humanos	RN05in-01-Taxa de absentismo por Tipo de Falta	%
	RN05in-02-Número de horas de trabalho extraordinário	Número
	RN05in-03-Custos com as horas de trabalho extraordinário	€
RN06 - Manutenção de Infraestruturas e Equipamentos	RN06in-03-Custos da manutenção	€
RN08 – Gestão Documental	RN08in-01-Número de reclamações externas	Número de reclamações
	RN08in-02-Tempo de resposta às reclamações	Dias
RN10-Recolha e Receção de Resíduos (separadamente recolha seletiva- ecopontos e recolha seletiva-porta-a-porta)	RN10in-01-Quantidade de resíduos provenientes da recolha seletiva	ton
	RN10in-02-km percorridos por tonelada de fileira recolhida	Km/ton
	RN10in-03-Custo por Km	€/Km
	RN10in-04-Custo por tonelada de fileira recolhida	€/ton
RN11 - Triagem e Processamento de valorizáveis	RN11in-01-Toneladas produzidas por fileira	ton
	RN11in-02-Produtividade na Central de Triagem	kg/horasxhomem
	RN11in-03-Custo por tonelada produzida na Central de Triagem	€/ton
	RN11in-05-Não conformidades nas inspeções às cargas retomadas	%
	RN11in-06-Custo das não conformidades nas inspeções às cargas retomadas	%

tep- tonelada equivalente de petróleo

Tabela III.3 (cont.) – Indicadores de desempenho da entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Designação	Unidades
RN13 - Operação de funcionamento do Aterro	RN13in-01-Custo por tonelada depositada	€/ton
	RN13in-02-Vida útil do aterro	Anos
	RN13in-03-Custo do tratamento do lixiviado	€/m ³
	RN13in-04-Eficiência do tratamento da estação de tratamento de águas lixiviantes	%
	RN13in-05-Número de incumprimentos aos parâmetros	Número
RN15 - Encaminhamento de Produtos	RN15in-01-Resultado líquido do encaminhamento de resíduos	€
	RN15in-02-Quantidade de produtos encaminhados para valorização por fileira	ton
RN18 - Legislação e Licenciamentos	RN18in-01-Número de Contra-ordenações	Número

A RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego tem definido 32 ID, dividindo-se em: Controlo de gestão e monitorização de informação (2), Gestão ambiental e de SHST (7), Recursos humanos (3), Manutenção de infraestruturas e equipamentos (1), Gestão documental (2), Recolha e receção de resíduos (4), Triagem e processamento de valorizáveis (5), Operação e funcionamento do aterro (5), Encaminhamento de produtos (2) e Legislação e licenciamentos (1).

Ao analisar os ID utilizados por outras entidades gestoras conclui-se que a RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego possuía ID que não são considerados por outras entidades. Inclui-se neste grupo o Controlo da gestão e monitorização da informação (RN02) e no caso da Gestão ambiental e de SHST (RN03) não faziam qualquer referência aos índices frequência, severidade, gravidade e incidência. Em contrapartida, a entidade em estudo não contém no seu conjunto de ID alguns indicadores que as entidades gestoras em análise continham, entre os quais: Taxa de eficiência de procedimento de receção de resíduos; Taxa de eficiência nas respostas às reclamações, Índice de compactação dos resíduos em aterro, Formação para os colaboradores, e Comunicação e imagem.

De forma, a perspetivar a melhoria da gestão dos RSU na entidade gestora RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego, propôs-se um conjunto de ID que são apresentados na Tabela III.4. Os ID que foram introduzidos neste conjunto encontram-se com formatação em itálico e estão numerados e referenciados com as siglas: RN06 para Manutenção de infraestruturas e equipamentos, RN10 para Recolha e receção de resíduos, RN11 para Triagem e processamento de valorizáveis, RN13 para Operação e funcionamento do aterro, RN19 para a Formação aos colaboradores e RN20 para a Comunicação e imagem. Para cada classe de indicadores estão associados os ID correspondentes, com a respetiva definição e fórmula de cálculo.

III. Análise de indicadores das entidades de gestão de resíduos- o caso da RESINORTE S.A.

Tabela III.4-Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
RN02-Controlo da Gestão e Monitorização de Informação	RN02in-02-Taxa de cumprimento do Programa Anual de Ensaios/Monitorizações (SHST) (%)	Indicador de desempenho que avalia o cumprimento do Programa Anual de Ensaios/Monitorizações (SHST).	$RN02in-02 = (\text{número de monitorizações realizadas} / \text{número de monitorizações planeadas}) * 100$
	RN02in-03-Taxa de cumprimento do Plano de Monitorização Ambiental (%)	Indicador de desempenho que representa o cumprimento do Plano de Monitorização Ambiental.	$RN02in-03 = (\text{número de monitorizações realizadas} / \text{número de monitorizações planeadas}) * 100$
RN03-Gestão Ambiental e de SHST	RN03in-03-Índice de Severidade (Número)	Indicador de desempenho que combina os valores dados pelo índice de gravidade e pelo índice de frequência e representa o número de dias úteis perdidos em média por acidente ocorrido.	$RN03in-03 = [(\text{número de acidentes com baixa} * 1000000) / \text{número de horas-homem não trabalhadas}] * (\text{número de dias úteis perdidos} * 1000000) / \text{número de horas-homem trabalhadas} / 1000]$

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
RN03-Gestão Ambiental e de SHST	RN03in04-Índice de Incidência (Número)	Indicador de desempenho que representa o número de acidentes com baixa, que em média ocorrem numa população de 1000 trabalhadores.	$RN03in-04 = \sum (\text{número de acidentes com baixa} / \text{número médio de trabalhadores}) * 1000$
	RN03in-05-Energia consumida por instalação (tep)	Indicador de desempenho que inclui todos os tipos de energia consumida na instalação: eletricidade, gasóleo das máquinas da instalação (afetas ao aterro e à triagem), gás, etc.	$RN03in-05 = \sum (\text{tep consumidos na instalação})$
	RN03in-06-Água consumida por instalação (m ³)	Indicador de desempenho que serve para avaliar o consumo de água nas infraestruturas da unidade de produção.	$RN03in-06 = \sum (\text{água consumida na instalação})$
	RN03in-07-Combustíveis consumidos na frota (tep)	Indicador de desempenho que avalia o consumo de combustíveis na frota que afeta a entidade gestora.	$RN03in-07 = \sum (\text{combustíveis consumidos na frota afeta a unidade de produção})$
RN05-Recursos Humanos	RN05in-01-Taxa de absentismo por tipo de falta (%)	Indicador de desempenho que relaciona o número total de horas perdidas, por tipo de falta, com o número máximo teórico de horas trabalháveis (mensal e acumulada).	$RN05in-01 = \sum (\text{horas perdidas por tipo de falta} / \text{horas trabalháveis})$
	RN05in-02-Número de horas de trabalho extraordinário (Número)	Indicador de desempenho que apresenta o número de horas extraordinárias executadas pelos colaboradores na unidade de produção.	$RN05in-02 = \sum (\text{horas trabalho extraordinário})$

tep- tonelada equivalente de petróleo

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
Recursos Humanos	RN05in-03-Custos com as horas de trabalho extraordinário (€)	Indicador de desempenho que apresenta o montante gasto mensalmente pela execução do trabalho extraordinário (mensal e acumulado) na unidade de produção.	$RN05in-03 = \sum$ (valores pagos em trabalho extraordinário)
RN06-Manutenção de infraestruturas e equipamentos	<i>RN06in-01-Taxa de cumprimento do plano de manutenção (%)</i>	Indicador de desempenho <i>que representa as ações que estiverem previstas no plano de manutenção para execução.</i>	<i>$RN06in-01 =$ (número de intervenções realizadas / número de intervenções planeadas) * 100</i>
	RN06in-03-Custos da manutenção (€)	Indicador de desempenho que representa os custos somatórios de: mão-de-obra, consumíveis, peças, energia e prestações de serviços relacionadas.	$RN06in-03 = \sum$ (custos com manutenção corretiva)
RN08-Gestão Documental	RN08in-01-Número de reclamações externas (Número)	Indicador de desempenho que verifica o número de reclamações que foram registadas (via carta, fax, e-mail, telefone, número verde, site da empresa, telefone, ou ainda presencialmente).	$RN08in-01 = \sum$ (reclamações registadas e consideradas procedentes)
	<i>RN08in-02-Taxa de eficiência nas respostas (%)</i>	Indicador de desempenho <i>que avalia o número de respostas dentro do prazo (≤ 22 dias) com o número total de respostas.</i>	<i>$RN08in-02 =$ (número de respostas dentro do prazo/ número total de respostas) x100</i>

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
RN10-Recolha e recepção de resíduos (recolha seletiva de ecopontos e recolha seletiva porta-a-porta)	RN10in-01-Quantidade de resíduos provenientes da recolha seletiva (ton)	Indicador de desempenho que permite avaliar a eficácia das ações de sensibilização e a adesão da população.	$RN10in-01 = \sum (\text{resíduos proveniente da recolha seletiva de ecopontos} + \text{recolha seletiva porta-a-porta})$
	RN10in-02-km percorridos por tonelada de fileira recolhida (Km)	Indicador de desempenho calculado para as fileiras de Papel/Cartão, Plásticos/Metals e Vidro.	$RN10in-02 = \sum (\text{km percorridos} / \text{ton fileira recolhida})$
	RN10in-03- Custos (fixos+variáveis) (€)	<i>Indicador de desempenho que representa os custos fixos e variáveis como o somatório dos custos: mão-de-obra, consumíveis, combustível, manutenção e prestações de serviço relacionadas. Calculado para as fileiras de Papel/Cartão, Plásticos/Metals e Vidro.</i>	$RN10in-03 = \sum (\text{custos fixos} + \text{custos variáveis})$
	RN10in-04-Taxa de eficiência do procedimento de recepção de resíduos (%)	<i>Indicador de desempenho que avalia as correções nas pesagens mensais.</i>	$RN10in-04 = [1 - (\text{número total de correções nas pesagens mensais} / \text{número total de pesagens mensais})] * 100$
RN11-Triagem e processamento de valorizáveis	RN11in-01-Toneladas produzidas por fileira (ton)	Indicador de desempenho que avalia a quantidade produzida (entrada para stock) por fileira. Calculado para as fileiras de Papel/Cartão, Plásticos/Metals e Vidro.	$RN11in-01 = \sum \text{ton produzidas na fileira}$

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
	RN11in-02- Produtividade na Central de Triagem (Kg / horas.homem)	Indicador de desempenho que avalia a relação entre a produção na central de triagem e os fatores de produção. Calculado para as fileiras de Papel/Cartão, Plásticos/Metais.	$RN11in-02 = \frac{\text{kg de material produzido} + \text{kg de refugo}}{\text{horas trabalhadas} \times \text{número de trabalhadores}}$
	RN11in-03- Custo por tonelada produzida na Central de Triagem (€/ton)	Indicador de desempenho que representa os custos fixos e variáveis como o somatório dos custos: mão-de-obra, consumíveis, energia, combustível, manutenção e prestações de serviço relacionadas.	$RN11in-03 = \frac{\sum (\text{custos fixos} + \text{custos variáveis})}{\text{quantitativos produzidos}}$
RN11-Triagem e processamento de valorizáveis	<i>RN11in-04- Refugo da Central de Triagem (%)</i>	<i>Indicador de desempenho que inclui os resíduos da recolha seletiva de ecopontos e da recolha porta-a-porta. Calculado para as fileiras de Papel/Cartão e Plásticos/Metais.</i>	<i>$RN11in-04 = \frac{\text{Quantidade de refugo da fileira}}{\text{produção} + \text{quantidade de refugo da fileira}} \times 100$</i>
	RN11in-05- Não conformidades nas inspeções às cargas retomadas (Número)	Indicador de desempenho que representa que cada não conformidade detetada dá origem a uma reclamação emitida pela SPV.	$RN11in-05 = \frac{\sum (\text{não conformidades detetadas nas inspeções})}{\text{cargas efetuadas}} \times 100$
	RN11in-06- Custo das não conformidades nas inspeções às cargas retomadas (€)	Indicador de desempenho que representa que cada não conformidade detetada dá origem a uma reclamação emitida pela SPV, e sendo procedente.	$RN11in-06 = \frac{\sum (\text{Custo da NC detetadas nas inspeções})}{\text{cargas efetuadas}} \times 100$

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
RN13-Operação e funcionamento do aterro	RN13in-01- Custo por tonelada depositada (€)	Indicador de desempenho que representa os custos fixos e variáveis como o somatório dos custos: mão-de-obra, combustível, consumíveis, manutenção e prestações de serviço relacionadas.	$RN13in-01 = \frac{\sum (\text{custos fixos} + \text{custos variáveis})}{\text{quantidades depositadas}}$
	RN13in-02- Vida útil do aterro (anos)	Indicador de desempenho que permite avaliar a capacidade de armazenamento do aterro.	$RN13in-02 = \frac{\sum (\text{quantitativos do projeto} - \text{quantitativos depositados})}{\text{quantitativos médios anuais}}$
	RN13in-03- Custo do tratamento do lixiviado (€/m ²)	Indicador de desempenho que representa os custos fixos e variáveis o somatório dos custos: mão-de-obra, consumíveis, energia, manutenção e prestação de serviços relacionados.	$RN13in-03 = \frac{\sum (\text{custos fixos} + \text{custos variáveis})}{\text{volume de efluente tratado}}$
	RN13in-04- Eficiência do tratamento da ETAL (%)	Indicador de desempenho que permite avaliar a eficiência do tratamento do lixiviado.	$RN13in-04 = \left(\frac{\sum (\text{lixiviado tratado} - \text{lixiviado entrado})}{\text{lixiviado entrado}} + 1 \right) \times 100$
	RN13in-05- Número de incumprimentos aos parâmetros (Número)	Indicador de desempenho que é calculado para cada um dos pontos de descarga (meio hídrico ou coletor).	$RN13in-05 = \sum (\text{incumprimentos detetados nas análises ao efluente tratado})$
	RN13in-06-Índice de compactação dos resíduos no aterro (ton/m ³)	Indicador de desempenho que avalia a redução de volume que a massa de resíduos pode sofrer quando submetida a uma determinada pressão.	$RN13in-06 = \frac{\text{Quantidade de resíduos depositados}}{\text{Volume ocupado}}$

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
RN15- de produtos	RN15in-01-Resultado líquido do encaminhamento dos resíduos (€)	Indicador de desempenho que representa os proveitos como o resultado das vendas provenientes do encaminhamento de recicláveis e custos como a totalidade dos custos inerentes a este processo.	$RN15in-01 = \sum (\text{Proveitos} - \text{Custos})$
	RN15in-02- Quantidade de produtos encaminhados para valorização por fileira (ton)	Indicador de desempenho que avalia a quantidade de produtos encaminhados para a valorização para as fileiras de papel/cartão, plásticos/metals, vidro, REEE, metais não embalagem, pneus, vidro não embalagem, ...	$RN15in-02 = \sum (\text{Quantidades encaminhadas da fileira})$
RN18-Legislação e licenciamento	RN18in-01-Número de contra-ordenações (Número)	Indicador de desempenho que avalia o número de contra-ordenações verificadas na legislação e licenciamento do ambiente ou da segurança no trabalho.	$RN18in-01 = \sum \text{das contra-ordenações}$
RN19-Formação aos colaboradores	<i>RN19in-01- Número médio de horas de formação/colaborador (h/colab)</i>	<i>Indicador de desempenho que avalia o número horas de formação pelo número médio de colaboradores.</i>	<i>$RN19in-01 = \sum \text{do N.º horas de formação} / \text{N.º médio de colaboradores}$</i>

Tabela III.4 (cont.) - Proposta de indicadores de desempenho para a entidade gestora RESINORTE S.A-Unidade de Produção de Lamego.

