

Universidade Nova de Lisboa

Faculdade de Ciência e Tecnologia
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

**Técnicas para Recuperação de Resíduos
Depositados em Antigas Lixeiras.
Caso de Estudo: Lixeira da Moita**

Sofia Alexandra da Silva Marques Anacleto

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária

Orientadora: Prof^a Doutora Maria da Graça Madeira Martinho

Lisboa, 2008

Agradecimentos

Quero expressar o meu reconhecido agradecimento a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a execução deste trabalho e sem as quais não seria possível a realização desta dissertação.

À Prof.^a Doutora Maria da Graça Martinho, pela oportunidade que me deu para realizar esta dissertação e pela sua orientação.

À Eng.^a Ana Pires, pela disponibilidade, incentivo, apoio e amizade que sempre me dispensou ao longo deste tempo.

À AMARSUL, por ter possibilitado a utilização da lixeira da Moita como caso de estudo e pelo apoio logístico que deu na recolha das amostras de resíduos e na cedência das instalações e equipamento para a caracterização dos resíduos. Em especial agradeço ao Eng^o Luís Santos, pelos dados facultados sobre a lixeira da Moita, ao Sr. Abílio, Sr. Bacalhau e Sr. Ricardo, funcionários da AMARSUL, que se disponibilizaram para ajudar na recolha dos resíduos da lixeira da Moita.

A todos os meus colegas que me ajudaram na caracterização dos resíduos, designadamente à Joana Santos, à Cláudia Oliveira, ao Ricardo Gomes, à Ana Tavares e à Cristina Gomes.

Por último, mas não com menos apreço, agradeço à minha família e a todos os meus amigos que sempre me apoiaram, em particular ao meu irmão pela paciência e as horas que me dispensou.

A todos, muito obrigada.

Sumário

As lixeiras são locais onde foram depositados resíduos durante vários anos, de forma descontrolada e sem qualquer controlo ambiental. Como os solos não eram impermeabilizados e o biogás se libertava para a atmosfera, estes locais causavam enormes impactes ambientais. Assim, houve necessidade de se encerrar as lixeiras e substituí-las por aterros sanitários. Em 2002, as 341 lixeiras espalhadas por todo o país encontravam-se encerradas.

No entanto, o facto de não ter sido efectuado uma reabilitação ambiental destes espaços, algumas lixeiras continuam a causar impactes ambientais negativos, ao nível da poluição dos lençóis freáticos e da atmosfera. Para além disto, com o desenvolvimento do país, cada vez mais se produzem resíduos, e assim os espaços destinados para a deposição de tais resíduos começam a tornar-se reduzidos.

Assim é necessário encontrar uma solução para este problema. Existe uma técnica que já é utilizada noutros países, que consiste na escavação de lixeiras ou aterros que já se encontram inactivos. Esta técnica, denominada mineração de aterro, envolve a escavação e recuperação dos resíduos aterrados, conseguindo assim, não só mitigar o impacte ambiental que uma lixeira causa, como disponibilizar espaço para deposição de mais resíduos.

Para estudar esta técnica e a sua viabilidade efectuaram-se estudos na lixeira da Moita. Foi necessário caracterizar a área onde a lixeira se encontra inserida, assim como os resíduos depositados na mesma. Para tal, realizou-se uma campanha de caracterização de resíduos recolhidos e contabilizou-se a quantidade de cada componente encontrado.

Esta caracterização e as informações obtidas através da revisão bibliográfica, possibilitou a definição de cenários para destino final dos resíduos escavados. Assim, foram tidos em conta três cenários diferentes e foram estudadas as respectivas viabilidades económicas recorrendo a um modelo que permite verificar a rentabilidade de recuperação de resíduos, que cada um dos equipamentos consegue processar.

Por último, e face aos resultados obtidos, comparou-se a eficiência e os custos necessários à concretização de cada cenário, podendo-se, de certo modo, avaliar a viabilidade económica da técnica de mineração.

Abstract

Dumps are places where, for several years, wastes were deposited in an uncontrolled way and without any environmental control. As the soils were not protected and biogas was released into the air, these places caused enormous environmental impacts. Therefore, there was essential to close the dumps and replace them with landfills. In 2002, 341 dumpsites throughout the country had been closed.

However, it has not been made any environmental remediation of those areas, and some dumpsites continue to cause negative environmental impacts, as pollution of groundwater and atmosphere. Furthermore, with the development of the country, even more wastes are produced, and so the spaces intended for the landfill of these waste are starting to become reduced.

As a consequence it is necessary to find a solution to this problem. There is a technique which is already used in other countries, which consists on the excavation of dumps or landfills that are already inactive. This technique, known as landfill mining, involves the excavation and recovery of waste grounded, achieving not only environmental impact mitigation, but also provide more space for the landfilling of new wastes.

To study this technique and its viability, research has been made in Moita's dumpsite. It was necessary to characterize the area where the dump is located, as well as the landfilled waste. To achieve this goal, it was conducted a campaign involving landfilled waste characterization and the amount of each component found.

This characterization and the information obtained through literature review made possible the definition of different scenarios for the final destination of those wastes. It was taken into account three different scenarios and were investigated their economic viabilities using a model that allows to check the practicability of waste recovery that each equipment can process.

Finally, and with the results obtained, it was compared the efficiency and cost needed to each scenario implementation, so that, it could be evaluated the economic viability of the mining technique.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. Introdução	1
1.1. Aspectos gerais	1
1.2. Relevância do tema	5
1.3. Objectivos	6
1.4. Metodologia geral	6
1.5. Organização da dissertação	7
2. Prospecção mineira em aterros e lixeiras	8
2.1. Aspectos gerais	8
2.2. Casos de estudo internacionais	10
2.2.1. Técnica de mineração nos EUA	10
2.2.2. Técnica de mineração de aterros na Europa	12
2.2.3. Mineração de aterros na Ásia	16
2.2.4. Considerações finais	16
3. Caracterização do caso de estudo	18
3.1. A problemática das lixeiras em Portugal	18
3.2. A lixeira da Moita	19
4. Metodologia e planeamento do trabalho de investigação	25
4.1. Enquadramento	25
4.2. Objectivos	25
4.3. Planeamento experimental	25
4.3.1. Selecção e caracterização do caso de estudo: Lixeira da Moita	25
4.3.2. Planeamento e cronograma	26
4.3.3. Metodologia e procedimentos de amostragem	27
4.3.4. Metodologia e procedimentos para a caracterização dos resíduos	31
4.3.5. Tratamento dos resultados	36
4.3.5.1. Parâmetros da amostra	36
4.3.5.2. Estimativa da quantidade de resíduos depositados na lixeira	36
4.3.5.3. Pressupostos adoptados para o modelo de análise de cenários alternativos para o processo tecnológico de mineração	37

5. Apresentação e discussão dos resultados.....	46
5.1. Campanhas de caracterização dos resíduos da lixeira da Moita.....	46
5.2. Estimativa das quantidades e composição dos resíduos depositados na lixeira da Moita.....	55
5.3. Análise de cenários alternativos para a mineração da lixeira da Moita	56
5.3.1. Cenário 1 – Lixeira	56
5.3.2. Cenário 2 – Lixeira e TMB.....	57
5.3.3. Cenário 3 – TMB	63
5.4. Comparação de cenários e considerações finais	68
6. Conclusões	72
7. Limitações e recomendações	75
8. Referencias bibliográficas	76
Anexo A. Planta de localização do CIVTRS de Palmela	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquemas de mineração de lixeiras (adaptado de Savage <i>et al.</i> , 1993).....	4
Figura 2.1 - Evolução do número de lixeiras activas (MAOTDR, 2007)	9
Figura 3.1 – Diagrama da unidade de TMB da AMARSUL (AMARSUL, 2007b).....	20
Figura 3.2 - Aspecto geral da Lixeira da Moita	21
Figura 4.1 – Sentido da evolução do enchimento da lixeira e localização dos pontos de amostragem para a caracterização dos resíduos (adaptado de Google Maps, 2007)	29
Figura 4.2 - Fotografias dos procedimentos realizados para a extracção de amostras de resíduos da lixeira da Moita.....	30
Figura 4.3 - Fotografias ilustrativas do processo de selecção da amostra para caracterização e da separação dos finos dos restantes resíduos.....	33
Figura 4.4 – Fotografias das componentes triadas	35
Figura 4.5 - Cenário 1 - Lixeira	38
Figura 4.6 – Cenário 2 - Lixeira e TMB.....	39
Figura 4.7 – Cenário 3 - TMB	40
Figura 5.1 – Jornais enterrados na lixeira da Moita há 12 anos.....	46
Figura 5.2 – Exemplos de algumas embalagens encontradas nos resíduos depositados na lixeira da Moita	48
Figura 5.3 – A distribuição da componente papel/cartão nos diferentes furos de onde foram retiradas as amostras de resíduos da lixeira da Moita.....	51
Figura 5.4 – Quantidade de finos presentes nas amostras de resíduos retiradas dos vários furos da lixeira da Moita	51
Figura 5.5 - Quantidade de madeira e têxteis presentes nas amostras de resíduos retiradas dos vários furos da lixeira da Moita	52
Figura 5.6 – Composição física média dos resíduos depositados na lixeira da Moita.....	52
Figura 5.7. Distribuição dos vários componentes da fracção combustível dos resíduos depositados na lixeira da Moita	53
Figura 5.8 – Valores médios obtidos para a humidade de algumas das componentes das amostras de resíduos depositadas na lixeira da Moita	54
Figura 5.9 - Custos totais e eficiências dos cenários para o processamento mecânico da lixeira da Moita	70

Figura 5.10 – Custos anuais e eficiência dos cenários para o processamento mecânico da
lixreira da Moita70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Vida útil dos aterros no final de 2004 (MAOTDR, 2007).....	2
Quadro 3.1 – Análises efectuadas às águas subterrâneas e águas lixiviantes, em 2006 (AMARSUL, 2007c).....	23
Quadro 4. 1 – Cronograma das diferentes fases do trabalho	27
Quadro 4. 2 – Data da recolha de amostras e profundidade dos resíduos recolhidos da lixreira da Moita	31
Quadro 4.3 – Equipamento utilizado.....	32
Quadro 4.4 – Quantidade de resíduos caracterizados por ponto de amostragem	32
Quadro 4.5 - Catálogo de triagem das componentes separadas das amostras de resíduos depositados na lixeira da Moita.....	34
Quadro 4.6 – Fórmulas de cálculo do peso específico e da humidade dos resíduos.....	36
Quadro 4.7 – Fórmulas de cálculo do volume e peso de resíduos depositados na lixeira ...	37
Quadro 4.8 – Pressupostos técnicos: equipamentos de tratamento mecânico (AMARSUL, 2007b).....	41
Quadro 4.9 – Composição física dos RSU da AMARSUL (Profico, 2005)	42
Quadro 4.10 – Pressupostos de operação	42
Quadro 4.11 – Número de funcionários necessários para cada cenário.....	42
Quadro 4.12 - Factores de separação (Recovery Factor Transfer Function) para cada equipamento unitário (adaptado de Rhyner et al., 1995)	43
Quadro 4.13 – Pressupostos económicos	44
Quadro 4.14 – Formulas utilizadas para a estimativa dos custos	45
Quadro 5.1 - Datas encontradas nas amostras	47
Quadro 5.2 – Composição física das amostras de resíduos depositados nas camadas superficiais da lixeira da Moita.....	49
Quadro 5.3 – Composição física das amostras de resíduos depositados nas camadas mais profundas da lixeira da Moita.....	49
Quadro 5.4 – Humidade de algumas componentes das amostras de resíduos depositados nas camadas mais profundas da lixeira da Moita	53
Quadro 5.5 – Pesos específicos determinados para cada amostra	54
Quadro 5.6 – Composição total dos resíduos depositados na lixeira da Moita	55

Quadro 5.7 – Saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 1 – lixeira	57
Quadro 5.8 – Custo do cenário 1	57
Quadro 5.9 - Saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 2i – lixeira e TMB	58
Quadro 5.10 – Custo do cenário 2i	59
Quadro 5.11 - Saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 2ii – lixeira e TMB	60
Quadro 5.12 – Custo do cenário 2ii	60
Quadro 5.13 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 2iii – lixeira e TMB	61
Quadro 5.14 – Custo do cenário 2iii	62
Quadro 5.15 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 3i – TMB	63
Quadro 5.16 – Custo do cenário 3i	64
Quadro 5.17 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 3ii – TMB	65
Quadro 5.18 – Custo do cenário 3ii	66
Quadro 5.19 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 3iii – TMB	67
Quadro 5.20 – Custo do cenário 3iii	67
Quadro 5.21 – Custos para os diferentes cenários analisados	68

1.INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS

Até 1995, a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) em Portugal restringia-se praticamente às operações de recolha e à deposição destes resíduos a céu aberto nas inúmeras lixeiras existentes de norte a sul do país. A necessidade de criar novas unidades de tratamento e destino final tornou-se prioritária e essencial, tendo o Ministério do Ambiente privilegiado duas componentes fundamentais da estratégia traçada: encerramento e recuperação ambiental das lixeiras e o lançamento das bases da recolha selectiva e triagem, que proporcionasse a reciclagem dos materiais constituintes dos resíduos.

A produção de RSU tem vindo a aumentar nos últimos anos. A solução encontrada inicialmente para resolver este problema foi a deposição a céu aberto dos resíduos, nas 341 lixeiras espalhadas por todo o país, que se encontravam em funcionamento em 1996, de acordo com o ex-Instituto dos Resíduos (Lobato Faria *et al.*, 1997).

Este procedimento causou enormes impactes ambientais, tais como contaminação dos solos, das águas subterrâneas e do ar. Os lixiviados, ou seja, as escorrências provenientes dos RSU, contaminaram os solos, infiltrando-se nos lençóis freáticos e cursos de água superficiais, pondo em risco a qualidade do ambiente e a saúde pública. Também a libertação de biogás resultante da decomposição anaeróbia dos resíduos, composto essencialmente por dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), os principais gases do efeito de estufa, pode originar vários problemas atmosféricos e de saúde pública (Martinho e Gonçalves, 2000).

Assim, por imposição política, todas as lixeiras foram encerradas até ao final de 2001. Como na altura a reciclagem e a valorização energética eram muito reduzidas, nas lixeiras encontram-se todo o tipo de materiais, tais como papel, plástico, madeira, metais, matéria orgânica e têxteis (INR, 2000).

A tecnologia de confinamento de RSU no solo, que veio substituir as lixeiras, foi o aterro sanitário. Segundo Lobato Faria *et al.* (1997), um aterro sanitário consiste na modalidade de confinamento no solo, em que: os resíduos são lançados ordenadamente e cobertos com terra ou material similar, existe controlo sistemático das águas lixiviantes e dos gases produzidos, bem como a monitorização do impacte ambiental durante a operação e após o seu encerramento.

Em 2006, no Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIERSUE) aprovado pelo Despacho n.º 454/2006, de 9 de Janeiro, foi dado a conhecer o ponto da situação relativamente à vida útil dos aterros sanitários. Como consta no Quadro 1.1, no final de 2004, pelo menos três aterros já tinham esgotado a sua capacidade e seis tinham uma duração prevista de menos quatro anos. A curta duração destes aterros sanitários leva à procura de novos locais de deposição, o que acarretará custos e dificuldades de aceitação por parte das populações (efeito NIMBY – *Not In My BackYard*).

Quadro 1.1 – Vida útil dos aterros no final de 2004 (MAOTDR, 2007)

Ponto de situação da vida útil dos aterros e por sistema

Vida útil (anos)	Sistemas multimunicipais	Sistemas intermunicipais	Total de aterros
0		AMAVE (Santo Tirso e Guimarães) e AMTRES.	3
2 a 4	BRAVAL, VALORLIS, ERSUC (Aveiro e Figueira da Foz) e ALGAR (Portimão).	Vale do Sousa (Pena-fiel).	6
Mais de 4	VALORMINHO, RESULIMA, SULDOURO, RESAT, REBAT, VALMOR, ERSUC (Coimbra), RESIOESTE, AMARSUL (Seixal e Palmela), VALORSUL, RESIDOURO, Águas do Zêzere e Cõa e ALGAR (Loulé).	LIPOR, Vale do Douro Norte, Resíduos do Nordeste, Planalto Beirão, Vale do Sousa (Lousada), Raia/Pinhal, RESIURB, RESI-TEJO, AMAR-TEJO, AMDE, AMCAL, AMAGRA e AMALGA.	27

Com o objectivo de solucionar os problemas ambientais, económicos e técnicos referidos (*i.e.* poluição atmosférica e de lençóis freáticos, aproveitamento de recursos e redução da capacidade de deposição dos aterros), tem sido praticada a técnica de mineração de lixeiras em várias partes do mundo.

Durante os últimos 50 anos têm sido realizados alguns projectos de mineração em antigas lixeiras ou aterros já encerrados. A técnica de mineração envolve a escavação, a monitorização e a separação e tratamento de várias componentes, tais como o solo, os resíduos recicláveis e os resíduos perigosos.

Os objectivos e as vantagens desta técnica são diversos, podendo, consoante os casos e as conjunturas locais, incluir as seguintes mais valias (Hogland, 2002; EPA, 1997):

- a conservação do espaço;
- a redução da área utilizada;
- aumento da capacidade de deposição de resíduos e o conseqüente tempo de utilização do aterro;
- a eliminação de uma potencial fonte de contaminação;
- o aproveitamento da energia produzida pela decomposição dos resíduos;
- a reciclagem e recuperação de materiais;
- a redução de custos com a aquisição de novas terras para deposição dos resíduos.

A recuperação de resíduos para reciclagem (*e.g.* metais e plásticos), e a sua valorização energética, com a produção de combustível derivado de resíduo, são factores importantes no actual contexto da política comunitária e nacional em matéria de gestão de RSU (Prechthai *et al.*, 2006).

Considerando os benefícios referidos, o interesse na aplicação da mineração de lixeiras em Portugal começou a surgir associado à publicação do PIERSUE, onde é mencionada a importância de ser recuperada a fracção metálica dos resíduos depositados.

Este método começou a ser cada vez mais comum na Europa devido a razões ambientais. No entanto, as escavações dos aterros estão dependentes da disponibilidade financeira do investidor e da quantidade e rentabilidade dos resíduos recuperáveis.

Com esta técnica podem-se recuperar vários materiais como: o solo para material de cobertura; o biogás resultante da decomposição dos resíduos; a madeira para produção de lascas; pedras, tijolos e argamassa para construção de estradas; e metais, como ferro, cobre e alumínio, para aplicar como matéria-prima na indústria (Hogland, 2002).

Antes de se efectuar um projecto de mineração de aterro, a investigação preliminar deverá incluir alguns passos necessários para a realização do processo, nomeadamente: definição de áreas homogéneas em função de características (*e.g.* topografia, morfologia, volume e espessura das pilhas de resíduo); identificação e estimativa da extensão de uma possível contaminação da zona; recolha de informação de qualidade, extensão e composição dos resíduos enterrados; avaliação dos potenciais riscos durante a mineração, nomeadamente quanto à presença de gás, estabilidade das massas de resíduos, razão solo-resíduos, análises químicas dos solos recuperados e solo que se encontra por baixo dos resíduos; e, por último, a verificação da evolução preliminar da técnica e viabilidade económica, das orientações regulares e do projecto logístico (Hogland e Gomes, 1997).

Após a escavação o material pode ser processado por separação manual, separação magnética, classificadores de ar, remoção de alumínio, triagem óptica e redução de tamanho. Para tal são utilizados vários equipamentos, tais como telas, separadores densimétricos, separadores magnéticos e transportadores. Os esquemas de mineração podem dividir-se em simples e complexo, como se pode observar pela Figura 1.1.

A escolha do equipamento depende dos objectivos do projecto, pois são necessários equipamentos adequados para que se consiga a separação desejada dos resíduos e do solo. O processamento no local inclui habitualmente equipamentos como telas transportadoras, crivos ou tambores rotativos e um separador magnético (Savage *et al.*, 1993).

O material depositado pode ser extraído utilizando uma escavadora. As características físicas do material e o método de deposição determinam o que pode ser manuseado e, também, o que pode ser feito com a fracção de solo. Esta última fracção é normalmente utilizada directamente ou armazenada, o material secundário e a fracção combustível é transportado para fora do local para ser processado posteriormente, a fracção não combustível e os restantes resíduos são colocados novamente em aterro (Hogland e Gomes, 1997).

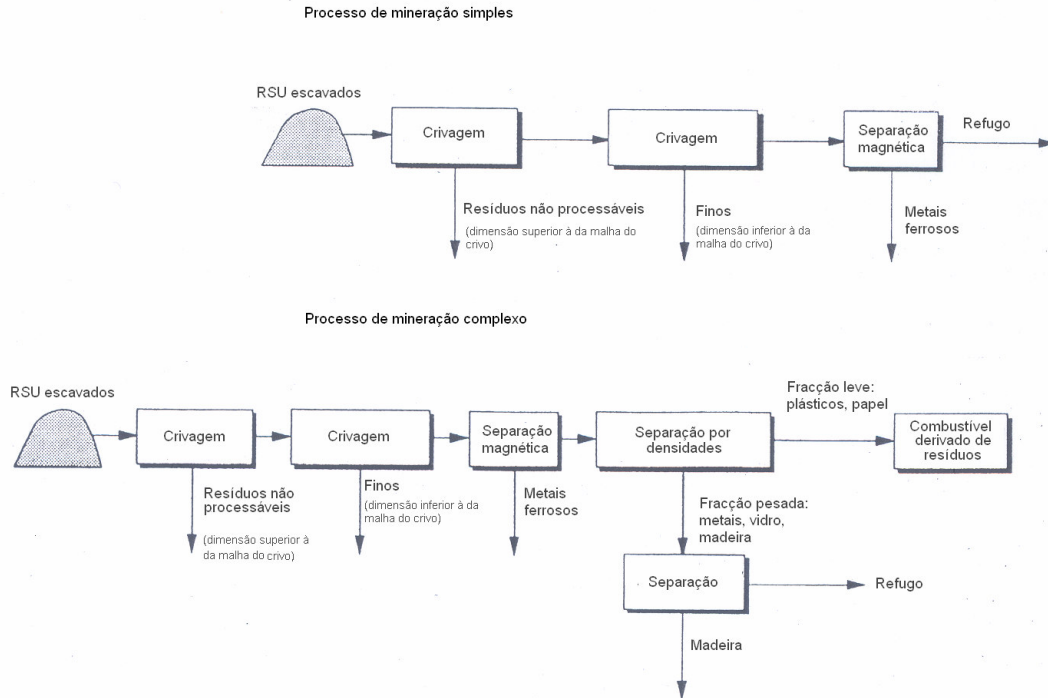


Figura 1.1 – Esquemas de mineração de lixeiras (adaptado de Savage *et al.*, 1993)

A necessidade do desenvolvimento de máquinas e técnicas de escavação para a mineração de resíduos tem sido bem documentada nos Estados Unidos da América (EUA). Contudo, de acordo com (Hogland e Gomes, 1997) ainda são necessários os seguintes requisitos:

- informação futura para os custos de encerramento convencional;
- técnicas de compostagem para redução do conteúdo orgânico;
- melhores métodos e equipamentos para o aparecimento de rochas;
- técnicas para o controlo do odor durante a escavação e monitorização;
- métodos para processamento e equipamento para separação de plástico bem como resíduos de construção e demolição;
- métodos para separação e tratamento de resíduos molhados e solo;
- a melhoria da qualidade dos resíduos separados e possibilidades de uso futuro.

Para os autores, será necessário ainda desenvolver investigações que visem os seguintes objectivos: reduzir o impacte de eventuais emissões para o ar e água durante a escavação; desenvolver metodologias para técnicas de amostragem e escolha de amostras representativas; desenvolver métodos específicos de análises das características do material em função da idade dos resíduos e de outros factores, processos físicos, químicos e biológicos nos resíduos, degradação e variações de tempo e espaço, métodos de cobertura, aspectos energéticos, aspectos económicos e ambientais e riscos para o ambiente.

Do ponto de vista ambiental é necessário decidir se a melhor opção é escavar um aterro, o que possivelmente vai causar elevadas emissões num pequeno período de tempo, ou deixar o aterro selado e aceitar as emissões durante um período de tempo mais longo. Outra questão importante é se o incentivo económico para a mineração de aterro é ou não rentável (Hogland e Gomes, 1997).

1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA

Como se referiu, em Portugal existem actualmente 341 lixeiras encerradas. Tratam-se de locais contaminados, que podem originar impactes ambientais negativos ainda por vários anos, já que a decomposição da matéria orgânica pode levar dezenas de anos. Constituem igualmente locais onde se encontram aprisionadas quantidades consideráveis de solo e resíduos com um potencial de reutilização, reciclagem material ou valorização energética (*i.e.* material combustível, finos, inertes, metais e outros), já que no passado a valorização dos resíduos era pouco significativa.

Em consequência de uma eventual extração de solo e resíduos para valorização, elimina-se uma fonte de poluição para o solo, o ar e a água, e liberta-se volume para a deposição de novos resíduos, o que actualmente, face às dificuldades em encontrar novos espaços para a localização de aterros e aos custos dos terrenos, representa uma mais valia considerável. Simultaneamente, este tipo de intervenção possibilita a realização de obras de reabilitação ambiental mais profundas do que aquelas que na altura da selagem das lixeiras foram possíveis de realizar, nomeadamente a impermeabilização do fundo e taludes, contribuindo desta forma para a melhoria da qualidade do ambiente e da saúde pública (Hogland e Gomes, 1997).

Pelos motivos expostos, considerou-se que a técnica de mineração poderia apresentar bastantes vantagens se aplicada às lixeiras nacionais.

Contudo, a mineração envolve elevados custos para ser possível a escavação das lixeiras e os processos de separação dos resíduos aterrados, pelo que são necessários estudos prévios para avaliar a viabilidade técnica e económica da aplicação desta técnica às nossas lixeiras.

