

Optimização da triagem óptica na recuperação de vidro proveniente de TMB

Inês Rita Quintanilha Garrinhas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientador: Professora Doutora Maria Teresa da Cruz Carvalho

Co-orientador: Engenheira Angela Leonardo Máximo

Júri

Presidente: Professor Doutor António Jorge de Gonçalves Sousa

Orientador: Professora Doutora Maria Teresa da Cruz Carvalho

Vogal: Professora Doutora Susete Maria Martins Dias

Mai 2014

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação não poderia ter sido concretizada sem o apoio intelectual e emocional das pessoas que fizeram parte da minha vida durante o período de tempo em que me dediquei a ela. Qualquer que tenha sido o tipo de ajuda que me deram, estou eternamente agradecida.

Em primeiro lugar agradeço à Prof.^a Maria Teresa Carvalho por me ter recebido no projecto em que se insere o presente estudo, por me ter orientado a nível intelectual e por me ter feito crescer como pessoa.

Agradeço também à Eng.^a Angela Máximo, que foi não só uma excelente co-orientadora que me guiou durante todo o meu trabalho mas foi também uma companheira e amiga.

A todos os colegas de projecto que partilharam o mesmo espaço comigo e com quem convivi nestes últimos meses, em especial à Eng.^a Nilmara Dias e à Eng.^a Carolina Bruno, os meus mais sinceros agradecimentos pelos momentos de alegria, tristeza e diversão que passámos juntos.

Não posso também deixar de agradecer ao Eng.^o Paulo Roque e ao Sr. Oliveira por nos terem recebido na instalação VIDROCICLO durante a realização deste estudo e por disponibilizarem o seu tempo para nos ajudar a trabalhar com os equipamentos e tirar as nossas dúvidas sobre o funcionamento dos mesmos, assim como a todos os trabalhadores da instalação que nos receberam e ajudaram quando precisámos.

Não posso também deixar de agradecer à Sociedade Ponto Verde (SPV), que deu o apoio financeiro necessário para a concretização do projecto em que a presente dissertação se insere.

RESUMO

Actualmente, os recursos naturais estão a ser consumidos muito mais rapidamente do que estão a ser repostos no ambiente. É, portanto, imperativo que os recursos que já foram extraídos sejam utilizados e reutilizados ao máximo. A reciclagem é um bom começo no sentido de reaproveitar o que já não é necessário, no entanto, a recolha selectiva não é perfeita e materiais que podem ser reciclados são ainda depositados nos resíduos indiferenciados.

Estes resíduos são tratados em instalações de tratamento mecânico e biológico (TMB), que produzem um rejeitado pesado (TMB_r). O TMB_r apresenta na sua constituição uma considerável quantidade de vidro com potencial para ser reciclado.

A triagem óptica é um processo de separação muito utilizado para separar uma grande variedade de materiais, incluindo o vidro. Neste tipo de triagem, são utilizados triadores ópticos, equipamentos que automatizam o processo.

O objectivo da presente dissertação foi estudar como é que as características da alimentação, composição e a granulometria, assim como alguns parâmetros operacionais dos triadores ópticos influenciam a eficiência da triagem, de modo a optimizá-la.

Para isso, foi feita uma análise de composição às amostras de rejeitado pesado das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR (instalações de TMB em operação em Portugal). Os resultados mostraram que é tecnicamente possível concentrar o vidro presente no TMB_r, no entanto, a quantidade de infusíveis presentes não permitem que seja aceite pelos retomadores. Independentemente da origem da amostra, foi possível obter um produto com teor em vidro superior a 98% e uma recuperação de aproximadamente 70% de vidro.

Palavras - chave: Optimização, Recuperação de vidro, Rejeitado pesado de TMB, Triagem óptica

ABSTRACT

Nowadays, natural resources are consumed at a much higher rate than they are being produced in nature. Hence, it is imperative that the raw materials that have already been extracted from nature are used and reused as much as possible. Recycling is a good start to achieve that goal, but waste sorting is not perfect and recyclable materials are still discarded with the mixed household waste.

This type of waste is commonly processed in mechanical and biological treatment (MBT) plants that produce a heavy reject. This heavy reject has in its composition a considerable amount of glass that could be recycled.

Optical sorting is a separation method widely used in glass recycling to separate particles of other materials from glass. This type of sorting is done using optical sorters, machines that automate the process.

The present dissertation's goal was to study how the feed's characteristics, composition and particle size, as well as some operational parameters of optical sorters affect the efficiency of the process, aiming at its optimization.

With that in mind, samples of SULDOURO, RESIESTRELA and VALNOR's heavy reject (MBT plants in operation in Portugal) were analysed according to composition. The results show it is technically possible to concentrate the glass present in the MBT heavy reject, although the infusible contaminants present won't allow for the resulting product to be accepted by MRF plants. Regardless of the origin of the sample, it was possible to produce an output of over 98% content in glass and a recovery of approximately 70% of the glass.

Keywords: Glass recovery, MBT heavy reject, Optical sorting, Optimization,

ABREVIATURAS

TMB – Tratamento Mecânico e Biológico

TMBr – Rejeitado pesado do tratamento mecânico e biológico

SD – SULDOURO

RE – RESIESTRELA

VN – VALNOR

IRE - Intensidade de Radiação Emitida

NRR – Nível de Radiação Recepcionada

TO – Triagem óptica

SPV – Sociedade Ponto Verde

SIGRE – Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens

PERSU – Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos

CDR – Combustível derivado de resíduos

TM – Tratamento mecânico

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ABREVIATURAS.....	vii
ÍNDICE	ix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento legislativo	2
1.2 Enquadramento tecnológico	5
1.4 Motivação e Objectivo	5
1.5 Metodologia geral e estrutura da dissertação	6
2. Estado da arte	9
2.1 Triagem óptica.....	9
2.2 Projecto RecGlass.....	18
3. Metodologia	23
3.1 Amostras	24
3.2 Processamento - Triagem óptica.....	26
3.3 Análise de resultados	33
4. Resultados e discussão	35
4.1 Influência dos parâmetros operacionais	35
4.2 Conjugação de parâmetros que produz melhores resultados.....	41
4.3 Reprocessamento	43
4.4 Optimização da triagem óptica	45
5. Conclusões e Trabalho futuro	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXO A.....	53
ANEXO B.....	55

Índice de figuras

Figura 1-1 Mudança de paradigma na gestão de resíduos. (Adaptado de (McManus, 2013))	2
Figura 1-2 Hierarquia de gestão de resíduos, estabelecida na legislação europeia (Adaptado de Directiva 2008/98/CE)	3

Figura 2-1 Espectro Electromagnético. Adaptado de (NASA, 2013)	9
Figura 2-2 Triador óptico industrial. Adaptado de (UNEP, 2013)	10
Figura 2-3 Sistema de triagem óptica exemplificativo da indústria alimentar com várias câmaras. Adaptado de (BEST, 2014)	14
Figura 2-4 Esquema exemplificativo de um triador óptico utilizado para a triagem de vidro.....	17
Figura 2-5 Diferentes tipos de vidro expostos à radiação luz visível	18
Figura 2-6 Diferentes tipos de vidro expostos à radiação ultravioleta	18
Figura 2-7 Composição das amostras de diferentes instalações caracterizadas no âmbito do projecto RecGlass (Dias, et al., 2013)	19
Figura 2-8 Curva Cumulativa Superior de distribuição granulométrica das amostras recolhidas em 2013 (Carvalho, et al., 2013).....	20
Figura 3-1 Diagrama de processamento correspondente à preparação das amostras para a triagem óptica	25
Figura 3-2 Análise de composição das amostras da fracção granulométrica supra 16 mm das instalações SULDOURO e RESIESTRELA	25
Figura 3-3 Análise de composição das amostras da fracção granulométrica 6-16 mm das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR	26
Figura 3-4 Esquema de montagem dos triadores ópticos na instalação da VIDROCICLO	28
Figura 3-5 Ensaio correspondentes às conjugação de valores dos filtros usados com a amostra da instalação SULDOURO, fracção supra 16 mm.....	30
Figura 3-6 Ensaio correspondentes às conjugações de valores de filtros usados com a amostra da instalação RESIESTRELA, fracção supra 16 mm	31
Figura 3-7 Ensaio correspondentes às conjugações de valores de filtros usados com as amostras das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR, fracção 6-16 mm	31
Figura 3-8 Esquema da configuração dos triadores ópticos utilizada nos testes de reprocessamento.....	32
Figura 4-1 Influência da intensidade de radiação emitida e do calibre na recuperação de vidro, pedras e cerâmica	36
Figura 4-2 Influência do nível de radiação emitida e do calibre na recuperação de vidro, pedras e cerâmica	37
Figura 4-3 Influência dos filtros nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas nas amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA, fracção supra 16 mm	38
Figura 4-4 Influência dos filtros nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas nas amostras das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR, fracção 6-16 mm	40
Figura 4-5 Influência do reprocessamento no teor e recuperação de vidro, pedras e cerâmica	44
Figura 4-6 Influência do reprocessamento no teor e recuperação de vidro, pedras e cerâmica	44
Figura A-1 Teores em vidro, pedras e cerâmicos obtidos no estudo actual e em fases anteriores do projecto RecGlass	54