Classe de indicador	Indicador de Desempenho	Definição	Fórmula de Cálculo
RN19-Formação aos colaboradores	<i>RN19in02-- Taxa de cumprimento do Plano de Formação (%)</i>	<i>Indicador de desempenho que permite avaliar se o plano de formação está a ser cumprido pela unidade de produção.</i>	<i>RN19in-02= (N.º de ações realizadas/N.º de ações previstas) ×100</i>
	<i>RN19in-03- Taxa de avaliação da Formação-Formandos (%)</i>	<i>Indicador de desempenho que serve para avaliar as ações de formação com avaliação positiva por parte dos formandos.</i>	<i>RN19in-03= (N.º de ações com avaliação positiva/N.º de participações em ações de formação) ×100</i>
RN20-Comunicação e Imagem	<i>RN20in-01-Taxa de cumprimento do Programa de Comunicação (%)</i>	<i>Indicador de desempenho que permite verificar se as comunicações com as partes interessadas foram executadas na totalidade e no prazo previsto.</i>	<i>RN20in-01= Σ (número de comunicações realizadas no prazo / número de comunicações previstas) * 100</i>
	<i>RN20in-02-Taxa de eficiência das ações de sensibilização e educação ambiental-Formações (%)</i>	<i>Indicador de desempenho que avalia o número de ações de sensibilização positivas realizadas nas formações.</i>	<i>RN20in02= (número de ações com avaliação positiva/ número total de ações realizadas) ×100</i>
	<i>RN20in-03- Taxa de eficiência das ações de sensibilização e educação ambiental – Visitas de estudo (%)</i>	<i>Indicador de desempenho que permite avaliar o número de ações de sensibilização positivas realizadas nas visitas de estudo.</i>	<i>RN20in-03= (número de ações com avaliação positiva/ número total de ações realizadas) ×100</i>

Para além dos ID já existentes na RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego foram integrados novos indicadores, integrando aspetos relevantes do desempenho da unidade de produção, e outros que foram retirados devido à pouca informação que disponibilizavam ou à simplificação dos dados. E ainda, foram inseridas novas classes de indicadores, a Formação aos Colaboradores e a Comunicação e Imagem, com os respetivos ID.

Os ID acrescentados aos já existentes foram:

- Na classe de indicadores Manutenção de infraestruturas e equipamentos- Taxa de eficiência do plano de manutenção;
- Na classe de indicadores Gestão documental- Taxa de eficiência nas respostas;
- Na classe de indicadores Recolha e receção de resíduos- Custos (fixos+variáveis) e a Taxa de eficiência do procedimento de receção de resíduos;
- Na classe de indicadores Triagem e processamento de valorizáveis- Refugo da central de triagem;
- Na classe de indicadores Operação e funcionamento do aterro- Índice de compactação de resíduos no aterro.

Os ID retirados, de modo a simplificar o conjunto de indicadores e para estes serem independentes entre si, foram:

- Na classe de indicadores Gestão ambiental e de SHST- Índice de frequência e o Índice de gravidade;
- Na classe de indicadores Gestão documental- Tempo de resposta às reclamações;
- Na classe de indicadores Recolha e receção de resíduos- Custo por Km e os Custos por tonelada de fileira recolhida.

Na classe de indicadores Formação aos colaboradores inserida no conjunto proposto, foram introduzidos os seguintes ID:

- Número médio de horas de formação/colaborador;
- Taxa de cumprimento do Plano de Formação;
- Taxa de avaliação da Formação-Formandos.

Já na classe comunicação e imagem foram admitidos os seguintes ID:

- Taxa de cumprimento do Programa de Comunicação;
- Taxa de eficiência das ações de sensibilização e educação ambiental- Formações;
- Taxa de eficiência das ações de sensibilização e educação ambiental – Visitas de estudo.

III.4.2. O desempenho das entidades gestoras em Portugal

Outro dos objetivos iniciais deste estudo foi analisar e comparar os ID da ERSAR para os 23 sistemas de gestão de resíduos e em particular a entidade gestora RESINORTE S.A. E ainda, avaliar a evolução dos ID da RESINORTE S.A. desde o período da sua constituição até à data para compreender o respetivo grau de desempenho.

A compilação dos resultados obtidos para os indicadores de qualidade do serviço, em termos de defesa dos interesses dos utilizadores, sustentabilidade da entidade gestora e sustentabilidade ambiental, das 23 entidades gestoras, encontram-se descritos nas Tabelas III.5 e III.6. A informação apresentada nestas tabelas indica o valor do indicador por entidade, bem como a respetiva avaliação relativamente ao valor de referência. A cor verde indica o cumprimento com o respetivo valor de referência para uma boa qualidade do serviço em contraponto com a cor vermelha, que representa uma má qualidade do serviço para o período em análise. Alguns ID apresentam cor amarela, correspondendo à codificação da ERSAR como sendo uma qualidade do serviço mediana.

Verifica-se que há alguma heterogeneidade no desempenho das várias entidades, mas destaca-se que na Acessibilidade física do serviço (RU01) e na Emissão de gases com efeito de estufa (RU16) todas apresentam um desempenho positivo, dentro dos valores de referência. No que diz respeito à Reciclagem de resíduos de embalagem (RU07) e à Valorização orgânica (RU08), as entidades não cumprem com as percentagens previstas. Refira-se a exceção da BRAVAL, RESISTRELA e VALNOR para o caso do ID RU07. A VALNOR salienta-se pelo facto de na Valorização orgânica dar uma resposta enquadrada nos valores de referência. Este aspeto deve ser reforçado tendo em consideração as metas apresentadas pela legislação portuguesa e comunitária. A estratégia de redução dos resíduos urbanos biodegradáveis em aterro fixou os seguintes objetivos: a redução da deposição em aterro dos resíduos biodegradáveis até julho de 2013 para níveis de 50 %, da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995 e até julho de 2020 este valor deve ser de 35% (Decreto-Lei nº 183/2009 de 10 de agosto). Com esta política pretende-se definir uma estratégia para a recuperação de resíduos valorizáveis que vão para aterro, mostrando que as entidades gestoras ainda têm que fazer esforços nesta área.

A análise dos ID focará pelo menos um de cada subsistema. A análise comparativa assenta no ID que apresentou uma maior disparidade de resultados entre os 23 sistemas.

III. Análise de indicadores das entidades de gestão de resíduos- o caso da RESINORTE S.A.

Tabela III.5-Resultados das fichas de avaliação da qualidade do serviço (2011) disponibilizada pela ERSAR para as entidades gestoras: VALORMINHO, RESULIMA, BRAVAL, RESINORTE, LIPOR, AMBISOUSA, SULDOURO, RESÍDUOS DO NORDESTE, VALORLIS, ERSUC e ECOBEIRÃO.

		VALORMINHO	RESULIMA	BRAVAL	RESINORTE	LIPOR	AMBISOUSA	SULDOURO	RESÍDUOS NORDESTE	VALORLIS	ERSUC	ECOBEIRÃO
RU 01	Avaliação											
(%)	VR [95;100]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
RU 02	Avaliação	X	X	X	X	-	-	X	X		X	X
(%)	VR [50;100]	NR	NR	NR	NR	NA	NA	NR	NR	81	NR	NR
RU 03	Avaliação											
(%)	VR [0,00;0,25]	0,13	0,09	0,06	0,17	0,15	0,08	0,07	0,17	0,14	0,10	NR
RU 04	Avaliação											
	VR [2;6]	2	2	1	2	NA	NA	0	1	0	1	0
RU 05	Avaliação											
(%)	VR 100	100	100	94	100	100	NA	100	100	X	100	X
RU 06	Avaliação											
	VR [1,0;1,1]	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	NR
RU 07	Avaliação											
(%)	VR >=95	92	87	100	74	82	87	78	81	88	82	73
RU 08	Avaliação											
(%)	VR [95;100]	0	10	0	65	74	0	36	0	79	0	0
RU 09	Avaliação											
(%)	VR [75;100]	NA	NA	NA	NA	104	NA	NA	NA	NA	NA	NA
RU 10	Avaliação											
%/ano	VR [0;100]	69	75	93	97	36	112	86	96	112	69	103
RU 11	Avaliação											
(Km/viatura)	VR [0;250000]	217.691	257.501	207.988	148.199	NA	NA	118.696	326.861	182.205	446.245	133.397
RU 13	Avaliação											
(nº/10³t)	VR [0,3; 0,7]	0,6	0,6	1,0	0,8	0,7	0,4	0,5	0,8	0,7	0,5	0,7
RU 14	Avaliação											
(kWh/t)	VR <=6	-92	-107	-49	13	-278	-53	-161	-46	-22	-28	-6

RU-Resíduos urbanos; VR-Valor de Referência; X – NR – não respondeu; NA-Não aplicável

III. Análise de indicadores das entidades de gestão de resíduos- o caso da RESINORTE S.A.

Tabela III.5 (cont.) - Resultados das fichas de avaliação da qualidade do serviço (2011) disponibilizada pela ERSAR para as entidades gestoras: VALORMINHO, RESULTIMA, BRAVAL, RESINORTE, LIPOR, AMBISOUSA, SULDOURO, RESÍDUOS DO NORDESTE, VALORLIS, ERSUC e ECOBEIRÃO.

		VALORMINHO	RESULTIMA	BRAVAL	RESINORTE	LIPOR	AMBISOUSA	SULDOURO	RESÍDUOS NORDESTE	VALORLIS	ERSUC	ECOBEIRÃO
RU 15	Avaliação	100		92		100	-	-	99	-	81	97
(%)	VR [95;100]	100	95	92	94	100	NA	NA	99	NA	81	97
RU16	Avaliação	46		25		NA	-	37				
(CO ₂ /t)	VR [0;200]	46	37	25	61	NA	NA	37	102	43	71	37

RU-Resíduos urbanos; VR-Valor de Referência; X – NR – não respondeu; NA-Não aplicável

III. Análise de indicadores das entidades de gestão de resíduos- o caso da RESINORTE S.A.

Tabela III.6-Resultados das fichas de avaliação da qualidade do serviço (2011) disponibilizada pela ERSAR para as entidades gestoras: RESIESTRELA, VALNOR, VALORSUL, ECOLEZÍRIA, RESITEJO, TRATOLIXO, AMARSUL, GESAMB, AMBILITAL, AMCAL, RESIALENTEJO e ALGAR.

		RESIESTRELA	VALNOR	VALORSUL	ECOLEZÍRIA	RESITEJO	TRATOLIXO	AMARSUL	GESAMB	AMBILITAL	AMCAL	RESIALENTEJO	ALGAR
RU 01	Avaliação VR [95;100]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
RU 02	Avaliação VR [50;100]	X NR	X NR	X NR	60%	X NR	- NA	84	76	X NR	- NA	93	90
RU 03	Avaliação VR [0,00;0,25]	0,26	0,13	0,06	0,18	0,14	0,15	0,06	0,18	0,17	0,17	0,15	0,14
RU 04	Avaliação VR [2;6]	0	0	1	1	0	- NA	0	0	0	- NA	0	0
RU 05	Avaliação VR 100	90	100	84	100	X NR	100	100	50	75	- NA	100	92
RU 06	Avaliação VR [1,0;1,1]	1,2	1,1	1,3	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	0,6	0,9	1,1
RU 07	Avaliação VR >=95	120	204	81	70	42	75	74	83	91	89	86	84
RU 08	Avaliação VR [95;100]	61	621	43	0	0	32	39	0	0	0	0	27
RU 09	Avaliação VR [75;100]	- NA	- NA	94%	- NA	- NA	- NA	- NA	- NA	- NA	- NA	- NA	- NA
RU 10	Avaliação VR [0;100]	80	80	51	105	106	- NA	102	154	115	96	108	91
RU 11	Avaliação VR [0;250000]	198.186	251.736	304.975	475.810	299.109	- NA	152.558	323.703	242.803	- NA	342.461	168.851
RU 13	Avaliação VR [0,3; 0,7]	0,9	1,0	0,5	0,4	1,7	0,7	0,5	0,8	0,7	1,2	0,9	0,7
RU 14	Avaliação VR <=6	-39	14	-360	-38	8	8	-31	7	5	4	11	-3
RU 15	Avaliação VR [95;100]	65	87	62	78%	97	91	53	85	- NA	- NA	- NA	98
RU 16	Avaliação VR [0;200]	95	28	50	58	55	- NA	43	66	75	- NA	76	49

RU-Resíduos urbanos; VR-Valor de Referência; X – NR – não respondeu; NA-Não aplicável

Adequação da interface com o utilizador

A adequação da interface com o utilizador é avaliada por um conjunto de ID: Acessibilidade física do serviço (RU01), Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (RU02), Acessibilidade económica do serviço (RU03), Lavagem de contentores (RU04) e Resposta a reclamações e sugestões (RU05).

A referência da ERSAR para uma boa Acessibilidade do serviço de recolha seletiva dos resíduos (RU02) será um valor entre 90% a 100% para áreas urbanas, entre 70% a 100% para áreas mediantemente urbanas e entre 50% a 100% para áreas rurais. Como é possível observar na Figura III.1, a ALGAR, a RESIALENTEJO, a GESAMB e a VALORLIS apresentam bons desempenhos. Enquanto, as entidades AMARSUL e a ECOLEZÍRIA apresentam um desempenho médio, de acordo com os valores de referência correspondentes. As restantes entidades não responderam à entidade reguladora sobre o ID em estudo, à exceção da LIPOR, AMBISOUSA, TRATOLIXO e a AMCAL em que o indicador não é aplicável.