No entanto, uma das dificuldades que se coloca neste tipo de estudos, é o facto do desconhecimento sobre as quantidades e composição dos resíduos que se encontram depositados nas lixeiras ser quase total. Este desconhecimento deve-se, por um lado, porque na generalidade das situações os RSU não serem pesados nem caracterizados, antes da sua deposição nas lixeiras. Por outro lado, porque não sendo locais vedados e com vigilância permanente, acabavam por receber não só os RSU como, também, resíduos não urbanos, alguns dos quais perigosos, como resíduos de construção e demolição, resíduos industriais, resíduos hospitalares, entre outros.

Deste modo, é importante que se iniciem em Portugal estudos sobre as quantidades e as características dos resíduos depositados nas antigas lixeiras e, com base nestes estudos, se avalie a viabilidade técnico-económica da mineração aplicada às nossas lixeiras.

1.3. OBJECTIVOS

O principal objectivo deste trabalho de investigação é caracterizar os resíduos que foram depositados numa lixeira e avaliar as possíveis opções técnicas para a sua mineração e respectivos custos, uma vez que a maior desvantagem destas tecnologias são os elevados custos que acarretam.

Destacam-se ainda, como objectivos secundários, os seguintes:

- observar visualmente o estado em que se encontram os resíduos depositados numa lixeira encerrada há mais de 10 anos e fazer a sua caracterização física;
- avaliar as diferenças, em termos de composição física, entre resíduos depositados em diferentes períodos temporais (resíduos mais antigos *versus* mais recentes) e a diferentes profundidades;
- estimar as quantidades que eventualmente se encontram depositadas nesta lixeira por componente, uma vez que não existe nenhum registo sobre estes quantitativos;
- testar na prática as dificuldades que se colocam na caracterização de resíduos depositados em antigas lixeiras e sugerir medidas ou erros a evitar em trabalhos de investigação similares que se vierem a realizar no futuro.

Atendendo ao tempo e recursos disponíveis, foi necessário seleccionar um caso de estudo exploratório para este trabalho de investigação. A ideia da realização deste projecto coincidiu com o interesse manifestado pela Direcção da AMARSUL em avaliar o potencial de recuperação e reabilitação da lixeira da Moita, pelo que foi esta a lixeira escolhida como caso de estudo. Este interesse de ambas as partes permitiu, igualmente, assegurar o necessário apoio logístico em viaturas, equipamentos e recursos humanos, cedidos pela AMARSUL.

Não existindo em Portugal nenhum estudo semelhante, o trabalho que se desenvolveu tem um carácter inovador, quer em termos do seu âmbito e objectivos, quer em termos de metodologia adoptada para a quantificação e caracterização dos resíduos e para o desenvolvimento conceptual dos diferentes cenários adoptados para o processo de mineração e correspondentes análises técnico-económicas.

1.4. METODOLOGIA GERAL

Para atingir os objectivos propostos, o trabalho foi estruturado nas seguintes fases:

- Fase 1. Revisão bibliográfica sobre o estado da arte em matéria de extracção mineira de antigos depósitos de resíduos: características dos resíduos, tecnologias utilizadas para a sua extracção e recuperação, produtos finais obtidos e custos envolvidos.
- Fase 2. Caracterização da lixeira da Moita, levantamento de informação sobre a sua exploração e dados ambientais (*i.e.* datas importantes, área da lixeira, volume de resíduos depositados e dados de monitorização do lençol freático).

- Fase 3. Selecção de uma metodologia de amostragem para a recolha de amostras de resíduos depositados na lixeira da Moita e realização de campanhas de caracterização destes resíduos tendo como objectivo avaliar a natureza e o estado dos mesmos.
- Fase 4. Análise da viabilidade da recuperação dos resíduos e descrição dos processos e tecnologias a utilizar, tendo em consideração os produtos finais a obter (reciclados ou CDR) e os custos envolvidos. Elaboração e comparação de cenários, tendo como objectivo avaliar a viabilidade económica e ambiental dos mesmos.
- Fase 5. Tratamento dos resultados e recomendações para acções semelhantes a realizar noutras lixeiras.

1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma breve introdução à temática da mineração em antigos depósitos de resíduos e à relevância do tema para Portugal, e especificam-se os objectivos, a metodologia geral utilizada e a organização desta dissertação.

O segundo capítulo inclui uma revisão bibliográfica sobre os vários estudos efectuados noutros países onde se utilizou a técnica de mineração para remoção e recuperação de resíduos encontrados em diferentes aterros e as técnicas utilizadas para posterior caracterização e tratamento.

No terceiro capítulo, descreve-se o caso de estudo, e caracteriza-se o mesmo.

No quarto capítulo descreve-se a metodologia utilizada, nomeadamente os métodos e os procedimentos realizados, bem como o planeamento de todo o trabalho desenvolvido.

No quinto capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos, respeitantes à caracterização dos resíduos depositados na lixeira da Moita, e aos diferentes cenários analisados sobre as possibilidades de valorização dos mesmos.

No sexto capítulo faz-se uma síntese conclusiva sobre a viabilidade ambiental e económica da mineração.

Por último, no sétimo capítulo, apresentam-se as limitações encontradas durante a realização deste trabalho e fazem-se algumas recomendações que poderão ser úteis caso este método venha a ser aplicado nas lixeiras ou aterros do país.

2. PROSPECÇÃO MINEIRA EM ATERROS E LIXEIRAS

2.1. ASPECTOS GERAIS

O primeiro Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), aprovado pelo Governo e publicado em 1997, teve como finalidade fornecer aos responsáveis políticos um conjunto de sugestões que os pudessem apoiar no domínio da gestão de RSU. O PERSU surge inserido no contexto do artigo 7º da Directiva Quadro dos Resíduos 75/442/CEE, de 15 de Julho, a qual requer aos Estados Membros a elaboração de um ou mais planos de gestão de resíduos. Estes deverão apresentar como principais objectivos: o cumprimento das medidas de estratégia quanto à prevenção e à valorização, o respeito pela saúde humana e pelo ambiente, incluindo a proibição do abandono e a descarga em lixeiras ou outros destinos finais não controlados e o estabelecimento de uma rede integrada e adequada de instalações de tratamento e destino final (Lobato Faria *et al.*, 1997).

Em 1996, um levantamento de locais de destino final de RSU, efectuado pelo Ministério do Ambiente, permitiu constatar a existência de inúmeras lixeiras que se encontravam distribuídas pelo país. Foi então efectuada uma avaliação caso a caso. Constatou-se que, por um lado, alguns locais dispunham de projecto de aterro e assim obedeciam aos diversos graus de execução e controlo, enquanto outros dispunham de sistemas rudimentares. A falta de impermeabilização e drenagem de lixiviados, vedação e cobertura diária de resíduos e a deposição totalmente incontrolada com auto-combustão da massa de resíduos foram factores negativos encontrados (INR, 2000).

Face ao diagnóstico da situação identificada em 1996, foi definido no PERSU, como uma das metas a atingir até ao ano 2000, a erradicação total de todas as lixeiras (Lobato Faria *et al.*, 1997).

As lixeiras no entanto só podem ser encerradas no dia em que outra infra-estrutura alternativa, o aterro sanitário, esteja em condições para receber os resíduos. Porque o processo de localização de novos aterros em Portugal nem sempre foi pacífico na segunda metade da década de 90, tendo-se registado em vários locais oposição da população (Martinho e Vasconcelos, 2000), esta meta só foi conseguida no final de 2001, o que de qualquer forma não deixa de ser um recorde atendendo à complexidade social e política desta questão.

A título ilustrativo, apresenta-se na Figura 2.1 a evolução do número de lixeiras municipais existentes em Portugal, desde 1996, encontrando-se actualmente, e desde 2002, todas as lixeiras municipais encerradas. A partir desse ano, passou-se a fazer a deposição dos resíduos em aterros sanitários projectados, construídos e explorados de acordo com a legislação em vigor (*i.e.* Decreto-Lei nº 152/2002, de 23 de Maio).

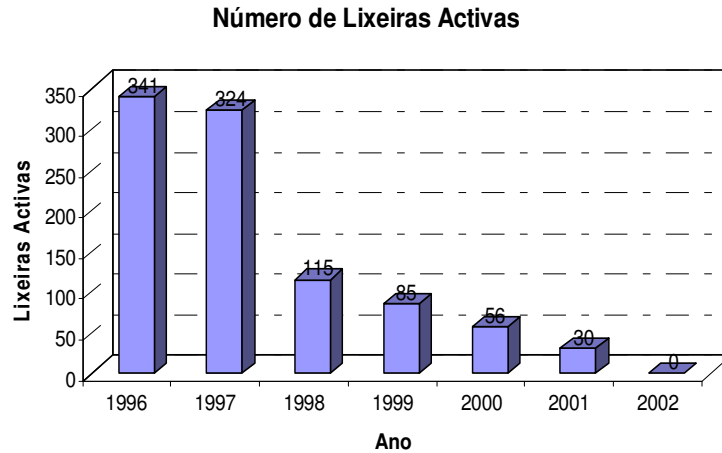


Figura 2.1 - Evolução do número de lixeiras activas (MAOTDR, 2007)

Contudo, muitas das lixeiras encerradas continuaram a ser uma fonte de poluição, devido à libertação de lixiviados e de biogás. É neste contexto que surge, também, o interesse pela prospecção mineira como uma forma de minimizar estes danos ambientais.

A prospecção mineira consiste na escavação, tratamento e separação de resíduos de lixeiras e de aterros que ainda se encontrem activos ou que já estejam encerrados e tem como objectivo a recuperação de resíduos depositados (Hogland, 2002). Esta técnica apresenta várias vantagens. Como já foi referido, conserva-se o espaço, reduz-se área, aumenta-se o tempo de vida do aterro, elimina-se uma potencial fonte de contaminação, recupera-se energia e matéria, recicla-se e reduz-se a gestão de custos (Hogland, 2002). Consegue-se também readquirir espaço para novas deposições e reduzir custos na aquisição de novas terras (EPA, 1997).

A mineração de aterro foi mencionada pela primeira vez na literatura em 1958, como uma técnica utilizada em Israel para se obter material substituto do solo. O equipamento de escavação consistia numa “*chamshell*” e num “*front-end loader*”. Os equipamentos para separação de resíduos consistiam num *trommel* e uma série de telas transportadoras. O material escavado era transferido através de uma tela para o *trommel*. A fracção fina separada pelo *trommel* era aplicada como material de cobertura e o restante era separado manualmente por materiais recicláveis (Savage *et al*, 1993).

Mais tarde, esta técnica foi aplicada nos Estados Unidos da América (EUA) para obtenção de combustível para incineração e recuperação de energia. De acordo com (Hogland e Gomes, 1997), durante o período de 1987 a 1993, foram escavados e recuperou-se material de 6 aterros situados nos EUA.

A primeira experiência de mineração de aterro na Europa realizou-se na Alemanha, em 1993, no aterro de Burghof, perto de Stuttgart, com o objectivo de se ganhar espaço para a deposição de mais resíduos. Em Portugal esta técnica ainda não foi utilizada, possivelmente devido ao elevado custo que acarreta.

No entanto, e da revisão bibliográfica efectuada, foi possível constatar que a nível internacional são já vários os projectos ou estudos que envolvem a mineração de antigas lixeiras ou aterros. Nos pontos que se seguem apresentam-se alguns casos de estudo de técnicas de mineração realizadas nos EUA, na Europa e na Ásia.

2.2. CASOS DE ESTUDO INTERNACIONAIS

2.2.1. TÉCNICA DE MINERAÇÃO NOS EUA

Os aterros nos EUA têm sido um incómodo, ao longo dos anos, mas só a partir do final dos anos 80 é que se considerou a recuperação como uma nova e inovadora técnica de gestão de aterros (Cossu *et al.*, 1996). Nesta década, a mineração realizou-se em quatro locais e fez-se projectos para mais dois, numa tentativa de reaproveitar o espaço dos aterros e recuperar material reciclável. Os locais onde se efectuaram estes projectos foram: Connecticut, Delaware, Florida, Massachusetts e Nova Iorque (Spencer, 1990).

A primeira mineração de aterro, documentada nos EUA, começou na Florida, com o objectivo de produção de energia através dos resíduos. Ainda que não tivesse sido possível a produção de combustível derivado de resíduo (CDR), a mineração de aterro possibilitou o aproveitamento de material de cobertura, trazendo um benefício significativo para a região, uma vez que o material de cobertura era escasso e consequentemente caro (Cossu *et al.*, 1996).

Em 1990, na área rural de Nova Iorque, em Edinburg, realizou-se um projecto de recuperação de um aterro. O projecto teve sucesso e estabeleceu as primeiras orientações de segurança e saúde e protocolos das técnicas de recuperação. O projecto levou à publicação de regulamentos para a recuperação de aterros em Nova Iorque e ajudou a estimular o interesse por esta temática. Cossu *et al.* (1996) referem que em meados dos anos 90 existiriam aproximadamente 40 projectos de recuperação de aterros em vários estados dos EUA e Canadá.

Ainda de acordo com Cossu *et al.* (1996), e tendo por base os estudos efectuados nos EUA, as quantidades de solo encontradas variam de aterro para aterro, entre 20% e 75%, e a composição de resíduos recuperados encontra-se dependente do tipo de aterro, nomeadamente das práticas de deposição e do nível de decomposição dos resíduos, bem como do tipo e quantidade de resíduos industriais e/ou comerciais que neles foram depositados.

Nos EUA as técnicas de recuperação envolvem a escavação e a separação do solo dos restantes resíduos. Podem também utilizar-se processos mecânicos ou manuais, para a remoção de pedras, porque, para a aplicação do solo como cobertura, pode ser desejável menos peso o que implica menos custos para o transporte. Também há projectos que utilizam separadores magnéticos para a remoção de materiais ferrosos. Contudo, a maior parte dos projectos de recuperação nos EUA só empregam a fase de separação de solo dos outros resíduos (Cossu *et al.*, 1996).

Cossu *et al.* (1996), referem que em 1996 os custos base de um projecto de recuperação nos EUA (*i.e.* escavação, inspecção, separação e transporte de resíduos) era aproximadamente de 10,5 US\$/m³.

Aterro da Florida

O projecto *Collier County*, na Florida, foi o primeiro dos seis projectos a iniciar-se nos EUA, com a permissão emitida pelas autoridades competentes em Maio de 1988, para a escavação do aterro sanitário existente. O material escavado alimentou uma tela vibratória que processou 90 a 100 toneladas de resíduos por hora. Para esta operação contou-se com o auxílio de duas pessoas (Spencer, 1990).

Depois da escavação do aterro, o material foi classificado por tamanhos, separou-se assim em 4 componentes: material de grandes dimensões, na sua maioria pneus; metal ferroso; finos, maioritariamente resíduos compostados e pequenos vidros; e o restante, ou seja, plásticos, borracha e madeira.

A fracção de finos pôde ser utilizada como material de cobertura de uma nova célula reduzindo-se os custos com a aquisição de novo material de cobertura. O metal ferroso pôde ser vendido como matéria-prima. Para o material de grandes dimensões discutiram-se vários destinos, tais como vender, dar ou voltar a colocar em aterro. Relativamente ao restante material deu-se diferentes utilizações, parte pôde ser reciclada e a outra utilizada como combustível para um incinerador ou colocada novamente em aterro em condições adequadas.

A vantagem de recolocar resíduos em aterros permite depositá-los numa nova pilha preparada para fazer a drenagem de águas lixiviantes. Neste caso de estudo, não houve a problemática dos resíduos perigosos, o que provavelmente se deve ao facto de não haver grandes industriais na zona (Watson, 1988).

Em 1986, através de diversos testes, percebeu-se que os resíduos apresentavam boas características combustíveis e assim a mineração de aterros era viável. Seguiram-se testes no terreno aos equipamentos de três companhias, sendo estes modificados de maneira a estarem adaptados ao aterro. O equipamento era constituído por um funil e uma tela transportadora que separaria os finos do resto do material. Este equipamento produziu 15,3 m³ de material de enchimento por hora, processando assim 4 toneladas por minuto. O sistema incluiu uma grade que controla a alimentação do funil, um cilindro magnético para separar o metal ferroso e uma etapa onde o material era submetido a uma queda vertical, permitindo uma separação mais fácil dos plásticos. Para esta operação foram novamente necessários apenas dois trabalhadores, um para colocar os resíduos no alimentador e outro para verificar se tudo fluía correctamente (Watson, 1988).

Existiram algumas considerações a ter em conta, tais como, a realização de testes para eventuais níveis perigosos de gás. Soube-se também que todo o material que passou por uma tela de três polegadas pôde ser utilizado para material de cobertura de aterro

sanitário e foi necessário realizar testes para verificar o potencial para estes fins serem utilizados para outros fins (Watson, 1988).

Aterro de Nova Jersey

O aterro do “Burlington County Resource Recovery Complex (BCRRC)”, em Nova Jersey, recebeu resíduos domésticos, comerciais e industriais, entre os anos 1989 e 1999, apresentava uma área de 22 ha e uma altura máxima de 40 m (Hull *et al.*, 2005).

As camadas de resíduos foram divididas em 3 períodos, consoante a idade dos depósitos. Durante a fase activa do aterro, 35% dos resíduos depositados eram resíduos domésticos, 25% resíduos misturados, 16% resíduos de construção e demolição, 10% outros, 8% resíduos comerciais e 5% industriais. Os resíduos encontravam-se em camadas que estavam separadas por material de cobertura compactado. O material de cobertura variava com o ano de deposição (Hull *et al.*, 2005).

Efectuaram-se 13 furos e retiraram-se 49 amostras de material depositado, cada uma com cerca de 80 kg. As amostras foram divididas em 14 fracções diferentes: papel, cartão, matéria orgânica, PET e HDPE, outros plásticos, vidro, metais ferrosos, alumínio, outros metais não ferrosos, têxtil/borracha/couro, madeira, pedra/tijolo, outros resíduos e resíduos perigosos. Os fins foram retirados logo no início (Hull *et al.*, 2005).

A fracção que se encontrou em maior quantidade foi a dos fins, seguidos de outros resíduos, madeira, outros plásticos e papel. A elevada fracção de madeira em algumas camadas deveu-se ao facto do material de cobertura usado ter lascas de madeira (Hull *et al.*, 2005).

2.2.2. TÉCNICA DE MINERAÇÃO DE ATERROS NA EUROPA

Na Europa, a primeira experiência de mineração de aterro foi realizada na Alemanha, no aterro de Burghof, perto de Stuttgart, em 1993. O objectivo foi conseguir-se espaço para a deposição de mais resíduos e avaliar a sua viabilidade técnica e económica. Contudo, como referem Cossu *et al.*, (1996), será necessário definir medidas adequadas para garantir as boas condições ambientais desta técnica, tanto para os trabalhadores, como para a comunidade envolvente.

Existiram também investigações no aterro de Schöneiche, também na Alemanha, um dos maiores aterros europeus onde foram depositados, durante 15 anos, resíduos domésticos, comerciais e industriais da parte ocidental de Berlim. Este e outros estudos e experiências da época, foram efectuados com o principal objectivo de reduzir os impactes ambientais negativos, resultantes dos antigos depósitos de resíduos, e construir novos aterros recorrendo a tecnologia mais moderna (Cossu *et al.*, 1996).

Na Itália, a mineração de aterros só foi considerada de interesse quando houve a necessidade de recuperar antigos aterros de modo a disponibilizar terrenos para deposição de novos resíduos. O primeiro estudo foi realizado em 1994, num antigo aterro

da Sardenha. Em Veneto, uma zona industrial com emissão de gases, circundada por uma área densamente urbanizada e produtora de resíduos, a construção de novos aterros era fundamental, mas extremamente difícil. Deste modo, os estudos apoiaram a realização de um projecto de mineração, recuperando antigas lixeiras e transformando-as em aterros modernos (Cossu *et al.*, 1996).

Na Suécia, aproximadamente 50% dos RSU e 95% dos resíduos industriais foram depositadas durante os últimos 30 a 40 anos, relativamente à década de 90. O número de lixeiras resultante desse período é de 6000, das quais, cerca de 200, apresentavam elevados riscos ambientais e requeriam intervenção (Cossu *et al.*, 1996).

Aterros na Alemanha

Para se adequar os antigos aterros aos novos padrões e normas ambientais, na Alemanha foram realizadas várias experiências à escala piloto que concluíram que se pode obter uma redução elevada na quantidade de resíduos através da mineração de aterro (Collivignarelli *et al.*, 1997).

Como já referido, em 1993 realizou-se em Burghof o primeiro projecto deste género, que teve como objectivo avaliar a viabilidade técnica e económica destas técnicas e criar medidas para protecção dos trabalhadores. Neste projecto os resíduos escavados foram separados nas seguintes fracções: inertes; pedras; resíduos perigosos; recicláveis, tais como plástico, madeira, e metal; e fracção leve para produção de CDR (Rettenberger *et al.*, 1995).

Durante esta escavação, os resíduos foram estabilizados anaerobicamente, a fim de reduzir a emissão de odores. Durante um ano, foram escavados e acondicionados cerca de 46.300 m³ de resíduos. De seguida os resíduos foram separados em materiais valorizáveis (metal, pedra e plásticos), fracção combustível (madeira e materiais leves) e não valorizáveis (fracção fina). Verificou-se então que cerca de 17,5% dos resíduos foi classificado como fracção combustível e 70,5% representavam a fracção fina. A restante percentagem corresponde à fracção pesada.

Os finos foram depositados novamente e a restante fracção, composta por 10% de pedra e 2% de metais, foi valorizada. A fracção leve separou-se em 3 partes: fracção leve com poder calorífico elevado (valor médio de 19,5 MJ/kg), para eliminação nos incineradores com recuperação de energia, materiais de plástico e madeira de boa qualidade. Aferiu-se também que a fracção fina se caracterizava por baixas percentagens de material inorgânico e que, depois da compactação, só 44% do volume inicial do aterro é que se ocupou novamente (Collivignarelli *et al.*, 1997).

Aterros na Itália

O primeiro estudo de mineração de aterro realizado em Itália foi efectuado num velho aterro da Sardenha, em 1994. Deste estudo obteve-se todos os parâmetros necessários para criar medidas e opções de triagem, nomeadamente: características do aterro;

qualidade dos resíduos; opções de triagem e de tratamento; e medidas a serem implementadas no local durante a fase de escavação (Hogland e Gomes, 1997).

No norte da Itália considerou-se vantajoso a utilização da técnica de mineração de aterro, pois, através desta foi possível reciclar algum material que representava uma potencial fonte de poluição e recuperou-se espaço para colocação de novos resíduos. Neste local foi também possível remover fracções perigosas. Aqui levou-se em consideração os seguintes factores: a integração com as características morfológicas da área; a fauna e a flora; o ponto de vista histórico, arquitectónico e cultural; e a reavaliação do local para fins recreativos (Collivignarelli *et al*, 1997).

Neste estudo recolheram-se algumas amostras de resíduos que foram posteriormente divididas em 9 fracções de dimensões diferentes. Verificou-se que 13% de resíduos tinham dimensões superiores a 200 mm e a fracção mais fina, inferior a 1 mm, representava 7% da quantidade total. A análise da composição física dos resíduos foi efectuada manualmente. O plástico foi o material presente em maior quantidade (23%), seguido pelo material inerte (13%), o vidro (12%) e o solo (11%). Em menor quantidade encontrou-se também papel, têxtil e madeira (6%), e metais (4%). A fracção finos (considerada de tamanho inferior a 10 mm) constituía 31% da composição física das amostras. O índice de resíduos perigosos – componentes eléctricos, baterias gastas, frascos de spray – era insignificante (Collivignarelli *et al*, 1997).

Por fim, e com o objectivo de verificar a possibilidade de reutilizar o material, foram efectuadas análises químico-biológicas. Concluiu-se que a fracção fina (menor 10 mm), devido à baixa qualidade dos componentes orgânicos e índices elevados de inertes e materiais ferrosos, não é útil para reutilizar como composto. Contudo, como material de cobertura, sendo a concentração de metais e outros contaminantes aceitável pode, ser reutilizada.

Relativamente a fracção leve – papel, madeira, têxtil, plásticos – pode ser enviada para incineração com aproveitamento de energia. E a fracção pesada – vidro e material inerte – pode ser separada em dois materiais diferentes, consoante o tamanho das partículas, obtendo-se assim materiais descontaminados e convenientes para aplicações específicas (Collivignarelli *et al*, 1997).

Aterros na Suécia

O principal objectivo das investigações realizadas na Suécia foi, através da utilização de parâmetros físicos e químicos, avaliar o estado de degradação dos resíduos enterrados consoante a sua profundidades e verificar o potencial do material escavado para reciclagem e valorização energética (Hogland *et al*, 2004).

Durante o Verão de 1994, foi escavada uma parte do aterro de Filborna, onde foram depositados resíduos durante 10 anos, para um teste piloto de um projecto de investigação (Hogland e Gomes, 1997). A finalidade era testar-se a eventual utilização da fracção fina dos materiais escavados, como cobertura diária de resíduos, em alternativa

aos materiais naturais. Escavou-se 1.300 m³ de resíduos a 8,5 m de profundidade, numa zona do aterro com 10 anos e posteriormente utilizou-se uma tela cilíndrica de 40 mm para separar o material.

Ao analisar-se o material grosseiro constatou-se que muitas fracções degradáveis ainda se encontravam presentes como, por exemplo, jornais, que a corrosão do metal era visível apenas numa primeira fase e que os plásticos estavam intactos (Collivignarelli *et al*, 1997).

Após uma análise laboratorial da fracção fina e da fracção grosseira verificaram-se algumas diferenças ao nível dos seguintes parâmetros: cinzas, poder calorífico e percentagem de carbono orgânico. A fracção grosseira é rica em matéria orgânica, enquanto que a fracção fina é caracterizada por um índice inorgânico elevado. Deste modo, com base nestas características, propôs-se colocar em aterro a fracção grosseira e utilizar a fracção fina como material de cobertura (Collivignarelli *et al*, 1997).