Índice de tabelas

Tabela 3-1 Tabela explicativa dos valores (confidenciais) dos parâmetros da triagem óptica ..	27
Tabela 3-2 Tabela resumo de todos os ensaios realizados para a optimização da triagem óptica	33
Tabela 4-1 Valores dos parâmetros operacionais que conduziram melhores resultados em todas as instalações	42
Tabela 4-2 Valores dos parâmetros operacionais que conduziram melhores resultados segundo o critério do teor mínimo em pedras e cerâmicas	42
Tabela 4-3 Valores dos parâmetros operacionais que conduziram melhores resultados segundo o critério da recuperação máxima de vidro	43
Tabela 4-4 Teor de vidro máximo obtido sem e com optimização da triagem óptica.....	45
Tabela A-1 Resultados da análise de composição da alimentação da triagem óptica obtidos na fase anterior do projecto RecGlass	53
Tabela A-2 Resultados da análise de composição da alimentação da triagem óptica obtidos no presente estudo.....	53
Tabela B-1 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação SULDOURO, fracção supra 16 mm.....	55
Tabela B-2 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação RESIESTRELA, fracção supra 16 mm	56
Tabela B-3 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação RESIESTRELA, fracção 6-16 mm	56
Tabela B-4 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação SULDOURO, fracção 6-16 mm.....	57
Tabela B-5 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação VALNOR, fracção 6-16 mm	57

Índice de quadros

Quadro 2-1 Especificações técnicas para aceitação de um lote de vidro proveniente da recolha selectiva para reciclagem de vidro (SPV, 2011)	17
---	----

1. INTRODUÇÃO

Num ecossistema natural, a reciclagem dos seus elementos é assegurada pelos decompositores – microorganismos que transformam outros organismos mortos em nutrientes químicos (como carbono e azoto) que são depois libertados no solo, ar e água (NHPT, 2014). Por seu lado, os sistemas criados pelas actividades humanas não possuem decompositores ou recicladores tão eficientes. Com a evolução tecnológica os produtos tornaram-se mais complexos e conseqüentemente também os resíduos, fazendo com que estes ainda sejam depositados no meio ambiente.

A produção intensiva, associada ao aumento de população e conseqüentemente de consumo, faz com que os recursos naturais sejam explorados como nunca o foram antes e conseqüentemente que seja produzida uma maior quantidade de resíduos.

Este aumento de produção de resíduos tornou-se problemático e os métodos adoptados para os tratar foram no passado os mais fáceis que se encontraram: depositá-los a céu aberto e mais tarde enterrá-los ou queimá-los. Um sistema assim não é sustentável, pois nenhum material está a ser repostado para que a produção continue sem problemas, tal como acontece na natureza.

Um ciclo em que os recursos são extraídos do ambiente e depois de todo o processamento e utilização são eliminados, não se pode manter durante muito tempo. A deposição de resíduos no ambiente pode vir a provocar um colapso no sistema por falta de recursos, com a agravante que os recursos ainda disponíveis estão a ser poluídos devido a esta deposição. Cada vez mais verifica-se uma mudança de paradigma no que diz respeito à gestão de resíduos (Figura 1-1). Os resíduos tornaram-se um recurso em vez de algo que deve ser destruído e tem sido feito o esforço para transformar os sistemas humanos em ciclos fechados.

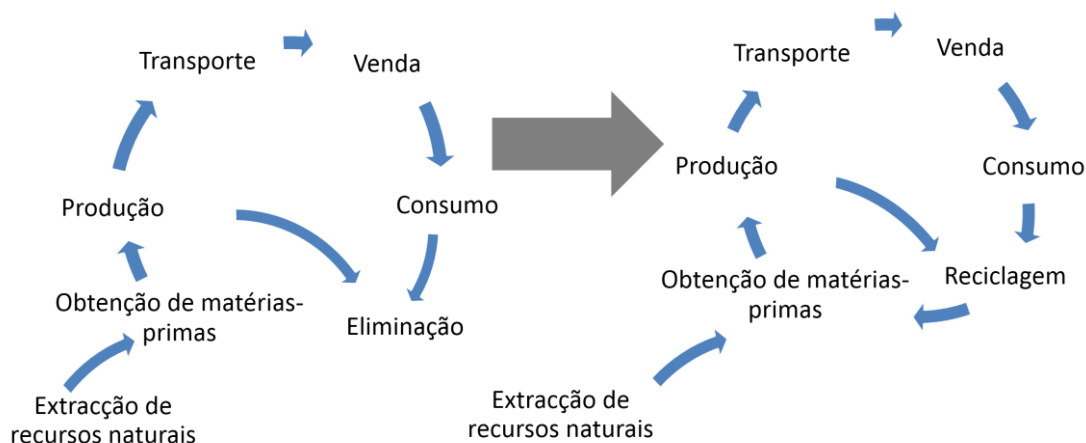


Figura 1-1 Mudança de paradigma na gestão de resíduos. (Adaptado de (McManus, 2013))

Um modo de actuar sobre o sistema é ao nível do consumo – com a diminuição do consumo, ocorre automaticamente uma diminuição da produção de resíduos. No entanto, com o aumento constante da população e sua tendência consumista, a diminuição de consumo pode ser um desafio. Alternativamente, é possível actuar ao nível da reciclagem, através da sensibilização para a recolha selectiva e da investigação para encontrar novas formas de reciclar mais e melhor.

A reciclagem é uma necessidade, razão pela qual são frequentemente criadas novas maneiras de reciclar cada vez mais tipos de materiais. No entanto, uma parte dos resíduos recicláveis é ainda recolhida com os resíduos indiferenciados - vulgarmente designados “lixo”, são os resíduos provenientes das habitações, bem como os resíduos que pela sua natureza ou composição sejam semelhantes aos resíduos provenientes das habitações e que não são separados na origem.

As instalações de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) já fazem parte da solução para tratar os resíduos indiferenciados. Tal como o nome indica, o processamento tem duas partes: a fase mecânica, que geralmente engloba uma triagem dos materiais recicláveis, que pode ser manual ou com recurso a equipamentos apropriados. Por seu lado, a fase biológica recorre a microorganismos para estabilizar a fracção orgânica do fluxo de resíduos.

1.1 Enquadramento legislativo

De forma a atingir os objectivos de minimização de resíduos e aumento de reutilização e reciclagem dos mesmos, tem vindo a ser criada legislação para regulamentar a gestão de resíduos ao nível da União Europeia. Portugal, como membro da União Europeia, tem de cumprir metas e objectivos impostos pela comunidade. Nesse sentido, têm sido transpostas para a ordem jurídica interna várias directivas europeias relativas à gestão de resíduos.