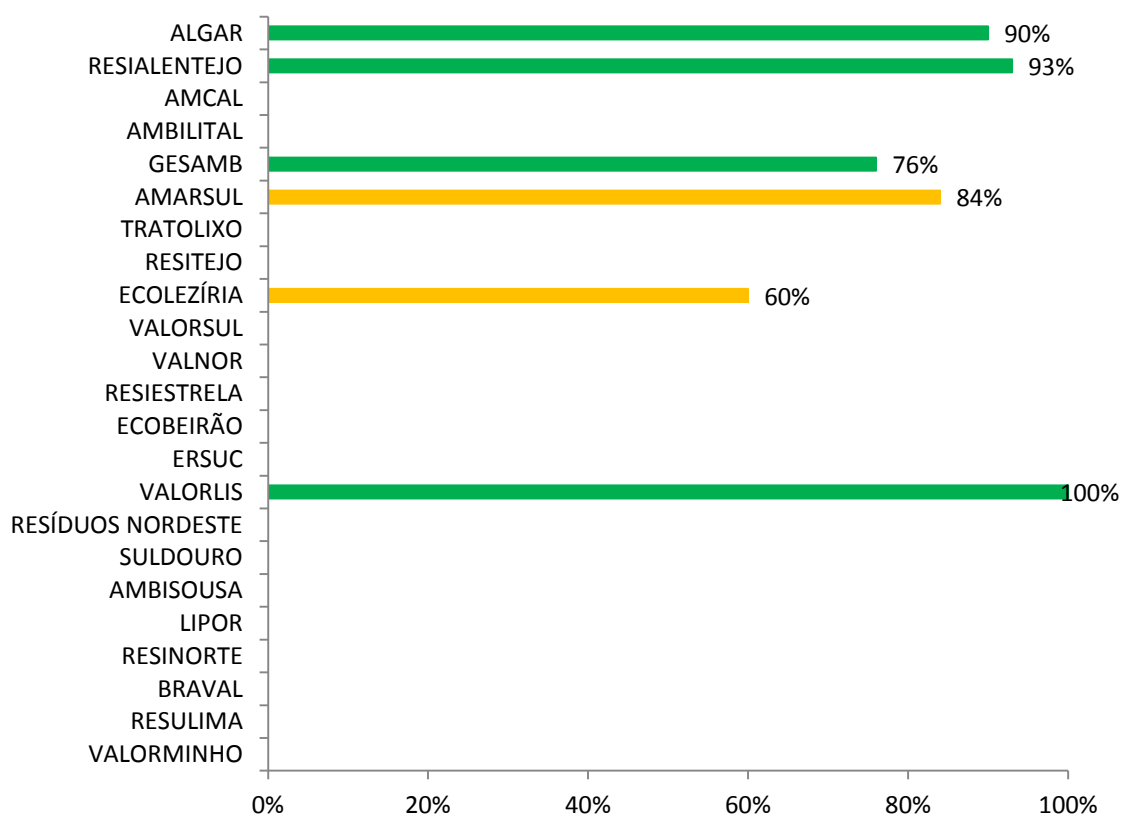


Figura III.1-Resultados do indicador de desempenho Acessibilidade do serviço de recolha seletiva.

Sustentabilidade da gestão do serviço

A sustentabilidade da gestão do serviço pretende avaliar se estão a ser efetuadas medidas básicas para que a prestação do serviço seja sustentável. A análise deste grupo subdivide-se em aspetos de sustentabilidade económica do serviço, de sustentabilidade infraestrutural do serviço e de produtividade física dos recursos humanos.

Na sustentabilidade económica, para o ID Cobertura dos gastos totais (RU06) a maioria das entidades gestoras apresentam valores superiores a 1,1, indicativo de qualidade do serviço mediana a insatisfatória. Esta situação resulta provavelmente de uma má gestão de recursos, apontando neste campo para a possibilidade de propostas de ações de melhoria quer em consumos de combustível (por exemplo com a redefinição de rotas), quer gastos operacionais e com recursos humanos. A redefinição de taxas ao consumidor na atual conjuntura não parece uma solução favorável.

No ID Reciclagem de resíduos de embalagem (RU07), indicativo da percentagem de resíduos recolhidos (embalagens) no âmbito de intervenção da entidade gestora e retomados para a reciclagem, a maioria das entidades gestoras analisadas apresenta um desempenho insatisfatório. A VALNOR, RESIESTRELA e BRAVAL, são exceção tendo em conta que o valor de referência para uma boa qualidade de serviço varia entre $[95; +\infty[$ (Figura III.2).

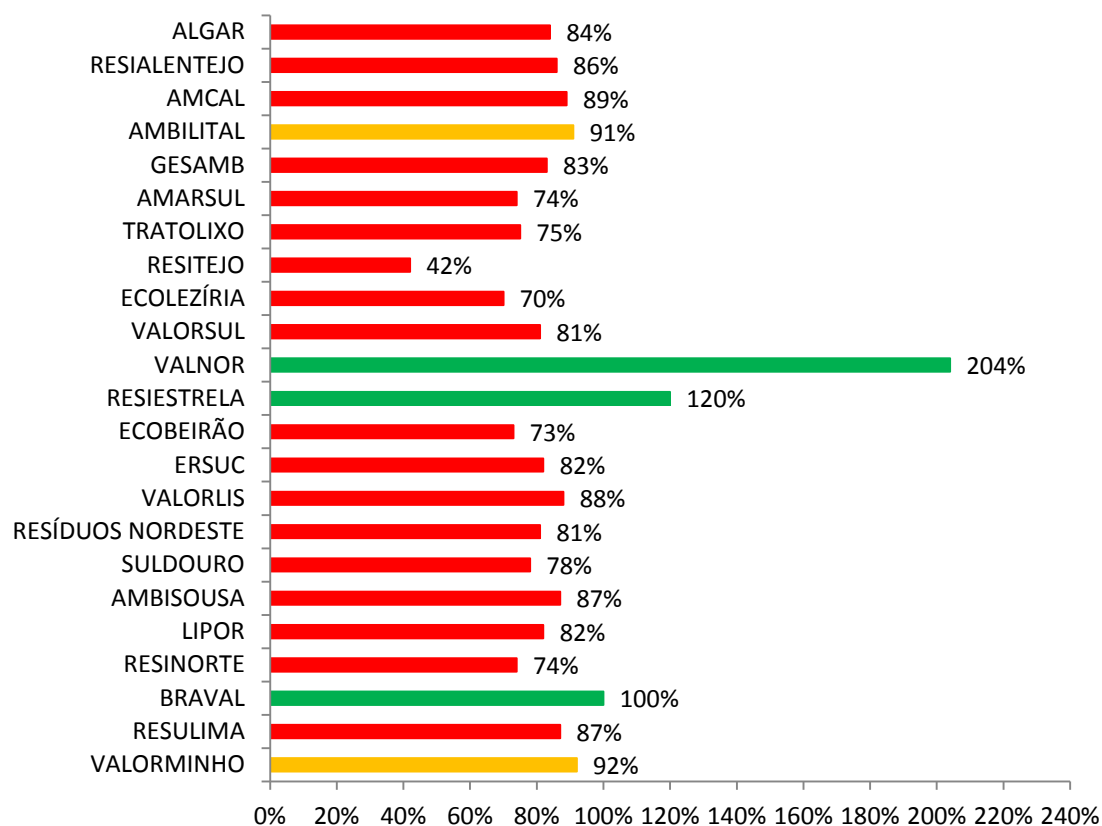


Figura III.2-Resultados do indicador de desempenho Reciclagem de resíduos de embalagem.

Na produtividade física dos recursos humanos, o ID Adequação recursos humanos (RU13) pretende avaliar a equivalência do número de empregados por 1000 toneladas de resíduos urbanos que entram nas infraestruturas da área de intervenção da entidade gestora.

Pela Figura III.3, verifica-se que a maioria das entidades gestoras analisadas tem um serviço adequado ao seu campo de intervenção pois apresentam valores superiores em relação esperado (0,3 a 0,7 n.º/10³t), à exceção da AMCAL, RESITEJO, VALNOR, RESIESTRELA e BRAVAL que apresentam um desempenho insatisfatório.

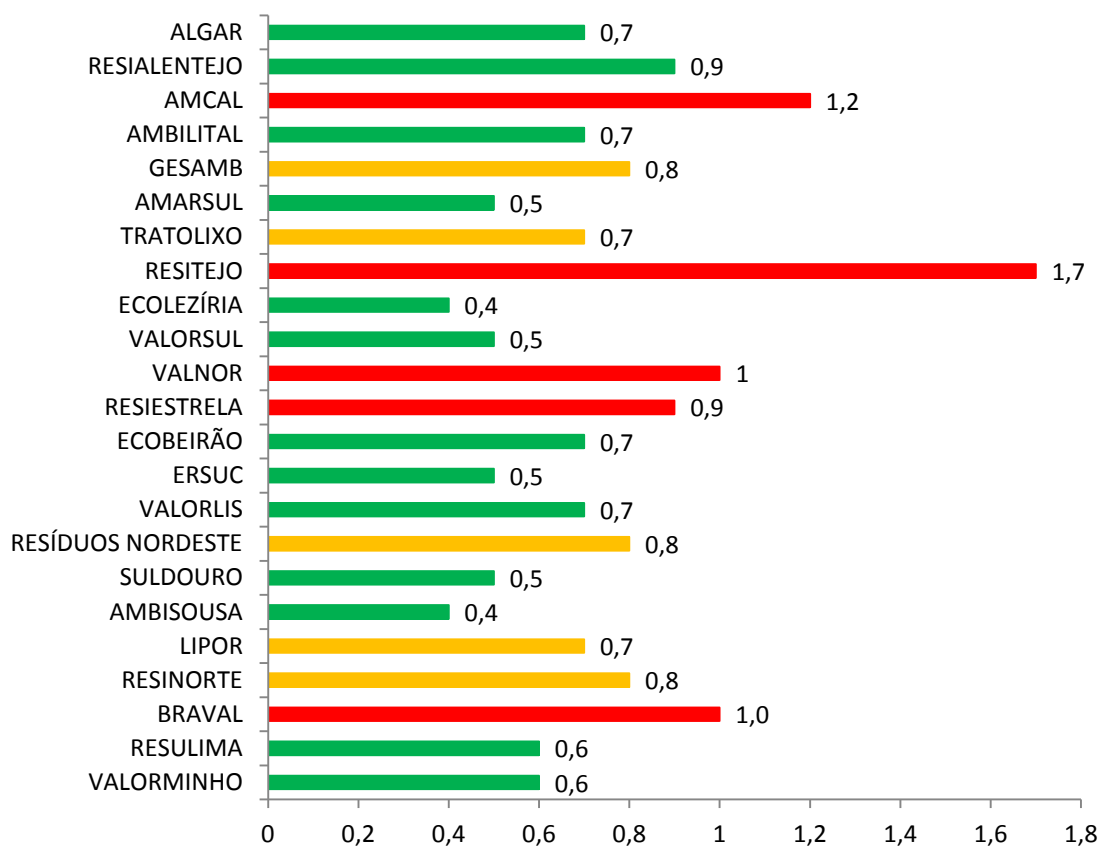


Figura III.3-Resultados do indicador de desempenho Adequação dos recursos humanos.

Sustentabilidade ambiental

A sustentabilidade ambiental analisa os aspetos ambientais que se encontram associados às atividades das entidades gestoras. Deste grupo fazem parte os ID: Utilização dos recursos energéticos (RU14), Qualidade dos lixiviados após tratamento (RU15) e Emissões de gases com efeito de estufa (RU16).

No ID RU15, os valores de referência da ERSAR para uma boa qualidade do serviço são os valores entre [95; 100], para uma qualidade do serviço mediana entre [75;95[e para uma qualidade do serviço insatisfatória entre [0;75[. Na Figura III.4 está representado o ID RU15 para cada entidade gestora, pelo que se pode afirmar que a maioria das entidades apresentam um desempenho entre o bom e o mediano. A AMARSUL, a VALORSUL e a RESIESTRELA apresentam desempenhos insatisfatórios o que vem alertar para a conformidade com a legislação aplicável às descargas dos lixiviados tratados. Para as entidades gestoras RESIALENTEJO, AMCAL, AMBILITAL, VALORLIS, SULDOURO e AMBISOUSA o ID em estudo não é aplicável.

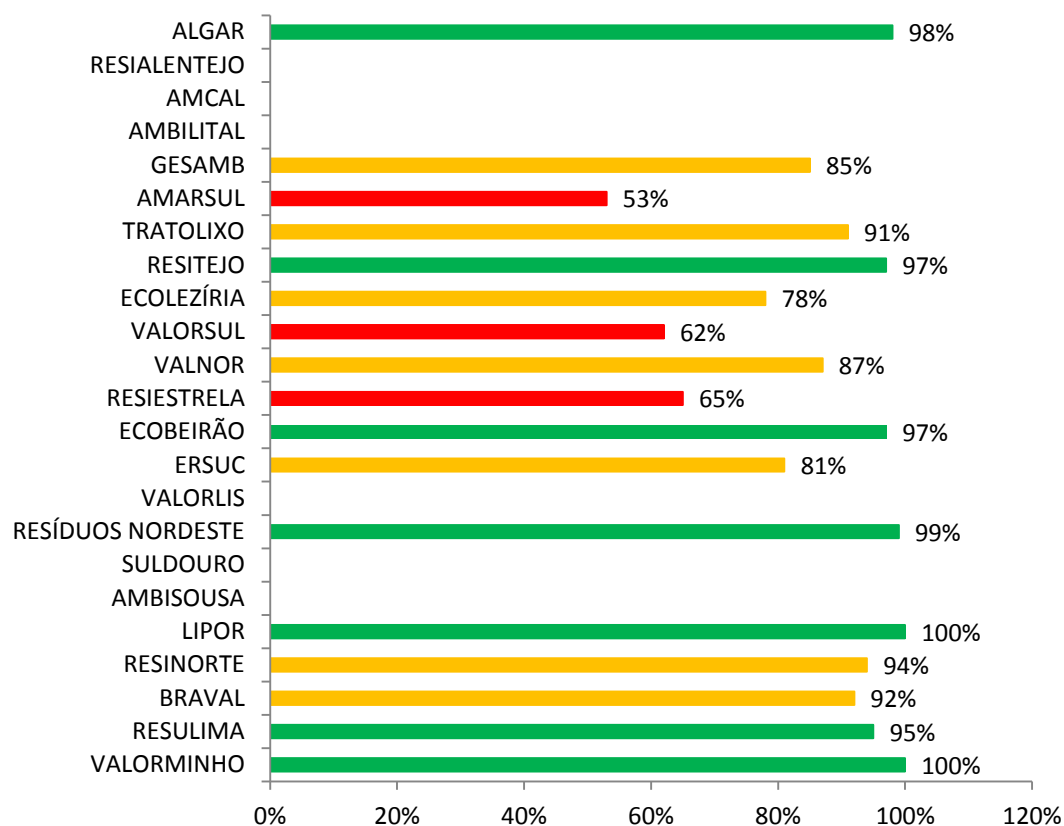

















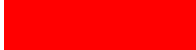


Figura III.4-Resultados do indicador de desempenho Qualidade dos lixiviados após tratamento.


III.4.3. Evolução do desempenho da RESINORTE- Valorização e tratamento de resíduos sólidos, S. A.

A análise comparativa dos ID da RESINORTE S. A. foi efetuada apenas para os anos de 2010 e 2011, uma vez que a entidade apenas foi constituída a meio do ano 2009. Esta comparação é relativa às quatro unidades de produção (Unidade de Produção de Celorico de Basto, Unidade de Produção de Boticas, Unidade de Produção de Riba de Ave e Unidade de Produção de Lamego) que a RESINORTE S.A. gere dado que esta análise assenta nos dados apresentados pela ERSAR e pretende-se avaliar a entidade no seu todo. O ano de 2012 não foi incluído nesta análise porque os ID ainda não foram disponibilizados pela entidade reguladora.