A técnica da mineração de aterro foi também realizada no aterro de Masalycke, localizado no sudeste da Suécia, que recebeu os primeiros resíduos nos anos 70, altura em que várias lixeiras foram encerradas. Durante a escavação observou-se a natureza e composição dos resíduos e mediu-se regularmente o volume dos furos, a temperatura, o metano e a condutividade dos lixiviantes. O material foi pesado, sem ter sido previamente seleccionado, e posteriormente foi colocado na estação de monitorização. Aqui o material foi dividido em três fracções – menor que 18 mm, entre 18 e 50 mm e maior que 50 mm – e cada uma destas foi pesada (Hogland, 2002).

A composição dos resíduos no aterro Masalycke era, na sua maioria, papel (cerca de 30%) madeira (cerca de 20%) e outros materiais (cerca de 17%). A fracção superior a 50 mm continha grandes quantidades de papel e madeira e a fracção média era maioritariamente constituída por rochas (Hogland, 2002).

Aterros na Áustria

Outro dos casos de estudo, ocorreu na Áustria, mas sem sucesso devido à emissão de odores. Collivignarelli *et al*, (1997) referem que o local em causa recebeu durante 25 anos resíduos municipais e industriais (materiais de construção e lamas de ETAR's) ocupando uma área de aproximadamente 100.000 m² com um volume de 650.000 m³. Devido à produção de biogás e à contaminação de lençóis freáticos, foi necessário realizar-se um aproveitamento do aterro. O aproveitamento consistiu na escavação dos resíduos, arranjo no sistema de drenagem e instalações para recolha do gás libertado. No entanto, poucas semanas depois de se iniciar as escavações, foi necessário interromper o projecto de mineração do aterro, devido a problemas de odores (Collivignarelli *et al*, 1997).

2.2.3. MINERAÇÃO DE ATERROS NA ÁSIA

Na Ásia, os projectos de mineração de aterro incluíam generalizadamente a recuperação ou conservação do espaço, a redução da área, o aumento da vida útil do aterro, a eliminação de potenciais fontes de contaminação, a recuperação de energia e de materiais, a reciclagem e a redução de custos. Partindo de 5 universidades, a mineração tem sido recentemente implementada para proteger a saúde humana e o ambiente (Hogland *et al.*, 2005).

Aterros na Índia

A existência na Índia de milhares de lixeiras a céu aberto causam um enorme risco para a saúde e para o ambiente. Kurian *et al.*, (2003) referem que em 1989 a lixeira de Deonar, perto de Mumbai, foi escavada à escala piloto, para permitir a recuperação dos resíduos decompostos e aproveitá-los para composto.

Também nas lixeiras de Kodungaiyur e de Perungudi, perto de Chennai, se realizaram técnicas de mineração de forma a estudar a evolução do estado de degradação dos resíduos e a viabilidade da recuperação da fracção de solo como composto e/ou material de cobertura. Estas lixeiras operam desde 1985, Kodungaiyur tem uma extensão de 160 ha e Perungudi de 250 ha. Na primeira foram seleccionados seis locais para retirar amostras e na segunda 18. Foram retirados aproximadamente 100 kg de material por local e, de seguida, as amostras foram separadas por tamanhos, com uma tela vibratória, inferior a 2 mm, entre 2 mm e 20 mm e superior a 20 mm. As fracções maiores foram separadas manualmente e a fracção de finos foi sujeita a varias análises, tais como, densidade, matéria orgânica volátil e cinzas (Kurian *et al.*, 2003).

2.2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ser uma técnica com alguma idade e de existirem casos práticos espalhados pelo mundo, a mineração de lixeiras e de aterros é ainda uma técnica pouco difundida. As desvantagens inerentes a esta técnica, como a libertação de odores apontada por Collivignarelli *et al.* (1997), os elevados custos relativos à sua prática, os riscos associados e a burocracia jurídica (SUFALNET, 2007), podem ter levado à falta de motivação em se investir neste tipo de tecnologia. No entanto, a mineração de aterros tem sido utilizada como parte integrante dos aterros biológicos (bioreactor landfill) (Jennings *et al.*, 2007).

O desconhecimento por falta de informação sobre o que foi depositado nestes locais também é um factor de desmotivação quando se pondera este tipo de tecnologia para resolver o problema ambiental, para obter espaço de encaixe de resíduos ou mesmo para reduzir os custos de pós-operação. Por essa razão, a mineração de aterros e lixeiras é considerada a solução última, isto é, quando os riscos inerentes à libertação de biogás, de contaminação de aquíferos e de outras linhas de água superficiais e de cobertura do aterro ou lixeira, se verificam em simultâneo (SUFALNET, 2007).

Mesmo que todos os argumentos se verifiquem, a tomada da decisão final de executar a mineração de lixeiras e aterros está dependente de uma investigação do local, nomeadamente a recolha de amostras para estimar a composição e quantidade de resíduos existente, informação geológica e geográfica, e ainda planos de desenvolvimento municipal e legislação aplicável (van der Zee, 2004), investigação esta que contribui para o aumento dos custos.

O estudo de novas formas de minimizar os custos de mineração de lixeiras e aterros podem ser uma mais valia e um contributo para a resolução dos problemas ambientais e económicos a longo prazo.

3. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.1. A PROBLEMÁTICA DAS LIXEIRAS EM PORTUGAL

Em Portugal, até meados da década de 90, e na generalidade do território nacional, a gestão dos RSU baseava-se na sua simples recolha conjunta e deposição em lixeira, sobre o solo não impermeabilizado e sem qualquer tipo de controlo ambiental. O único material que por esta altura era recolhido selectivamente a nível camarário, de uma forma mais sistemática, era o vidro de embalagem, embora a rede de vidrões fosse ainda muito incipiente.

Por se tratarem, na maior parte dos casos, de locais não vedados e sem vigilância, as lixeiras eram utilizadas indiscriminadamente por muitos produtores de resíduos, nomeadamente alguns industriais de carácter perigosos, resíduos hospitalares, entre outros. Encontravam-se também frequentemente em combustão, umas vezes porque entravam em auto-combustão, outras vezes a combustão era induzida pelos funcionários das Câmaras como forma de reduzir o volume dos resíduos e disponibilizar espaço para a deposição de mais resíduos.

Deste modo, estes locais eram focos constantes de poluição e de risco para a saúde pública, com libertação de odores, fumos e águas lixiviantes que contaminavam o solo e as águas superficiais e subterrâneas.

Em 1996, quando se iniciaram os trabalhos para a elaboração do PERSU, aprovado nos finais de 1997, identificaram-se 341 lixeiras municipais. De acordo com o diagnóstico da situação realizado no âmbito do PERSU em matéria de gestão de RSU, dos cerca de 3 milhões de toneladas de RSU produzidos em 1995, cerca de 73% tinham como destino final uma lixeira (Lobato Faria *et al.*, 1997). Este facto levou a que no PERSU a erradicação total das lixeiras fosse considerada como um dos eixos prioritários de intervenção no PERSU.

Por esta ocasião dá-se também uma outra alteração no país, a gestão dos RSU passa, por contrato de concessão, a ser gerida por Sistemas Municipais, Intermunicipais ou Multimunicipais, os SMAUT, e os projectos e obras de encerramento das lixeiras passam a ser realizados pelos SMAUT.

No entanto, a legislação não é clara relativamente à responsabilidade pela gestão e monitorização das lixeiras, já que o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, relativo à deposição de resíduos em aterros, apenas se aplica aos aterros e não às lixeiras. Por outro lado, as Câmaras Municipais, e dentro do espírito da Lei-Quadro dos Resíduos (Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro) serão as responsáveis pela gestão destes antigos locais de deposição, já que eram elas as proprietárias destes locais.

No entanto, na prática as Câmaras consideram que transferiram para os SMAUT essa responsabilidade e os SMAUT defendem-se dizendo que essa responsabilidade não está nos respectivos contratos de concessão. Por outro lado, há uma falta de informação generalizada sobre estes antigos locais de deposição. Como os resíduos não eram

pesados e, muitas vezes por falta de vedação e vigilância, as lixeiras eram utilizadas por produtores industriais e por unidades hospitalares, quer as Câmaras quer os SMAUT não têm informação sobre as quantidades, volumes e tipos de resíduos aí depositados.

Actualmente, e desde os finais de 2001, todas as lixeiras municipais se encontram encerradas, sendo a deposição em solo realizada apenas em aterros sanitários projectados e geridos de acordo com as normas europeias (MAOTDR, 2007). No entanto, a situação actual relativamente à monitorização das lixeiras é pouco disciplinada, uns SMAUT fazem a sua monitorização outros não. Contudo, segundo o INR (2002), o plano de análises e respectiva periodicidade relativa à monitorização das lixeiras encerradas e sua envolvente segue as orientações da Proposta de Directiva do Conselho-97/C, relativa à deposição de resíduos em aterro, e actualmente da Directiva n.º 99/31/CE, transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.

Este estado da situação leva-nos a suspeitar que, com mais de três centenas de lixeiras espalhadas por todo o país, os impactes ambientais negativos, embora não tão gravosos como quando as mesmas se encontravam em exploração, não terão sido todos eliminados com o seu encerramento, já que muitas continuam a libertar biogás e águas lixiviantes.

3.2. A LIXEIRA DA MOITA

No caso concreto da lixeira da Moita, e pelo que se conseguiu apurar, sabe-se que esteve em exploração durante 16 anos, entre 1980 e 1996, e recebeu RSU, resíduos industriais e hospitalares, dos concelhos de Palmela e da Moita.

Com a criação em 1997 do Sistema Multimunicipal da Margem Sul do Tejo, a AMARSUL, e a assinatura dos contratos de entrega e recepção, com os municípios que o integram, a lixeira passou a fazer parte das infra-estruturas dos municípios herdadas pela AMARSUL, neste caso do município de Palmela. A AMARSUL localiza-se na região de Lisboa e Vale do Tejo, no distrito de Setúbal, integrando-se na Península de Setúbal, e apresenta três Centros Integrados de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos (CIVTRS), um em Palmela (sede), outro no Seixal e outro em Setúbal, tendo uma cobertura que envolve os municípios de Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal, numa área total de cerca de 1521,661 km² (AMARSUL, 2007a). O sistema de gestão de RSU da AMARSUL contempla 7 ecocentros, 2 estações de triagem, 2 aterros sanitários, uma estação de transferência e uma central de tratamento mecânico e biológico, cujo diagrama se encontra na Figura 3.1 (adaptado de AMARSUL, 2007b).

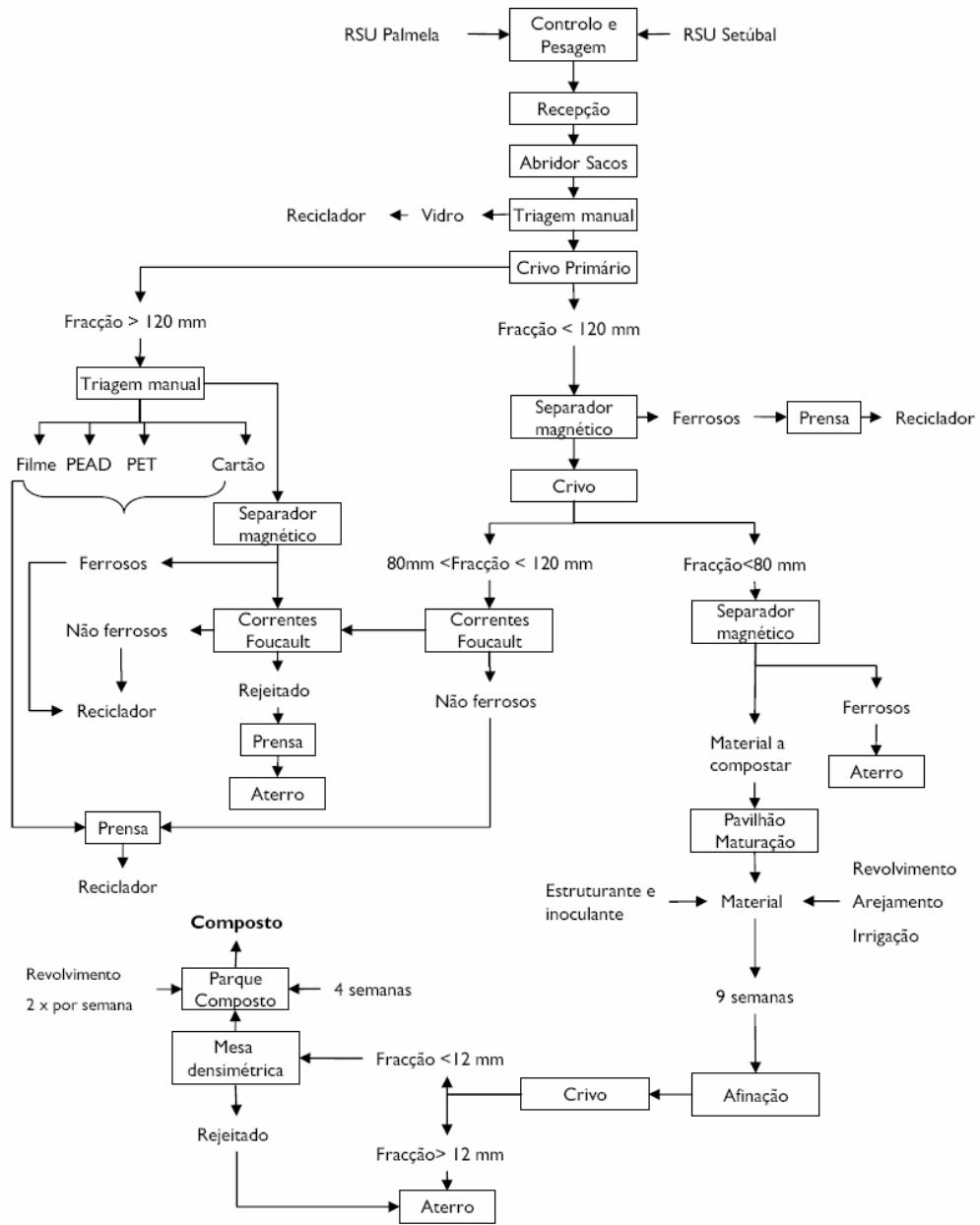


Figura 3.1 – Diagrama da unidade de TMB da AMARSUL (AMARSUL, 2007b)

O CIVTRS em Palmela, onde se localiza a lixeira da Moita, situa-se na freguesia da Quinta do Anjo, na confluência dos concelhos de Palmela e da Moita, a Este da Barra Cheia, na zona de influência do Vale das Sete Fontes, conforme consta na Carta Militar de Portugal, folha 443, à escala 1/25.000, do Instituto Geográfico do Exército, que se apresenta no Anexo A.

Devido aos problemas já mencionados, relativamente ao controlo ambiental e ao vazio legal que parece existir em torno das lixeiras, não se conseguiu, nem da parte da Câmara Municipal da Moita nem da AMARSUL, recolher grandes informações sobre esta lixeira.

Segundo o INR (2002), as acções e intervenções que foram adoptadas em Portugal no encerramento e selagem das lixeiras podem ser generalizadas para o país, apesar de ressaltar que a recuperação ambiental e selagem de lixeiras deve ser encarada caso a caso, tendo em atenção as condições específicas da região geográfica em que se inserem. No caso da lixeira da Moita, as informações existentes referem que a selagem foi efectuada apenas com recurso a solo. Relativamente ao controlo e monitorização das emissões de biogás pode-se verificar a presença de um sistema de drenagem horizontal do biogás, ligado a uma unidade de queima, encontrando-se actualmente inoperacional. Quanto ao controlo e monitorização das águas lixiviantes, conhecem-se a localização dos piezómetros implantados, um a montante e outro a jusante da lixeira.

Assim, e para além da informação relativa às datas de exploração da lixeira, às informações relativas ao processo de encerramento e selagem da lixeira ao facto da selagem ter sido efectuada apenas com recurso a solo e ao conhecimento que ocupa uma área aproximada de 12,8 hectares, pouco mais se conseguiu saber da lixeira da Moita, designadamente o volume de resíduos depositados, o perfil de enchimento, a forma como foi explorada durante os anos em que esteve activa, entre outros. Na Figura 3.2 apresenta-se uma fotografia que ilustra o aspecto geral da lixeira da Moita.

Já no decurso deste trabalho de investigação, e por recurso a métodos que se explicitam no capítulo da metodologia, estimou-se uma altura média de 7 metros e uma deposição de cerca de 673.233 toneladas de resíduos.



Figura 3.2 - Aspecto geral da Lixeira da Moita

A evolução dos resíduos depositados numa lixeira ou aterro sanitário passa, de uma maneira geral, por uma série de fases mais ou menos previsíveis e cujo significado e

duração são largamente determinados pelas condições climáticas, variáveis operacionais, opções de gestão, e outros factores de controlo. Estas fases podem ser acompanhadas e caracterizadas, nomeadamente, através da análise da evolução das águas lixiviantes produzidas (Bicudo, 1996).

A composição química das águas lixiviantes varia em função da idade do aterro e as fases de decomposição dos resíduos. A biodegradabilidade dos lixiviados varia com o tempo. O valor da razão CBO_5/CQO , dá uma noção da biodegradabilidade das águas lixiviantes. Em lixiviados jovens, os valores típicos para a razão CBO_5/CQO são idênticos ou superiores a 0,5, valores entre 0,4 a 0,6, indicam que a matéria orgânica no lixiviado é relativamente biodegradável. Em aterros maduros (lixiviados velhos) os valores desta razão variam entre 0.05 a 0.2 (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Como é visível pelo Quadro 3.1, as análises anuais efectuadas às águas lixiviantes da lixeira da Moita, em 2006, revelam que o valor da razão CBO_5/CQO é de 0,4, o que indica que a lixeira ainda não atingiu a maturação, estando presente matéria orgânica relativamente biodegradável.

Quanto às análises anuais, efectuadas aos piezómetros e às águas lixiviantes da lixeira já referidas, a maioria dos valores dos parâmetros obtidos no piezómetro a jusante da lixeira são superiores aos verificados no piezómetro a montante, o que indica que ocorre contaminação do aquífero. Quanto à fonte de poluição, verifica-se que a actividade agrícola existente na periferia do CIVTRS em Palmela não é a responsável, uma vez que os parâmetros indicativos de poluição por actividade agrícola, nitratos e nitritos, não são os parâmetros onde se observe variação nos seus valores. Quanto à fonte de poluição ser a lixeira, os resultados apontam para que exista tal indício, mas não é possível a sua confirmação, uma vez que não se tem conhecimento da dimensão do aquífero e, consequentemente, de todas as actividades potencialmente poluidoras do mesmo.

Relativamente às emissões de biogás, a monitorização realizada em 2004 revela que continuam a ocorrer emissões de CH_4 resultantes da lixeira da Moita, tendo sido determinadas 474 ton/ano (DHVFBO, 2004).

Apesar da lixeira se encontrar encerrada há cerca de 11 anos, as emissões de poluentes continuam a ocorrer, tal como previsto pela ocorrência de contaminação ao longo da vida da lixeira (ou de um aterro), o que constitui um desafio no que concerne o desenvolvimento sustentável.

A ideia fundamental da sustentabilidade é a de que não serão transpostas para as gerações futuras os problemas criados nas gerações anteriores. A ocorrência de contaminação ao longo da vida da lixeira é definida como o período que o corpo da lixeira é capaz de produzir emissões (gasosas ou líquidas) nas quais as substâncias constantes do meio estão em níveis que podem ter um impacte inaceitável para o ambiente circundante. Recentemente, verificou-se que a ocorrência de contaminação ao longo da vida da lixeira pode durar séculos (Gronow *et al.*, 2007; Ehrig e Kruempelbeck, 2007). Tal não será, de todo, sustentável para as gerações futuras pois terão de lidar, com maior ou menor esforço, com o *aftercare* das lixeiras, mesmo depois de encerradas e seladas,

como é o caso. E este esforço de *aftercare* reflecte-se em custos que não foram contabilizados durante a exploração da lixeira, nomeadamente através de uma taxa de deposição (Heimovaara *et al.*, 2007).

Quadro 3.1 – Análises efectuadas às águas subterrâneas e águas lixiviantes, em 2006 (AMARSUL, 2007c)

Parâmetro	Piezómetro Montante	Piezómetro Jusante	Águas lixiviantes Lixeira da Moita
pH	5,74	7,52	7,9
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	226	8490	1720
Cloretos (Cl mg/l)	49	1800	203
Amónio (NH_4 mg/l)	<0,05	660	-
CBO_5 (O_2 mg/l)	<2	25	197
CQO (O_2 mg/l)	<5	545	497
COT (C mg/l)	1	180	91
Cianetos (CN mg/l)	<0,010	<0,010	0,013
Antimónio (Sb mg/l)	<0,001	<0,001	<0,04
Arsénio (As mg/l)	<0,001	0,039*	<0,04
Cádmio (Cd mg/l)	<0,001	<0,001	<0,02
Crómio total (Cr mg/l)	<0,001	0,02	<0,1
Crómio VI (Cr (VI) mg/l)	<0,001	$\leq 0,02$	<0,1
Mercúrio (Hg mg/l)	<0,0002	<0,0002	<0,005
Níquel (Ni mg/l)	<0,005	0,014	<0,2
Chumbo (Pb mg/l)	0,005	0,004	<0,5
Selénio (Se mg/l)	<0,0004	<0,0004	<0,02
Potássio (K mg/l)	1,6	463	89
Fenóis ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ mg/l)	<0,004	<0,004	0,082
Bicarbonatos (HCO_3 mg/l)	13,6	2400	713
Carbonatos (CO_3 mg/l)	<2	<60	<2
Fluoretos (F mg/l)	<0,1	0,85	<0,20
Nitratos (NO_3 mg/l)	19	2,3	<3
Nitritos (NO_2 mg/l)	<0,010	<0,010	<0,3
Sulfatos (SO_4 mg/l)	8,5	8,9	67
Sulfuretos (HS mg/l)	<0,02	<0,02	<0,1
Alumínio (Al mg/l)	0,024	0,08	10
Bário (B mg/l)	0,04	0,5	0,07
Boro (B mg/l)	<0,03	0,07	0,22
Cobre (Cu mg/l)	<0,002	<0,002	0,04
Ferro (Fe mg/l)	0,03	4,7	7,0
Manganês (Mn mg/l)	0,02	0,17	0,14
Zinco (Zn mg/l)	<0,02	<0,02	0,07
Cálcio (Ca mg/l)	6,9	30	85
Magnésio (Mg mg/l)	6,9	36	17
Sódio (Na mg/l)	27	953	140
AOX (Cl mg/l)	<0,2	0,7	<0,2

É neste contexto que surge a possibilidade de se estudar a mineração da lixeira da Moita. Apesar de outras medidas mitigadoras poderem ser aplicadas no caso de estudo em questão, como a estabilização aeróbia, medidas de remediação do lençol freático ou implementar a selagem definitiva da lixeira (Heyer *et al.*, 2007), o contexto em que se enquadra o caso de estudo justifica a opção mineração, pelos seguintes factores:

- necessidade de uma nova célula para expandir a capacidade de deposição, com a consequente impermeabilização do solo;
- minimização dos custos de controlo e monitorização inerentes à lixeira;
- eliminação dos impactes ambientais.

4. METODOLOGIA E PLANEAMENTO DO TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO

4.1. ENQUADRAMENTO

O trabalho prático, de natureza exploratória, diz respeito à caracterização dos resíduos depositados na antiga lixeira da Moita, à estimativa das quantidades depositadas nesta lixeira e ao desenho e avaliação de diferentes cenários possíveis de processos tecnológicos para a mineração desta lixeira.

Neste capítulo são descritos os objectivos, o planeamento experimental, nomeadamente a selecção e caracterização do caso de estudo, o planeamento e cronograma das várias fases, a metodologia e os procedimentos adoptados para a amostragem e para a caracterização das amostras de resíduos e o tratamento efectuado aos resultados.

4.2. OBJECTIVOS

Como referido anteriormente, o principal objectivo deste trabalho consiste em avaliar as possíveis alternativas para a operação de mineração de lixeiras e propor a que apresente viabilidade económica para ser aplicada ao caso de estudo da lixeira da Moita.

Destacam-se ainda, como objectivos intrínsecos e complementares, os seguintes:

- observar visualmente o estado em que se encontram os resíduos depositados numa lixeira encerrada há mais de 10 anos e fazer a sua caracterização física;
- avaliar as diferenças, em termos de composição física, entre resíduos depositados em diferentes períodos temporais (resíduos mais antigos *versus* mais recentes) e a diferentes profundidades;
- estimar as quantidades que eventualmente se encontram depositadas nesta lixeira por componente, uma vez que não existe nenhum registo sobre estes quantitativos;
- testar na prática as dificuldades que se colocam na caracterização de resíduos depositados em antigas lixeiras e sugerir medidas ou erros a evitar em trabalhos de investigação similares que se vierem a realizar no futuro.

4.3. PLANEAMENTO EXPERIMENTAL

4.3.1. SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO: LIXEIRA DA MOITA

As razões para a escolha da lixeira da Moita, como caso de estudo, estão relacionadas com dois factores. O primeiro, e mais importante, foi a disponibilidade e interesse da

AMARSUL para colaborar na concretização deste trabalho, disponibilizando equipamento e espaço para a realização das escavações e a caracterização dos resíduos.

Para a AMARSUL, os resultados deste projecto de investigação são importantes para a sua tomada de decisão relativamente à futura mineração da lixeira, a qual é encarada pela empresa como uma oportunidade para ganhar algum espaço para deposição de novos resíduos e, simultaneamente, como forma de reduzir o potencial impacte ambiental que os lixiviados desta lixeira poderão estar a originar, pois ao infiltrarem-se no solo põem em risco a qualidade da água do lençol freático.