A Directiva Quadro de Resíduos (EU, 2008) estabelece medidas de protecção do ambiente e da saúde humana, através da prevenção ou redução dos impactos adversos decorrentes da geração e gestão de resíduos, através da diminuição dos impactos gerais da utilização dos recursos e da eficiência dessa utilização. O Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro transpõe para a ordem jurídica interna esta directiva. Este decreto-lei foi sofrendo alterações ao longo do tempo, sendo que a alteração mais recente está estabelecida no Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho.

No referido decreto prevê-se a elaboração de um Plano Nacional de Gestão de Resíduos que funcione como instrumento de política e ordenamento do território e que assegure os princípios de sustentabilidade, transversalidade, integração, equidade e participação relativamente a este assunto.

O referido decreto introduz também a hierarquia das opções que devem ser tomadas em relação à prevenção e gestão de resíduos, que é apresentada na Figura 1-2.



Figura 1-2 Hierarquia de gestão de resíduos, estabelecida na legislação europeia (Adaptado de Directiva 2008/98/CE)

Neste decreto introduz-se ainda a responsabilidade alargada do produtor, que implica que a responsabilidade pela gestão dos resíduos cabe ao produtor inicial dos mesmos. Esta responsabilidade, no entanto, pode ser relegada para entidades licenciadas. A Sociedade Ponto Verde (SPV) é uma entidade privada sem fins lucrativos que está licenciada para gerir e promover a selecção, recolha e reciclagem de embalagens em Portugal. É esta entidade que gere o Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens (SIGRE), também chamado de sistema Ponto Verde (SPV, 2014).

O SIGRE é financiado pelos embaladores, que pagam o valor das embalagens que colocam no mercado à SPV e esta passa a ser responsável pela gestão e destino final das embalagens usadas, enquanto resíduo. O pagamento dos embaladores é então utilizado para pagar aos

municípios pela recolha selectiva e manutenção dos ecopontos, como incentivo à recolha selectiva. Estes resíduos são disponibilizados à SPV, que por sua vez os encaminha para empresas retomadoras, como é o caso da VIDROCICLO. Apesar da recolha ser selectiva, o resíduo recolhido é rico em contaminantes (plástico, papel, metal, cerâmica). As empresas retomadoras recebem este fluxo e procedem à sua descontaminação, sendo este enviado posteriormente para as empresas que procedem à sua transformação.

No Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto, que actualmente transpõe a Directiva 1999/31/CE para a ordem jurídica interna, onde estão estabelecidas as especificações jurídicas, técnicas e de gestão dos aterros. A hierarquia da gestão de resíduos já é tida em conta neste decreto e estabelece ainda que a quantidade de materiais recicláveis depositada em aterro deve ser minimizada. Na Portaria nº 187/2007 de 12 de Fevereiro é aprovado o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos II (PERSU II). O seu precursor (PERSU) tinha sido aprovado em 1997 e, apesar dos resultados positivos no sector que se verificaram com a sua aplicação, achou-se aconselhável a sua revisão.

O PERSU II refere alguns pontos que são importantes destacar no âmbito da presente dissertação. São eles:

Aconselha a que os resíduos biodegradáveis sejam desviados de aterro, sendo antes tratados por digestão anaeróbia, compostagem ou tratamento mecânico e biológico:

- Demonstra uma grande preocupação na maximização do valor dos subprodutos das unidades de TMB: composto, materiais recicláveis e fracção combustível derivada dos resíduos (CDR);
- A portaria referida acima também prevê mecanismos de avaliação intercalar, assim como de monitorização e acompanhamento da execução anual do plano.

A monitorização do PERSU II é feita desde 2008 e em 2010 procedeu-se aos trabalhos com vista à realização da primeira avaliação intercalar do PERSU II. Em 2012 também estava previsto ser feita uma nova avaliação intercalar que, tendo por base a avaliação feita em 2010, permitiria avaliar o estado de cumprimento das metas de Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) de aterro fixadas para 2013 (ERSAR & APA, 2012).

O resultado desta avaliação mostrou que, continuando a operar como até agora, as metas não serão cumpridas. Foi então elaborada uma proposta para um novo PERSU: o PERSU 2020, que embora já tenha sido apresentado publicamente, presentemente ainda não é um normativo legal.

Na proposta apresentada, seguindo a hierarquia do tratamento de resíduos, privilegia-se a actuação a montante da cadeia da gestão de resíduos, no entanto, também apresenta planos de acção ao nível das instalações de TMB tais como:

- Modernizar instalações de TMB para otimizar a sua operação
- Definir especificações técnicas para a retoma de materiais do TMB
- Incentivar a conversão de projectos de tratamento mecânico (TM) em TMB

1.2 Enquadramento tecnológico

Actualmente, a indústria vidreira aceita utilizar como matéria-prima casco de vidro processado desde que proveniente da recolha selectiva. No entanto, existe sempre vidro que é depositado nos resíduos indiferenciados. Uma parte dos resíduos indiferenciados produzidos actualmente já é tratada em instalações de TMB, que produzem um rejeitado onde se acumula grande parte deste vidro - rejeitado pesado de TMB (TMBr). Este rejeitado, rico em vidro, actualmente vai directamente para aterro. Este rejeitado é muito rico em contaminantes, não sendo aceite pelas empresas retomadoras de vidro que só recebem fluxos com elevados teores em vidro e teores em contaminantes muito reduzidos.

O elevado teor em vidro presente no TMBr suscita interesse na sua valorização e foi precisamente com a intenção de valorizar este vidro que foi criado o projecto RecGlass – projecto financiado pela SPV, que tem como objectivo tornar viável a reciclagem do vidro presente nos resíduos indiferenciados sujeitos ao tratamento mecânico e biológico e do qual faz parte o presente estudo. Foi desenvolvido o equipamento RecGlass, que pretende separar o vidro das pedras presentes no TMBr (Dias & Carvalho, 2012). Foi também adicionado um processo de secagem e um processo de aspiração de orgânicos leves. Depois de vários testes à escala laboratorial, desenvolveu-se um diagrama de processamento com o intuito de separar o vidro dos outros materiais presentes no TMBr.

A triagem óptica (TO) é um dos processos comumente usados na fase final do processamento de casco de vidro proveniente de recolha selectiva e também foi incluída no diagrama desenvolvido. Colocou-se, no entanto, a questão se pode ser utilizada para separação do vidro presente no TMBr. Os resultados obtidos no projecto foram encorajadores, no entanto, ainda insuficientes para o produto final ser aceite para reciclagem segundo as especificações da SPV para o vidro de recolha selectiva. À excepção da etapa final de triagem óptica todos os processos constituintes do diagrama desenvolvido haviam sido otimizados pelo que fazia sentido proceder-se a uma optimização desta etapa também.

1.4 Motivação e Objectivo

Os resultados obtidos anteriormente no projecto RecGlass indicam que uma optimização da TO poderá ser suficiente para alterar/melhorar os resultados obtidos.

A proposta apresentada para o PERSU 2020, com eixos de acção focados nas instalações de TMB, também motiva a optimização do diagrama desenvolvido para a recuperação de um rejeitado que ainda não cumpre os requisitos necessários para ser desviado de aterro.

O objectivo da presente dissertação é, assim, proceder à optimização da etapa de triagem óptica incluída no diagrama já desenvolvido no projecto RecGlass para recuperação do vidro contido no rejeitado pesado proveniente de TMB recorrendo às amostras de TMBr provenientes de diferentes instalações utilizadas nesse mesmo projecto.

1.5 Metodologia geral e estrutura da dissertação

A presente dissertação teve início com uma revisão bibliográfica sobre a triagem óptica. Os triadores ópticos são sistemas complexos, foi por isso necessário recolher informação de modo a compreender o seu funcionamento, assim como as suas áreas de aplicabilidade.

Foi ainda necessário recolher informação sobre todo o trabalho já realizado anteriormente, em primeiro lugar porque parte da metodologia foi desenvolvida em estudos anteriores e em segundo lugar para se poderem comparar resultados dos diferentes estudos. Foi ainda necessário analisar toda a legislação relacionada com o tipo de resíduos abordados nesta dissertação.