Durante o ano 2010 e 2011, os ID foram revistos. Assim, neste estudo apenas se analisam os ID que são semelhantes no período em estudo, e que se apresentam na Tabela III.7.

Tabela III.7-Resultados dos Indicadores de desempenho para os anos 2010 e 2011 para a entidade gestora RESINORTE S.A..

Indicador de Desempenho	2010	2011
RU01- Acessibilidade física do serviço (%) VR [95;100]	 100	 100
RU 02- Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (%) VR [70;100]	 NR	 NR
RU05- Resposta a reclamações e sugestões (%) VR 100	 100	 100
RU07- Reciclagem de resíduos de embalagem (%) VR [\geq 95]	 8,6	 74
RU08- Valorização orgânica (%) VR [95;100]	 21	 65
RU10- Utilização da capacidade de encaixe de aterro (%/ano) VR [0;100]	 110	 97
RU13- Adequação dos recursos humanos (n.º/10 ³ t) VR [0,3;0,7]	 0,84	 0,8
RU14- Utilização de recursos humanos (kWh/t) VR [\leq 6]	 13,9	 13
RU15- Qualidade dos lixiviados após tratamento (%) VR [95;100]	 94	 94

RU-Resíduo urbano;  Alerta; X- NR- não respondeu;

Durante o período em análise, a RESINORTE S. A. manteve um bom desempenho nos ID Acessibilidade física do serviço (RU01) e nas Respostas a reclamações e sugestões (RU05). Quanto à Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (RU02), em 2010, tinha tido um alerta da entidade gestora no sentido da criação de condições para proceder à recolha da informação necessária para proceder a este cálculo. No entanto, em 2011, não foram disponibilizados dados de acordo com as especificações definidas, não se podendo inferir sobre a evolução deste ID.

Em 2010, a Reciclagem de resíduos de embalagens (RU07) obteve uma avaliação mediana, mas no ano seguinte o desempenho foi insatisfatório. É de referir que este indicador sofreu um ajuste nos valores de referência, em 2010, o valor de referência para uma boa qualidade do serviço era superior ou igual a 8,0% e para 2011 o valor era maior ou igual a 95%. Na Valorização orgânica (RU08), a taxa de desempenho também baixou, entre 2010 e 2011, passando de um bom desempenho para um desempenho insatisfatório. Quanto à Utilização da capacidade de encaixe do aterro (RU10), no ano de 2010, a entidade gestora tinha recebido um alerta pelo facto de não se ter apurado o valor referente a um dos aterros que a entidade gestora tem sob alçada. Contudo, no ano de 2011, este ID obteve uma avaliação positiva,

concluindo-se que foram atendidas as sugestões da ERSAR. A Adequação dos recursos humanos (RU13) melhorou o seu desempenho, durante o período de análise, passando de um desempenho insatisfatório para um desempenho mediano.

Na Utilização dos recursos energéticos (RU14), no ano de 2010, a RESINORTE S.A. tinha recebido um alerta associado ao facto dos dados relativos ao consumo de energia de um dos aterros não terem sido apresentados. Em 2011, este ID foi avaliado como insatisfatório, apontando para a necessidade de maior racionalização de consumo de combustíveis e outros recursos energéticos e otimização de produção da energia produzida e injeção na rede. Por fim, relativamente à Qualidade dos lixiviados após tratamento (RU15) manteve uma qualidade do serviço mediana para o período em análise. Contudo, durante o ano de 2012 os dados apontam para a conformidade com os valores de referência, visto que as análises realizadas aos lixiviados tratados foram efetuadas em todos os meses, à exceção do mês de abril devido a uma avaria no processo da osmose inversa, e a maioria das análises indicam que os parâmetros estão conformes com a legislação

III.5. Conclusão

A regulação através da avaliação ID dos sistemas de gestão de resíduos possibilita um conhecimento atualizado e rigoroso do estado dos serviços, facultando uma consciencialização daquilo que está a funcionar de modo satisfatório e do que ainda é possível melhorar.

Neste domínio, a ERSAR tem realizado uma comparação periódica (benchmarking) de um conjunto de 16 ID e procedido à sua divulgação pública (regulação sunshine). Este modelo regulatório tem-se revelado uma ferramenta eficaz, melhorando globalmente a eficiência e a eficácia de todo o setor dos resíduos. Os ID são um bom instrumento de avaliação quer seja para uma entidade reguladora, como para a própria entidade gestora.

O aprofundamento da redefinição dos indicadores internos da RESINORTE S.A. -Unidade de Produção de Lamego apresentados neste trabalho, leva à necessidade da criação de procedimentos escritos e ferramentas informáticas de cálculo desses indicadores, e também a consequente formação dos colaboradores.

O estudo efetuado possibilitou aferir que a análise e a comparação dos ID utilizados pela RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego com outras entidades gestoras podem trazer benefícios evidentes para a gestão do serviço. Outro dos objetivos deste estudo passa por analisar e comparar os ID da ERSAR para os 23 sistemas de gestão dos RSU. Globalmente, da análise feita constataram-se bons níveis de qualidade do serviço.

Por último, analisou-se ao pormenor os ID da ERSAR para a RESINORTE S. A. verificando-se que alguns ID receberam alertas, no ano de 2010 e não foram ultrapassados no ano seguinte, obtendo novamente um desempenho insatisfatório.

III.6. Referências

Decreto-Lei n.º 379/93 de 5 de novembro (1993). *Permite o acesso de capitais privados às atividades económicas de captação, tratamento e rejeição de efluentes e recolha e tratamento de resíduos sólidos*. Diário da República I-A Série. Nº259 (93-11-05), 6214-6218.

ERSAR (2011). *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores – 2ª geração do sistema da avaliação versão 3.0*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ERSAR (2013). *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal 2012*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

Sequeiros, B. A. H. L. (2012). *Aplicação de indicadores de desempenho nos serviços de resíduos urbanos* (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa.

Simões, P., Pires, J. S., Marques, R. C. (2013). Regulação de serviço de resíduos sólidos em Portugal. *Eng Sanit Ambient*, vol.18, 149-157.

Simões, Pedro T. F. (2007). *Eficiência dos serviços de resíduos sólidos em Portugal*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa.

Vieira, J. M. P., Baptista, J. M. (2008). Indicadores de desempenho para melhoria dos serviços de saneamento básico. *Engenharia Civil-UM*, 33, 87-112.

IV. Avaliação do efeito da recirculação de lixiviados num aterro sanitário

IV.1. Resumo

O aterro sanitário de Bigorne serviu de base para fornecer uma perspectiva da prática de recirculação de lixiviados e de questões técnicas que o diferenciam de aterros convencionais. Para atingir este propósito efetuou-se a análise de diversos parâmetros físicos e químicos durante o período de exploração do aterro. A análise dos dados mostrou que a produção de lixiviados diminui com o início da recirculação de lixiviados, a condutividade diminui após um aumento gradual, tal como os valores de CBO₅ e de CQO. Por sua vez, a concentração de azoto amoniacal tende a permanecer elevada e o pH aumenta para valores próximo da neutralidade. As concentrações dos elementos minerais tiveram um perfil variável. O chumbo e manganês tendem a diminuir, enquanto as concentrações dos elementos crómio, sódio e potássio propendem a aumentar. Quanto, aos restantes elementos minerais (zinco, cobre, ferro, níquel, magnésio e cálcio), verifica-se que as suas concentrações tendem a se manter constantes. A maioria das correlações efetuadas entre a idade do aterro, o caudal recirculado e os elementos minerais evidenciou o efeito da idade do aterro na concentração de alguns desses elementos no interior do aterro. O presente estudo indicou que será necessário a recolha de dados por um longo período de tempo para permitir tirar conclusões definitivas acerca dos efeitos da recirculação de lixiviados.

IV.2. Introdução

O aterro sanitário é o método mais utilizado para a deposição controlada de resíduos, minimizando os riscos para a segurança e saúde pública. Esta técnica aplica princípios de engenharia para confinar os resíduos numa menor área possível, reduzindo o seu volume (Levy e santana, 2004).

Mesmo sendo considerado um método seguro de tratamento de resíduos, deste resultam a produção de biogás e de lixiviados. Estes efluentes necessitam de ser drenados, coletados e tratados adequadamente, para evitar que sejam lançados no meio ambiente provocando impactes ambientais significativos.

Nas últimas décadas, ocorreram mudanças consideráveis no projeto e operação dos aterros sanitários, surgindo novas alternativas no tratamento dos lixiviados, tais como a recirculação de

lixiviados. O conceito de operação de um aterro como um biorreator, conceito associado à recirculação de lixiviados surgiu pela primeira vez na década de 1970, mas só nos últimos anos é que tem recebido uma atenção crescente (Pacey et al., 1999). Esta técnica consiste, essencialmente, na introdução de lixiviados no aterro sanitário após um pré-tratamento. Dentro destes tratamentos salienta-se a osmose inversa, que consiste na separação, por ação de elevadas pressões, da água de uma mistura que passa por uma membrana, retendo de um lado o concentrado e do outro o permeado tratado.

A recirculação de lixiviados num aterro sanitário possibilita otimizar o processo de biodegradação de forma a estabilizar os resíduos e aumentar a produção de biogás (Manzur, 2010). Segundo a U. S. Environmental Protection Agency, um aterro biorreator ou a recirculação de lixiviados transforma e degrada rapidamente os resíduos orgânicos, sendo a estabilização conseguida pela injeção de líquido e/ou ar para melhorar os processos microbianos. Este princípio faz com que estes aterros se afastem do conceito de um aterro convencional onde se pretende, minimizar a humidade no aterro. Os biorreatores ou aterros com recirculação habitualmente precisam de outros líquidos, como as águas pluviais, águas residuais e lamas de ETAR para complementar os lixiviados no processo de biodegradação dos resíduos (EPA, 2006; Manzur, 2010).

Neste estudo, objetivou-se avaliar as principais características do lixiviado do aterro sanitário de Bigorne, de forma a analisar os efeitos da recirculação do lixiviado no aterro ao longo do período de exploração.

IV.3. Dados de base e metodologia

O aterro sanitário de Bigorne (M-21797; P-148692) destina-se à deposição de resíduos urbanos não perigosos. Este entrou em exploração em dezembro de 2001, possuindo uma área afeta à deposição de resíduos de 40000 m² e com uma capacidade de encaixe de 548000 m³. Está localizado no concelho de Lamego, mais propriamente na freguesia de Bigorne.

O aterro admite para deposição, os resíduos que constam na sua licença de exploração, sendo os resíduos urbanos na aceção da alínea v) do Artigo 4º do Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, e o refugo proveniente de operação de triagem das embalagens recolhidas seletivamente, caso não exista uma alternativa de valorização.

A RESINORTE S.A. -Unidade de Produção de Lamego, de acordo com a licença ambiental encontra-se obrigada a efetuar, durante a fase de exploração, a monitorização diária dos

parâmetros meteorológicos, tendo a estação meteorológica entrado em funcionamento no ano 2003.

Os lixiviados produzidos no aterro sanitário são encaminhadas para a estação de tratamento de águas lixivantes (ETAL) e tratados por osmose inversa. O permeado corresponde ao produto final, preparado para ser lançado na linha de água, a ribeira de Poldras pertencente à Bacia Hidrográfica do Douro. O concentrado é devolvido à massa de resíduos do aterro, constituindo o recirculado.

A monitorização do lixiviado realiza-se por intermédio de análises periódicas e a recolha das amostras efetua-se à entrada da lagoa de regularização (Figura IV.1). Na Tabela IV.1 são apresentados os parâmetros que são analisados mensalmente, trimestralmente e semestralmente aos lixiviados, respeitando a Licença de Exploração concedida à entidade gestora, em concordância com o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto.

Tabela IV.1- Parâmetros e frequência de monitorização dos lixiviados gerados no aterro sanitário de Bigorne.

Frequência			
Mensal	Trimestral	Semestral	
Volume	Cianetos Totais	Carbono Orgânico Total	Manganês
pH	Arsénio Total	Fluoretos	Zinco
Condutividade	Cádmio Total	Nitratos	Antimónio
CQO	Crómio Total	Nitritos	Níquel Total
Cloretos	Crómio VI	Sulfatos	Selénio
Azoto Amoniacal	Mercúrio Total	Sulfuretos	Cálcio
CBO ₅	Chumbo Total	Alumínio	Magnésio
SST	Potássio	Bário	Sódio
Temperatura	Fenóis	Cobre	Hidrocarbonetos Totais
	Carbonatos/ Bicarbonatos	Ferro Total	Compostos Orgânicos Halogenados absorvíveis

No presente estudo, a informação de base relativa às análises dos lixiviados foi obtida dos Relatórios Ambientais Anuais (RAA) que a RESINORTE S. A.- Unidade de Produção de Lamego elabora correspondentes aos anos 2002 até 2012. Contudo, é de referir que entre os anos 2006 e 2011 o parâmetro CBO_5 não foi quantificado. A análise foi efetuada considerando que a taxa de recirculação varia entre os 30% e os 40% do caudal de lixiviado. No entanto, verificou-se que em determinados anos essa taxa era superior devido a avarias no sistema de tratamento das águas lixiviantes.

Os dados do lixiviado foram tratados e analisados estatisticamente com recurso ao *software* estatístico SPSS 20,0 (*Statistical Package for Social Sciences*), para testar a significância estatística do coeficiente de correlação linear de *Pearson*. Este coeficiente quantifica (através de uma medida que varia de -1 a +1) a intensidade da associação linear existente entre variáveis.