O segundo factor relaciona-se com a proximidade da lixeira da Moita à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), o que facilitou e minimizou os custos com as deslocações da equipa de caracterização de resíduos e o transporte das amostras para o laboratório de resíduos da FCT/UNL, para posterior tratamento e análise, facto fundamental atendendo a que este projecto não teve qualquer tipo de financiamento.

Um dos grandes problemas com que se deparou no início do trabalho foi a quase total ausência de informação e dados específicos sobre a lixeira da Moita, como já referido no capítulo 3.

4.3.2. PLANEAMENTO E CRONOGRAMA

Em termos metodológicos, e para atingir os objectivos anteriormente estipulados, o trabalho foi estruturado nas seguintes seis fases:

- Fase I – Revisão bibliográfica sobre mineração de aterros

O trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica sobre estudos ou projectos de mineração de aterros ou antigas lixeiras realizados em diferentes partes do mundo, no sentido de se compreender quais os procedimentos normalmente realizados, as características dos resíduos, as técnicas de mineração que têm sido utilizadas e as vantagens ou desvantagens apontadas pelos diversos autores relativamente a esta tecnologia.

- Fase II – Preparação da parte experimental

Nesta fase foram realizadas as diligências necessárias junto da AMARSUL para se poder utilizar a lixeira da Moita como caso de estudo. Deste modo, desenvolveu-se e apresentou-se à AMARSUL uma proposta de projecto de investigação, à qual se seguiram várias reuniões para acerto das necessidades de apoio logístico e humano, discussão sobre a metodologia de amostragem e de caracterização dos resíduos e respectivas datas mais convenientes para a AMARSUL. Procurou-se igualmente nesta fase conhecer e recolher alguma informação sobre a história da lixeira da Moita, pois este conhecimento facilitaria a escolha da metodologia de amostragem e dos cenários alternativos de processamento de resíduos a avaliar.

- Fase III – Trabalho experimental

O trabalho experimental decorreu nas instalações da AMARSUL de Palmela, onde se encontra localizada a lixeira da Moita, e no laboratório da FCT/UNL. Nesta fase

foram seleccionados e marcados na lixeira os locais de amostragem e realizadas as perfurações para extracção de amostras de resíduos. Estas amostras foram transportadas para um local coberto, ainda nas instalações da AMARSUL, para se proceder à sua caracterização física. Durante esta fase foram ainda recolhidas amostras de resíduos para determinação da humidade no laboratório de resíduos da FCT/UNL.

- Fase IV – Tratamento dos resultados

Nesta fase procedeu-se ao tratamento dos dados recolhidos na fase anterior, designadamente a determinação da composição física, peso específico e humidade dos resíduos que se encontram depositados a diferentes longitudes e profundidades da lixeira, e estimou-se a quantidade total de resíduos que eventualmente foram depositados nesta lixeira durante o período em que esteve activa.

- Fase V – Concepção e avaliação de cenários alternativos para a mineração da lixeira

Tendo em consideração os resultados obtidos na fase anterior, e através da bibliografia consultada sobre tecnologias e processos de mineração de aterros, definiu-se um conjunto de cenários hipotéticos, para as linhas de processamento dos resíduos da lixeira da Moita, e realizou-se uma análise comparativa dos mesmos em termos económicos e ambientais.

- Fase VI – Redacção da dissertação

A última fase correspondeu à redacção e revisão da dissertação.

No Quadro 4.1 apresenta-se o cronograma das diferentes fases do trabalho.

Quadro 4.1 – Cronograma das diferentes fases do trabalho

Fases	2007											2008
	Mar-	Abr-	Mai-	Jun-	Jul.	Ag.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	
Fase I – Revisão bibliográfica												
Fase II – Preparação do trabalho experimental												
Fase III – Trabalho experimental												
Fase IV – Tratamento dos resultados												
Fase V – Definição e avaliação de cenários												
Fase VI – Redacção da dissertação												

4.3.3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

Para avaliar o potencial e a viabilidade económica da mineração da lixeira da Moita é essencial conhecer a natureza dos resíduos e estimar a quantidade de algumas das suas componentes que poderão ter interesse para reutilização ou valorização. Isto pressupõe um plano de amostragem para a obtenção de um número de amostras de resíduos que sejam representativas dos resíduos depositados na lixeira.

Devido à completa ausência de informação e desconhecimento por parte dos técnicos da AMARSUL e da Câmara Municipal de Palmela sobre a forma como a lixeira foi explorada, nomeadamente sobre a evolução temporal do seu enchimento, as eventuais colocações de material de cobertura, deposição de terras ou resíduos de construção, o revolvimento de resíduos, autocombustão, ou outros factos que pudessem ajudar na selecção de pontos de amostragem, teve que se optar por uma metodologia de amostragem aleatória e dimensionada para os recursos humanos e logísticos disponíveis.

Do que se conseguiu apurar, a lixeira terá evoluído no sentido Noroeste-Sudeste, de acordo com as setas assinaladas no mapa apresentado na Figura 4.1. Assim, considerou-se que os resíduos depositados perpendicularmente a esta orientação teriam características temporais comuns. Dividiu-se a lixeira em duas faixas paralelas, ao sentido do crescimento, e seleccionou-se aleatoriamente uma das faixas para marcação dos locais a escavar para extracção das amostras.

Foi ainda considerado de interesse caracterizar os resíduos depositados não só no sentido horizontal, ao longo da evolução da lixeira, mas também no sentido vertical, em profundidade, uma vez que, embora se desconhecendo as datas em que os resíduos foram depositados, é expectável que os resíduos mais antigos se encontrem em maior profundidade, pelo que seria interessante avaliar as diferenças em termos da decomposição destes resíduos.

Para efectuar a amostragem, dividiu-se a faixa seleccionada em quadriculas de 15x15 metros, definindo-se de seguida 6 locais equidistantes entre si, de 180 em 180 metros, de acordo com os pontos brancos assinalados no mapa da Figura 4.1. Os locais escolhidos foram os que aparentemente apresentavam mais resíduos em altura e os que permitiam um melhor acesso e não interferiam com as estruturas já construídas, nomeadamente o sistema de drenagem do biogás.

Decidida a metodologia e a localização dos pontos de amostragem no mapa, e de acordo com as datas disponíveis da AMARSUL para o apoio logístico necessário ao projecto, iniciaram-se os trabalhos de campo no dia 2 de Julho de 2007. Nesse dia, procedeu-se às marcações destes pontos no terreno com estacas, com a ajuda de uma fita métrica a partir de pontos de referência identificados no mapa e no terreno.

No dia seguinte, um dos operadores de máquinas da AMARSUL, recorrendo a uma máquina giratória, escavou e retirou de cada um destes 6 pontos, 2 amostras de resíduos. Uma mais à superfície, a cerca de 1 m, logo após a remoção do material de cobertura, e a segunda a cerca de 2-3 metros, profundidade permitida pelo alcance do braço da giratória sem recorrer ao aumento significativo do diâmetro da perfuração, o que poderia originar impactes negativos na zona envolvente pela libertação de odores.

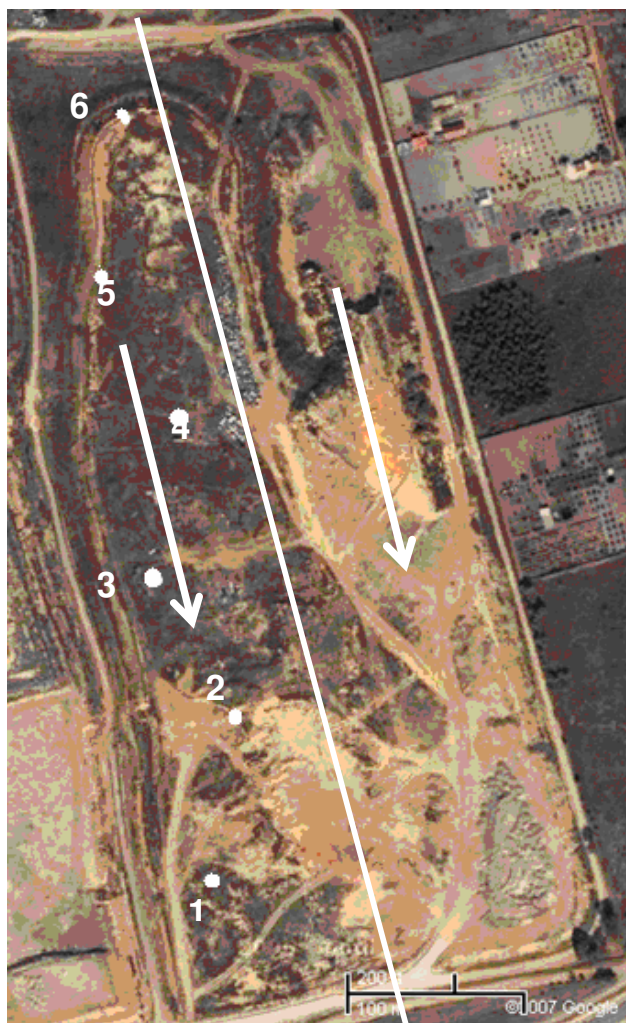


Figura 4.1 – Sentido da evolução do enchimento da lixeira e localização dos pontos de amostragem para a caracterização dos resíduos (adaptado de Google Maps, 2007)

Na Figura 4.2 apresentam-se algumas fotografias que ilustram os procedimentos efectuados nesta fase de extracção das amostras.

De cada um destes pontos de amostragem foi retirada uma quantidade de resíduos equivalente a $1,2 \text{ m}^3$ aproximadamente, volume equivalente ao da pá da máquina giratória. Este volume poderá corresponder a cerca de 900-1200 kg, considerando que na bibliografia se referem pesos específicos para os resíduos depositados em aterros na ordem dos $750\text{-}1000 \text{ kg/m}^3$ (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

A extracção das duas amostras de cada um dos furos demorou, em média, cerca de 22,5 minutos.

Cada uma das amostras foi colocada em cima de um oleado, identificado com um código relativo ao número e profundidade do furo, tendo sido posteriormente transportadas por outra máquina para a nave de triagem de papel/cartão, local disponibilizado pela AMARSUL para a realização das campanhas de caracterização física destas amostras.



Figura 4.2 - Fotografias dos procedimentos realizados para a extracção de amostras de resíduos da lixeira da Moita

Apenas duas destas amostras foram transportadas para este local logo no dia em que foram extraídas da lixeiras, as restantes foram transportadas nos dias seguintes, ao longo da semana de 2 a 7 de Julho de 2007, de acordo com o espaço disponível no local destinado à caracterização dos resíduos. Este facto veio introduzir alguma variação no peso húmido das amostras já que algumas, por terem ficado expostas no terreno ao sol durante alguns dias, perderam bastante humidade.

No Quadro 4.2 apresenta-se o código atribuído a cada uma das amostras, o número dos furos e das amostras, a data e hora da recolha das amostras e a profundidade a que as mesmas foram recolhidas, salientando-se a azul as amostras recolhidas mais à superfície da lixeira e a negrito as mais profundas, logo, com resíduos mais antigos.

Quadro 4.2 – Data da recolha de amostras e profundidade dos resíduos recolhidos da lixeira da Moita

Código das amostras	Nº do furo	Nº da amostra	Data e hora da recolha		Profundidade a que os resíduos foram recolhidos (m)
A 1.1	1	1	03-Jul-07	8h55	1,0
A 1.2	1	2	03-Jul-07	9h06	2,1
A 2.3	2	3	03-Jul-07	9h22	1,0
A 2.4	2	4	03-Jul-07	9h29	1,8
A 3.5	3	5	03-Jul-07	9h55	1,0
A 3.6	3	6	03-Jul-07	10h03	2,1
A 4.7	4	7	03-Jul-07	10h38	0,9
A 4.8	4	8	03-Jul-07	10h47	3,0
A 5.9	5	9	03-Jul-07	11h32	1,1
A 5.10	5	10	03-Jul-07	11h38	3,0
A 6.11	6	11	03-Jul-07	12h11	0,9
A 6.12	6	12	03-Jul-07	-	1,5

4.3.4. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A caracterização física dos resíduos das amostras recolhidas da lixeira da Moita foi realizada num espaço disponível do edifício de compactação do papel/cartão proveniente das recolhas selectivas da AMARSUL e com o equipamento da AMARSUL utilizado nas suas campanhas de caracterização física dos RSU.

O equipamento utilizado para a caracterização dos resíduos encontra-se descrito no Quadro 4.3. Em termos de recursos humanos organizou-se uma equipa da FCT/UNL constituída por 9 elementos, que se dividiram em grupos de trabalho de 5 para cada dia de caracterização. Todos os elementos da equipa foram equipados com material de protecção individual, nomeadamente botas de biqueira de aço e anti-derrapantes, fatos de macaco de Tyvek, luvas anti-corte e máscaras anti-poeira.

O procedimento utilizado para a selecção da amostra, bem como o catálogo de triagem, foi adaptado da metodologia de caracterização física indicada no PERSU II para os RSU (MAOTDR, 2007).

Quadro 4.3 – Equipamento utilizado

Equipamento de caracterização
Mesa de triagem com malha de 20 mm de diâmetro
Crivo rotativo com malha de 20 mm de diâmetro
Baldes de triagem (para colocação de cada uma das componentes triadas)
Caixa de recepção
Balança digital DIGI DI-28 (0,01 kg)
Pás e ancinhos

Deste modo, e de cada uma das amostras recolhidas em cada um dos pontos da lixeira, com cerca de 1,2 m³ de resíduos, retiraram-se aleatoriamente cerca de 300 kg, os quais foram colocados em baldes para pesagem e determinação do peso específico dos resíduos. No total, foram caracterizados 3.703,39 kg de resíduos recolhidos dos 12 pontos de amostragem, como se pode verificar no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Quantidade de resíduos caracterizados por ponto de amostragem

Código das amostras	Quantidade de resíduos caracterizada (kg)
A 1.1	319,53
A 1.2	381,51
A 2.3	277,91
A 2.4	321,77
A 3.5	307,21
A 3.6	402,23
A 4.7	230,56
A 4.8	260,35
A 5.9	268,87
A 5.10	227,88
A 6.11	312,79
A 6.12	392,78
Total	3.703,39

De seguida, colocou-se cada uma das amostras dentro da tremonha de recepção do crivo rotativo para separação dos finos das restantes componentes. Estes procedimentos encontram-se ilustrados na Figura 4.3. Esta operação facilitou a posterior separação manual de resíduos, que se realizou numa mesa de triagem com um crivo de 20 mm.



Figura 4.3 - Fotografias ilustrativas do processo de selecção da amostra para caracterização e da separação dos finos dos restantes resíduos

Alguns exemplares dos resíduos previamente separados, tais como papel e cartão, filme plástico, embalagens de plástico rígidas, têxteis e finos, foram colocados em sacos herméticos e transportados para o laboratório de resíduos do DCEA/FCT/UNL, para determinação da humidade.

A humidade foi determinada por pesagem das amostras antes e após a sua permanência em estufa a 105 °C e durante 24 horas.

No Quadro 4.5 apresenta-se o catálogo de triagem das componentes separadas.

Quadro 4.5 - Catálogo de triagem das componentes separadas das amostras de resíduos depositados na lixeira da Moita

Componentes	Observações
Papel e cartão	Embalagem e não embalagem
Embalagens de cartão para líquidos alimentares (ECAL)	Embalagens identificáveis como tal
Filme plástico	Sacos de plástico identificáveis como tal
Embalagens de plástico rígidas	Embalagens de plástico rígidas
Outros plásticos	Outros resíduos de embalagens
Vidro	Embalagem e não embalagem
Metais	Ferrosos e não ferrosos, embalagem e não embalagem
Têxteis	Roupas, tapetes e esponjas
Madeira	Embalagem e não embalagem
Finos (< 20 mm)	Todos os resíduos que passaram pelas malhas do crivo rotativo
Pedras e inertes	Pedras, tijolos, cerâmicas e ossos
Outros	Todos os resíduos identificáveis mas que não correspondem a nenhuma das categorias anteriores (fraldas, têxteis sanitários, sapatos) e sacos fechados
Restos (fracção residual)	Todos os resíduos de menores dimensões que ficaram na mesa de triagem por terem dimensões superiores a 20 mm, mas cuja identificação não foi possível.

Na Figura 4.4 apresentam-se algumas fotografias que ilustram os trabalhos realizados na separação dos resíduos na mesa de triagem.



Figura 4.4 – Fotografias das componentes triadas

4.3.5. TRATAMENTO DOS RESULTADOS

4.3.5.1 PARÂMETROS DA AMOSTRA

As campanhas de caracterização física realizadas aos resíduos depositados na lixeira permitiram determinar a sua composição física, peso específico e humidade.

A composição física, expressa em percentagem face ao total da amostra, refere-se à quantidade, em peso, de cada uma das componentes separadas no crivo rotativo e na mesa de triagem.

O peso específico, expresso nas unidades kg/m^3 , relaciona a massa ou peso do material e o volume que ocupa (Rhyner *et al.*, 1995).

O teor em humidade dos resíduos refere-se à quantidade de água contida nos mesmos.

As fórmulas utilizadas para a determinação do peso específico e humidade encontram-se no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Fórmulas de cálculo do peso específico e da humidade dos resíduos

Parâmetro	Fórmula	Fonte
Peso específico	$PE = \frac{P}{V}$ PE – peso específico (kg/m^3) P – peso da amostra (kg) V – volume da amostra (m^3)	Rhyner <i>et al.</i> , 1995
Humidade	$H = \frac{AE - DE}{AE} \times 100$ H – teor em humidade da amostra (%) AE – peso da amostra antes de ser colocada na estufa (g) DE – peso da amostra após permanência na estufa durante 24h a 105°C (g)	Dupont <i>et al.</i> , 1998

4.3.5.2 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS DEPOSITADOS NA LIXEIRA

Para facilitar a caracterização dos resíduos totais da lixeira da Moita foi feita uma estimativa do seu volume. Para este cálculo necessitou-se de determinar a altura dos resíduos depositados e a área de ocupação da lixeira uma vez que a AMARSUL não tinha estes dados disponíveis.

Através das diferenças de cotas do terreno, medidas antes e após a existência da lixeira, calculou-se a altura média da lixeira. Utilizou-se o valor médio e não os valores medidos porque a lixeira não apresenta sempre a mesma espessura em toda a sua extensão. Com recurso à planta topográfica da lixeira foi possível calcular a sua área total e, por conseguinte, o volume dos resíduos depositados.

Este volume estimado multiplicado pelo peso específico médio, também estimado para os resíduos depositados na lixeira, adquirido através da pesagem dos resíduos que foram caracterizados, permitiu estimar a quantidade total de resíduos que provavelmente foram depositados durante os 16 anos em que a lixeira esteve em exploração.

No Quadro 4.7 apresentam-se as fórmulas utilizadas para o cálculo do volume e do peso de resíduos depositados na lixeira da Moita.

Quadro 4.7 – Fórmulas de cálculo do volume e peso de resíduos depositados na lixeira

Parâmetro	Fórmula	Fonte
Volume dos resíduos depositados na lixeira	$V(m^3) = A(m^2) \times Al(m)$	V – volume de resíduos (m ³) A – área da lixeira (m ²) Al – altura do material depositado (m) Rhyner <i>et al.</i> , 1995
Quantidade de resíduos depositado na lixeira	$Q_{resíduos}(kg) = PE(kg/m^3) \times V(m^3)$	Qresíduos – quantidade de resíduos aterrados (kg) PE – peso específico dos resíduos (kg/m ³) V – volume de resíduos (m ³) Dupont <i>et al.</i> , 1998

4.3.5.3 PRESSUPOSTOS ADOPTADOS PARA O MODELO DE ANÁLISE DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS PARA O PROCESSO TECNOLÓGICO DE MINERAÇÃO

A mineração de lixeiras e aterros é apontada como uma técnica onerosa, independentemente se o objectivo é resolver um problema ambiental ou de recuperação de espaço para deposição de novos resíduos. Com o intuito de promover o melhor processo de mineração foram desenhados diversos cenários de modo a permitir comparar e compreender os custos do processo de mineração.

Os cenários foram escolhidos tendo em conta a maximização da rentabilidade dos resíduos e do espaço da lixeira. As linhas de tratamento têm de conseguir separar eficazmente as fracções valorizáveis, aumentando o seu potencial de utilização final. Com a máxima rentabilidade dos resíduos será igualmente garantido o máximo aproveitamento do espaço da lixeira, uma vez que será evitado a re-deposição dos resíduos no aterro sanitário confinante.

Para a definição dos cenários recorreu-se a dados e esquemas existentes na bibliografia e ainda às tecnologias de tratamento mecânico de resíduos da AMARSUL, nomeadamente a unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB). Esta unidade encontra-se localizada em Setúbal e processa os RSU deste concelho. A sua capacidade de tratamento é de 50.000 ton/ano.

É de salientar que, para o balanço total dos resíduos processados não foi considerado o tratamento aeróbio e, conseqüentemente, a utilização final do resíduo estabilizado resultante.

Conhecendo a composição física do material depositado, pode-se verificar quais os componentes que se encontravam em maior quantidade. Assim, foi possível estabelecer diferentes formas de processamento destes resíduos.

Por último, e para cada hipótese, realizou-se uma análise económica recorrendo-se ao modelo de Diaz *et al.* (1982) (Rhyner *et al.*, 1995).

Para a análise dos custos da mineração da lixeira da Moita, desenvolveram-se e analisaram-se três grandes cenários, cada um dos quais com algumas variantes, que se descrevem de seguida.

- *Cenário 1: Lixeira*

Neste cenário pretende-se que o processo de mineração ocorra por completo na lixeira, segundo o processo simples, como apresentado na Figura 1.1. O objectivo principal deste cenário é a obtenção maximizada de finos para serem utilizados como material de cobertura para as células do aterro sanitário de Palmela. Espera-se também a obtenção de material ferroso, sendo o refugo do processo encaminhado para incineração ou para o aterro vizinho. Envolve portanto a escavação, a crivagem e a separação magnética. Na Figura 4.5 apresenta-se o esquema para este primeiro cenário.

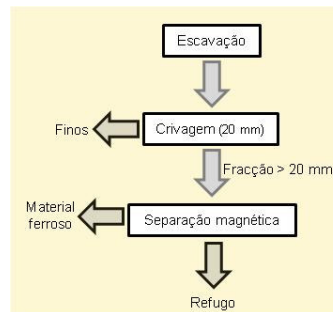


Figura 4.5 - Cenário 1 - Lixeira

- *Cenário 2: Lixeira e TMB*

O segundo cenário compreende a repartição do processamento mecânico dos resíduos na lixeira e na unidade de TMB de Setúbal, referida no capítulo 3. Este cenário tem a vantagem de permitir a recuperação maximizada de outros materiais valorizáveis, ao contrário do cenário simplificado.

O processamento mecânico, previsto na lixeira, produzirá um material de cobertura, sendo o restante material encaminhado para a unidade de TMB. Deste modo, prevê-se que uma parte significativa dos resíduos fique imediatamente retida perto do local onde será utilizado – as células do aterro de Palmela.

As saídas de materiais resultantes do processamento mecânico na TMB serão a fracção combustível com características para a produção de combustível derivado de refugo (constituída por papel e cartão, ECAL, embalagens de plástico rígidas, filme plástico, outros plásticos, têxteis e madeira), materiais recicláveis (metais e vidro), refugo e material a processar no tratamento biológico, como se pode verificar pela Figura 4.6.

Uma vez que a unidade de TMB se encontra a processar RSU, é importante considerar o processamento conjunto destes resíduos com os escavados da lixeira. Esta mistura de resíduos permitirá que a linha TMB não opere exclusivamente os resíduos da lixeira, o que iria levar ao reencaminhamento dos RSU para outros destinos, como os aterros da AMARSUL.

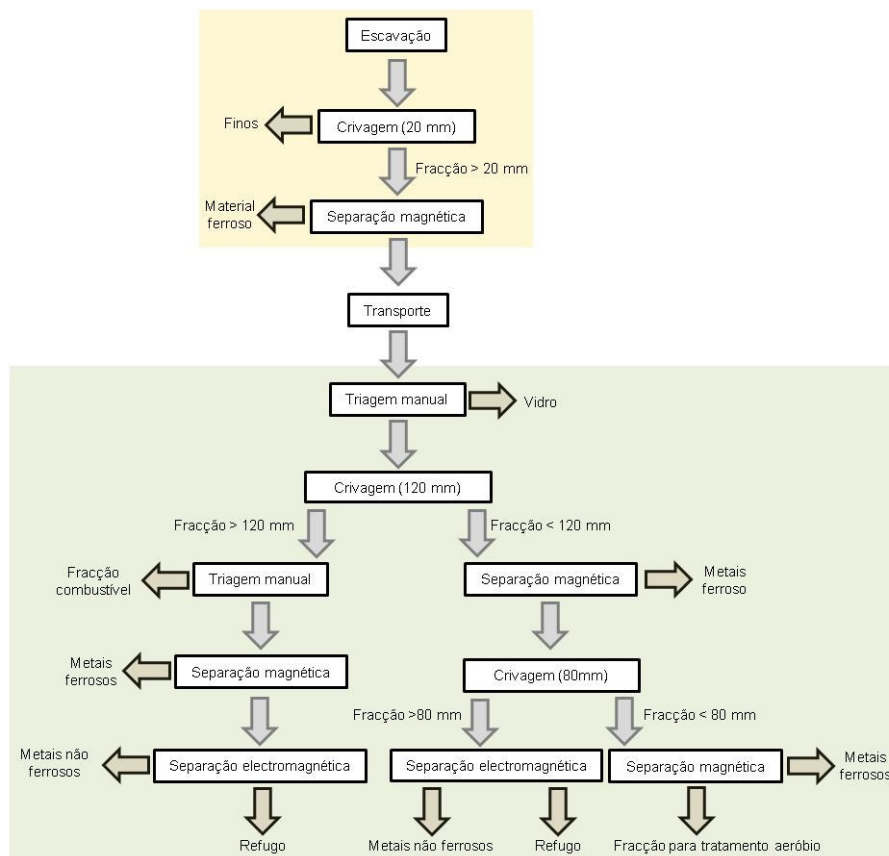


Figura 4.6 – Cenário 2 - Lixeira e TMB

O cenário 2 será utilizado para definir três sub-cenários diferentes, designadamente:

- material de entrada com 0% de RSU e 100% de resíduos escavados;
- material de entrada composto por 10% de RSU e 90% de resíduos escavados;
- material de entrada composto por 50% de RSU e 50% de resíduos escavados.