Por último, realizou-se o trabalho de campo, na instalação VIDROCICLO, onde se procedeu primeiro à preparação das amostras para serem analisadas por triagem óptica e posteriormente à optimização da triagem óptica. Os resultados foram analisados no laboratório da instalação ou, mais tarde, no laboratório do IST.

Para além da introdução, a presente dissertação foi estruturada como se descreve em seguida.

Estado da arte - Este capítulo enquadra o presente estudo no projecto RecGlass, descrevendo o trabalho desenvolvido previamente e justificando a necessidade do presente estudo na sequência dos resultados obtidos anteriormente. Faz ainda a revisão bibliográfica que proporciona bases sólidas para a compreensão da triagem óptica.

Este capítulo serve para enquadrar e justificar a necessidade da optimização da triagem óptica para a recuperação de vidro presente no TMB, assim como providenciar a informação necessária para a compreensão da metodologia e dos resultados obtidos.

Uma parte do conhecimento utilizado na elaboração do presente subcapítulo foi adquirida durante o trabalho de campo realizado na instalação VIDROCICLO e das explicações do técnico responsável, razão pela qual nem toda a informação está referenciada.

Metodologia – Neste capítulo é descrito em detalhe o processamento dado às amostras - preparação das amostras e triagem óptica. É também apresentada a metodologia utilizada na recolha e análise de amostras, assim como na análise de resultados.

Resultados e discussão – Ao longo deste capítulo são apresentados os diversos resultados obtidos durante o processo de optimização da triagem óptica. Primeiramente apresentam-se os resultados da análise de composição da alimentação da triagem óptica, tendo em conta que estes resultados diferem consideravelmente dos obtidos previamente durante o projecto. De seguida apresentam-se os resultados da influência das variáveis operacionais da triagem óptica na recuperação dos constituintes de interesse, assim como os resultados da recuperação e do teor que levaram à escolha dos parâmetros que conduziram aos melhores resultados. Finalmente apresentam-se os teores e as recuperações obtidas após o reprocessamento por triagem óptica.

Conclusões e trabalho futuro – No capítulo final apresentam-se as conclusões a que se chegou com a análise dos resultados e propõe-se um estudo posterior com base nas conclusões tiradas.

Referências Bibliográficas

ANEXOS

2. ESTADO DA ARTE

A tecnologia da triagem óptica tem sofrido grandes desenvolvimentos nos últimos anos, não sendo ainda uma tecnologia madura. Assim, as características exaustivas, bem como os parâmetros do equipamento de triagem óptica são fornecidos com o equipamento e são considerados confidenciais tanto pelo fornecedor do equipamento como pelo utilizador. Isto implica que as referências bibliográficas sobre estes sistemas são escassas. Relativamente à optimização da triagem óptica, apesar da intensa pesquisa, não se conseguiu encontrar trabalhos publicados.

2.1 Triagem óptica

A percepção humana do mundo limita as propriedades ópticas dos materiais (cor) ao seu comportamento quando iluminado por luz visível. No entanto, o espectro electromagnético compreende um intervalo de comprimentos de onda mais alargado tal como se mostra na Figura 2-1.

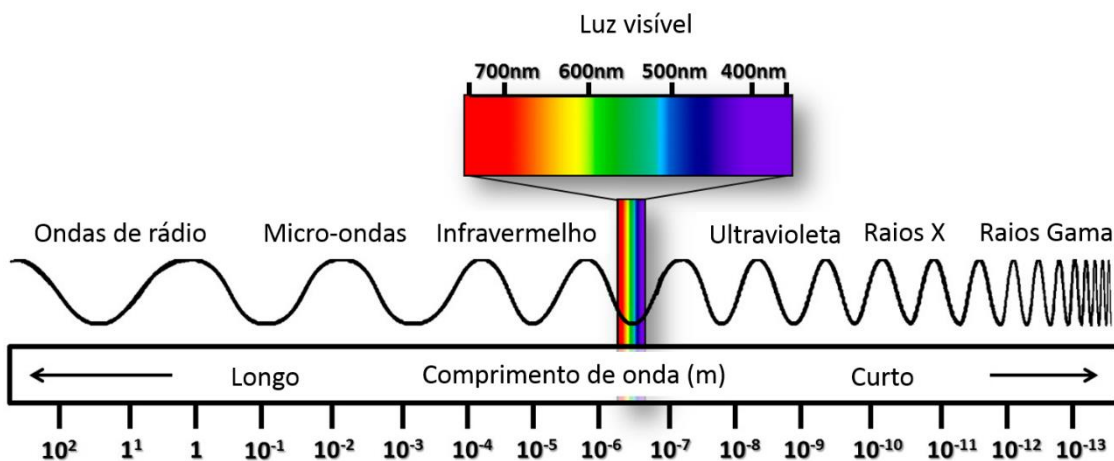


Figura 2-1 Espectro Electromagnético. Adaptado de (NASA, 2013)

A triagem óptica é um processo automatizado de separação de certos componentes com características ópticas específicas. Dependendo da fonte de radiação utilizada (infravermelho, visível, ultravioleta, raios X, raios gama) diferentes características ópticas podem ser detectadas pelos sistemas de triagem óptica.

Industrialmente, o processo de triagem óptica é bastante uniforme e a triagem óptica tem aplicações numa grande variedade de áreas.

É importante realçar que, se por um lado os fabricantes destes sistemas não revelam todos os detalhes dos seus equipamentos para que outros fabricantes não os possam reproduzir,

também as indústrias onde estes se aplicam não expõem em detalhe o modo exacto de utilização do equipamento já que o seu know how é uma vantagem competitiva na área, não existindo muitos trabalhos publicados sobre o tema. É possível, no entanto, obter alguma informação adicional ao consultar patentes tornadas públicas de equipamentos de triagem óptica (Doak, 2003).

Os sistemas de triagem óptica (triadores ópticos) industriais (Figura 2-2) são compostos por quatro subsistemas que funcionam em conjunto para fazer a triagem (Edwards, 2004):

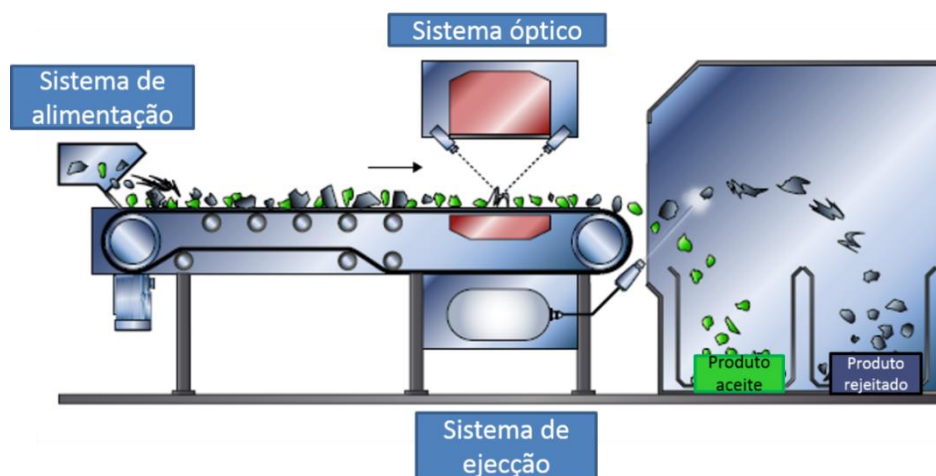


Figura 2-2 Triador óptico industrial. Adaptado de (UNEP, 2013)

1. **Sistema de alimentação** – a alimentação é feita, em geral, com o auxílio de vibração, de modo a que o material que entra no triador forme uma única camada e seja analisado correctamente.
2. **Sistema óptico** – o sistema óptico é constituído por vários componentes: a fonte de radiação, o sensor óptico e a caixa que envolve todo o subsistema. A fonte de radiação ilumina o material, fazendo com que a sua estrutura tenha uma resposta distintiva à radiação. Actualmente podem ser utilizados vários tipos de radiação para obter a resposta pretendida, tais como laser, luz visível, infravermelhos, ultravioleta, etc. O sensor óptico capta a resposta do material para que esta possa ser analisada. O sensor óptico pode captar a radiação que é reflectida no material, ou a radiação que o material permite que seja transmitida. A caixa envolvente permite que a radiação emitida não sofra interferências do exterior, assim como protege os outros componentes da sujidade e facilita qualquer limpeza que seja necessária.