IV. Avaliação do efeito da recirculação de lixiviados num aterro sanitário

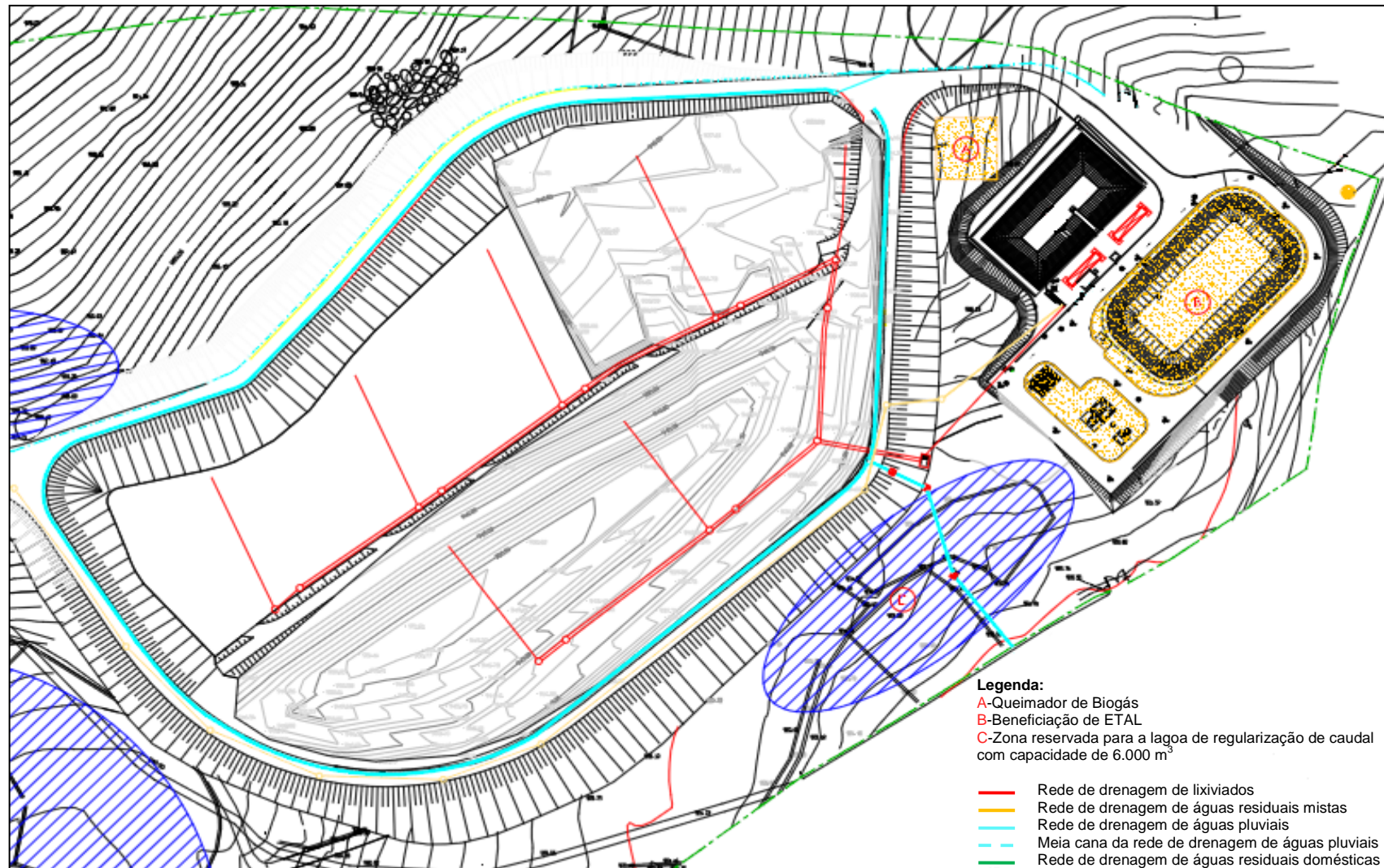


Figura IV.1-Aterro Sanitário de Bigorne- Área de deposição de resíduos sólidos urbanos e a estação de tratamento de águas lixivantes.

IV.4. Resultados e Discussão

IV.4.1. Monitorização das águas residuais tratadas

A RESINORTE S.A.- Unidade de Produção de Lamego deve garantir as condições de descarga do efluente final, em concordância com os valores limites de emissão (VLE) dispostos no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, e respeitar a licença de utilização dos recursos hídricos para descarga de águas residuais.

Os resultados analíticos das amostragens efetuadas ao permeado, do ano 2002 até 2012, estão patentes na Tabela IV.2. Os parâmetros que ultrapassaram os VLE estão apresentados a negrito.

Tendo em consideração os VLE que foram estabelecidos na licença de utilização dos recursos hídricos para descarga de águas residuais, conclui-se que, em geral, a ETAL permitiu cumprir os requisitos impostos. Constatou-se que a maioria dos parâmetros apresentou valores inferiores aos respetivos VLE ou abaixo dos limites de quantificação dos respetivos métodos.

Nos anos 2002 e 2003, o registo do CBO_5 revelou-se superior ao VLE. O azoto amoniacal também ultrapassou o VLE nos anos 2003, 2006, 2007, 2009, 2010 e 2012, assim como o azoto total para os anos 2003, 2006, 2007 e 2012. No período em análise, à exceção do ano 2002, os sulfuretos também verificaram registos superiores ao VLE. Dum modo geral, os anos de 2003, 2007 e 2012 foram os mais críticos em termos de cumprimento dos VLE, coincidente com os períodos de reduzida pluviosidade.

IV. Avaliação do efeito da recirculação de lixiviados num aterro sanitário

Tabela IV.2-Resultados analíticos das amostragens efetuadas ao permeado, no ano 2002 até 2012.

Frequência	Parâmetros	VLE	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Mensal	pH (Escala de Sorensen)	6-9	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	
	CBO ₅ (mg/L O ₂)	40	45	44	33	7	16	5	6	9	10	8	14	
	CQO (mg/L O ₂)	150	95	91	127	67	88	53	51	66	72	65	82	
	SST (mg/L)	60	5	<5	<3	5	<3	17	<3	<3	<3,0	6	69	
	Azoto Amoniacal (mg/L NH ₄)	10	9	11	NA	8	17	14	NA	17	18	9	20	
	Azoto Total (mg/L N)	15	13	16	3	15	18	18	9	10	9	9	17	
	Cloretos		305	NA	NA	NA	NA	NA	8	3	3	1	245	
	Cor	Não visível na diluição	NA	NA	<5	<5,0	<5,0	<5	<5,0	11	NA	11	NA	
	Fósforo Total (mg/L P)	10	<1	2	<2	<2,0	<0,2	<2,0	<2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	1
	Nitratos (mg/L NO ₃)	50	<0,5	<1,0	NA	NA	NA	2	NA	<1,0	<1,0	<5,0	<10	
	Óleos e Gorduras (mg/L)	15	<6	6	13	10	4	5	7	10	NA	3	11	
	Óleos minerais (mg/L)	15	NA	NA	3	2	<2	<2	5	4	NA	<2,0	<8	
	Arsénio Total (mg/L As)	1	<2,5	<0,01	<0,003	<0,003	<0,01	<0,003	<0,003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
	Cianetos Totais (mg/L CN)	0,5	<0,01	35	<0,4	0,1	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,015	<0,05	
	Crómio Total (mg/L Cr)	2	<0,03	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,50	<0,5	<0,1	
	Fénois (mg/L)	0,5	1	0	0	<0,05	0	<0,05	<0,05	1	<0,05	0	<0,01	
	Níquel Total (mg/L Ni)	2	<0,12	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<2	<0,2	<0,2	<0,20	<0,20	<0,5	
	COT		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	742	2	
	AOX		NA	NA	NA	NA	NA	NA	<0,2	<0,2	<0,2	<0,04	0	
	Fluoretos		<0,1	NA	NA	NA	NA	NA	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	
Zinco		NA	NA	NA	NA	NA	NA	<0,1	<0,1	NA	<0,1	<0,1		
Semestral	Alumínio (mg/L Al)	10	NA	<5	3	0	<1,0	<1,0	<1,0	0	3	0	<5	
	Cádmio Total (mg/L Cd)	0,2	<0,024	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,10	
	Chumbo Total (mg/L Pb)	1	0,2	<1,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<1,0	

NA-Parâmetro não analisado; VLE-Valor limite de emissão.

IV. Avaliação do efeito da recirculação de lixiviados num aterro sanitário

Tabela IV.2 (cont.)- Resultados analíticos das amostragens efetuadas ao permeado, no ano 2002 até 2012.

Frequência	Parâmetros	VLE	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Semestral	Cloro Residual Livre (mg/L)	0,5	0,01	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	NA	<0,05	<0,2	
	Cobre Total (mg/L Cu)	1	<0,12	NA	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,3	
	Crômio Hexavalente (mg/L Cr)	0,1	NA	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02	
	Ferro Total (mg/L Fe)	2	NA	1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,3	<0,5	
	Manganês Total (mg/L Mn)	2	0	<0,5	<0,2	<2,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	
	Mercurio Total (mg/L Hg)	0,05	NA	<0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,005	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,001
	Sulfatos (mg/L SO ₃)	2000	NA	7	4	<1,0	4	2	12	3	8	2	71	
	Sulfuretos (mg/L S)	1	0,25	11	18	3	10	3	5	8	6	4	13	

NA-Parâmetro não analisado; VLE-Valor limite de emissão.

IV.4.2. Variação de volume de lixiviados produzidos

No aterro sanitário de Bigorne efetua-se regularmente o registo do volume de lixiviado produzido e recirculado (Figura IV.2).

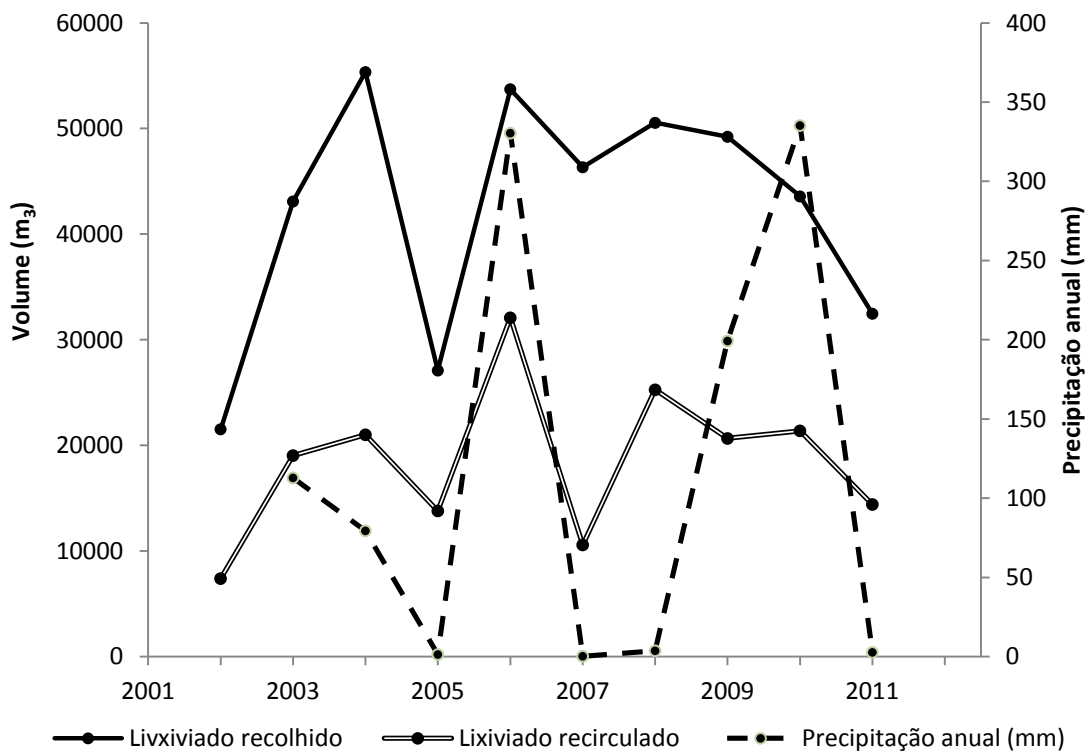


Figura IV.2- Volume de lixiviado recolhido e recirculado do aterro sanitário de Bigorne e a precipitação anual, entre 2002 e 2011.

Constata-se que desde o início em que ocorreu a recirculação a geração de lixiviados diminuiu, salvaguardando o período inicial de exploração. Esta tendência confirma a observação de Benson et al. (2006), os quais verificaram que após o início da recirculação da fração concentrada nos aterros sanitários a quantidade de lixiviado produzido diminuiu. No mesmo âmbito, os autores Bilgili et al. (2006) demonstraram que a quantidade de lixiviados produzidos à escala laboratorial diminuem em reatores com recirculação quando comparados com reatores sem recirculação. A maioria das investigações recentes associados à prática da recirculação de lixiviados alvitram que a redução do respetivo volume poderá ser devida à tendência dos resíduos para reterem a humidade que seria consumida no processo de decomposição (Shearer et al., 2001; Benson et al., 2006; Bilgili et al., 2006; Fayad et al., 2007), bem como ao aumento da evaporação. O aumento dos efeitos evaporativos pode dever-se a temperatura mais elevada que os resíduos se possam encontrar no interior do aterro. O

aumento da produção de biogás consequente da recirculação pode reter os lixiviados nos poros que de outra forma estariam saturados, contribuindo igualmente para diminuir a quantidade de lixiviado que é drenado para fora do aterro. O fluxo de líquido através de uma massa de resíduos que contém uma mistura de biogás e lixiviado, resulta na deslocação do gás para fora desse espaço que fica a ser ocupado pelo líquido (Powrie et al., 2000; Chiemchaisri et al., 2004). Assim, quanto mais elevada é a taxa de recirculação, maior é a deslocação do gás dos poros (Powrie et al., 2000).

Contudo, as variações sazonais e anuais de precipitação podem afetar significativamente a produção de lixiviados, podendo dissimular qualquer variação na sua geração devido à recirculação (Benson et al., 2006). Nos anos 2004 e 2006 (Figura IV.2) ocorreu visivelmente um aumento da produção de lixiviados, mas a causa deste aumento pode dever-se à taxa recirculação e/ou à precipitação adicional.

IV.4.3. Características químicas do lixiviado

A avaliação do efeito de recirculação do lixiviado em aterro é efetuada de seguida, analisando-se cada parâmetro separadamente ao longo do período de funcionamento do aterro. Como referido anteriormente, existem parâmetros medidos mensalmente, outros trimestralmente e ainda outros com quantificação semestral. A análise corresponde ao valor médio de cada parâmetro ao longo do respetivo ano, com as barras de erro identificando a respetiva dispersão nas diferentes amostras relativas a cada ano.

A análise efetuada aos diferentes parâmetros deverá ter em consideração os seguintes pontos:

- A amostragem e respetivas análises foram realizadas por diferentes laboratórios externos;
- As características do lixiviado estão diretamente relacionadas com os fatores ambientais, nomeadamente a pluviosidade;
- Como se trata de um aterro de resíduos urbanos e equiparados, podem ter sido depositados resíduos com características específicas.

IV.4.3.1. pH

A Figura IV.3 ilustra a evolução do pH do lixiviado no aterro sanitário de Bigorne. Constata-se que durante o período em análise verificou-se um aumento do pH. No início da recirculação, o valor de pH variou entre 6,5 e 7, sendo que em 2003 este aumentou para valores entre 7,5 e

8,5. Os autores Morris et al. (2003) e Benson et al. (2006) confirmam estas tendências, verificando que o pH aumenta para valores próximos do neutro ou superiores. Estes valores de pH típicos da recirculação de lixiviados ocorrem devido à estimulação das bactérias hidrolíticas e fermentativas presentes na massa de resíduos, resultando numa acumulação de ácidos carboxílicos.