- *Cenário 3: TMB*

Com o processamento mecânico maximizado na TMB, o cenário 3 pretende que na lixeira apenas ocorra a escavação dos resíduos. Neste cenário seria expectável que a fracção finos seguisse para tratamento biológico, pelo desenho da linha da TMB.

No entanto, não foi previsto o estudo da qualidade desta fracção com esse fim. Na Figura 4.7 encontra-se o *layout* do processamento mecânico dos resíduos. Também neste cenário é esperado obter-se uma fracção combustível com características para a produção de CDR e ainda materiais recicláveis, como metais ferrosos, não ferrosos e vidro.

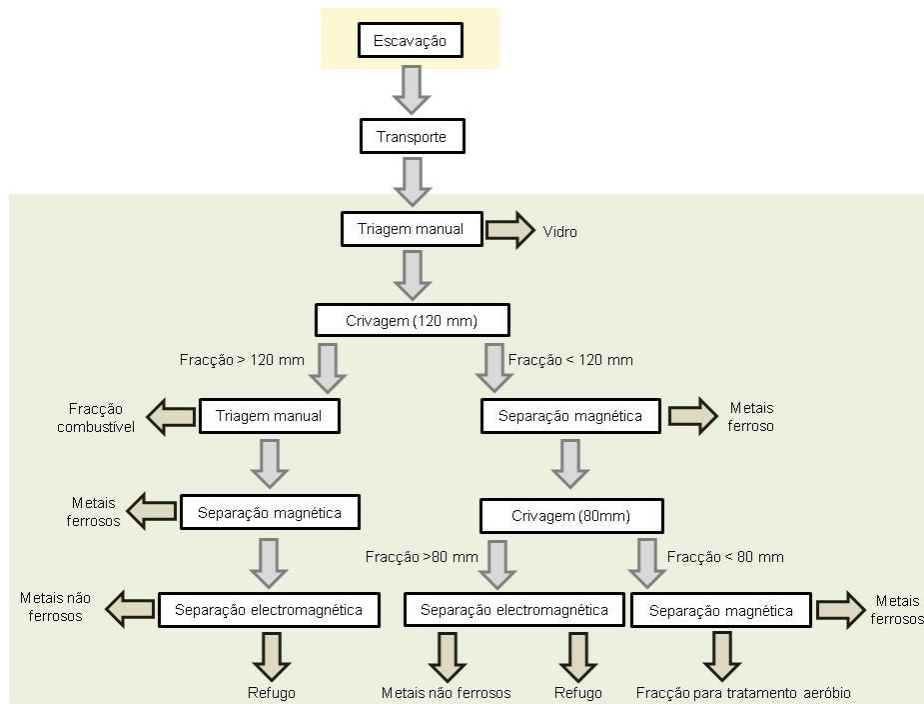


Figura 4.7 – Cenário 3 - TMB

Tal como no cenário 2, também neste cenário se considerou o processamento dos resíduos escavados em simultâneo com os RSU, nas seguintes proporções:

- material de entrada com 0% de RSU e 100% de resíduos escavados;
- material de entrada composto por 10% de RSU e 90% de resíduos escavados;
- material de entrada composto por 50% de RSU e 50% de resíduos escavados.

Para a avaliação dos diferentes cenários apresentados, foram definidos diversos pressupostos, de natureza técnica, operacional e económica, que se especificam de seguida.

Pressupostos técnicos

Considerando os equipamentos existentes na linha da unidade de TMB da AMARSUL, bem como os equipamentos a utilizar na mineração da lixeira, os pressupostos assumidos para os cenários a analisar são os que se apresentam no Quadro 4.8.

A potência instalada e a capacidade de processamento dos equipamentos encontram-se distribuídas em função dos cenários definidos.

Relativamente ao processamento mecânico dos resíduos na lixeira, não foi considerada a remoção dos resíduos de grandes dimensões, por exemplo, monstros ou REEE, por não se ter encontrado na bibliografia consultada nenhum valor que reportasse tal quantidade numa lixeira, nem sequer o fluxo de massas do processo, de modo a estimar a percentagem de rejeitado obtida nessa fase do processo. Por essa razão assumiu-se, para todos os cenários, que não seriam removidos resíduos de grandes dimensões.

Quadro 4.8 – Pressupostos técnicos: equipamentos de tratamento mecânico (AMARSUL, 2007b)

Cenários	Potência instalada (kW)	Capacidade (t/h)
<i>Cenário 1 – Lixeira</i>		
Tambor rotativo	15	20
Separador magnético	10	13,9
Tela transportadora	2,2	13,9
<i>Cenário 2 – Lixeira e TMB</i>		
Tambor rotativo	15	20
Separador magnético	10	13,9
Tela transportadora	2,2	13,9
Tela transportadora da triagem manual do vidro	3	20,6
Crivo primário	15	20
Tela transportadora da triagem manual do papel e plástico	4	6,1
Separador magnético	10	6,1
Separador por correntes de Foucault	3,7	6,1
Tela transportadora	2,2	13,9
Separador magnético	10	13,9
Crivo	15	20
Tela transportadora	2,2	9,05
Separador por correntes de Foucault	3,7	9,05
Tela transportadora	2,2	10,05
Separador magnético	10	10,05
<i>Cenário 3 – TMB</i>		
Tela transportadora da triagem manual do vidro	3	20,6
Crivo primário	15	20
Tela transportadora da triagem manual do papel e plástico	4	6,1
Separador magnético	10	6,1
Separador por correntes de Foucault	3,7	6,1
Tela transportadora	2,2	13,9
Separador magnético	10	13,9
Crivo	15	20
Tela transportadora	2,2	9,05
Separador por correntes de Foucault	3,7	9,05
Tela transportadora	2,2	10,05
Separador magnético	10	10,05

No caso dos cenários 2 e 3, por incluírem sub-cenários onde se processam os RSU e os resíduos da lixeira simultaneamente, foi necessário conhecer a composição física dos RSU da área de actuação da AMARSUL, estando descrita no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Composição física dos RSU da AMARSUL (Profico, 2005)

Componentes	Percentagem em peso
Resíduo orgânico	34,9
Papel	21,7
Plástico	13,7
Finos	12,9
Resíduo inorgânico	8,7
Vidro	5,4
Metais ferroso	1,6
Metais não ferroso	1,1

Pressupostos de operação

Para estimar os custos do processamento dos resíduos da lixeira, de acordo com os vários cenários estabelecidos, foram considerados os pressupostos de operação descritos no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Pressupostos de operação

	Valores unitários	Fonte
<i>Transporte</i>		
Capacidade do camião (m ³)	25	AMARSUL, 2007b
Capacidade da giratória (m ³)	1,2	AMARSUL, 2007b
<i>Tempo de operação</i>		
Horas por dia	8	AMARSUL, 2007b
Dias por semana	6	AMARSUL, 2007b

Uma vez que nos cenários 2 e 3 está previsto o transporte dos resíduos da lixeira até à TMB, considerou-se uma distância média entre os dois locais de 35 km.

Relativamente ao número de operários em funções foi necessário assumir diferentes pressupostos em função dos cenários, como se pode verificar pelo Quadro 4.11.

Quadro 4.11 – Número de funcionários necessários para cada cenário

Cenário 1	Total 3: um operador da giratória, um responsável pelo controlo dos equipamentos de separação, um responsável pelo transporte dos resíduos.
Cenário 2	Total 13: na lixeira - 1 operador da giratória, 1 responsável pelo controlo dos equipamentos de separação, 1 responsável pelo transporte dos resíduos; na TMB - 2 responsáveis pela separação do vidro, 8 responsáveis pela separação de fracção combustível.
Cenário 3	Total 12: na lixeira - 1 operador da giratória, 1 responsável pelo transporte dos resíduos; na TMB - 2 responsáveis pela separação do vidro, 8 responsáveis pela separação de fracção combustível.

A operação unitária determinante para o sucesso da mineração da lixeira da Moita é a separação dos diversos componentes dos resíduos da lixeira. A maximização do espaço

libertado através do aproveitamento das fracções potencialmente valorizáveis permitirá minimizar a deposição dos resíduos removidos da lixeira na célula do aterro.

O modelo utilizado para calcular a quantidade de resíduos que cada cenário consegue separar foi baseado no modelo *Recovery Factor Transfer Function* (Rhyner *et al.*, 1995), que consiste na concepção de um balanço de massas para cada operação unitária. Esta função pode ser representada por uma matriz diagonal cujo os elementos especificam a fracção de cada um dos componentes, tais como metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro, papel, plásticos, resíduos orgânicos e resíduos inorgânicos, que permanecem, depois de processados, numa das operações unitárias utilizadas.

Cada um dos equipamentos unitários tem uma percentagem de aproveitamento de material, como se apresenta no Quadro 4.12 (Rhyner *et al.*, 1995).

Quadro 4.12 - Factores de separação (*Recovery Factor Transfer Function*) para cada equipamento unitário (adaptado de Rhyner *et al.*, 1995)

Componentes	Equipamentos		
	Tambor Rotativo	Separador Magnético	Correntes de Foucault
Metais ferrosos	0,8	0,2	0,2
Metais não ferrosos	0,8	1	0,1
Vidro	0,2	1	1
Papel	0,85	0,98	0,98
Plástico	0,9	0,98	0,98
Resíduo Orgânico	0,25	1	0,95
Resíduo Inorgânico	0,25	0,95	0,98
Finos	0,25	0,95	0,98

Notas: Incluiu-se na componente resíduo orgânico as componentes têxteis e madeira. Incluiu-se na componente resíduo inorgânico as componentes outros, pedras e inertes e restos.

O modelo permite estudar a capacidade de separação para metais ferrosos e não ferrosos. No entanto, durante a caracterização dos resíduos escavados a separação dos metais ferrosos e não ferrosos não foi possível, devido ao grau de degradação dos metais, tendo-se assumido que a percentagem destes metais nos resíduos da lixeira seria idêntica à dos metais dos RSU referidos no Plano Nacional de Resíduos de 1995 (DGA, 1995), ou seja, 2,1% para os metais ferrosos e 0,6% para os metais não ferrosos.

Pressupostos económicos

Relativamente aos pressupostos económicos, a utilizar na determinação dos custos de execução dos cenários definidos, foi considerada a divisão por custos de operação, de transporte, de escavação e de pessoal. No Quadro 4.13 encontram-se os valores assumidos.

Quadro 4.13 – Pressupostos económicos

	Valores unitários	Fonte
<i>Custos de operação</i>		
Electricidade (kWh)	0,0761	EDP, 2007
<i>Custos de transporte</i>		
Consumo combustível camião (l/km)	0,44	AMARSUL, 2007b
Preço combustível (gasóleo) (€/litro)	1,036	JN, 2007
<i>Custos de escavação</i>		
Consumo combustível da giratória (l/hora)	15,49	AMARSUL, 2007b
<i>Custos de pessoal</i>		
Remuneração anual por funcionário (€/ano)	17.432	AMARSUL, 2007b

Relativamente aos equipamentos utilizados, não foram considerados os custos associados à amortização dos mesmos, pois a unidade de TMB encontra-se construída há mais de 10 anos.

Relativamente às eficiências de processamento dos resíduos, foi necessário assumir que as telas transportadoras têm 100% de eficiência no transporte dos resíduos entre os equipamentos; já relativamente à eficiência dos funcionários da triagem manual assumiu-se que a sua eficiência de separação seria de 99,4%, com base nos estudos realizados por Silveira e Martinho (2004).

Os valores do Quadro 4.13 foram utilizados nas fórmulas presentes no Quadro 4.14, que permitirão caracterizar os cenários, em termos de eficiência e custos, nomeadamente os custos de transporte, de escavação, de pessoal, de produção, o custo total e o custo anual em função do tempo de operação.

Relativamente ao parâmetro volume depositado (%), a sua importância é vital para a compreensão da eficácia do cenário estudado quanto à libertação efectiva de espaço da lixeira.

Quadro 4.14 – Formulas utilizadas para a estimativa dos custos

Parâmetros	Fórmula	Fonte	
Eficiência (E) (%)	$E(x, y) = \left(\frac{x_1}{x_0} - \frac{y_1}{y_0} \right) \times 100\%$	X_0 – Quantidade que entra da componente que se quer separar (kg) X_1 – Quantidade que sai da componente que se quer separar (kg) Y_0 – Quantidade de contaminantes que entra (kg) Y_1 – Quantidade de contaminantes que sai (kg)	Tchobanoglous et al. (1993)
Custos de transporte (Ctr) (€)	$Ctr = D \times C \times Cc \times \frac{V}{Ctc}$	D – distância percorrida (km) C – consumo da viatura (l/km) Cc – custo do combustível (€) V – volume da lixeira (m ³) Ctc – capacidade de transporte da viatura (m ³)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)
Custos de escavação (Ce) (€)	$Ce = G \times Cg \times De \times \frac{Qr}{Qb}$	G – preço do gasóleo (€/l) Cg – consumo do gasóleo/hora (l/h) De – duração média da escavação (h) Qr – quantidade de resíduos na lixeira (t) Qb – quantidade de resíduos no balde (t)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)
Custos de pessoal (Cp) (€/ano)	$Cp = Po \times O$	Po – montante pago a um operador (€) O – número de operadores (unidade)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)
Custos de produção (Cpr) (€)	$Cpr = P \times Pe \times Ef \times t$	P – potência instalada (kW) Pe – preço da electricidade (€/Kwh) Ef – eficiência do equipamento (kg/kg) t – tempo de funcionamento (h)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)
Tempo de operação (To) (anos)	$To = \frac{Qr}{\frac{Cpe}{h \times d}}$	Qr – quantidade de resíduos da lixeira (t) Cpe – capacidade de processamento por equipamento (corresponde ao equipamento do cenário com maior tempo de operação) (t/h) h – número de horas por dia (h/dia) d – número de dias por ano (dias/ano)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)
Volume disponível (Vd) (%)	$Vd = \frac{(V_T - V_A) \times 100}{V_T}$	V_T – volume total da lixeira (m ³) V_A – volume de resíduos que se volta a colocar em aterro (m ³)	
Custo total (CT) (€)	$CT = Ctr + Ce + (Cp \times To) + Cpr$	(constantes descritas anteriormente)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)
Custo anual (CTa) (€)	$CTa = \frac{CT}{To}$	(constantes descritas anteriormente)	Adaptado de Caputo e Pelagagge (2002)

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. CAMPANHAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA LIXEIRA DA MOITA

Como se referiu, a lixeira da Moita recebeu os RSU dos concelhos de Palmela e da Moita, bem como resíduos industriais e hospitalares, durante 16 anos, entre 1980 e 1996, ano em que foi encerrada. Os resíduos que se encontram aí depositados têm portanto idades compreendidas entre os 27 e os 12 anos.

As amostras que se extraíram da lixeira apresentavam uma cor muito negra, característica de solos e matéria orgânica em estado de anaerobiose, como se pode constatar nas fotografias apresentadas na Quadro 5.1, e um odor igualmente característico de decomposição anaeróbia, mas não muito forte.

O aspecto que mais nos surpreendeu foi o estado de conservação de algumas componentes biodegradáveis como, por exemplo, os jornais e as embalagens de cartão para alimentos líquidos, que ainda se conseguiam ler, como se pode confirmar pelas fotografias apresentadas na Figura 5.1.

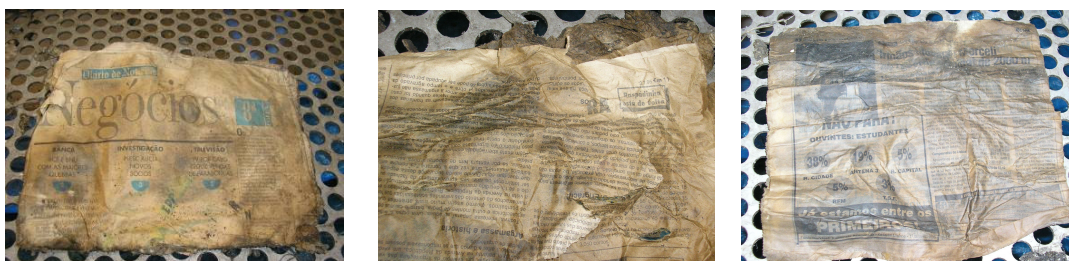


Figura 5.1 – Jornais enterrados na lixeira da Moita há 12 anos

Em todas as amostras, devido à presença de algum tipo de informação temporal ainda legível nos resíduos como, por exemplo, datas de jornais, datas de validade de algumas embalagens alimentares, foi possível referenciar a idade dos resíduos amostrados, variando entre 1987 e 1996.

A amostra 6.12, parece ser a mais antiga, dos finais dos anos 80, embora esta data tenha sido encontrada no prazo de validade de um bilhete de identidade pelo que não se pode afirmar que esta seja a data real dos resíduos, pois este BI pode ter sido descartado alguns anos após o seu prazo de validade.

De qualquer forma, estes elementos parecem confirmar o sentido de evolução da deposição dos resíduos nesta lixeira, no sentido decrescente do número atribuído aos furos.

No Quadro 5.1 apresentam-se as datas dos resíduos a que foi possível chegar em cada umas das amostras.

Quadro 5.1 - Datas encontradas nas amostras

Amostras	Anos	Observações
A 1.1	1996	Data de validade registada na embalagem de leite e de bolachas
A 1.2	1996	Data de validade encontrada numa embalagem de leite
A 2.3	1994,1995	Datas encontradas nas embalagens de sumo e de leite
A 2.4	1993,1994	Datas encontradas nas embalagens de leite, chocolate e IceTea
A 3.5	1994	Data encontrada no jornal "A bola"
A 3.6	1994	Data encontrada numa embalagem de sumo
A 4.7	1995	Data encontrada no jornal "Record", numa embalagem de leite e num pacote de arroz.
A 4.8	1993	Data encontrada no jornal "Correio da Manhã".
A 5.9	1995	Data encontrada numa lata de patê de sardinhas.
A 5.10	1995	Data encontrada no jornal "Diário de Noticias".
A 6.11	1988	Data de validade de uma embalagem de batatas fritas.
A 6.12	1987	Data da validade de um bilhete de identidade que se encontrou neste furo, o que poderá não corresponder à data real dos resíduos.

As embalagens foram outro tipo de resíduos que nos despertou admiração pelo estado de conservação em que se encontravam.

Muitas embalagens de vidro, frascos e garrafas, encontravam-se intactas, apesar da pressão das terras e máquinas que ao longo dos anos se movimentaram em cima da lixeira. As embalagens de plástico rígido, bem como os filmes plásticos, praticamente não se degradaram, embora no caso das embalagens rígidas a sua elevada compactação fosse evidente. Também nas embalagens compósitas, como as embalagens de cartão para leite, foi possível distinguir em muitos casos as várias camadas de material da embalagem (*i.e.* cartão, película de polietileno e película de alumínio). Na Figura 5.2 apresentam-se algumas fotografias destes resíduos de embalagens.

Uma outra componente facilmente identificada, devido ao seu estado de conservação, foram os resíduos de madeira, nomeadamente as tábuas e os paus, e os têxteis.

Em algumas amostras a presença de resíduos inertes, como pedras, bocados de cimento, tijolos e mosaicos foi significativa, revelando uma eventual deposição de entulhos ou resíduos de construção e demolição.



Figura 5.2 – Exemplos de algumas embalagens encontradas nos resíduos depositados na lixeira da Moita

Nos finos, a quantidade de terra foi o aspecto mais saliente, provavelmente devido ao material de cobertura que se foi colocando na lixeira durante a sua fase de exploração e depois na fase de encerramento. No entanto, e embora não se tenham feito análises químicas, esta componente deve incluir igualmente uma grande percentagem de material orgânico em elevado estado de decomposição.

Na Figura 4.4 apresentam-se algumas fotografias dos baldes contendo amostras de madeira, têxteis, inertes e finos.

Relativamente à determinação da composição física dos resíduos, apresentam-se no Quadro 5.2 os resultados obtidos das caracterizações realizadas às amostras mais superficiais de cada um dos 6 furos, e no Quadro 5.3 os resultados obtidos para as amostras de resíduos localizadas a maior profundidade.

Quadro 5.2 – Composição física das amostras de resíduos depositados nas camadas superficiais da lixeira da Moita

Componentes (%)	A 1.1	A 2.3	A 3.5	A 4.7	A 5.9	A 6.11	Valor médio
Papel e cartão	1,93	1,87	2,45	4,45	2,04	0,00	2,12
Embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL)	1,43	1,82	1,23	2,18	1,31	2,10	1,68
Filme plástico	7,37	9,25	8,16	10,20	6,60	6,42	8,00
Embalagens de plástico rígidas	1,89	2,25	1,87	2,74	2,62	2,12	2,25
Outros plásticos	2,39	1,89	3,83	2,25	1,25	1,95	2,26
Vidro	3,79	2,96	1,79	3,00	2,76	2,02	2,72
Metais	2,35	2,09	1,55	2,45	1,67	1,49	1,93
Têxteis	2,08	2,71	4,42	2,72	3,23	2,43	2,93
Madeira	1,94	1,41	2,05	5,14	4,79	1,91	2,87
Finos (< 20 mm)	58,42	55,44	52,78	43,62	52,03	70,08	55,40
Pedras e inertes	8,43	7,59	16,87	7,50	13,32	5,00	9,79
Outros	2,03	5,19	2,97	4,79	2,41	1,64	3,17
Restos	5,95	5,53	0,00	8,95	5,97	2,83	4,87

Quadro 5.3 – Composição física das amostras de resíduos depositados nas camadas mais profundas da lixeira da Moita

Componentes (%)	A 1.2	A 2.4	A 3.6	A 4.8	A 5.10	A 6.12	Valor médio
Papel e cartão	0,93	1,45	1,67	3,33	6,66	0,00	2,34
Embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL)	0,89	1,36	1,09	1,83	2,97	1,30	1,57
Filme plástico	5,04	7,74	6,01	10,67	13,14	11,20	8,97
Embalagens de plástico rígidas	1,43	1,39	1,45	1,72	4,00	2,76	2,13
Outros plásticos	1,37	1,87	1,43	1,72	2,73	1,42	1,76
Vidro	2,06	1,74	1,77	4,18	6,02	2,06	2,97
Metais	1,81	1,60	1,92	1,26	3,09	0,91	1,77
Têxteis	1,50	1,55	6,01	3,63	4,00	3,27	3,33
Madeira	1,84	5,07	5,13	8,87	2,15	0,93	4,00
Finos (< 20 mm)	61,25	57,61	61,83	45,29	31,34	69,15	54,41
Pedras e inertes	13,33	9,03	4,73	2,93	4,48	2,82	6,22
Outros	2,39	3,90	1,60	5,34	4,27	1,53	3,17
Restos	6,16	5,68	5,38	9,25	15,14	2,65	7,38

Comparando a composição de resíduos à superfície com os resíduos das camadas mais profundas, pode-se observar que no furo A1, em ambos os casos, a componente mais significativa é os finos, que apresenta uma quantidade superior a 50% do total de resíduos escavados. Também nas amostras do furo A1 se verifica que a componente que se encontra em menor quantidade são as embalagens ECAL.

No segundo furo, mais uma vez, para ambas as amostras, a componente mais abundante é a dos finos, embora se encontrem em menor quantidade do que no furo anterior. Também se verifica que as componentes que se encontram em menor

quantidade são a madeira, à superfície, e as embalagens de ECAL, na amostra retirada a mais profundidade.

Relativamente ao furo A3, é novamente a fracção de finos a que se encontra com uma quantidade mais elevada nas duas amostras. Em menor quantidade encontra-se, à superfície, a fracção restos e na amostra mais profunda as embalagens de ECAL.

No furo A4, assim como nos anteriores, também a componente que apresenta maior quantidade nas duas amostras retiradas é a fracção de finos. Em menor quantidade, na amostra retirada à superfície, encontrou-se os outros plásticos, e na amostra mais profunda os resíduos encontrados em menor quantidade foram os metais.

Nas amostras retiradas do furo A5 a fracção finos voltou a ser a componente encontrada em maior quantidade. Para a amostra superficial, os outros plásticos apareceu em menor quantidade, assim como a madeira na amostra mais profunda.

No furo A6, em ambas as amostras, os finos voltaram a ser a componente mais abundante, e o papel, uma vez que foi inexistente, é a componente com menor quantidade.

A percentagem de papel/cartão presente nas diferentes amostras, devido à sua natureza biodegradável, permite-nos tecer algumas considerações sobre o estado de decomposição e idade dos resíduos, já que se admite que nas amostras de resíduos depositados há mais anos, a percentagem de papel/cartão seja menor.

De facto, se analisarmos os valores apresentados na Quadro 5.3, verifica-se um padrão de distribuição muito semelhante para a componente papel/cartão para os furos de A1 a A5, as pequenas variações que se detectam podem ter acontecido devido às condições ambientais e microbiológicas. E, de uma forma geral, à excepção do furo A5, a percentagem de papel/cartão presente nas amostras retiradas a níveis mais superficiais da lixeira é superior à das amostras retiradas a maiores profundidades.

No caso do furo A5, excepção a esta regra, a única explicação que se poderá admitir é que neste local, por algum motivo, se tenham realizado movimentações de resíduos, numa fase posterior. Possivelmente retiraram-se resíduos da zona do furo A6 e colocaram-se no local do furo A5, pois encontraram-se resíduos mais antigos em cima de resíduos mais recentes. De qualquer forma, isto é uma mera especulação, pois não se tem informações sobre os movimentos ou arranjos topográficos que se tenham realizado nesta lixeira na fase de encerramento e pós-encerramento.