3. **Sistema de sopragem** – o sistema de sopragem separa fisicamente os materiais com as características ópticas de interesse dos restante materiais. O sistema de sopragem pode ejectar o constituinte que se quer recuperar e nesse caso chama-se triagem óptica positiva, ou pode ejectar os produtos que não têm interesse e nesse caso chama-se triagem óptica negativa. Caso não seja mencionado nada em contrário, a triagem óptica no presente documento refere-se à triagem óptica negativa. A ejeção dá-se, geralmente, quando os diferentes materiais se encontram em queda livre e é conseguida através de um jacto de ar comprimido através de um bocal, que desvia o material a rejeitar para um compartimento diferente, enquanto o material a recuperar mantém a sua trajectória.

4. **Algoritmos de processamento de imagem** – A imagem obtida com o sistema óptico é processada e analisada por um software apropriado, que decide o que deve ser aceite ou rejeitado. A tecnologia emergente permite que processadores capazes de analisar as imagens adquiridas em fracções de segundo e dependendo da cor, forma, transparência ou várias destas características, decidir se um material deve ser rejeitado ou não. Também já se tentaram alterar os algoritmos de processamento para triar objectos complexos como uma *pizza* (Sun, 2000). Dependendo da decisão tomada em relação ao objecto analisado, o software activa ou não o sistema de sopragem.

Assim, o sistema óptico analisa o material a ser triado e a imagem obtida é tratada pelos algoritmos de processamento de imagem que determinam o que deve ser rejeitado em fracções de segundo. O processador calcula também a trajectória do material a ser ejectado quando em queda livre através da velocidade a que este é alimentado. O sistema de sopragem é accionado para que seja encaminhado para o compartimento do produto rejeitado.

Os resultados da separação podem ser afectados pela mudança de alguns parâmetros operacionais do equipamento. Os parâmetros ajustáveis no **sistema óptico** são:

- ***Intensidade de radiação emitida***

Este parâmetro é a intensidade de radiação electromagnética que está a ser emitida pela fonte de radiação do triador óptico. Este parâmetro pode ser ajustado dentro dum intervalo de valores possíveis.

A radiação emitida deve ter uma intensidade luminosa de tal forma forte que seja possível, apesar de atravessar os elementos a testar (pedaços de vidro transparente) seja recebida pelos receptores ópticos, mas não deve ser extremamente forte ao ponto de atravessar

elementos que não vidro (como seja cerâmicas finos) e mesmo assim fazer chegar a radiação aos receptores, como se de vidro transparente se tratasse.

- ***Radiação reflectida***

Caso seja necessário separar materiais por diferentes cores, é este parâmetro que é necessário alterar. O sensor óptico analisa os comprimentos de onda reflectidos pelo material e se estes se encontrarem dentro do intervalo de comprimentos de onda que podem ser aceites, o material não é rejeitado.

- ***Radiação transmitida***

Este é o parâmetro que deve ser alterado quando é necessário separar material opaco de material transparente ou semi-transparente. Neste caso o sensor óptico analisa a quantidade de radiação que o material permite que seja transmitida e se estiver dentro do intervalo de valores aceitáveis, não é rejeitado.

- ***Filtros***

Como o nome indica, este parâmetro filtra as propriedades ópticas que devem ser detectadas das que não têm interesse, de maneira a que o sensor óptico não tenha de receber informação desnecessária.

Por exemplo, no caso da radiação reflectida, são os filtros que definem o intervalo de comprimentos de onda que é aceite. Na radiação transmitida define a área opaca máxima que permite ser aceite.

Estes parâmetros estão todos inter-relacionados, uma vez que a radiação que um material transmite ou reflecte é dependente da radiação que incide sobre ele. Por seu lado, para o correcto funcionamento dos filtros, é necessário que os restantes parâmetros estejam bem ajustados para que os filtros estejam a filtrar as propriedades ópticas apropriadas.

Ao nível do **sistema de sopragem** os parâmetros ajustáveis são:

- ***Atraso na ejeção***

O atraso na ejeção é o tempo que este sistema deve esperar desde que a partícula a rejeitar é detectada pelo sistema óptico até ao momento em que esta é, de facto, ejectada para o compartimento do rejeitado.

Um atraso pequeno demais pode fazer com que a ejeção seja feita antes que a partícula do material a rejeitar passe pela posição de ejeção, um atraso grande demais faz com que a

ejecção seja feita só depois de a partícula do material a rejeitar já tenha passado pela posição de ejecção.

- **Tempo de ejecção**

O tempo de ejecção é o tempo em que o sistema de sopragem fica em funcionamento para rejeitar uma partícula. O essencial no tempo de ejecção é que este não seja tão grande que rejeite a partícula cujo material é suposto aceitar, nem tão pequeno que não seja capaz de rejeitar o material que deve ser rejeitado.

O tamanho, custo e complexidade dos triadores ópticos dependem do tamanho das partículas a analisar, do caudal que se quer fazer passar e da complexidade da análise óptica. A quantidade de propriedades ópticas que é possível detectar com os triadores ópticos actuais é o que faz com que a triagem óptica possa ser aplicada numa grande variedade de áreas.

2.1.1 Indústria mineira

Na indústria mineira, a triagem óptica é aplicada há várias décadas para separar minerais. A triagem manual de minérios perdeu importância quando surgiu a necessidade de processar grandes quantidades de minérios, o que fez com que a triagem automatizada começasse a ser utilizada em larga escala (Wills, 1992).

Actualmente, os equipamentos de triagem óptica existentes no mercado permitem o processamento de pedras preciosas, metais ferrosos e não ferrosos, entre outros, com a possibilidade de detectar cor, transparência ou condutividade, por exemplo (TOMRA, 2014).

2.1.2 Indústria alimentar

Como consequência do aumento da consciencialização do consumidor no que respeita à higiene alimentar, um pré-requisito dos triadores ópticos é identificar e remover contaminantes como vidro, pedras, insectos, etc. de fluxos de alimentos. Adicionalmente, a triagem óptica ainda proporciona um melhoramento estético através da remoção de produtos danificados, com má coloração ou mesmo formas atípicas (Edwards, 2004).

Neste sector a triagem óptica é utilizada para separar uma grande variedade de alimentos, tais como frutos secos e frescos, vegetais frescos ou congelados ou mariscos, segundo os critérios impostos pelas entidades reguladoras da higiene e segurança alimentar, assim como os critérios de qualidade ou estéticos impostos pelos consumidores.

Os primeiros triadores ópticos analisavam o produto apenas de um lado, o que significava que os defeitos só eram detectados se estivessem voltados para cima. Actualmente, são utilizadas duas ou três câmaras para analisar o produto de vários ângulos, quando este se encontra em queda livre, aumentando assim a eficiência do sistema a detectar defeitos nos alimentos

(Figura 2-3). Em alguns casos também já se incluem lâmpadas de maneira a fornecer uma iluminação mais favorável.