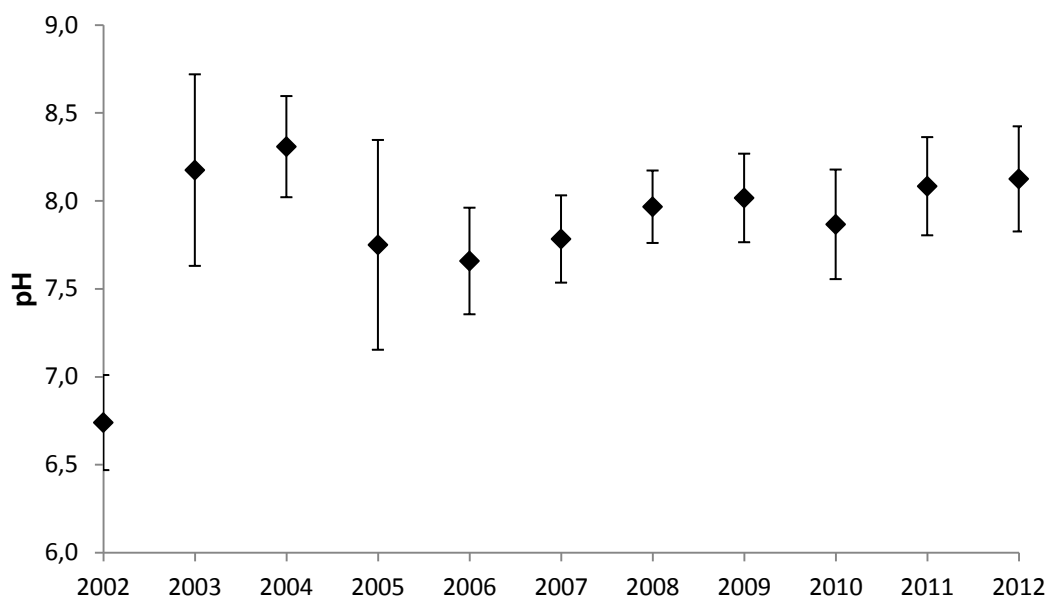


Figura IV.3- Variação de pH no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

Algumas investigações à escala laboratorial confirmam igualmente que a tendência do pH é de aumentar com a recirculação, descrevendo valores semelhantes aos apresentados na Figura IV.3 (Bilgili et al., 2006; Fayad et al., 2007; Jun et al., 2007).

Os autores Shearer et al. (2001) verificaram que o pH aumenta ao longo do tempo para aterros com e sem recirculação de lixiviados. No entanto, nos aterros com recirculação, o pH foi sempre superior ao dos aterros sem recirculação de lixiviados, devendo-se ao aumento da degradação dos ácidos orgânicos.

IV.4.3.2 Condutividade

No início do funcionamento da recirculação (Figura IV.4), a condutividade apresentou valores próximos dos 15 mS/cm, aumentando até 2006 para valores próximos de 55 mS/cm. Após

2009 verificou-se uma tendência decrescente rondando o valor de 30mS/cm em 2012. Os autores Morris et al. (2003) e Jun et al. (2007) num estudo similar também verificam uma diminuição da condutividade após um aumento gradual. A justificação para este comportamento, prende-se principalmente com a lixiviação de alguns iões como os metais e sulfatos, entre outros fatores como a conversão de sulfatos e a precipitação a valores mais elevados de pH.

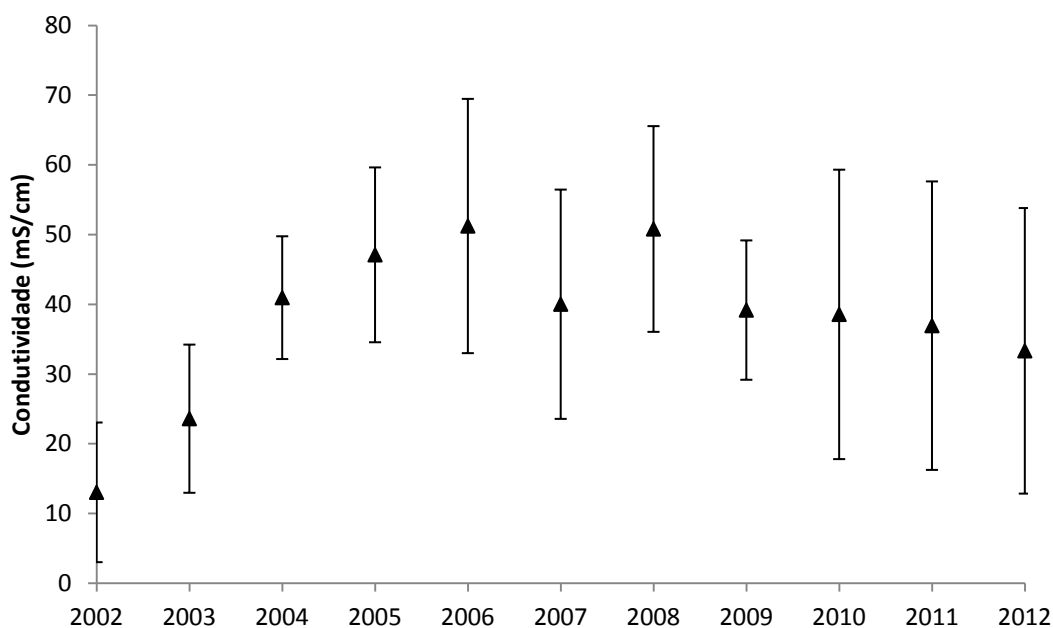


Figura IV.4- Variação da condutividade no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

Os valores de condutividade característicos dos aterros com a recirculação de lixiviados são superiores aos valores encontrados para aterros convencionais, os quais variam ao longo do tempo entre 2,5 e 35 mS/cm (Kjeldsen et al., 2002). Esta situação decorre provavelmente do efeito de concentração dos iões em aterro.

IV.4.3.3. CBO₅ e CQO

A variação do CBO₅ e CQO ao longo do tempo encontra-se representada na Figura IV.5. Pode-se observar que no início da recirculação as concentrações de CQO e o CBO₅ são elevadas. De acordo com Matos (2008), os valores de CQO e o CBO₅ aumentam com o início de recirculação de lixiviados, consequência do crescimento exponencial de biomassa. Este crescimento deve-se à intensa atividade biológica na fase inicial da biodegradação, sendo

caracterizada pela diminuição de compostos orgânicos na matriz sólida seguida de um decréscimo no lixiviado.

Posteriormente, o nível de CQO mantém-se constante ou diminui logo depois da biodegradação aeróbia (fase de transição), tal como se pode observar nos anos seguintes a 2003, à exceção do ano de 2009. No final, existe uma diminuição intensa do CQO e a biomassa estabiliza ou morre (Matos, 2008).

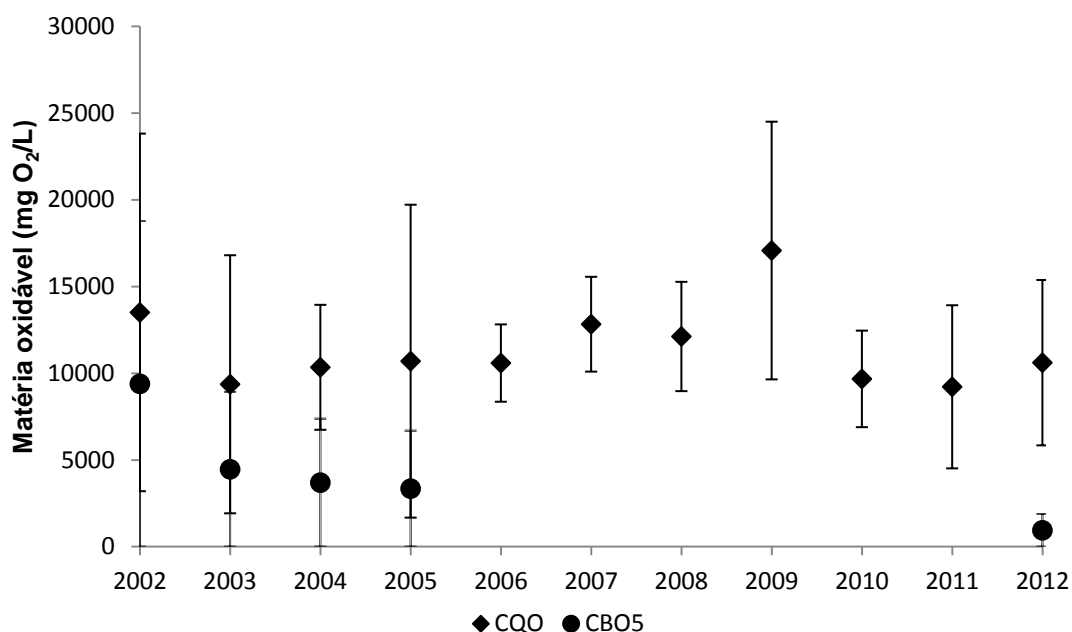


Figura IV.5-Variação da concentração de CBO₅ e CQO no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

Em aterros convencionais, o CQO apresenta valores entre os 22000mg/L e 3000 mg/L, respetivamente, para a fase acidogénica e para a fase metanogénica. Enquanto, o CBO₅ para a fase acidogénica apresenta valores na ordem dos 13000 mg/L e para a fase metanogénica valores que rondam os 180 mg/L (Kjeldsen et al., 2002). Neste aterro com recirculação de lixiviado esta tendência não é tão clara, verificando-se a diminuição do CBO₅ (de 9388 mg/L em 2002 a 943 mg/L em 2012) mas relativamente ao CQO (13505 mg/L em 2002 a 10608 mg/L em 2012) a diminuição não é tão significativa. Esta situação pode decorrer da concentração da matéria orgânica refratária no interior do aterro com recirculação.

A relação CBO₅/CQO é indicativa da fração dos produtos orgânicos que são degradáveis, e varia entre 0,58 para a fase acidogénica e 0,06 para a fase metanogénica nos aterros convencionais, mantendo-se nesse intervalo no início da recirculação (Kjeldsen et al., 2002).

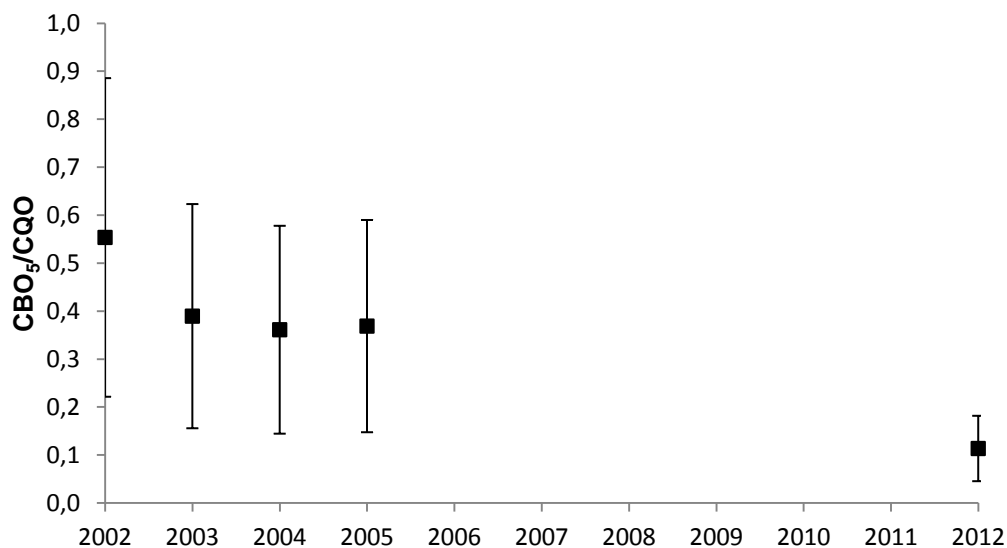


Figura IV.6- Variação da relação CBO₅/CQO no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

No aterro sanitário de Bigorne, no início da recirculação, a relação CBO₅/CQO (Figura IV.6) fixava um valor próximo dos 0,6, concordante com o valor dum aterro jovem, cerca de 0,7 (Morris et al., 2003). Nos anos seguintes ocorreu uma diminuição gradual. Em 2012, a relação CBO₅/CQO atingiu um valor de quase 0,1, sendo característico de um lixiviado bem decomposto e indicativo do início da fase metanogénica. Os valores obtidos para esta relação vão de encontro aos valores descritos na literatura para a mesma idade do aterro (Benson et al., 2006; Morris et al., 2003).

IV.4.3.4. Azoto Amoniacal

O azoto presente na maioria dos aterros sanitários encontra-se sob a forma de amónia, que é produzida pela degradação das proteínas e aminoácidos. Este composto é considerado por vários investigadores como o componente mais significativo, a longo prazo, dos lixiviados (Bilgili et al., 2006).

A recirculação dos lixiviados pode contribuir ligeiramente para o aumento da concentração do azoto amoniacal, como é observado na Figura IV.7.

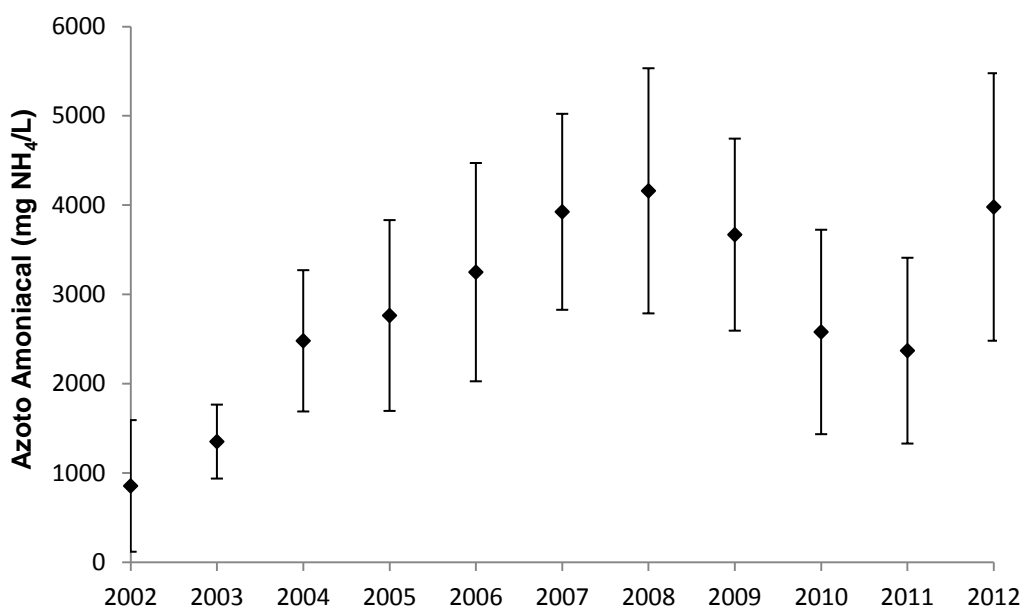


Figura IV.7- Variação da concentração do azoto amoniacal no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

A evolução deste parâmetro demonstra um crescimento contínuo até ao ano de 2008, tendo-se atingido o valor máximo de 4160 mg/L. Posteriormente, nos anos de 2010 e 2011 verificou-se um decréscimo, tendo ocorrido, no ano seguinte novamente uma aumento para valores perto dos 4000 mg/L. O aumento da concentração do azoto amoniacal pode dever-se à estimulação da atividade biológica que se constata com o início da recirculação (Bilgili et al., 2006; Benson et al., 2006; Jun et al., 2007).

IV.4.3.5. Elementos minerais

No lixiviado em estudo foram estudados onze elementos minerais (chumbo, crómio, potássio, zinco, cobre, ferro, manganês, níquel, cálcio, magnésio e sódio) conforme se pode visualizar nas Figuras IV.8 e IV.9. As concentrações de sódio, potássio, cálcio e magnésio foram as mais elevadas dos onze elementos minerais, apresentando valores máximos de 14250 mg/L, 5467 mg/L, 507 mg/L, 363 mg/L, respetivamente.