No furo A6, não se conseguiu identificar resíduos de papel e cartão, o que poderá indicar que neste local os resíduos são mais antigos, como já se constatou anteriormente.

Recorrendo às plantas da lixeira verificou-se que diferença de cotas entre o furo A6 e os restantes furos é de 8 metros de altura e, através das datas encontradas nas amostras recolhidas, verifica-se que há uma diferença significativa na escala temporal dos resíduos do furo A6 comparativamente à dos restantes furos. Assim, como as amostras que se recolheram mais profundas foram retiradas apenas a três metros da superfície, as

amostras dos furos A1 a A5 contêm resíduos muito mais recentes do que as amostras do furo A6.

Na Figura 5.3 e Figura 5.4, apresenta-se a percentagem de papel/cartão e finos, que parecem comprovar a nossa teoria sobre a variação temporal existente entre o furo A6 e os restantes, bem como a suspeita que no furo A5 os resíduos que se encontram mais à superfície serão mais antigos do que os que se encontram imediatamente por baixo.

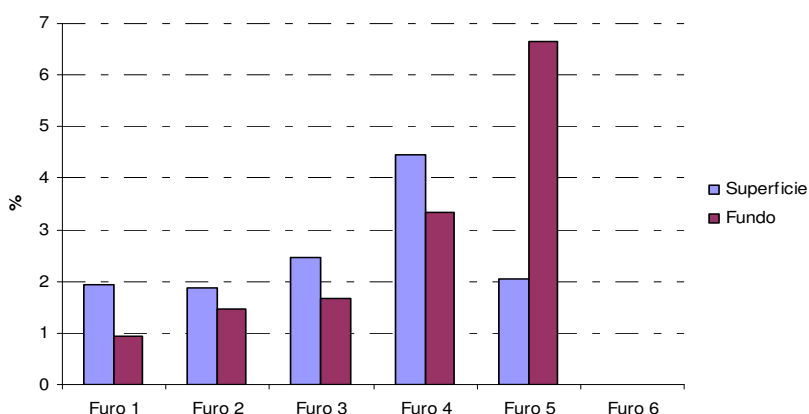


Figura 5.3 – A distribuição da componente papel/cartão nos diferentes furos de onde foram retiradas as amostras de resíduos da lixeira da Moita

Atendendo à idade e ao grau de decomposição dos resíduos, é de prever que nas amostras de resíduos depositados há mais anos, a percentagem de finos seja superior, ou seja, que nas amostras mais profundas da lixeira, assim como no furo A6 onde se encontrou os resíduos mais antigos (Figura 5.4).

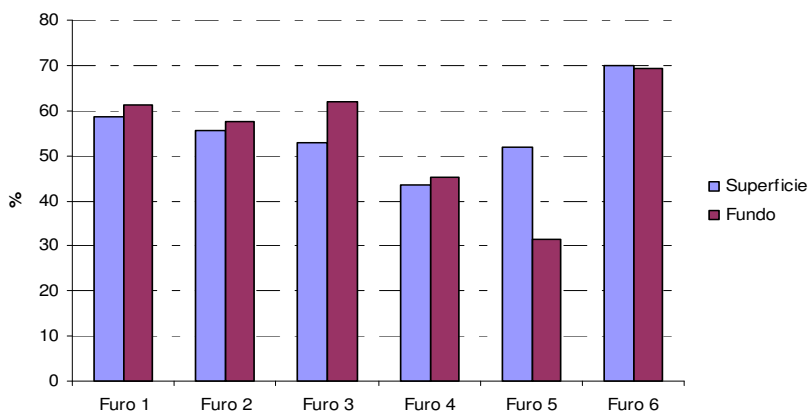


Figura 5.4 – Quantidade de finos presentes nas amostras de resíduos retiradas dos vários furos da lixeira da Moita

Nas componentes têxteis e madeira, a variação da quantidade em função da idade dos resíduos e profundidade a que foram encontrados, não é tão evidente como nas componentes finos e papel, uma vez que a deposição destes resíduos é mais esporádica

nas lixeiras. Assim não é possível verificar qualquer tipo de padrão em relação à quantidade encontrada em diferentes profundidades e idades, como se pode verificar na Figura 5.5.

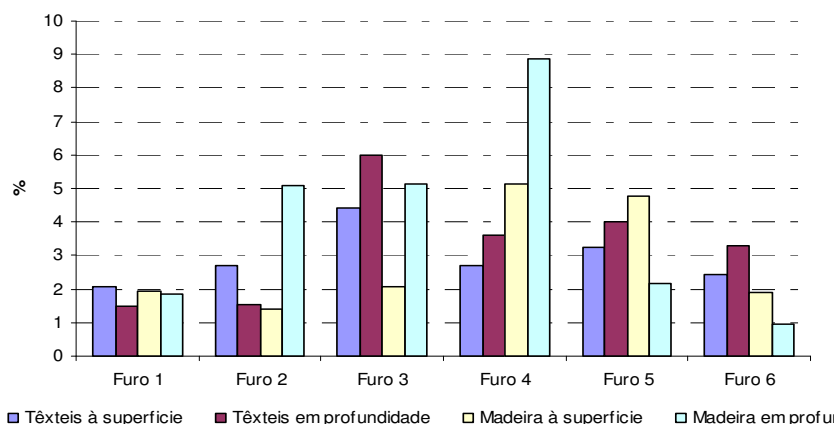


Figura 5.5 - Quantidade de madeira e têxteis presentes nas amostras de resíduos retiradas dos vários furos da lixeira da Moita

Na Figura 5.6 apresentam-se os valores médios globais da composição física do total de resíduos caracterizados. Como se pode observar, as componentes mais representativas são os finos, com um valor médio de 56%, seguindo-se o material combustível (i.e. papel e cartão, embalagens rígidas, ECAL, filmes plásticos, madeira e têxteis), com uma percentagem média de 22%, e as pedras e inertes que representam 11% do total dos resíduos.

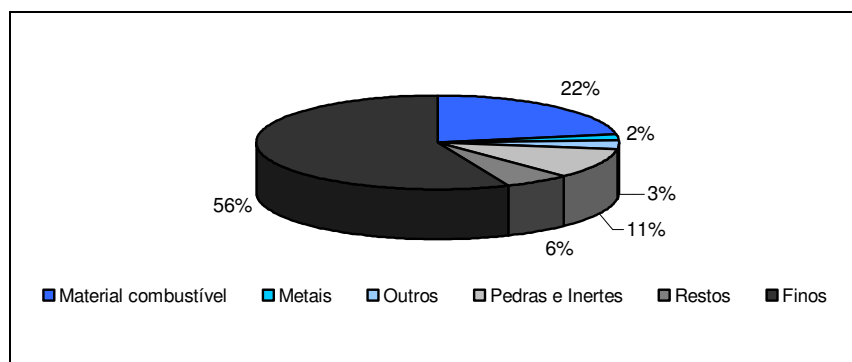


Figura 5.6 – Composição física média dos resíduos depositados na lixeira da Moita

Analisando a componente de materiais combustíveis (Figura 5.7), verifica-se que os filmes plásticos representam 40% do total de material combustível dos resíduos depositados na lixeira da Moita. Se a esta percentagem adicionarmos as embalagens de plástico rígidas conclui-se que, dentro da fracção combustível, as embalagens de plástico representam cerca de 50% do peso dos resíduos e que, no total, os resíduos de plásticos representam 60% da fracção combustível. Dos restantes materiais combustíveis, cerca de 18% são papel/cartão e embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL), 13% têxteis e 9% madeira.

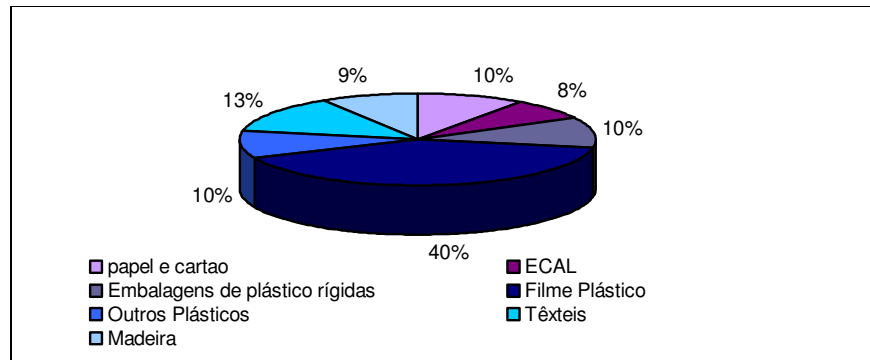


Figura 5.7. Distribuição dos vários componentes da fracção combustível dos resíduos depositados na lixeira da Moita

Relativamente à humidade, que foi medida já depois do transporte das amostras para as instalações da FCT-UNL, e só para algumas das componentes, constata-se que há uma variação muito grande da humidade da mesma componente para as diferentes amostras, como mostra o Quadro 5.4.

Com os dados existentes, também se verificou que no furo A5 foram retiradas as amostras com mais humidade. No entanto, e reforçando o facto já referido no capítulo anterior, as amostras do furo A5 foram as primeiras a ser caracterizadas e, possivelmente em consequência de terem estado expostas ao ar menos tempo, se encontrarem menos secas. Nesta amostra, as únicas componentes em que isto não se verifica são os têxteis e o filme plástico.

Quadro 5.4 – Humidade de algumas componentes das amostras de resíduos depositados nas camadas mais profundas da lixeira da Moita

Furo	Humidade (%)						
	Papel e cartão	Embalagens de plástico rígidas	Filme plástico	Têxteis	Finos	Madeira	Restos
A 1.1	51,02	14,01	22,11	39,25	10,99	-	-
A 1.2	35,35	8,10	19,37	36,55	12,33	-	-
A 2.3	50,54	2,88	10,95	34,93	13,04	-	-
A 2.4	63,71	8,27	20,58	34,79	12,21	46,76	-
A 3.5	58,02	15,11	30,85	45,59	20,28	-	-
A 3.6	50,26	4,66	17,39	35,16	15,09	-	-
A 4.7	45,33	3,25	35,03	52,16	19,91	-	26,51
A 4.8	52,90	7,30	25,14	29,04	16,47	-	-
A 5.9	-	4,44	28,36	43,33	23,16	-	-
A 5.10	64,15	18,53	31,16	40,07	22,96	-	31,67
A 6.11	-	17,18	25,69	32,02	11,26	-	-
A 6.12	-	19,15	24,83	34,86	17,73	-	-

Em termos médios, para o conjunto das amostras, a componente com mais humidade é o papel e cartão (23%), seguindo-se a madeira (21%) e os têxteis (17%), como se pode observar na Figura 5.8.

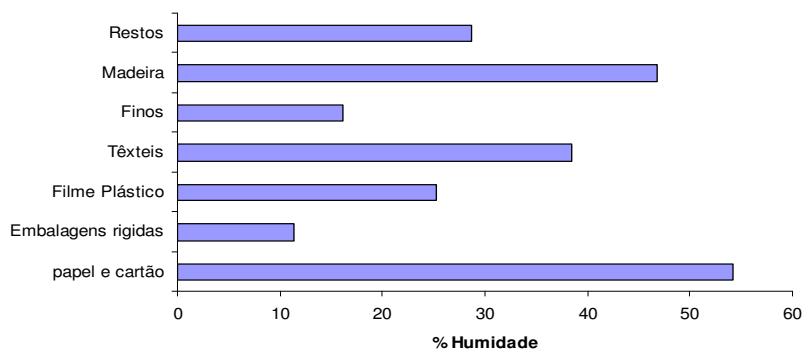


Figura 5.8 – Valores médios obtidos para a humidade de algumas das componentes das amostras de resíduos depositadas na lixeira da Moita

Como já foi referido, a variação dos valores de humidade para a mesma componente das diferentes amostras é notória, devido às condições em que as campanhas de caracterização foram conduzidas. Tal variação foi inicialmente observada pelos diferentes valores do peso específico das amostras recolhidas e pelo aumento da quantidade de partículas e poeiras libertadas nas amostras que estiveram armazenadas mais tempo antes da caracterização física.

Em verdade, a impossibilidade de se proceder à caracterização física de todas as amostras no mesmo dia e das condições de armazenamento das amostras não ser idênticas (por não caberem todas no local coberto da estação de enfardamento, algumas amostras tiveram de permanecer no terreno expostas às condições climatéricas), são alguns dos motivos que podem explicar a alteração dos pesos específicos. O teor em humidade das amostras variou desde o início da semana, do dia em que foram extraídas da lixeira, até ao final da semana, último dia em que se conseguiu completar as análises, não reflectindo exactamente o teor de humidade real dos resíduos dentro da lixeira e consequentemente o seu peso específico.

No Quadro 5.5, apresenta-se os pesos específicos obtidos para cada uma das amostras caracterizadas.

Quadro 5.5 – Pesos específicos determinados para cada amostra

Furo	Peso específico (kg/m ³)
A 1.1	863,43
A 1.2	555,37
A 2.3	339,78
A 2.4	761,77
A 3.5	525,63
A 3.6	748,43
A 4.7	n.d.
A 4.8	303,37
A 5.9	627,65
A 5.10	n.d.
A 6.11	n.d.
A 6.12	872,14

5.2. ESTIMATIVA DAS QUANTIDADES E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DEPOSITADOS NA LIXEIRA DA MOITA

Para minimizar os problemas já descritos relativamente à determinação do valor a adoptar para o peso específico dos resíduos, considerou-se um valor médio obtido apenas para as primeiras amostras processadas, pois seriam as que se aproximavam mais das condições reais dentro da lixeira. O valor adoptado foi de 749,90 kg/m³.

Deste modo, e de acordo com os dados obtidos através da metodologia já descrita, estima-se que a lixeira da Moita tenha uma área aproximada de 12,8 hectares, uma altura média de 7 metros e um volume de 897.768 m³ de resíduos, a que deverão corresponder, aproximadamente, 673.233 toneladas de resíduos. Estes resíduos, de acordo com as campanhas de caracterização efectuadas, terão a composição física que se indica no Quadro 5.6, expressa em peso total de resíduos depositados.

Quadro 5.6 – Composição total dos resíduos depositados na lixeira da Moita

Componentes	Composição (t)
Metais ferrosos	9.410
Metais não ferrosos	2.687
Vidro	18.146
Papel	13.340
Plástico	93.416
Resíduos orgânico	43.500
Resíduos inorgânico	112.566
Finos	380.166
Total	673.233

Para verificar a possibilidade de recuperação do material depositado é necessário efectuar análises químico-biológicas, o que não foi possível. Apesar desta limitação, a recuperação potencial dos materiais foi estimada com base nas utilizações tipicamente conseguidas, descritas na bibliografia, e considerando a maximização da utilização destes resíduos, para que não fossem novamente colocados em aterro de modo a readquirir espaço, uma vez que a falta de locais para deposição de resíduos se está a tornar problemática.

A fracção fina, separada com o tambor rotativo, pode ter várias utilizações e pode ser armazenada ou utilizada directamente. Pode-se reutilizar como composto, se a componente orgânica for de qualidade elevada e apresentar índices baixos de inertes e materiais ferrosos, ou pode-se utilizar como material de cobertura de aterros, baixando assim os custos de exploração de um aterro novo (Watson, 1988). Esta fracção tanto pode ser utilizada directamente como material de cobertura diária ou pode ser misturada com composto para cobertura final (Collivignarelli *et al*, 1997).

A fracção leve ou fracção combustível, na qual se incluem o papel, cartão, madeira, têxtil, plástico e borracha, pode ser enviada para incineração com aproveitamento de energia

(Collivignarelli *et al.*, 1997), ou pode ser processada posteriormente para promover a reciclagem da fracção plástica (Watson, 1988).

A fracção não combustível, ou fracção pesada, pode ser separada em dois materiais distintos, vidro e inertes, separando assim o material de maiores dimensões do de menores dimensões, o que vai possibilitar a obtenção de materiais descontaminados convenientes para aplicações específicas (Collivignarelli *et al.*, 1997).

Os materiais de grandes dimensões e os metais podem ser vendidos ou ser recolocados em aterro (Watson, 1988).

Mesmo que os materiais tenham de voltar a ser colocados em aterro, apesar de não permitirem a disponibilização de espaço para a exploração de novas células de aterro, uma vez que os resíduos retirados vão continuar a ocupar o mesmo espaço, permitem a minimização do impacte ambiental causado pela lixeira, uma vez que o aterro já se encontra equipado com drenagem de águas lixivantes e sistema de recolha de biogás (Watson, 1988).

Assim, e de acordo com a composição física dos resíduos pode-se verificar que, teoricamente, consegue-se reutilizar cerca de 380 mil toneladas de finos como material de cobertura. A fracção combustível, que representa 150 mil toneladas, pode ser utilizada para produção de CDR. Também é esperado obter-se cerca de 9,4 mil toneladas de materiais ferrosos e cerca de 2,7 mil toneladas de materiais não ferrosos.

5.3. ANÁLISE DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS PARA A MINERAÇÃO DA LIXEIRA DA MOITA

Para a realização da análise económica e ambiental da mineração da lixeira é necessário efectuar um estudo técnico das possíveis linhas de tratamento dos resíduos. Deste modo, será avaliada qual a configuração mais adequada, de maneira a promover a utilização dos materiais depositados e avaliar o modo como a escolha do equipamento e do fluxo de resíduos a ser tratado na TMB afectam o desempenho das linhas de tratamento em estudo.

Assim definiram-se vários cenários, já descritos na metodologia, para possibilitar a comparação dos mesmos e avaliar o seu custo económico.

5.3.1. CENÁRIO 1 – LIXEIRA

No primeiro cenário, o objectivo é o aproveitamento da fracção finos para material de cobertura, sendo esta logo separada no local e utilizada no aterro vizinho. O material ferroso é removido, sendo a restante fracção enviada para uma incineradora.

Recorrendo ao modelo referido anteriormente, é possível estimar a quantidade de resíduos que são processados em cada equipamento, como se apresenta no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 1 – lixeira

(valores em t)		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Tambor rotativo (120 mm)	Refugo	7.528	2.151	3.629	11.339	84.075	10.875	28.141	95.042	242.779
	Finos	1.882	538	14.517	2.001	9.342	32.625	84.424	285.125	430.453
Separador Magnético	Refugo	1.506	2.151	3.629	11.112	82.393	10.875	26.734	90.289	228.690
	Metal Ferroso	6.022	0	0	227	1.681	0	1.407	4.752	14.090

MF – metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Neste cenário, a utilização do tambor rotativo permite separar aproximadamente 430 mil toneladas de finos, que podem ser utilizados como cobertura de uma célula do aterro. O material grosseiro, que sai do tambor rotativo, segue para o separador magnético onde são separados cerca de 6 mil toneladas de metal ferroso, sendo a fracção restante, aproximadamente 228 mil toneladas de resíduos, enviadas para incineração, ficando assim a área da lixeira disponível para outras deposições.

Depois de se calcular a quantidade de resíduo que se envia para incineração consegue-se perceber que esta é maioritariamente constituída pela fracção finos, possivelmente este não será o fim mais adequado para estes resíduos, devendo-se equacionar a hipótese de voltar a colocar estes resíduos em aterro.

Relativamente à análise económica efectuada para este cenário apresentam-se os resultados no Quadro 5.8. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 13 anos, acarretando um custo de 2.368.234 euros e com uma eficiência de 67%.

Quadro 5.8 – Custo do cenário 1

Cenário 1 – Lixeira	
Eficiência (%)	67
Custos de operação (€)	22.866
Custos de transporte (€)	0
Custos de escavação (€)	1.640.093
Custos com pessoal (€/ano)	52.296
Tempo de operação (anos)	13
Custos totais (€)	2.368.234

5.3.2. CENÁRIO 2 – LIXEIRA E TMB

No segundo cenário encaminham-se os resíduos processados no local para a unidade de TMB da AMARSUL, de modo a que estes sejam utilizados na produção de CDR.

Como a unidade de TMB se encontra a operar com RSU, considerou-se importante o processamento em conjunto destes resíduos com os escavados da lixeira. Assim subdividiu-se este cenário em três opções diferentes.

Na primeira opção (2.i) estudou-se o processamento apenas dos resíduos da lixeira. Nesta opção os resíduos são processados como mostra o cenário 1 – lixeira. Assim, vão para a TMB, 228.690 toneladas de resíduos.

No Quadro 5.9, apresentam-se as estimativas da quantidade de material processado em cada equipamento da TMB.

Quadro 5.9 - Saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 2i – lixeira e TMB (valores em t)

		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Separação Manual	Refugo	1.506	2.151	22	11.112	82.393	10.875	26.734	90.289	225.082
	Vidro retirado	0	0	3.607	0	0	0	0	0	3.607
Tambor rotativo (120 mm)	Refugo	1.204	1.721	4	9.445	74.154	2.719	6.684	22.572	118.503
	Refugo	1.204	1.721	4	57	445	2.719	6.684	22.572	35.406
Separação Manual	Papel e plástico retirado	0	0	0	9.388	73.709	0	0	0	83.097
	Refugo	241	1.721	4	56	436	2.719	6.349	21.444	32.969
Separador Magnético	Metal Ferroso	964	0	0	1	9	0	334	1.129	2.436
	Refugo	48	172	4	54	427	2.583	6.222	21.015	30.526
Separador por correntes de Foucault	Metal não Ferroso	193	1.549	0	1	9	136	127	429	2.443
	Finos	301	430	17	1.667	8.239	8.156	20.051	67.717	106.579
Tambor rotativo (120 mm)	Refugo	60	430	17	1.633	8.075	8.156	19.048	64.331	101.752
	Metal Ferroso	241	0	0	33	165	0	1.003	3.386	4.827
Tambor rotativo (80 mm)	Finos	12	86	14	245	807	6.117	14.286	48.248	69.816
	Refugo	2	86	14	240	791	6.117	13.572	45.836	66.659
Separador Magnético	Metal Ferroso	10	0	0	5	16	0	714	2.412	3.157
	Refugo	48	344	3	1.388	7.267	2.039	4.762	16.083	31.935
Tambor rotativo (80 mm)	Refugo	10	34	3	1.361	7.122	1.937	4.667	15.761	30.895
	Metal não Ferroso	39	310	0	28	145	102	95	322	1.040
Separador por correntes de Foucault	Refugo	10	34	3	1.361	7.122	1.937	4.667	15.761	30.895
	Metal não Ferroso	39	310	0	28	145	102	95	322	1.040

MF – metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Na TMB ocorre a triagem manual, retirando 3.607 toneladas de vidro, sendo a fracção restante processada no tambor rotativo com um crivo de 120 mm. Deste crivo resultam duas fracções, sendo a de tamanho superior a 120 mm sujeita a uma segunda triagem, onde é separado o papel e o plástico. Nesta etapa retiram-se 83.097 toneladas de papel e plástico. De seguida os resíduos vão para um separador magnético onde se retira o metal ferroso, cerca de 964 toneladas, posteriormente, no separador por correntes de Foucault, separam-se mais 1.549 toneladas de metal não ferroso.

Em paralelo, a fracção com uma granulometria inferior a 120 mm (proveniente da separação ocorrida no crivo), é sujeita a separação magnética onde são obtidas cerca de 241 toneladas de metal ferroso. A fracção não separada segue para um segundo tambor

rotativo (80 mm de crivo), onde os resíduos com tamanho inferior a 80 mm seguem para um separador magnético, onde se obtém mais 10 toneladas de metal ferroso. O refugo do tambor rotativo, ou seja a fracção grosseira (superior a 80 mm) segue numa tela transportadora para um separador por correntes de Foucault, onde se retira cerca de 310 toneladas de metais não ferrosos. Por fim, serão novamente colocados em aterro cerca de 61.421 toneladas de resíduos.

Relativamente à análise económica deste cenário, os resultados encontram-se descritos no Quadro 5.10. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 13 anos, acarretando um custo de 5.140.764 euros e tem uma eficiência de 86%.

Quadro 5.10 – Custo do cenário 2i

Cenário 2 – Lixeira e TMB 2.i	
Eficiência (%)	85,91%
Custos de Operação (€)	55.239
Custos de Transporte (€)	389.238
Custos de Escavação (€)	1.640.093
Custos de Pessoal (€/ano)	226.616
Tempo de Operação (anos)	13
Custos Totais (€)	5.140.764

Na segunda opção deste cenário (2.ii), considerou-se a mistura de 10% de RSU com 90% dos resíduos escavados. Assim, as 228.690 toneladas de resíduos escavados são misturadas com 67.316 toneladas de RSU no processamento na TMB. No Quadro 5.11 apresentam-se as saídas que se calcularam para cada equipamento.

A quantidade total de resíduos (RSU e resíduos escavados) é de 296.005 toneladas, sendo sujeitos a triagem manual onde são recuperadas 7.255 toneladas de vidro. Em seguida a fracção restante é encaminhada para o tambor rotativo, com um crivo de 120 mm, separando a fracção com tamanho superior a 120 mm, para ser sujeita a uma segunda triagem, onde são recuperadas 103.673 toneladas de papel e plástico. De seguida os resíduos vão para um separador magnético onde se retiram os metais ferrosos, cerca de 1.662 toneladas, posteriormente no separador por correntes de Foucault separam-se mais 2.079 toneladas de metais não ferrosos.

Em paralelo, a fracção com uma granulometria inferior a 120 m é transportada para um separador magnético, que separa 415 toneladas de metais ferrosos, o restante material segue para um segundo tambor rotativo (80 mm de crivo) onde a fracção com tamanho inferior a 80 mm é sujeita a separação magnética, onde se obtém mais 17 toneladas de metais ferrosos. A fracção grosseira (superior a 80 mm) do tambor rotativo segue para um separador por correntes de Foucault, onde se retiram cerca de 416 toneladas de metais não ferrosos. Por fim, serão novamente colocadas em aterro cerca de 79.922 toneladas de resíduos.