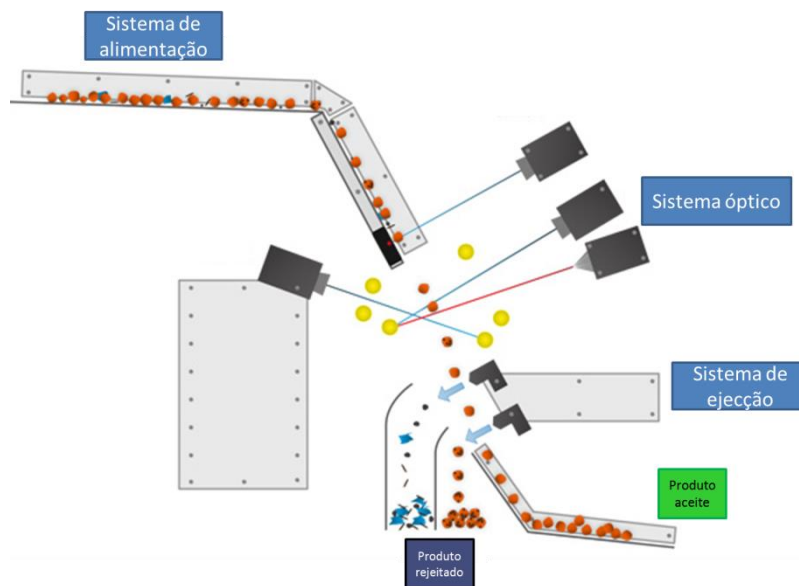


Figura 2-3 Sistema de triagem óptica exemplificativo da indústria alimentar com várias câmaras. Adaptado de (BEST, 2014)

A triagem óptica também pode ser utilizada para separar produtos menos convencionais, ou com características ópticas mais complexas. Por exemplo, neste campo, ao nível dos algoritmos de processamento de imagem, foi feito um estudo para modificá-los com o objectivo de ser possível triar um alimento complexo como uma pizza (Sun, 2000).

Existem também no mercado triadores ópticos capazes de triar produtos já embalados com a utilização de raios X. É possível detectar materiais como metal, vidro ou pedras em embalagens como pacotes de alumínio ou plástico, frascos de vidro ou latas de alumínio (BEST, 2014).

2.1.3 Indústria tabaqueira

De maneira a separar materiais contaminantes do tabaco, também já existem triadores ópticos, sobretudo utilizando radiação laser, que permitem a remoção de papel, tecido, pequenos insectos, penas, etc., dos vários tipos de tabaco existentes no mercado (BEST, 2014).

2.1.4 Indústria de processamento de resíduos

No que diz respeito à gestão de resíduos, a triagem óptica é actualmente utilizada para separar vários resíduos produzidos pela actividade humana. Quer seja necessário separar material presente em fluxos indiferenciados de resíduos ou apenas purificar os fluxos provenientes da

recolha selectiva para que possam ser valorizados posteriormente, a triagem óptica é um método utilizado para separar materiais.

O papel, quando contaminado, não pode ser reciclado. Na impossibilidade de ser reciclado, este é enviado para compostagem, queimado para produção de energia ou simplesmente encaminhado para aterro. Uma reciclagem de qualidade requer um papel livre de contaminantes como comida, plástico, metal e outros resíduos que dificultem a reciclagem (TAPPI, 2001). Nesta área, a triagem óptica é utilizada para a remoção destes contaminantes, mas também para separar segundo o tipo de papel que está a ser triado - papel, cartão, impresso, colorido, etc. (Krause Manufacturing, 2012).

Um plástico é um material sintético fabricado a partir duma grande variedade de polímeros, o que justifica a grande variedade de tipos de plástico. Para além de cada tipo de plástico ter uma maneira própria de ser reciclado, a reciclagem de plástico também é negativamente afectada por contaminantes como o papel. A triagem óptica pode ser uma solução para a remoção de contaminantes mas também para a separação dos diferentes tipos de plástico (Recycling Today, 2011).

Os resíduos denominados REEE, equipamentos como computadores, televisões, monitores, telemóveis, etc., que necessitam de alguma forma de energia eléctrica para funcionar correctamente, são actualmente produzidos e utilizados em grandes quantidades e por consequência, eliminados quando acaba o seu tempo de vida útil.

Recorrendo à triagem óptica é possível separar os diversos constituintes destes resíduos depois destes serem fragmentados. Diferentes materiais podem ser separados, assim como cada material pode ser separado segundo a sua cor, tipo, etc. (MSS, Inc., 2012).

2.1.5 Vidro

O vidro é o único material de embalagens 100% reciclável. Pode ser reciclado infinitamente sem perder qualidade, robustez ou funcionalidade. Casco de vidro é o termo técnico utilizado pela indústria para o vidro fragmentado. É uma matéria-prima secundária importante, já que para além de se evitar consumir matérias-primas virgens, a substituição destas por casco de vidro podem conduzir a uma poupança de matéria prima e energia entre 2,5% e 3% (British Glass Manufacturers, 2013).

Existem variados tipos de vidro com diferentes características químicas e físicas, obtidos a partir de ajustes apropriados na sua composição química. Apesar de existirem outros tipos de vidro, destacam-se:

- **Vidro borossilicato** – Muitas vezes chamado *Pyrex*, este tipo de vidro é mais conhecido pela sua resistência a altas temperaturas. Além disso, é muito usado em laboratórios por ser resistente às temperaturas mais utilizadas e à abrasão química. É

constituído sobretudo por sílica (70-80%) e trióxido de boro (7-13%), com pequenas quantidades de óxidos de sódio, potássio e alumínio.

- **Vidro comercial (sodo-cálcico)** – O vidro mais comum nos objectos quotidianos como garrafas, frascos ou outros objectos é constituído sobretudo por areia. Os vidros comerciais têm geralmente a constituição:
 - 70% - 74% SiO₂ (sílica)
 - 12% - 16% Na₂O (óxido de sódio)
 - 5% - 11% CaO (óxido de cálcio)
 - 1% - 3% MgO (óxido de magnésio)
 - 1% - 3% Al₂O₃ (óxido de alumínio)

Este vidro pode apresentar diversas cores, normalmente conseguidas através da adição de outras substâncias químicas como óxido de ferro (II), enxofre ou níquel, por exemplo.

- **Fibra de vidro** – Este tipo de vidro tem diversas aplicações e a sua composição depende daquilo em que é aplicada. Se for utilizada para isolamento de edifícios a sua composição está mais perto do vidro comercial, se estiver a ser aplicada a têxteis, com algumas modificações, a sua composição é equivalente a um vidro borossilicato. Também tem havido um grande progresso na fabricação de fibras ópticas, que têm aplicação tanto em medicina como em redes de comunicação.
- **Cristal (vidro com chumbo)** – Utilizado para fazer uma grande variedade de objectos decorativos. Neste tipo de vidro o óxido de cálcio é substituído pelo óxido de chumbo e grande parte do óxido de sódio é substituído por óxido de potássio.
(British Glass Manufacturers, 2013)
- **Vidro plano** – Vidro encontrado em janelas de imóveis e de automóveis. O método mais usado para fabricar vidro plano é chamado “float glass”. Depois de fundido, é deitado sobre um banho de estanho fundido. O vidro espalha-se sobre a superfície do metal e forma uma placa perfeitamente plana e uniforme (Crescent, 2014).

Actualmente o único tipo de vidro aceite para reciclagem através do Sistema Ponto Verde em Portugal é o vidro de embalagens (ou vidro comercial, descrito anteriormente). Não é necessária a separação por cor do casco obtido com este tipo de vidro para poder ser reciclado, no entanto, é necessário obedecer à definição de vidro de embalagem e às especificações técnicas apresentadas no Quadro 2-1 de maneira a facilitar o tratamento posterior.

Quadro 2-1 Especificações técnicas para aceitação de um lote de vidro proveniente da recolha selectiva para reciclagem de vidro (SPV, 2011)

Materiais		Teor em massa (%)
Produto	Casco	≥ 98,00
Contaminantes	Infusíveis com dimensão ≤ 40 mm	≤ 0,05
	Infusíveis com dimensão > 40 mm	≤ 0,50
	Metais Ferrosos	≤ 0,75
	Metais Não Ferrosos	≤ 0,20
	Matéria Orgânica (inclui outros materiais de embalagem)	≤ 0,50

A triagem óptica, aplicada nesta área seja utilizada para separar o vidro dos outros contaminantes, mas também, se possível, para separar os diferentes tipos de vidro. Os contaminantes mais problemáticos para a triagem óptica são as cerâmicas e as pedras, já que estes se caracterizam por um ponto de fusão acima do vidro e, como tal, originam infundidos no vidro fundido. Ambos são um desafio para a triagem óptica, as pedras porque a esfericidade que geralmente apresentam faz com que tomem uma trajectória que os sistemas de processamento e de ejeção não conseguem prever e as cerâmicas porque podem apresentar características (transparência parcial, espessura) que podem ser detectadas como vidro pelo triador óptico. Na Figura 2-4, apresenta-se um esquema exemplificativo de um triador típico utilizado para a triagem de vidro. As legendas “OK” e “NOK” correspondem ao produto aceite e rejeitado respectivamente, termos que serão utilizados no capítulo dos resultados.