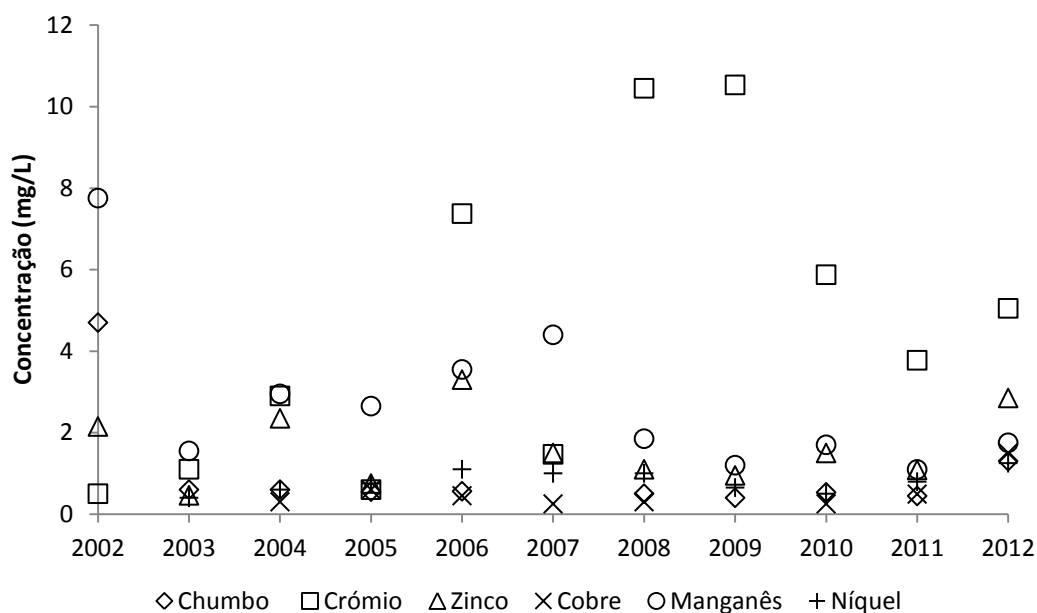


Figura IV.8- Variação da concentração de elementos minerais (chumbo, crómio, zinco, cobre e manganês) no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

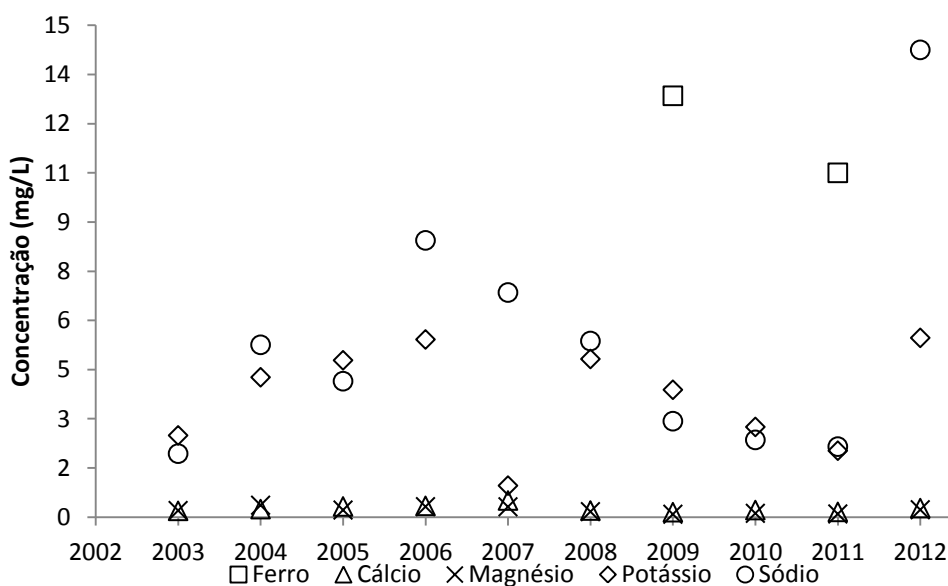


Figura IV.9- Variação da concentração de elementos minerais (potássio, ferro, cálcio, magnésio e sódio) no aterro sanitário de Bigorne, entre 2002 e 2012.

No aterro sanitário de Bigorne, as concentrações dos elementos minerais apresentam algumas variações ao longo do período em estudo. As concentrações dos elementos chumbo e

manganês tendem a diminuir, enquanto as concentrações dos elementos crómio, sódio e potássio propendem a aumentar. Relativamente, aos restantes elementos minerais (zinco, cobre, ferro, níquel, magnésio e cálcio), verifica-se que as suas concentrações tendem a se manter constantes.

Os autores Shearer et al. (2001) verificaram que as concentrações de níquel, chumbo e manganês tinham-se mantido constantes ao longo do período da experiência, enquanto as concentrações de cobre e de ferro tinham diminuído. O único elemento mineral em que se verificou um aumento da sua concentração foi o zinco. Os resultados deste estudo são um pouco díspares dos resultados conseguidos no aterro sanitário de Bigorne, sendo o níquel o único elemento que apresenta concentrações semelhantes (entre 1,03 mg/L e 2,78 mg/L).

No entanto, o aumento do pH influencia a remoção de alguns elementos minerais através de processos como a precipitação de carbonatos e hidróxidos. Os precipitados de hidróxidos, na sua maioria, forma-se a pH próximo ou superior ao neutro, o que pode ser estimulado pela recirculação dos lixiviados (Jun et al., 2007). Neste sentido, os aterros que efetuem recirculação de lixiviados apresentam benefícios, visto que atingem mais rapidamente valores elevados de pH que os aterros convencionais (Reinhart, 1995).

IV.4.4. Correlações entre os parâmetros operacionais e físico-químicos do aterro

Com o objetivo de avaliar a relação entre a idade do aterro, o caudal recirculado e a composição química dos lixiviados aplicou-se as correlações de *Pearson* (Tabela IV.3). Como já referido, as correlações quantificam a intensidade da associação linear existente entre variáveis, através de uma medida que varia de -1 a +1. Valores mais próximos da unidade, em valor absoluto, indicam uma relação forte entre os parâmetros em análise, onde o sinal, negativo ou positivo, indicam se essa relação é direta ou indiretamente proporcional, respetivamente.

Pela análise dos resultados, os parâmetros operacionais, idade do aterro e caudal de recirculação, não demonstraram qualquer correlação significativa com os parâmetros químicos, o que poderá ser devido à recirculação do lixiviado que favorece uma constância nas características. Esta situação é corroborada por alguns autores que observaram uma tendência de estabilização do CQO e do CBO₅ (Pessin et al., 1997; Bilgili et al., 2006; Segato e Silva, 2000) em aterros com recirculação.

Os parâmetros que se relacionam são cloretos, a condutividade, azoto amoniacal, CBO₅, CQO, COT e pH. A correlação positiva da condutividade com o azoto amoniacal e cloretos, prende-se provavelmente com o maior teor de iões dissolvidos, nomeadamente Cl⁻ e NH₄⁺.

Relativamente à matéria orgânica, a correlação entre os parâmetros de CQO, CBO₅ e COT é positiva, e concordante com o esperado, tendo em consideração que todos eles medem frações de matéria orgânica diferentes. Por último, o pH apresenta uma correlação negativa com o COT, uma vez que o COT mede toda a matéria orgânica presente, nomeadamente ácidos orgânicos que vão sendo degradados, implicando o aumento do pH.

Tabela IV.3- Coeficientes de correlação de *Pearson* entre a idade do aterro, o caudal recirculado e a composição química dos lixiviados.

	Idade do Aterro	Caudal Recirculado	Azoto Amoniacal	Cloretos	Condutividade	CQO	pH	CBO5	COT
Idade do Aterro	1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Caudal Recirculado		1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Azoto Amoniacal			1	0,645 [*]	0,834 ^{**}	NS	NS	NS	NS
Cloretos				1	0,754 [*]	NS	NS	NS	NS
Condutividade					1	NS	NS	NS	NS
CQO						1	NS	0,960 [*]	0,701 [*]
pH							1	NS	-0,822 ^{**}
CBO5								1	0,980 [*]
COT									1

**Correlação significativa a 90% (p< 0,1)

* Correlação significativa a 95% (p< 0,05)

NS- Não significativo

Na Tabela IV.4 são correlacionados através dos coeficientes de *Pearson* a idade do aterro, o caudal recirculado e os elementos minerais. Pela observação das correlações, constata-se que a idade do aterro correlaciona-se negativamente com o magnésio, o que pode ser uma consequência do aumento do pH com a idade do aterro. As restantes correlações significativas são positivas, salientando-se a correlação do caudal recirculado com o crómio e potássio, evidenciando o efeito da concentração dos elementos minerais no interior do aterro. As restantes correlações positivas encontradas referem-se às correlações dos diferentes elementos minerais.

IV. Avaliação do efeito da recirculação de lixiviados num aterro sanitário

Tabela IV.4- Coeficientes de correlação de *Pearson* da idade do aterro, caudal recirculado e os elementos minerais.

	Idade do Aterro	Caudal Recirculado	Chumbo	Crómio	Potássio	Zinco	Cobre	Ferro	Manganês	Níquel	Cálcio	Magnésio	Sódio
Idade do Aterro	1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0,695 [*]	NS
Caudal Recirculado		1	NS	0,707 [*]	0,711 [*]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Chumbo			1	NS	NS	NS	NS	0,944 ^{**}	0,928 ^{**}	NS	NS	0,772 [*]	NS
Crómio				1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Potássio					1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Zinco						1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,753 [*]
Cobre							1	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Ferro								1	NS	NS	NS	NS	NS
Manganês									1	NS	0,945 ^{**}	0,868 ^{**}	0,853 ^{**}
Níquel										1	NS	NS	0,809 ^{**}
Cálcio											1	0,688 [*]	0,721 [*]
Magnésio												1	0,763 [*]
Sódio													1

**Correlação significativa a 90% (p< 0,1)

* Correlação significativa a 95% (p< 0,05)

NS- Não significativo

Estas correlações podem fornecer um meio útil para estimar a composição do lixiviado, por intermédio da escolha de alguns parâmetros correlacionáveis.

Espera-se que as propriedades do lixiviado variem ao longo do tempo, sendo um aspeto que deverá ser considerado na fase de projeto do aterro, no entanto evidencia-se o efeito de estabilização destas propriedades com a recirculação. Este facto deverá ser traduzido no projeto das estações de tratamento de águas lixiviantes, as quais deverão ser adaptadas para lidar com este comportamento diferente do lixiviado em relação aos aterros convencionais.

IV.5. Conclusão

Neste estudo constata-se que a operação de um aterro com recirculação de lixiviados se apresenta vantajosa na previsão do volume dos lixiviados, indiciando que este diminui com a recirculação. Pelo facto dos valores de pH estarem próximos da neutralidade e a relação CBO_5/CQO ser de cerca de 0,1, prevê-se que o aterro sanitário estaria numa fase metanogénica.

Nas concentrações dos onze elementos minerais analisados verifica-se algumas variações ao longo do período em estudo, havendo elementos em que a suas concentrações tendem a diminuir (chumbo e manganês), a aumentar (crómio, sódio e potássio) e outros que se mantêm constantes (zinco, cobre, ferro, níquel, magnésio e cálcio).

Foi também possível concluir acerca da influência positiva desta operação na qualidade dos lixiviados, mostrando que recirculações frequentes contribui para a redução e homogeneização da concentração da matéria orgânica, facilitando assim o tratamento posterior comparativamente aos normalmente utilizados.

A maioria das correlações efetuadas entre os diferentes parâmetros químicos com a idade do aterro e o caudal recirculado, não são significativas. Indicando que estes fatores não são adequados para avaliar a composição do lixiviado.

Constatou-se que os estudo efetuado é necessário para entender os mecanismos que controlam o comportamento de aterros com recirculação de lixiviados, permitindo o desenvolvimento de ferramentas de gestão adequadas às especificidades deste tipo de aterro.

IV.6. Referências

Benson, C.H., Barlaz, M.A., Lane, D.T., Rawe, J.M. (2006). Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. Waste management journal, Elsevier, 27, 13-29.

Bilgili, M., Demir, A., Özkaya B. (2006). Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, 177-183.

Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Visvanathan, C., Tränkler, J., Kurian, J. (2004). Bioreactor

Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de agosto (2009). *Estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na concepção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, aplica a Decisão n.º 2003/33/CE, de 19 de Dezembro de 2002, e revoga o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.* Diário da República I Série. N.º 153 (09-08-10), 5170-5198.

EPA (2006). Landfill bioreactor performance Second Interim Report Outer Loop Recycling & Disposal Facility Louisville, Kentucky, U. S. EPA/600/R-07/060. U. S. Environmental Protection Agency.

Fayad, W., Sadek, S., El-Fadel, M. Effect of combined air injection and leachate recirculation on biodegradation of MSW. *Clean Development Mechanism*, 1-28. Recuperado em 17 março, 2013 de webfea.fea.aub.edu.lb/faculty/salah/papers/FayadSadekElFadel.pdf

Jun, D., Yongsheng Z., Henry, R., Mei H. (2007). Impacts of aeration and active sludge addition on leachate recirculation bioreactor. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, 240-248.

Kjeldsen P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T. H. (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31, 297-336.

Levy, J. Q., Santana, C. (2004). Funcionamento das Estações de Tratamento de Águas Lixivantes e Definição das Acções para a sua Beneficiação. *Ecoserviços*, 1-8. Recuperado em 4 fevereiro, 2013 de:

http://www.ecoservicos.pt/index_htm_files/Funcion_estacoes_aguas_lixiviantes.pdf

Manzur, S. (2010). Effect of leachate recirculation on methane generation of a bioreactor landfill (dissertation). University of Texas at Arlington in Partial Fulfillment.

Matos, A. R. V. (2008). Contribuição para o estudo da influência da recirculação de lixiviados no comportamento de aterros de resíduos sólidos urbanos (Dissertação de Mestrado), Universidade Nova de Lisboa.

Morris, J.W.F., Vasuki, N.C., Baker, J.A., Pendleton, C.H. (2003). Findings from long-term monitoring studies at MSW landfill facilities with leachate recirculation. *Waste Management journal*, Elsevier, 23, 653-666.

Pacey, J., Augenstein, D., Reinhart, D., Yazdani, R. (1999). The bioreactor landfill - An innovation in solid waste management. *Solid Waste Association of North America*, 1-14.

Pessin, N., Silva, A. R., Brustolim, I., Mandelli, S. M., C., Panarotto, C. T. (1997). Variação da composição dos líquidos percolados do aterro sanitário de São Giacomo- Caxias do Sul-RS. *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1686-1694.

Powrie, W., Hudson, A. P., Beaven, R. P. (2000). Development of sustainable landfill practices and engineering landfill technology. Final report to the Engineering and Physical Sciences Research Council (Grant reference GR/L 16149).

Reinhart, D. (1995). Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: Case Studies. *Waste Management & Research*, 14, 347-365.

Segato, L. M., Silva, C. L. (2000). III-039-Caraterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. *ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1-9.

Shearer, J. (2001). Enhanced Biodegradation in Landfills (dissertation). Virginia Polytechnic Institute and State University.