Quadro 5.11 - Saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 2ii – lixeira e TMB

(Valores em t)		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Separação Manual	Refugo	2.596	2.888	44	25.725	91.591	34.388	32.577	98.941	288.751
	Vidro retirado	0	0	7.255	0	0	0	0	0	7.255
Tambor rotativo (120 mm)	Refugo	2.077	2.310	9	21.866	82.432	8.597	8.144	24.735	150.171
	Refugo	2.077	2.310	9	131	495	8.597	8.144	24.735	46.499
Separação Manual	Papel e plástico retirado	0	0	0	21.735	81.938	0	0	0	103.673
	Refugo	415	2.310	9	129	485	8.597	7.737	23.499	43.180
Separador Magnético	Metal Ferroso	1.662	0	0	3	10	0	407	1.237	3.318
	Refugo	83	231	9	126	475	8.167	7.582	23.029	39.702
Separador por correntes de Foucault	Metal não Ferroso	332	2.079	0	3	10	430	155	470	3.479
	Finos	519	578	35	3.859	9.159	25.791	24.432	74.206	138.579
Tambor rotativo (120 mm)	Refugo	104	578	35	3.782	8.976	25.791	23.211	70.496	132.972
	Metal Ferroso	415	0	0	77	183	0	1.222	3.710	5.608
Tambor rotativo (80 mm)	Finos	21	116	28	567	898	19.343	17.408	52.872	91.252
	Refugo	4	116	28	556	880	19.343	16.538	50.228	87.693
Separador Magnético	Metal Ferroso	17	0	0	11	18	0	870	2.644	3.560
	Refugo	83	462	7	3.214	8.078	6.448	5.803	17.624	41.719
Separador por correntes de Foucault	Rejeitado	17	46	7	3.150	7.917	6.125	5.687	17.271	40.220
	Metal não Ferroso	66	416	0	64	162	322	116	352	1.499

MF – metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Relativamente à análise económica efectuada para este cenário, os resultados encontram-se descritos no Quadro 5.12. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 13 anos, custando cerca de 5.149.066 euros, com uma eficiência de 86%.

Quadro 5.12 – Custo do cenário 2ii

Cenário 2 – Lixeira e TMB 2.ii	
Eficiência (%)	85,58%
Custos de Operação (€)	63.540
Custos de Transporte (€)	389.238
Custos de Escavação (€)	1.640.093
Custos de Pessoal (€/ano)	226.616
Tempo de Operação (anos)	13
Custos Totais (€)	5.149.066

Na terceira opção (2.iii) do cenário Lixeira e TMB, considerou-se a mistura de 50% de RSU com 50% dos resíduos escavados. Assim, as 228.690 toneladas de resíduos escavados são misturados com 673.158 toneladas de RSU no processamento na TMB.

No Quadro 5.13 apresentam-se as saídas que se calcularam para cada equipamento.

Quadro 5.13 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 2iii – lixeira e TMB

(Valores em t)		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Separação Manual	Refugo	12.412	9.523	242	157.244	174.377	246.008	85.157	176.807	861.770
	Vidro retirado	0	0	40.078	0	0	0	0	0	40.078
Tambor rotativo (120 mm)	Refugo	9.930	7.618	48	133.657	156.939	61.502	21.289	44.202	435.186
Separação Manual	Refugo	9.930	7.618	48	802	942	61.502	21.289	44.202	146.333
	Papel e plástico retirado	0	0	0	132.855	155.998	0	0	0	288.853
Separador Magnético	Refugo	1.986	7.618	48	786	923	61.502	20.225	41.992	135.080
	Metal Ferroso	7.944	0	0	16	19	0	1.064	2.210	11.253
Separador por correntes de Foucault	Refugo	397	762	48	770	904	58.427	19.820	41.152	122.281
	Metal não Ferroso	1.589	6.856	0	16	18	3.075	404	840	12.799
Tambor rotativo (120 mm)	Finos	2.482	1.905	194	23.587	17.438	184.506	63.868	132.605	426.584
Separador Magnético	Refugo	496	1.905	194	23.115	17.089	184.506	60.675	125.975	413.954
	Metal Ferroso	1.986	0	0	472	349	0	3.193	6.630	12.630
Tambor rotativo (80 mm)	Finos	99	381	155	3.467	1.709	138.380	45.506	94.481	284.178
Separador Magnético	Refugo	20	381	155	3.398	1.675	138.380	43.231	89.757	276.995
	Metal Ferroso	79	0	0	69	34	0	2.275	4.724	7.182
Tambor rotativo (80 mm)	Refugo	397	1.524	39	19.648	15.380	46.127	15.169	31.494	129.776
Separador por correntes de Foucault	Refugo	79	152	39	19.255	15.072	43.820	14.865	30.864	124.147
	Metal não Ferroso	318	1.371	0	393	308	2.306	303	630	5.629

MF – metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Depois de se processar os resíduos no local dão entrada na unidade de TMB cerca de 901.848 toneladas de resíduos. Na triagem manual do vidro são separados 40.078 toneladas deste material, seguindo a fracção restante para o tambor rotativo com um crivo de 120 mm.

A fracção de tamanho superior a 120 mm é transportada por tela para uma segunda triagem, onde são obtidos manualmente 288.853 toneladas de papel e plástico. De seguida os resíduos vão para um separador magnético onde se retira os metais ferrosos, cerca de 7.944 toneladas, sendo posteriormente obtidos 6.856 toneladas de metais não ferrosos no separador por correntes de Foucault.

Em paralelo, a fracção com uma granulometria inferior a 120 mm é conduzida para um separador magnético, que separa 1.986 toneladas de metais ferrosos, sendo a fracção não separada levada para um segundo tambor rotativo (80 mm de crivo) onde a fracção com tamanho inferior a 80 mm segue para um separador magnético, onde se obtém mais 79 toneladas de metais ferrosos.

A fracção grosseira do crivo (superior a 80 mm) é transportada para um separador por correntes de Foucault, onde se retiram cerca de 1.371 toneladas de metais não ferrosos. Por fim, o refugo obtido é novamente colocado em aterro, cerca de 246.428 toneladas.

Relativamente à análise económica efectuada para este cenário, os resultados encontram-se descritos no Quadro 5.14. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 29 anos, este processo acarreta um custo de 8.648.537 euros e tem uma eficiência de 85%.

Quadro 5.14 – Custo do cenário 2iii

Cenário 2 – Lixeira e TMB 2.iii	
Eficiência (%)	85,10%
Custos de Operação (€)	141.955
Custos de Transporte (€)	389.238
Custos de Escavação (€)	1.640.093
Custos de Pessoal (€/ano)	226.616
Tempo de Operação (anos)	29
Custos Totais (€)	8.648.537

Ao comparar as três opções que se considerou para o cenário 2, verifica-se que se consegue uma maior disponibilidade de terreno na opção onde não se misturam os resíduos escavados com RSU (cenário 2i), uma vez que se desimpede aproximadamente 91% do volume onde se encontra inserida a lixeira. Esta é também a opção com menos custos totais. A segunda opção (2ii), onde se processam 10% de RSU com 90% de resíduos escavados, consegue disponibilizar aproximadamente 88% do volume da lixeira, no entanto, os custos totais são superiores ao da opção anterior. Nestas duas alternativas serão necessários 13 anos para se completar o processo de mineração da lixeira.

Na terceira opção (2iii), onde 50% dos resíduos a processar são RSU, serão necessários 29 anos de operação. Disponibiliza-se um volume de apenas 63% e os custos totais são superiores.

De salientar no entanto que, nas opções 2ii e 2iii, apesar de se considerar que os resíduos seguem para a linha da unidade de TMB, não se garantem os requisitos necessários para que estes resíduos serem sujeitos a tratamento biológico, pois não foram feitas análises físico-químicas.

5.3.3. CENÁRIO 3 – TMB

No cenário 3, a única operação unitária que ocorre na lixeira é a escavação. O material escavado é levado para a unidade de TMB, onde será processado, resultando uma fracção combustível (CDR) e um resíduo estabilizado. Uma vez que o cenário 3 também contempla o recurso à unidade de TMB para processar mecanicamente os resíduos escavados, serão também definidos as três opções já descritos para o cenário 2. Na primeira opção (3.i) colocam-se todos os resíduos retirados da lixeira na unidade de TMB, e os resíduos são processados como se apresenta no Quadro 5.15.

Quadro 5.15 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 3i – TMB

(Valores em t)		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Separação Manual	Fracção restante	9.410	2.689	109	13.340	93.416	43.500	112.566	380.166	655.195
	Vidro	0	0	18.037	0	0	0	0	0	18.037
Tambor rotativo (120 mm)	Fracção superior	7.528	2.151	22	11.339	84.075	10.875	28.141	95.042	239.172
Separação Manual	Fracção restante	7.528	2.151	22	68	504	10.875	28.141	95.042	144.331
	Fracção combustível	0	0	0	11.271	83.570	0	0	0	94.841
Separador Magnético	Fracção restante	1.506	2.151	22	67	494	10.875	26.734	90.289	132.138
	MF	6.022	0	0	1	10	0	1.407	4.752	12.193
Separador por correntes de Foucault	Refugo	301	215	22	65	484	10.331	26.200	88.484	126.102
	MNF	1.204	1.936	0	1	10	544	535	1.806	6.036
Tambor rotativo (120 mm)	Fracção inferior	1.882	538	87	2.001	9.342	32.625	84.424	285.125	416.023
Separador Magnético	Fracção restante	376	538	87	1.961	9.155	32.625	80.203	270.868	395.813
	MF	1.506	0	0	40	187	0	4.221	14.256	20.210
Tambor rotativo (80 mm)	Fracção inferior	75	108	70	294	915	24.469	60.152	203.151	289.234
Separador Magnético	Fracção para tratamento aeróbio	15	108	70	288	897	24.469	57.145	192.994	275.985
	MF	60	0	0	6	18	0	3.008	10.158	13.250
Tambor rotativo (80 mm)	Fracção superior	301	430	17	1.667	8.239	8.156	20.051	67.717	106.579
Separador por correntes de Foucault	Refugo	60	43	17	1.633	8.075	7.748	19.650	66.363	103.590
	MNF	241	387	0	33	165	408	401	1.354	2.989

MF – metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Neste cenário dão entrada na unidade de TMB a totalidade dos resíduos escavados, cerca de 673.233 toneladas de resíduos. Aqui o processamento mecânico dos resíduos inicia-se com a triagem manual, retirando-se 18.037 toneladas de vidro e em seguida a fracção restante é encaminhada para o tambor rotativo com um crivo de 120 mm onde se

separam os resíduos em duas fracções granulométricas: uma superior e outra inferior. A fracção com tamanho superior é transportada para uma segunda triagem, onde é separada a fracção combustível para produção de CDR, cerca de 94.841 toneladas de papel e plástico. De seguida os resíduos são levados para um separador magnético onde se retiram os metais ferrosos, cerca de 6.022 toneladas, posteriormente no separador por correntes de Foucault separam-se mais 1.936 toneladas de metais não ferrosos.

Em paralelo, a fracção com uma granulometria inferior a 120 mm é transportada por uma tela transportadora sendo sujeita à separação magnética, sendo recuperados 1.506 toneladas de metais ferrosos. A fracção restante segue para um segundo tambor rotativo (malha de 80 mm de diâmetro) onde a fracção com tamanho inferior é transportada para um separador magnético, onde se obtém cerca de 60 toneladas de metais ferrosos. A fracção grosseira (superior a 80 mm) segue para um separador por correntes de Foucault, onde se retira cerca de 387 toneladas de metais não ferrosos. Por fim, serão novamente colocados em aterro cerca de 229.692 toneladas de refugo, sendo encaminhados para tratamento aeróbio cerca de 275.985 toneladas de resíduos.

Relativamente aos custos deste cenário, os resultados encontram-se descritos no Quadro 5.16. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 16 anos, este processo acarreta um custo de 6.170.268 euros e tem uma eficiência de 87%.

Quadro 5.16 – Custo do cenário 3i

Cenário 3 – TMB 3.i	
Eficiência (%)	87,09%
Custos de Operação (€)	98.331
Custos de Transporte (€)	1.145.868
Custos de Escavação (€)	1.640.093
Custos de Pessoal (€/ano)	209.184
Tempo de Operação (anos)	16
Custos Totais (€)	6.170.268

Na segunda opção (3.ii), colocam-se os resíduos retirados da lixeira misturados com 10% de RSU, na unidade de TMB, e os resíduos são processados como mostra o Quadro 5.17.

Neste cenário dão entrada na unidade de TMB cerca de 740.549 toneladas de resíduos totais (673.233 toneladas de resíduos escavados e 67.316 toneladas de RSU). A triagem manual do vidro permite recuperar 21.684 toneladas deste material. A fracção superior do tambor rotativo de 120 mm é encaminhada para triagem manual, sendo recuperados 115.416 toneladas de papel e plástico. O separador magnético retira cerca de 6.720 toneladas de metais ferrosos, sendo posteriormente removido pelo separador por correntes e Foucault mais 2.467 toneladas de metais não ferrosos.

Em paralelo, a fracção com uma granulometria inferior a 120 mm é conduzida até ao separador magnético, que separa 1.680 toneladas de metais ferrosos. A fracção restante

que resulta desta separação é transportada para um segundo tambor rotativo, onde a fracção com tamanho inferior a 80 mm segue para um separador magnético, onde se obtém mais 67 toneladas de metais ferrosos. A fracção grosseira do tambor rotativo segue para um separador por correntes de Foucault, onde se retiram cerca de 493 toneladas de metais não ferrosos. Por fim, será novamente colocado em aterro cerca de 248.193 toneladas de refugo, seguindo para possível tratamento aeróbio cerca de 297.019 toneladas de resíduos.

Quadro 5.17 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 3ii – TMB

(Valores em t)		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Separação Manual	Fracção restante	10.501	3.426	131	27.953	102.615	67.014	118.408	388.818	718.864
	Vidro	0	0	21.684	0	0	0	0	0	21.684
Tambor rotativo (120 mm)	Fracção superior	8.401	2.741	26	23.760	92.353	16.753	29.602	97.204	270.840
Separação Manual	Fracção restante	8.401	2.741	26	143	554	16.753	29.602	97.204	155.424
	Fracção combustível	0	0	0	23.617	91.799	0	0	0	115.416
Separador Magnético	Fracção restante	1.680	2.741	26	140	543	16.753	28.122	92.344	142.349
	MF	6.720	0	0	3	11	0	1.480	4.860	13.075
Separador por correntes de Foucault	Refugo	336	274	26	137	532	15.916	27.559	90.497	135.278
	MNF	1.344	2.467	0	3	11	838	562	1.847	7.071
Tambor rotativo (120 mm)	Fracção inferior (ton)	2.100	685	105	4.193	10.261	50.260	88.806	291.613	448.024
Separador Magnético	Fracção restante	420	685	105	4.109	10.056	50.260	84.366	277.033	427.034
	MF	1.680	0	0	84	205	0	4.440	14.581	20.990
Tambor rotativo (80 mm)	Fracção inferior	84	137	84	616	1.006	37.695	63.274	207.774	310.671
Separador Magnético	Fracção para tratamento aeróbio	17	137	84	604	986	37.695	60.110	197.386	297.019
	MF	67	0	0	12	20	0	3.164	10.389	13.652
Tambor rotativo (80 mm)	Fracção superior	336	548	21	3.493	9.051	12.565	21.091	69.258	116.363
Separador por correntes de Foucault	Refugo	67	55	21	3.423	8.870	11.937	20.670	67.873	112.915
	MNF	269	493	0	70	181	628	422	1.385	3.448

MF – Metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Relativamente aos custos deste cenário, os resultados encontram-se descritos no Quadro 5.18. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 18 anos, este processo acarreta um custo de 6.614.249 euros e tem uma eficiência de 87%.

Quadro 5.18 – Custo do cenário 3ii

Cenário 3 – TMB 3.ii	
Eficiência (%)	87,13%
Custos de Operação (€)	107.223
Custos de Transporte (€)	1.145.868
Custos de Escavação (€)	1.640.093
Custos de Pessoal (€/ano)	209.184
Tempo de Operação (anos)	18
Custos Totais (€)	6.614.249

Na terceira opção (3.iii), colocam-se os resíduos retirados da lixeira misturados com 50% de RSU, na unidade de TMB, e os resíduos são processados como mostra o Quadro 5.19.

Neste cenário dão entrada na unidade de TMB a totalidade dos resíduos escavados, cerca de 673.233 toneladas de resíduos misturados com 673.233 toneladas de RSU (um total de 1.432.908 toneladas). A triagem manual do vidro permite recuperar 54.508 toneladas, sendo a fracção restante conduzida para o tambor rotativo com um crivo de 120 mm. A fracção superior a esta granulometria é transportada para uma segunda triagem, onde é separado o papel e o plástico, retirando-se 300.596 toneladas de fracção combustível para CDR. De seguida, os resíduos são sujeitos a separação magnética, onde são retirados cerca de 13.003 toneladas de metais ferrosos. Posteriormente, no separador por correntes de Foucault, separam-se mais 7.244 toneladas de metais não ferrosos.

Em paralelo, a fracção com uma granulometria inferior a 120 mm, resultante do tambor rotativo, é sujeita a separação magnética, que separa 3.251 toneladas de metais ferrosos. A fracção restante é conduzida para um segundo tambor rotativo (com malha de 80 mm) onde a fracção com tamanho inferior sofre a acção de um separador magnético, onde se obtêm mais de 130 toneladas de metais ferrosos.

A fracção grosseira do tambor rotativo sofre a separação electromagnética através de um separador por correntes de Foucault, onde se retiram cerca de 1.449 toneladas de metais não ferrosos. Por fim, serão novamente colocados em aterro cerca de 414.698 toneladas de refugo, sendo teoricamente encaminhados para tratamento aeróbio cerca de 530.242 toneladas de resíduos.

Relativamente aos custos deste cenário, os resultados encontram-se descritos no Quadro 5.20. Para processar todos os resíduos aterrados serão necessários aproximadamente 37 anos, sendo necessários 10.609.597 euros para tal, conseguindo-se uma eficiência de 87%.

Quadro 5.19 - saídas de materiais relativas ao processo mecânico para o cenário 3iii – TMB

(valores em t)		MF	MNF	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	Total
Separação Manual	Fracção restante	20.316	10.060	329	159.472	185.400	278.633	257.506	466.683	1.378.400
	Vidro	0	0	54.508	0	0	0	0	0	54.508
Tambor rotativo (120 mm)	Fracção superior	16.253	8.048	66	135.551	166.860	69.658	64.376	116.671	577.484
Separação Manual	Fracção restante	16.253	8.048	66	813	1.001	69.658	64.376	116.671	276.887
	Fracção combustível	0	0	0	134.737	165.859	0	0	0	300.596
Separador Magnético	Fracção restante	3.251	8.048	66	797	981	69.658	61.158	110.837	254.796
	MF	13.003	0	0	16	20	0	3.219	5.834	22.091
Separador por correntes de Foucault	Refugo	650	805	66	781	962	66.175	59.934	108.621	237.994
	MNF	2.601	7.244	0	16	20	3.483	1.223	2.217	16.802
Tambor rotativo (120 mm)	Fracção inferior	4.063	2.012	263	23.921	18.540	208.975	193.129	350.012	800.916
Separador Magnético	Fracção restante	813	2.012	263	23.442	18.169	208.975	183.473	332.512	769.659
	MF	3.251	0	0	478	371	0	9.656	17.501	31.257
Tambor rotativo (80 mm)	Fracção inferior	163	402	211	3.516	1.817	156.731	137.605	249.384	549.829
Separador Magnético	Fracção para tratamento aeróbio	33	402	211	3.446	1.781	156.731	130.724	236.915	530.242
	MF	130	0	0	70	36	0	6.880	12.469	19.586
Tambor rotativo (80 mm)	Fracção superior	650	1.610	53	19.926	16.352	52.244	45.868	83.128	219.831
Separador por correntes de Foucault	Refugo	130	161	53	19.527	16.025	49.632	44.951	81.465	211.944
	MNF	520	1.449	0	399	327	2.612	917	1.663	7.886

MF – Metais ferrosos, MNF – metais não ferrosos, RO – resíduos orgânicos, RI – resíduos inorgânicos

Quadro 5.20 – Custo do cenário 3iii

Cenário 3 – TMB 3.iii	
Eficiência (%)	87,28%
Custos de Operação (€)	186.771
Custos de Transporte (€)	1.145.868
Custos de Escavação (€)	1.640.093
Custos de Pessoal (€/ano)	209.184
Tempo de Operação (anos)	37
Custos Totais (€)	10.609.597

Ao comparar as três opções que se consideraram para o cenário TMB, verifica-se que se consegue uma maior disponibilidade do terreno na opção onde não se misturam os resíduos escavados com RSU (3i), uma vez que se liberta aproximadamente 66% do volume da lixeira. Esta é também a opção com menos custos totais e a que demora menos tempo para processar todos os resíduos, aproximadamente 16 anos. A segunda opção, onde se coloca 10% de RSU conjuntamente com os resíduos escavados, consegue disponibilizar aproximadamente 63% da área da lixeira. No entanto, os custos totais são superiores ao da opção anterior, mas serão necessários 18 anos para processar todos os resíduos nesta opção.

Na terceira opção, onde 50% dos resíduos a processar são RSU, serão necessários 37 anos de operação, com maiores encargos económicos e com baixa rentabilização do volume da lixeira (apenas 38%). Nas duas últimas opções consideradas para estes cenários, apesar de se considerar que os resíduos seguem a linha da unidade de TMB, não se garante os requisitos necessários para estes resíduos serem sujeitos a esse tratamento.

5.4. COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para facilitar a comparação de todos os cenários estudados, o Quadro 5.21 resume os aspectos mais relevantes, nomeadamente a eficiência, o tempo de operação, o volume disponível obtido, o custo total e o custo anual.

Quadro 5.21 – Custos para os diferentes cenários analisados

Cenários	Resíduos enterrados (%)	RSU (%)	Eficiência (%)	Tempo de operação (Anos)	Volume disponível (%)	Custo total (Euros)	Custo anual (Euros)
Lixeira 1)	100	0	67,33	13	66	2.368.234	175.604
	2i)	100	0	85,91	13	5.140.764	381.186
Lixeira e TMB	2ii)	90	10	85,47	13	5.149.879	381.802
	2iii)	50	50	85,10	29	8.648.537	302.582
	3i)	100	0	87,09	16	6.170.268	392.797
TMB	3ii)	90	10	87,08	18	6.614.249	371.828
	3iii)	50	50	87,10	38	10.609.597	290.611

O cenário que acarreta menos custos é o primeiro (cenário Lixeira), cerca de 2.368 milhões de euros, uma vez que este é o cenário que necessita de menos trabalhadores e menos equipamentos para processar todos resíduos. Este também é o cenário menos eficiente, pois só consegue separar uma fracção para cobertura do aterro vizinho e metais ferrosos.

O cenário mais dispendioso é o da terceira opção do terceiro cenário (cenário TMB 3iii), pois serão necessários cerca de 10.609 milhões de euros para libertar algum volume da lixeira. Neste cenário, devido à quantidade dos resíduos que são tratados apenas na TMB, são necessários muitos anos para se conseguir processá-los todos, reflectindo-se

nos custos totais, uma vez que o tempo que os equipamentos vão trabalhar será muito superior a todos os outros cenários.

A recuperação de volume na lixeira encontra-se dependente da eficiência do processamento dos resíduos, que se traduz na quantidade de refugo a depositar em aterro. Nos cenários onde se verifica a utilização conjunta de RSU, a quantidade de refugo obtida contempla, por si só, refugo que será depositado no aterro independentemente da mineração da lixeira da Moita ocorrer ou não. Por essa razão, os cenários que incluem 50% de RSU são cenários com menor volume libertado.

No entanto, os cenários que contribuem com a maior libertação efectiva de espaço são os Lixeira e TMB (Cenários 2i e 2ii), sem RSU ou na proporção 10:90, obtendo-se percentagens de recuperação na ordem dos 90%. Esta verificação traduz que não é só a mistura com RSU que determina o volume disponível efectivo na lixeira, é igualmente a existência de processamento mecânico no local de escavação que permite o ganho de espaço. A comparação dos cenários 2i) e 2ii), com os cenários 3i) e 3ii), é exemplo disso. Para além da quantidade de resíduos a processar na TMB ser menor (do cenário Lixeira e TMB para o cenário TMB), também a existência de mais equipamentos para obtenção de fracções potencialmente valorizáveis contribui para que o ganho efectivo de volume na lixeira dos cenários Lixeira e TMB seja superior, quando comparado com os restantes cenários.

A opção 3iii) liberta apenas 38% do espaço ocupado pela lixeira, sendo o volume bastante inferior ao cenário correspondente 2iii). Tal é devido à unidade de TMB processar o dobro da quantidade de resíduos da lixeira com menos equipamentos.

Para melhor compreensão dos resultados acima descritos construiu-se o gráfico da Figura 5.9, o qual facilita a análise comparativa de eficiência e custos dos diferentes cenários. O cenário que acarreta menos custos é o primeiro (1), contudo este é também o menos eficiente.

Também se verifica que os restantes cenários têm todos uma eficiência mais elevada do que o primeiro, entre 84% e 87%, uma vez que nestes consegue-se a obtenção de finos, metais ferrosos, metais não ferrosos e fracção combustível para CDR. Nestes casos, os menos dispendiosos são os cenários onde os resíduos são processados na lixeira e na TMB, e que ou não se misturam com RSU ou que apenas recebem 10% de RSU. Também é de notar que a terceira opção do cenário que processa os resíduos apenas na TMB é o mais caro.

Na Figura 5.10 encontra-se a relação entre os custos anuais dos cenários e a respectiva eficiência do processamento dos resíduos. Verificou-se que os cenários que têm maiores custos totais, uma vez que necessitam de mais anos para processar todos os resíduos, são os que se apresentam menos dispendiosos anualmente. Contudo, o cenário 1), relativamente à situação anual, continua a ser o mais em conta, no entanto, como já foi referido, é o menos eficiente.