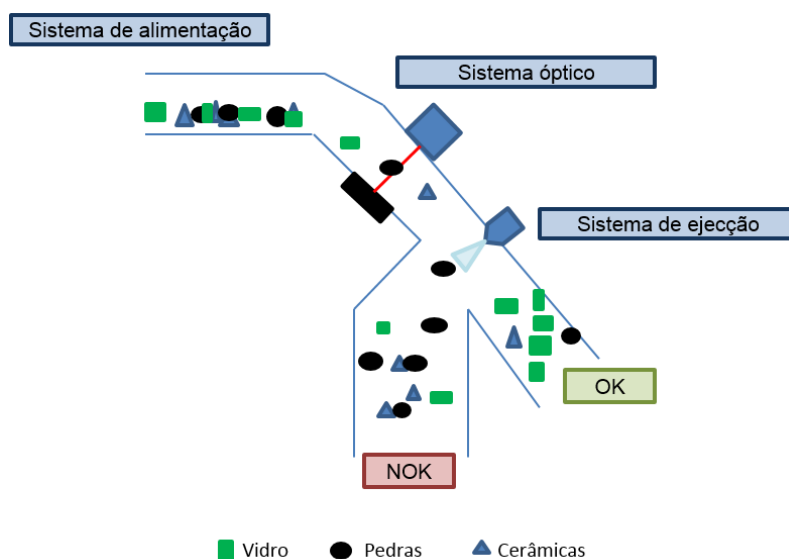


Figura 2-4 Esquema exemplificativo de um triador óptico utilizado para a triagem de vidro

Cristal (vidro com chumbo) não pode ser reciclado e a triagem óptica permite que seja separado do vidro comercial devido à grande quantidade de chumbo presente. Este vidro pode ser separado dos restantes com recurso à luz UV, já que quando irradiado com este tipo de luz o cristal adquire uma cor azulada característica, como se mostra na Figura 2-5 e na Figura 2-6 e pode assim diferenciar-se do restante vidro.



Figura 2-5 Diferentes tipos de vidro expostos à radiação luz visível

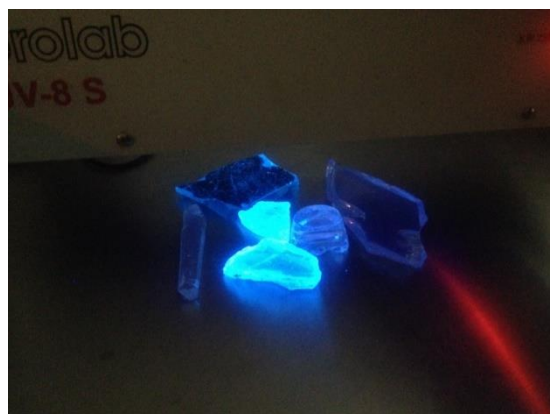


Figura 2-6 Diferentes tipos de vidro expostos à radiação ultravioleta

2.2 Projecto RecGlass

O rejeitado pesado do Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) tem um elevado teor em vidro, representando uma grande quantidade de material potencialmente reciclável que é enviada para aterro devido à actual inexistência de soluções técnica e económica para a sua recuperação (Dias, et al., 2012). Este rejeitado apresenta características físicas, como por exemplo, a humidade, o calibre, a existência de partículas rolantes ou matéria orgânica, que dificultam a descontaminação e recuperação deste vidro pelos triadores ópticos, utilizados no final do processamento. No projecto RecGlass, foram caracterizadas amostras do TMB de 6 instalações de TMB nacionais – AMARSUL (AS), RESIESTRELA (RE), TRATOLIXO (TL), SULDOURO (SD), VALNOR (VN) e VALORLIS (VL). Os resultados obtidos são os apresentados na Figura 2-7.

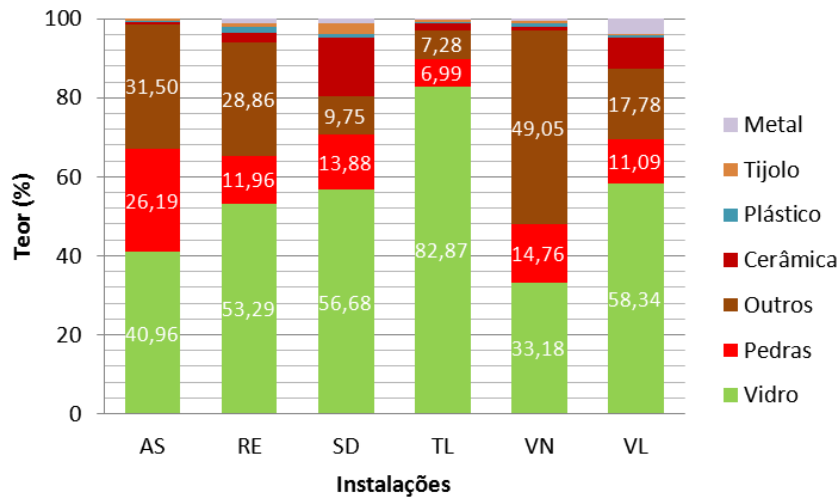


Figura 2-7 Composição das amostras de diferentes instalações caracterizadas no âmbito do projecto RecGlass (Dias, et al., 2013)

As amostras apresentavam teores significativas em vidro – 33-83%, e os principais contaminantes presentes eram as pedras – 7-26% e “outros” – constituído principalmente por matéria orgânica (7-49%) (Dias, et al., 2012).

Dadas as características das amostras, determinou-se no projecto que as acções prioritárias a tomar para permitir o aumento de eficiência no processamento por triagem óptica, deveriam ser:

- a remoção de finos – que não podem ser opticamente triados e prejudicam a triagem de material com maior calibre;
- a remoção de partículas rolantes – que possuem trajectórias irregulares que os triadores ópticos não conseguem prever, como já referido no sub-capítulo 6.1.5;
- a remoção de matéria orgânica – que adere às partículas de vidro fazendo com que não sejam correctamente triadas;
- a redução da humidade – que faz com que aumente a aderência de matéria orgânica às partículas de vidro, dificultando o seu processamento.

A remoção de finos foi conseguida através de crivagem, a remoção de partículas rolantes com recurso ao equipamento RecGlass e a redução da humidade foi conseguida através de secagem natural. Os resultados mostraram que era benéfico fazer duas passagens no equipamento RecGlass antes de o produto de vidro ser sujeito à triagem óptica.

Numa segunda fase do projecto foram processadas amostras de três das instalações cujas amostras foram caracterizadas na primeira fase. Uma amostra de cada instalação de TMB foi recolhida por técnicos da própria instalação nos meses de Maio e Junho de 2013 – 2160 kg, 1520 kg e 1400 kg provenientes das instalações SULDOURO, VALNOR e RESIESTRELA (Carvalho, et al., 2013).

As amostras foram analisadas granulométricamente para se saber a distribuição do tamanho das partículas nas diferentes amostras. O resultado desta análise apresenta-se na Figura 2-8.