V. Quantificação das substâncias húmicas nos lixiviados

V.1. Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar a presença das substâncias húmicas (SH) (ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF)) no lixiviado do aterro sanitário de Bigorne. Esta pesquisa permitiu verificar que, as frações de ácidos húmicos representam entre 6% e 15% do carbono orgânico total enquanto as frações de ácidos fúlvicos encontram-se entre 85% e 94% em diferentes amostras de lixiviado. A possibilidade de valorização das substâncias húmicas provenientes do lixiviado é evidenciada por consulta de literatura, onde foi demonstrado o efeito benéfico da aplicação destes compostos na germinação de sementes, sugerindo-se que estas substâncias húmicas sejam aplicadas como fertilizantes líquidos.

V.2. Introdução

Os lixiviados provenientes dos aterros sanitários contêm uma grande quantidade de substâncias orgânicas e inorgânicas, devido à acumulação e degradação de RSU. Durante o processo de estabilização destes resíduos, a fração biodegradável dos compostos orgânicos diminuiu, restando a fração recalcitrante, constituída essencialmente por SH (Calace e Petronio, 1997; Wu et al., 2010).

As SH, devido à sua estrutura complexa e natureza heterogénea, podem apresentar-se como moléculas polidispersas com elevada massa molecular e de coloração escura (Sloboda et al., 2009; Junior et al., 2000). Operacionalmente, a sua classificação divide-se em AF, AH e humina, de acordo com a sua solubilidade em diferentes condições de pH. Os AF são solúveis em meio alcalino e ácido, os AH são solúveis em meio alcalino e insolúvel em meio ácido ($\text{pH} < 2$) e a humina é a fração insolúvel em qualquer intervalo de pH (Kang et al., 2002; Calace e Petronio, 1997; Sloboda, 2009). Esta classe de compostos orgânicos naturais possui a presença de grupos funcionais, particularmente carboxílicos, hidroxilos fenólicos e carbonilos, que podem ser protonados e desprotonados nos processos ambientais. Deste modo, as SH assumem um comportamento polieletrólítico e funcionam como solução tampão dos iões metálicos (Junior et al., 2000).

Ambientalmente, as SH são valorizadas por diversos motivos, entre os quais: a sua influência na mobilidade, na acumulação e na concentração de espécies metálicas devido à formação de complexos, diminuindo a sua toxicidade, nomeadamente do cobre (Cu^{2+}) e do alumínio (Al^{3+}) (Sloboda, 2009; Kang et al., 2002).

O presente trabalho teve como objetivo estudar a presença das substâncias húmicas no lixiviado de um aterro sanitário, efetuando o respetivo fracionamento e avaliar a sua possível valorização.

V.3. Material e Métodos

O lixiviado utilizado para o presente estudo foi recolhido no aterro sanitário de Bigorne, localizado no distrito de Viseu. Este aterro, em exploração desde dezembro de 2001, admite resíduos urbanos e resíduos similares do comércio, indústria e serviços. O lixiviado foi amostrado mensalmente entre os meses de março e maio de 2013, tendo sido efetuado 3 amostragens (A-amostragem do mês de março, B-amostragem do mês de abril e C-amostragem do mês de maio).

V.3.1. Recolha e preservação das amostras

As amostras de lixiviados recolhidos no aterro numa primeira fase, foram filtradas usando papel de filtro (0,45 μm), para a remoção dos materiais suspensos que podem reagir com as substâncias húmicas. Seguidamente, foram acidificadas até $\text{pH} \leq 2$ com solução de HCl 6,0 mol/ L, guardadas num frasco de vidro escuro e refrigeradas à temperatura de 4°C.

V.3.2. Extração das substâncias húmicas

A extração das SH foi realizada seguindo o método da APHA, 1995. A resina Amberlite XAD-8 usada para a extração foi previamente lavada de acordo com a metodologia proposta por Thurman e Malcolm (1981). Resumidamente, a lavagem foi efetuada com NaOH 0,1N por 5 dias para remover as impurezas e posteriormente através do Soxhlet usando, sequencialmente durante 24 horas, metanol, éter dietílico, acetonitrilo e metanol.

Após este processo, realizou-se o empacotamento das colunas com a XAD-8.

Antes da extração das SH das amostras, realiza-se a pré-limpeza da coluna, com três ciclos alternados de NaOH 0,1 N e HCl 0,1 N. Seguidamente, as amostras são extraídas a uma taxa de 1,0 mL/min. Após a passagem da amostra pela coluna efetua-se a injeção NaOH 0,1 N a 0,2 mL/min por fluxo inverso, recolhendo-se o eluato até que a resina XAD-8 se torne incolor.

Após a recolha das SH a coluna é novamente lavada usando NaOH 0,1 N e água destilada.

V.3.3. Determinação do carbono orgânico total

A quantificação das SH foi efetuada pela determinação do carbono orgânico total (COT), o qual foi realizado seguindo o método de Tinsley (1950). Esta determinação baseia-se na digestão das amostras, com uma solução extrativa à base de dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ácido ortofosfórico (H_3PO_4) e ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Após a digestão das amostras a 150°C durante 2 h, efetua-se a titulação com solução de sal de Mohr 0,4 N até o aparecimento de uma cor esmeralda.

V.3.4. Fracionamento dos ácidos fúlvicos e húmicos

O fracionamento das SH em AH e AF foi efetuada pela adição de ácido sulfúrico concentrado até atingir um $\text{pH} \leq 2$, deixando repousar durante 24 horas. Posteriormente, centrifuga-se a 3000 rotações por minuto, durante 15 minutos.

A fração insolúvel resultante constitui os ácidos húmicos e o sobrenadante os ácidos fúlvicos.

V.4. Resultados e Discussão

As elevadas concentrações de SH podem aumentar a dificuldade de tratar o lixiviado (Calace e Petronio, 1997). Isto é, podem aumentar a solubilidade dos compostos hidrofóbicos através da complexação, modificar a biodisponibilidade e biotoxicidade dos compostos perigosos, diminuindo a biodegradação. As concentrações do carbono orgânico total das SH, AH e AF do lixiviado em análise são apresentados na Tabela V.1. As frações de AH representam 6%, 10% e 15% do carbono orgânico total, respetivamente das amostras de lixiviado A, B e C. As frações AF caracterizam 94%, 90% e 85% do carbono orgânico total, respetivamente das amostras de lixiviado A, B e C. Estas diferenças nos teores de carbono entre amostras devem-se às condições climáticas no momento das amostragens, nomeadamente, a amostra de lixiviado C foi amostrada sob condições de elevada pluviosidade.

Tabela V.1-Concentrações do carbono orgânico das SH, AH e AF das amostras do lixiviado.

Parâmetro	Amostra A	Amostra B	Amostra C
SH (mg/L)	1784	839	521
ÁH (%)	6	10	15
AF (%)	94	90	95

Tal como descrito na literatura o teor de AF é superior ao teor de AH. Estes resultados foram comparáveis com as conclusões de Christensen et al. (1998) (62,3% AF e 8,8% AH). Os autores Silva et al. (2013) apresentaram uma concentração de SH superior a 1000 mg/L, o que vão de encontro aos apresentados neste estudo. No entanto, noutras investigações estes resultados já foram um pouco superiores para os AH e inferiores para os AF (Wu et al., 2010; Zhang et al., 2009).

Os autores Shouliang et al. (2007) obtiveram as frações dos AF em 23,2%, 40,4% e 48,9% do carbono orgânico total, respetivamente, para aterro jovem, médio e velho. E as frações AH representavam 0,4%, 13,6% e 44,1%, respetivamente dos três lixiviados. Em comparação com o estudo em análise pode-se concluir que, em termos de AH, o aterro sanitário de Bigorne inclui-se num aterro de média idade.

Um dos objetivos iniciais deste estudo era efetuar a avaliação da possível valorização das SH, por intermédio da análise da respetiva ecotoxicidade através de ensaios de germinação, mas por falta de tempo não se conseguiu cumprir com este propósito. No entanto, salienta-se que outras investigações demonstraram que as substâncias húmicas não apresentavam toxicidade, nomeadamente, o autor Henriques (2012) obteve elevados índices de germinação (>100%) de diversas sementes (agrião, alface e rabanetes), usando um extrato de SH dum lixiviado de aterro sanitário.

Da consulta da literatura pode-se inferir que a aplicação das SH como fertilizante pode ser benéfica. Os autores Silva et al. (2011) avaliaram a bioatividade das SH isoladas de uma turfeira para promover o crescimento radicular de plântulas de tomateiro. Os resultados mostraram que os AH promoveram uma maior indução de raízes laterais na fase inicial do desenvolvimento do tomateiro com a menor concentração deste material húmico. Quanto aos AF, a maioria não impulsionou o crescimento radicular. Por sua vez, os autores Eyheraguibel et al. (2007) determinaram os efeitos das SH para a sua utilização na agricultura como fertilizantes orgânicos, tendo demonstrado que as SH não aumentaram a percentagem e/ou a velocidade de germinação, mas verificou-se melhorias no alongamento da raiz das sementes tratadas. Assim, estes resultados confirmaram os efeitos positivos das SH sobre o crescimento da planta.

Dum modo geral, os fertilizantes à base de SH podem beneficiar a prática da agricultura, promovendo: a melhora da absorção de nutrientes, como o fósforo, enxofre e azoto; eliminando toxinas dos solos; reduzindo a erosão do solo; melhorando a capacidade de retenção de água para melhorar a resistência à seca e redução no uso de água; aumentando a germinação de sementes; e estimulando o crescimento e proliferação de microrganismo no solo e consequentemente a sua atividade biológica (Mayhew, 2004; Mikkelsen, 2005).

Atendendo ao teor das SH encontrado associado ao facto de Henriques (2012) ter demonstrado o efeito benéfico da aplicação destes compostos na germinação de sementes, sugere-se que estas SH sejam aplicadas como fertilizantes líquidos.

Em termos operacionais, esta situação será bastante vantajosa no que respeita ao tratamento do lixiviado, visto que diminui a complexidade do seu tratamento e potencial a produção de produtos com um valor acrescentado. Esta afirmação deverá ser sustentada com um estudo da viabilidade económica.

V.5. Conclusão

As SH foram extraídas e fracionadas a partir de três amostras de lixiviado do aterro sanitário de Bigorne. Os materiais húmicos encontrados nas amostras de lixiviado mostraram que os AF variam entre os 85% e 94% e os AH entre 6% e 15%, evidenciando-se a predominância dos AF comparativamente aos AH.

A utilização de materiais húmicos na agricultura continua a crescer, existindo diversas investigações nesse sentido que demonstram o elevado potencial das SH como fertilizantes orgânicos. No entanto, deve-se continuar a estudar o valor destas substâncias extraídas do lixiviado para a produção agrícola, bem como a viabilidade económica do produto resultante.

V.6. Referências

APHA (1995). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th edition, Glesceri et al., USA, p1-18 a 1-24. American Public Health Association

Calace, N., Petronio, B. M. (1997). Characterization of high molecular weight organic compounds in landfill leachate: humic substances. *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, 32, 2229-2244.

Christensen, J. B., Jensen, D. L., Gron, C., Filip, Z. Christensen, T. H. (1998). Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate-polluted groundwater. *Water Research, Elsevier*, 32, 125–135.

Eyheraguibel B., Silvestre J., Morard, P. (2007). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology, Elsevier*, 99, 4206-4212.

Henriques, R. (2012). *Avaliação do Grau de Maturação em Compostos/fertilizantes Orgânicos para aplicação na Agricultura*. Documento não publicado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu-Departamento de Ambiente, Viseu.

Junior, E. S., Rocha, J. C., Rosa, A. H., Zara, L. F., Santos, A. (2000). Substâncias húmicas aquáticas: fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com iões metálicos. *Quimica Nova*, 24, 339-344.

Kang, K. H., Shin, H. S., Park, H. (2002). Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Research, Elsevier*, 36, 4023-4032.

Mayhew, L. (2004). Humic Substances in Biological Agriculture. *AGRES*, 34, 1-8.

Mikkelsen, R. L. (2005). Humic Materials for Agriculture. *Better Crops*, 89, 1-3.

Shouliang, H., Beidou, X., Haichan, Y., Liansheng, H., Shilei, F., Hongliang, L. (2007). Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 492-498.

Silva, A. C., Canellas, L. P., Olivares, F., L., Dobbss, L. B., Aguiar, N. O., Frade, D. A. R., Rezende, C. E., Peres, L. E., P. (2011). Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. *R. Bras. Ci. Solo*, 35, 1609-1671.

Sloboda, E., Vieira, E. M., Dantas, A., D. B., Bernardo, L. D. (2009). Influência das características das substâncias húmicas aquáticas na eficiência da coagulação com o cloreto férrico. *Quim. Nova*, 32, 976-982.

Wu, Y., Zhou, S., Qin, F., Peng, H., Lai, Y., Lin, Y. (2010). Removal of humic substances from landfill leachate by Fenton oxidation and coagulation. *Process Safety and Environmental Protection, Elsevier*, 88, 276-284.

Zhang, H., Qu, J., Liu H., Zhao, X. (2009). Characterization of isolated fractions of dissolved organic matter from sewage treatment plant and the related disinfection by-products formation potential. *Journal of Hazardous Materials, Elsevier*, 164, 1433-1438.

VI. Conclusão geral

Tendo em consideração os diferentes trabalhos realizados durante o estágio e descritos no presente trabalho, as conclusões globais podem ser sintetizadas nos seguintes pontos.

No que se refere aos indicadores de desempenho, para promover um esforço de melhoria, particularmente dos indicadores com avaliação insatisfatória é necessário o aprofundamento da redefinição dos indicadores internos apresentados neste trabalho, da criação de procedimentos escritos e ferramentas informáticas de cálculo desses indicadores, e também a consequente formação dos colaboradores para por em prática estes procedimentos.

O efeito da recirculação de lixiviados apresenta-se vantajoso na previsão do volume dos lixiviados, indiciando que este diminui com a recirculação. Foi também possível concluir acerca da influência positiva desta operação na qualidade dos lixiviados, mostrando que recirculações frequentes contribui para a redução e homogeneização da concentração da matéria orgânica, facilitando assim o tratamento posterior comparativamente aos normalmente utilizados. Assim, este tipo de estudo é necessário para entender os mecanismos que controlam o comportamento de aterros com recirculação de lixiviados, permitindo o desenvolvimento de ferramentas de gestão adequadas às especificidades deste tipo de aterro.

No estudo da presença das substâncias húmicas no lixiviado do aterro sanitário evidenciou-se a predominância dos ácidos fúlvicos comparativamente aos ácidos húmicos. Nesse sentido, a utilização destes materiais húmicos na agricultura apresenta-se como uma forma de valorização, existindo diversas investigações que demonstram o elevado potencial das substâncias húmicas como fertilizantes orgânicos. No entanto, deve-se continuar a estudar o valor destas substâncias extraídas do lixiviado para a produção agrícola, bem como a viabilidade económica do produto resultante.

A frequência do estágio possibilitou o enquadramento numa atividade profissional, traduzindo-se num contato com o mercado de trabalho, sendo importante para o futuro de qualquer estudante, visto que permite o crescimento e enriquecimento pessoal e sobretudo técnico.