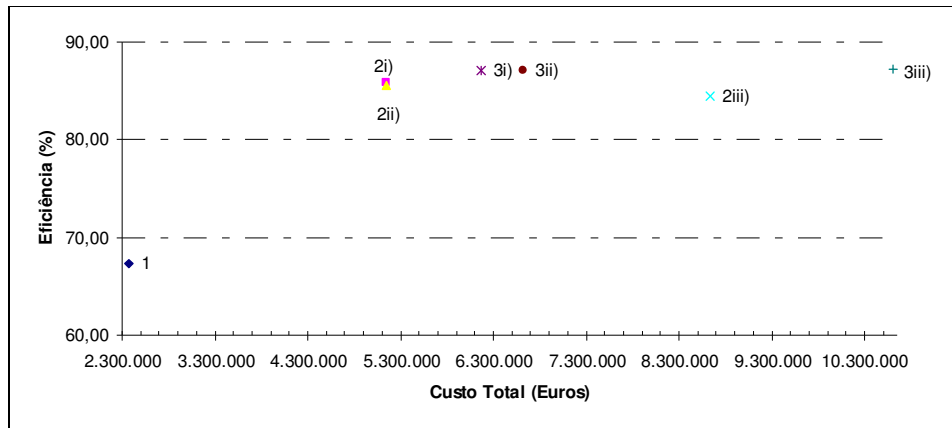


Figura 5.9 - Custos totais e eficiências dos cenários para o processamento mecânico da lixeira da Moita

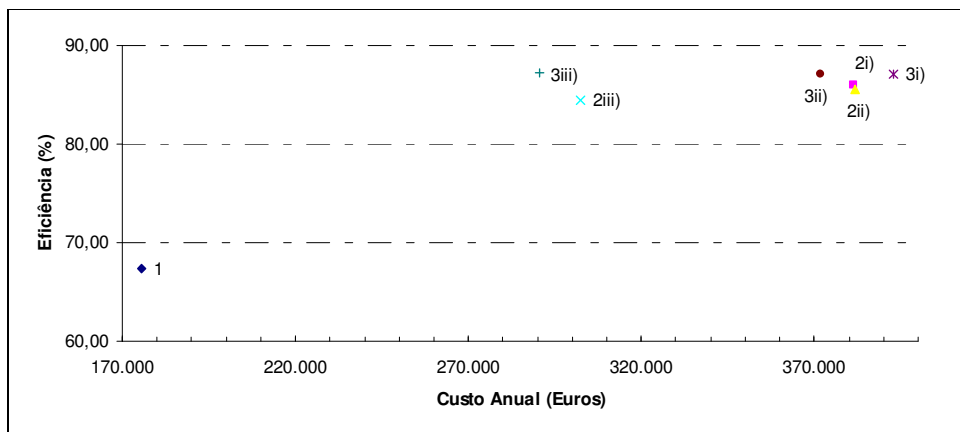


Figura 5.10 – Custos anuais e eficiência dos cenários para o processamento mecânico da lixeira da Moita

Em resumo, verifica-se que o cenário 1) é o menos dispendioso tanto avaliando os custos totais como os custos anuais, mas é o menos eficiente, demorando 13 anos para processar todos os resíduos. Consegue recuperar 66% do volume da lixeira e apenas recupera material de cobertura e metais ferrosos.

Nos cenários Lixeira e TMB, todos apresentam aproximadamente a mesma eficiência mas, em relação aos custos totais, estes aumentam com a mistura de maiores quantidades de RSU. Com as opções de processamento apenas com os resíduos escavados e adicionando 10% de RSU consegue-se recuperar cerca de 90% do volume da lixeira. Sobre os custos anuais verifica-se que a opção que requer mais tempo de operação, será a menos dispendiosa anualmente, contudo é a que disponibiliza menos volume da lixeira.

Nos cenários TMB verificam-se as mesmas diferenças nas opções que se encontraram nos cenários Lixeira e TMB. No entanto, como este cenário não contempla o processamento mecânico na lixeira e todos os resíduos estão afectos aos custos da TMB, os custos são acrescido em comparação aos cenários Lixeira e TMB.

Por último, de relembrar que os custos apresentados foram estimados apenas com base no equipamento e na mão-de-obra necessária para o processamento dos resíduos, não se tendo contabilizado as externalidades e os benefícios resultantes, por exemplo, do volume libertado para deposição de novos resíduos, da redução do tempo de monitorização da lixeira, ou eventuais receitas com a venda dos materiais recuperados e/ou da produção de energia ou poupança em terras de cobertura.

Só com base na análise de todas estas componentes de custo, bem como análises químicas a determinadas componentes destes resíduos, se poderá concluir se a mineração desta lixeira é ou não viável em termos económicos. Estes poderão ser assuntos a explorar em trabalhos de investigação futuros.

6. CONCLUSÕES

O estudo da mineração da lixeira da Moita permitiu retirar algumas conclusões relativamente à técnica de mineração de lixeiras, bem como às características de resíduos depositados há mais de 10 anos. Permitiu, igualmente, relacionar a composição dos resíduos com a sua idade e a profundidade a que foram depositados, testar as dificuldades que se encontram neste tipo de técnica e, por último, avaliar os custos da recuperação do volume da lixeira da Moita para outras utilizações.

Com a observação dos resíduos depositados na lixeira da Moita conclui-se que a degradação dos resíduos biodegradáveis não é tão rápida como seria de esperar, pois o papel, que se considera um bom indicador de degradação, ainda é reconhecido nas amostras retiradas da lixeira, sendo mesmo possível encontrar jornais legíveis.

A cor negra que estes resíduos apresentam mostram as características dos solos e a presença de matéria orgânica em estado de anaerobiose. A componente encontrada em maior quantidade foi a fracção finos. Estes podem ser considerados um indicador de idade dos resíduos, pois a degradação dos resíduos reduz a dimensão destes, o que leva a que quanto mais “velhos” forem, maior a proporção de finos na composição física dos resíduos depositados.

O vidro, apesar de não se degradar, seria expectável que se encontrasse partido, com todas as pressões que os resíduos depositados na lixeira estão sujeitos. Contudo muitas garrafas encontradas permaneciam intactas, o que mostra a resistência destas embalagens.

Ao avaliar as diferenças encontradas, em termos de composição física, de períodos temporais e das profundidades estudadas, conclui-se que os resíduos mais antigos, assim como os que se encontram a maiores profundidades, apresentam uma maior quantidade de finos, o que possivelmente deve-se à degradação dos mesmos. Quanto maior a profundidade, em princípio, encontram-se os resíduos mais antigos, logo os que apresentam um nível de degradação superior.

Relativamente à quantidade de papel conclui-se que as amostras que apresentaram mais papel são as amostras de resíduos mais recentes, uma vez que, como já foi referido, o papel é um material que se degrada com alguma rapidez (quando comparado com outros resíduos biodegradáveis, como a madeira, por exemplo). Assim o papel é mais abundante nos resíduos depositados a menor profundidade (mais à superfície) e mais recentes.

Para um estudo deste género, é fundamental informação relativamente ao método de deposição, ao histórico das quantidades e composição dos resíduos depositados ao longo dos anos em que a lixeira esteve em exploração, informação essa que por ser inexistente dificultou a análise efectuada. Esta situação não é única para o caso da lixeira da Moita, pois a maior parte dos municípios não tinham meios técnicos, humanos e financeiros para assegurar uma exploração e gestão destes locais de modo controlado. As consequências de tal escassez de dados implicam que o estudo da viabilidade

económica, mais correctamente apenas os custos de mineração, de qualquer uma das 341 lixeiras encerradas existentes no país constitua um grande desafio.

No entanto, a viabilidade ambiental para se proceder à mineração das lixeiras nacionais é, por si só, justificada, pois não são conhecidos os resíduos depositados nesses locais e, por conseguinte, os impactes ambientais daí provenientes a médio e longo prazo. A monitorização ambiental das lixeiras não se encontra clarificada na jurisdição nacional e o processo de encerramento e selagem das mesmas nem sempre foi o mais adequado para controlar as emissões de poluentes no meio gasoso e aquoso, constituindo fontes de poluição dispersa pelo país.

Relativamente ao principal objectivo deste trabalho, avaliar as possíveis alternativas para a operação de mineração de lixeiras e propor a que apresente custos de processamento viáveis para ser aplicada ao caso de estudo da lixeira da Moita, conclui-se, após a avaliação dos diferentes cenários, que os cenários Lixeira e TMB são os mais eficientes e com maior recuperação de espaço efectivo de deposição. Contudo, são os que necessitam de maior disponibilidade financeira por parte das entidade responsável.

Se a opção que acarreta menos custos for escolhida, a eficiência do processo será reduzida, uma vez que este apenas consegue separar uma fracção para cobertura de resíduos e alguns metais ferrosos, colocando o restante numa incineradora. No entanto, para este refugo, devido à elevada quantidade de finos existentes, deverá equacionar-se a opção de os colocar no aterro novamente. Assim, com este cenário, será disponibilizado apenas 66% do volume ocupado pela lixeira.

Quando se tem em conta a linha da unidade de TMB da AMARSUL, a eficiência dos cenários aumenta significativamente, uma vez que se consegue separar um maior número de componentes que se encontram na lixeira, tais como, fracção combustível para produção de CDR, metais ferrosos, metais não ferrosos, resíduo estabilizado e vidro. O cenário Lixeira e TMB tem também uma etapa realizada na lixeira, onde se retira material que pode ser utilizado como material de cobertura para as células do aterro vizinho.

Relativamente aos custos totais dos cenários que contemplam a unidade de TMB, estes aumentam significativamente comparativamente ao que apenas é processado no terreno (cenário Lixeira). No entanto, os custos totais são ainda superiores quando se misturam 50% de RSU aos resíduos escavados, pois aumenta-se a quantidade de resíduos que dão entrada na TMB, o que leva ao aumento do tempo de operação, quando comparado com os cenários que apenas processam resíduos escavados ou até mesmo aos que apenas se juntam a 10% de RSU. Assim, contabilizando apenas os custos totais, o cenário que processa 50% de RSU apenas na unidade de TMB torna-se o menos dispendioso anualmente.

O volume que se consegue disponibilizar com estes cenários varia consoante o tratamento efectuado aos resíduos e a quantidade de RSU que se mistura com os resíduos escavados. Assim, consegue-se disponibilizar mais volume com os cenários onde os resíduos são processados não só na TMB como na própria lixeira, sem mistura

com RSU ou com apenas 10% destes resíduos, pois consegue-se aproximadamente 90% do espaço ocupado por resíduos. O cenário que disponibiliza menos espaço é o que apenas contempla a TMB e se misturam 50% de RSU, pois apenas se disponibiliza 38% do espaço total.

O tempo de tratamento destes resíduos também varia, de 13 anos a 38 anos, uma vez que foram necessários 16 anos para o enchimento da lixeira não é contra-senso que seja necessário alguns anos para recuperar este espaço.

Conclui-se então que os cenários onde se mistura 50% de RSU são vantajosos para reduzir os custos anuais, no entanto disponibilizam pouco espaço da lixeira e levam algum tempo para conseguir o processamento de todos os resíduos depositados. O cenário onde apenas se processam resíduos na lixeira tem a vantagem de ter menores custos, no entanto é o menos eficiente. Relativamente às restantes opções do cenário 3 (processar apenas resíduos da lixeira e processar os resíduos da lixeira juntamente com 10% de RSU), quando comparadas com as mesmas opções do cenário 2, conclui-se que o cenário 2 acarreta menores custos, disponibiliza mais espaço na lixeira e leva menos tempo para processar todos os resíduos (13 anos).

É necessário ter em conta, como já foi referido, que estes são os custos estimados só para o equipamento e para a mão-de-obra necessária para o processamento dos resíduos, não se tendo contabilizado a externalidades e os benefícios resultantes do volume libertado para deposição de novos resíduos, da redução do tempo de monitorização da lixeira, ou de eventuais receitas com a venda dos materiais recuperados e/ou da produção de energia. A análise sobre todas estas componentes ditará se a mineração desta lixeira é ou não viável em termos económicos. Para além disto, também é importante o tratamento que será necessário realizar ao espaço disponibilizado, consoante as futuras utilizações.

É importante salientar também que, não sendo possível provar ser a lixeira a fonte de poluição do aquífero de Palmela (apenas com base nos dados fornecidos), só se poderá justificar a sua mineração em termos de resolução de problema ambiental após um estudo de modelação de dispersão de poluentes, de modo a ser clara esta relação.

Como se comprovou com este estudo, os custos desta técnica são bastante elevados, assim será interessante fazer o estudo das contrapartidas que se podem obter pelo ganho de uma nova célula, pela venda dos resíduos, por poupar na aquisição de terreno e no problema de se conseguir um local, já aceite pela população, para a deposição de novos resíduos.

7. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Uma das grandes limitações deste trabalho foi, como já referido por várias vezes, a falta de informação acerca da lixeira da Moita, o que nos fez trabalhar um pouco às “escuras”. Este facto fez com que a escolha dos locais de perfuração para a extracção das amostras de resíduos fosse efectuada de uma forma aleatória, sem qualquer critério a não ser a distância dos pontos uns aos outros e as limitações de tempo e mão-de-obra disponível. Desconhecendo-se a composição e a quantidade de resíduos que foram depositados entre os anos 1980 e 1996, nem a ordem e forma como foram depositados, foi necessário recorrer a um conjunto de pressupostos e utilizar estimativas para se conseguir atingir os objectivos delineados para este trabalho de investigação.

Outra limitação verificada foi o tempo disponível para efectuar o trabalho que, por ter sido curto, não permitiu efectuar algumas análises necessárias para avaliar o grau de degradação dos resíduos depositados. O estado em que se encontram os resíduos influencia os seus eventuais usos futuros, e perante esta limitação não foi possível tirar conclusões objectivas relativamente a este ponto. Para um estudo mais viável talvez fosse necessário uma maior quantidade de amostras, pois as estimativas da composição e quantidade depositada poderiam ser mais fiáveis.

A experiência adquirida com a realização deste trabalho permite indicar algumas recomendações, para estudos semelhantes que visem a recuperação de lixeiras, tais como:

- Será necessário definir características da zona que são desconhecidas – a topografia, morfologia, volume e altura das camadas de resíduos.
- Deve-se identificar e estimar a extensão da possível contaminação do local.
- Deverá proceder-se a estudos sobre a qualidade, quantidade e composição dos resíduos enterrados.
- Avaliar os potenciais riscos susceptíveis de ocorrerem durante a mineração – estimando a presença de biogás e a estabilidade das massas de resíduos.
- Efectuar análises químicas à fracção finos para avaliar a sua potencial utilização.
- Avaliar a evolução da técnica e a viabilidade económica do projecto.
- Recolher um número suficiente de amostras que permita estudar eficazmente a viabilidade de processamento destes resíduos.

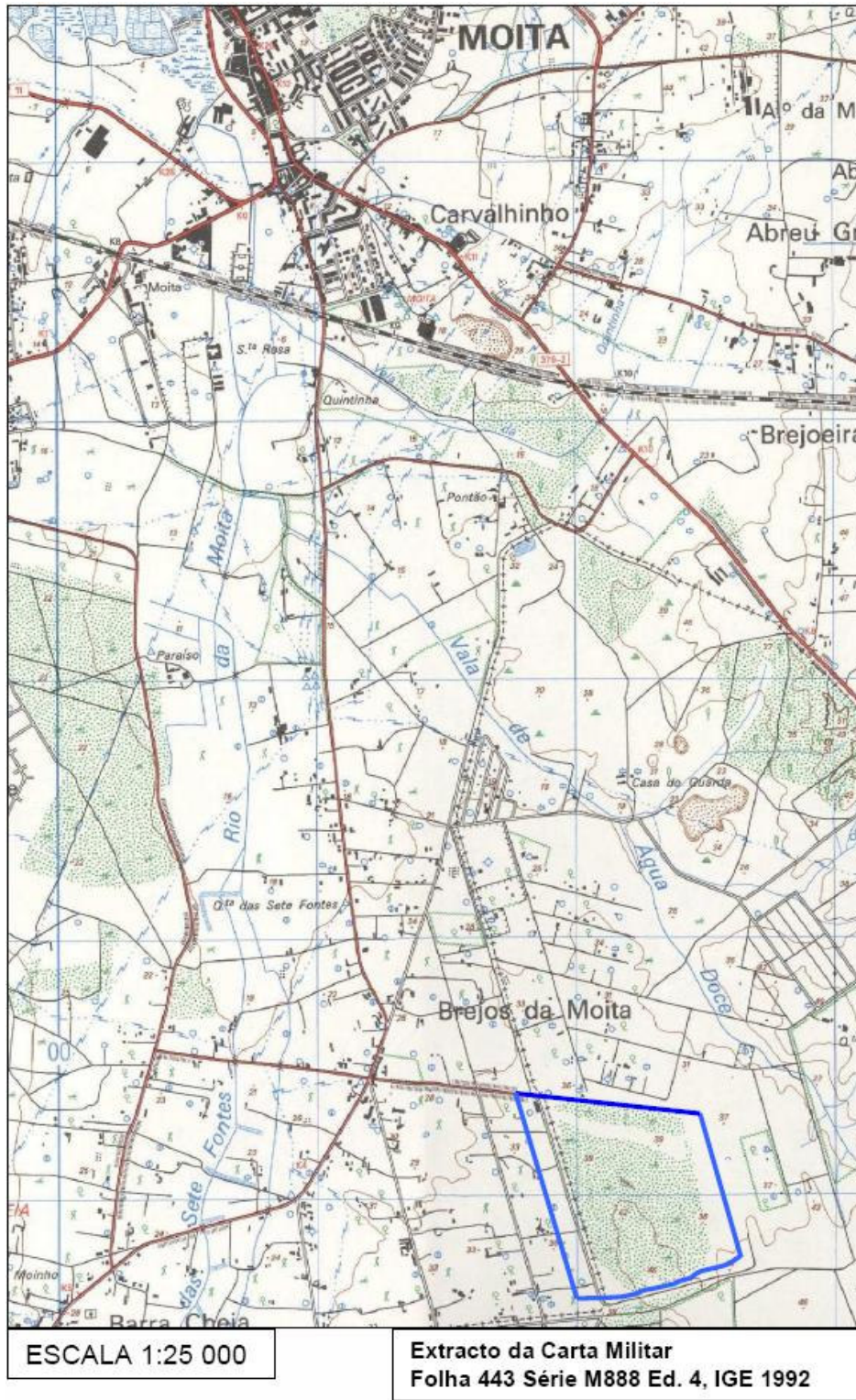
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARSUL (2007a). AMARSUL – *Historial*. <http://www.amarsul.pt>. (consultado em 12 de Dezembro de 2007).
- AMARSUL (2007b). *Elementos para o estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita*. Relatório da AMARSUL. Dezembro de 2007.
- AMARSUL (2007c). *Dados relativos às análises químicas das águas lixivantes e águas subterrâneas do aquífero de Palmela*. Relatório da AMARSUL.
- Bicudo, J. R. (1996). Tratamento e destino final das águas lixivantes. *Curso sobre Valorização e Tratamento de Resíduos. Prevenção, Recolha Selectiva, Compostagem e Confinamento em Aterro*. LNEC/APESB, Lisboa, 10-12 de Dezembro.
- Caputo, A.; Pelagagge, P. (2002). RDF production plants: I Design and costs. *Applied thermal Engineering*, 22, 423-437.
- Collivignarelli, C.; Baldi, M.; Bertanza, G.; Bina, S.; Conti, F. (1997). Characterisation of waste from landfill mining: case studies. *In Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium*, pp. 559-567.
- Cossu, R.; Hogland, W.; Salerni, E. (1996). *Landfill Mining in Europe and USA*. ISWA Year Book, International Solid Waste Association (ed), pp 107-114;
- DHVFBO (2004). *Monitorização das emissões gasosas dos aterros da AMARSUL do Seixal e de Palmeça, da antiga lixeira de Moita-Barreiro e da Unidade de Cogeração do Aterro do Seixal*. Relatório de monitorização. Novembro de 2004.
- DGA (1995). *Plano Nacional de Resíduos - A Consolidação de um Projecto*. Direcção Geral do Ambiente/Ministério do Ambiente e Recursos Naturais. Julho de 1995.
- Dupont, R.; Baxter, T.; Theodore, L. (1998). *Environmental Management – Problems and Solutions*. Editora CRC Press.
- EDP (2006). *Tarifário da energia eléctrica*. http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Clients/Regulated_market/Tariffs/AT.htm, (consultado a 22 de Janeiro de 2008).
- Ehrig, H. J.; Kruempelbeck, I. (2007). The emission behavior of old landfills in the aftercare phase. *In Cossu, R. and Sloop, Hvd. (eds.), Sustainable Landfill*. IWWG monograph series, CISA Publisher, Padova.
- EPA (1997). *Landfill Reclamation, Solid Waste and Emergency Response*. Environmental Protection Agency.
- ERSUC (2007). *Selagem e Recuperação Ambiental das Lixeiras*. http://www.ersuc.pt/site/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=51, (consultado em 12 de Janeiro de 2008).
- Google Maps (2007). *Google Maps – Palmela, Quinta do Anjo*. <http://maps.google.com>, (consultado em 10 de Junho de 2007).
- Gronow, J.; Hall, D.; Knox, K. (2007). Landfilling: the road less travelled. *In Cossu R, Sloop Hvd (eds.) Sustainable landfilling*. IWWG monograph series, CISA Publisher, Padova.
- Heimoaara, T.; Cossu, R.; van der Sloop, H. (2007). State of the art and perspectives for sustainable landfilling. *In Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and landfill Symposium*, 1-5 October, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.

- Heyer, K.; Hupe, K.; Stegmann, R.; Willand, A. (2007). Landfill aftercare – options for action, duration, costs and quantitative criteria regarding the release from aftercare. *In Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and landfill Symposium*, 1-5 October, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.
- Hogland, W. (2002). Remediation of an Old Landfill Site. *ESPR – Environmental Science and Pollution Researches*, Special Issue 1, pp. 49-54.
- Hogland W.; Visvanathan, C.; Marques, M.; Manandhar, D. R. (2005), Landfill in Asia – Improving sanitation of landfill sites. *Waste Management World*, Julho e Agosto, pp. 87-96.
- Hogland. W.; Gomes, M. M. (1997). Landfill Mining: Space Saving, Material Recovery and Energy Use. *Seminar on Waste Management and the Environment*, November 5 to 7, Kalmar, Sweden, pp. 339-355.
- Hogland, W.; Marques, M.; Nimmermark, S. (2004). Landfill Mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 6, pp. 119-124.
- Hull, R. M.; Krogman, U.; ASCE M.; Strom, P. S. (2005). Composition and Characteristics of Excavated Materials from a New Jersey Landfill. *Journal of Environmental Engineering*, 3, pp. 478-490.
- INR (2000), Plano de acção para os resíduos sólidos urbanos 2000-2006. Instituto dos Resíduos, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Lisboa.
- Jennings, S.; Townsend, T.; de Vita, J. (2007). Landfill mining pilot study at an old unlined municipal landfill. *In Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and landfill Symposium*, 1-5 October, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.
- JN(2007). Galp subiu preço do gasóleo. http://jn.sapo.pt/2006/02/11/ultimas/Galp_subiu_pre_o_do_gas_leo.html, (consultado em 12 de Janeiro de 2008).
- Kurian, J.; Esakku, S.; Palanivelu, K.; Selvam, A. (2003). Studies on Landfill Mining at Solid Waste Dumpsites in India. *In Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy.
- Lobato Faria, A.; Chinita, A.; Ferreira, F.; Presumido, M.; Inácio, M.; Gama, P. (1997). *Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Ministério do Ambiente, Lisboa.
- MAOTDR (2007). *PERSU II. Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-1016*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Martinho, M.G.; Gonçalves, M.G. (2000). *Gestão de resíduos*. Universidade Aberta.
- Martinho, M.G.; Vasconcelos, L. (2000). A problemática da localização de infra-estruturas de resíduos. *Revista Biologia*, 18, pp. 213-226.
- Prechthai, T.; Visvanathan, C.; Cheimchaisri, C. (2006). RDF Production Potencial of Municipal Solid Waste. *The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment*, 21-23 November, Bangkok, Thailand.

- Profico (2005). *Monitorização da implementação de planos e estratégias – Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Relatório realizado pela Profico Ambiente para o Instituto dos Resíduos. Maio de 2005.
- Rettenberger, G.; Urban-Kiss, S.; Schneider, R.; Göschl, R. (1995), German Project Reconverts a Sanitary Landfill. *BioCycle*, June, pp. 44-48.
- Rhyner, C. R.; Schyvartz, L.; Wenger, R. B.; Kohrell, M.G. (1995). *Waste Management and Resource Recovery*. CRC Press, Estados Unidos da America, pp.154-159.
- Savage, G. M.; Golueke, C. G.; Stein, E. L. (1993). Landfill Mining: Past and Present. *BioCycle*, May, pp. 59-61.
- Silveira, A. I.; Martinho, M. G. (2004). *Caracterização do Material do Embalão e Avaliação da Triagem de Embalagens*. Série resíduos 1, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 1ª edição, Junho 2004.
- Spencer, R. (1990). Landfill Space Reuse. *BioCycle*, February, pp. 30-33.
- SUFALNET (2007). Draft strategy for promoting redevelopment of former and abandoned landfill sites. <http://www.sufalnet.net> (consultado a 12 de Dezembro de 2007).
- Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions.
- van der Zee, D.; Achterkamp, M.; de Visser, B. (2004). Assessing the market opportunities of landfill mining. *Waste Management*, 24, pp. 795-804.
- Watson, T. (1988). Recycling the landfill: the mining of disposal sites. *Resource Recycling*, Setembro/Outubro, pp. 1-4.

ANEXO A. PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DO CIVTRS DE PALMELA



Planta de Localização do CIVTRS de Palmela