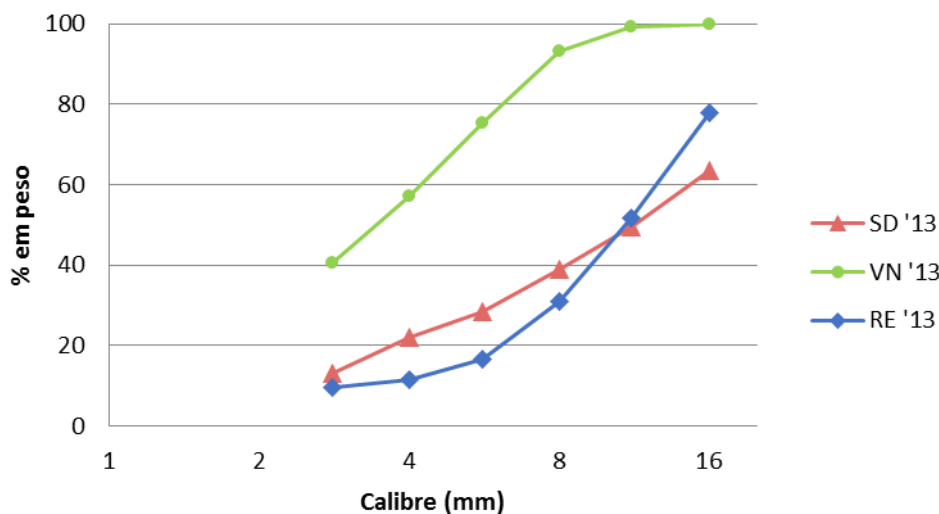


Figura 2-8 Curva Cumulativa Superior de distribuição granulométrica das amostras recolhidas em 2013 (Carvalho, et al., 2013)

Como é possível observar, a amostra da instalação VALNOR tem a totalidade da distribuição de tamanhos das partículas na fracção infra 16 mm. Isto deve-se ao facto de esta instalação não produzir um rejeitado pesado com partículas de granulometria superior a 16 mm.

Por outro lado, as amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA, apesar de possuírem partículas de granulometria superior a 16 mm, têm uma percentagem de partículas na fracção infra 16 mm entre 60% e 80%.

É ainda possível observar que enquanto a amostra da VALNOR tem maioritariamente partículas de dimensão inferior a 8 mm, a amostra da instalação RESIESTRELA apresenta maioritariamente partículas de dimensão entre 8 mm e 16 mm. Por outro lado, a amostra da instalação SULDOURO tem uma distribuição de partículas uniforme pelos diferentes calibres.

No âmbito do projecto, as amostras foram recebidas na instalação VIDROCICLO, onde foram testados vários diagramas de processamento com uma amostra de cada instalação, de modo a determinar-se qual o processamento mais indicado para separar o vidro dos contaminantes.

A preparação das amostras antes destas serem encaminhadas para a triagem óptica inclui os processos descritos a seguir.

1. Secagem

Devido à humidade excessiva presente nas amostras, foi necessário secá-las para que as partículas não aderissem aos equipamentos por que teriam de passar e para que as

partículas não aderissem umas às outras e a matéria orgânica não aderisse às partículas.

2. Separação magnética

As amostras foram sujeitas a uma separação magnética de maneira a remover os metais ferrosos existentes nas amostras.

3. Crivagem

Realizaram-se duas crivagens – com crivo de 6 e 16 mm. A fracção 6-16 mm e a fracção supra 16 mm foram utilizadas em estudos posteriores. A fracção infra 6 mm foi rejeitada.

4. Remoção de partículas rolantes (RecGlass)

Fazendo passar cada amostra (apenas da fracção 6-16 mm) duas vezes pelo RecGlass (RG) conseguia-se uma diminuição do teor em pedras que tornou vantajosa a utilização deste equipamento.

Testou-se ainda se seria apropriado fazer a lavagem de modo a remover a matéria orgânica aderida às partículas de vidro. No entanto, os resultados não se mostraram satisfatórios, não trazendo vantagens para o posterior processo de triagem óptica para além de apresentar duas desvantagens: a utilização excessiva de um recurso importante como a água e a produção de um efluente carregado de matéria orgânica - que tem obrigatoriamente de ser tratado. Decidiu-se, deste modo, não incluir lavagem no diagrama de processamento.

3. METODOLOGIA

O trabalho experimental decorreu nas instalações da empresa VIDROCICLO, onde se utilizaram as sub-amostras das instalações SULDOURO, VALNOR e RESIESTRELA que tinham sido guardadas como testemunho numa fase anterior do projecto RecGlass. Deste ponto em diante, de modo a facilitar a escrita, as amostras de cada instalação serão mencionadas pelo nome da própria instalação.

Estudaram-se três amostras de diferentes instalações para avaliar a influência da variação da composição das amostras no processamento por triagem óptica. Estudaram-se duas fracções granulométricas nas amostras da SULDOURO e RESIESTRELA e uma na instalação VALNOR, de maneira testar a influência da variação do tamanho das partículas na triagem óptica. No entanto, as amostras tal como recebidas, não podem ser encaminhadas directamente para triagem óptica devido à elevada contaminação. Por essa razão, foi necessário processar as amostras previamente de maneira a estarem nas melhores condições para se testarem os parâmetros da triagem óptica.

A forma mais correcta de executar o trabalho experimental, por forma a reduzir as incertezas quanto à influência dos parâmetros testados nos resultados do processamento e estabelecer as condições óptimas de operação, obrigariam à definição de um plano experimental que contemplasse a experimentação da combinatória das variáveis em estudo em diferentes níveis (três instalações, duas fracções granulométricas, quatro variáveis operacionais) e as réplicas necessárias à estimativa da variabilidade dos resultados.

Contudo, o trabalho foi realizado em ambiente fortemente condicionado pela actividade corrente da empresa, numa instalação em operação com disponibilidade temporal limitada para a execução do estudo e as amostras disponíveis eram também limitadas em tamanho. Por outro lado, os resultados foram avaliados usando a análise dos produtos da separação por análise de composição realizada com recurso à separação manual dos materiais, o que tornou o trabalho ainda mais moroso.

Assim, tendo consciência das limitações na possibilidade de generalização dos resultados e conclusões do estudo, optou-se por manusear as variáveis de acordo com a experiência já existente na instalação e com os resultados obtidos à medida que o estudo ia decorrendo.

O vidro contido nas amostras, ao ser processado por triagem óptica, quebrava-se, razão pela qual não era apropriado sujeitar a mesma amostra, reconstituída por mistura dos produtos previamente triados, a mais que uma triagem óptica. Por essa razão, as amostras foram divididas em sub-amostras de modo a ser possível fazer cada ensaio com uma amostra que ainda não tivesse sido sujeita ao processamento.

Seguidamente, numa primeira parte do estudo testaram-se os valores da intensidade de radiação emitida (IRE) primeiro para as instalações SULDOURO (fracção supra 16 mm), RESIESTRELA (fracção supra 16 mm) e VALNOR (fracção 6-16 mm), mantendo todos os outros parâmetros constantes. Testou-se o nível de radiação recepcionada (NRR) depois, mantendo a IRE com o valor que produziu melhores resultados nos testes anteriores e mantendo os restantes parâmetros constantes, para as instalações SULDOURO (fracção supra 16 mm) e VALNOR (fracção 6-16 mm).

Os últimos testes de optimização de parâmetros foram aos filtros 1 e 2. Estes parâmetros são dependentes e complementares um do outro, razão pela qual foram estudados em conjunto. Além disso, foram também os testes aos filtros 1 e 2 foram também os únicos em que se usaram as amostras de todas as instalações e todas as fracções granulométricas disponíveis por serem os parâmetros que produzem uma resposta mais significativa com uma menor variação dos mesmos.

Obtidos os parâmetros que geravam os melhores resultados na fase anterior, utilizaram-se esses mesmos parâmetros para efectuar um reprocessamento por triagem óptica de maneira a perceber se este poderia melhorar os resultados.

3.1 Amostras

As amostras utilizadas no presente estudo correspondem às quantidades de amostra que tinham sido guardadas como testemunho na fase anterior do projecto RecGlass (940 kg, 660 kg e 520 kg, das instalações SULDOURO, VALNOR e RESIESTRELA, respectivamente).

3.1.1 Preparação

A preparação das amostras consistiu em submeter a quantidade de amostra disponível ao processamento já apresentado anteriormente. O diagrama de processamento é apresentado na Figura 3-1.

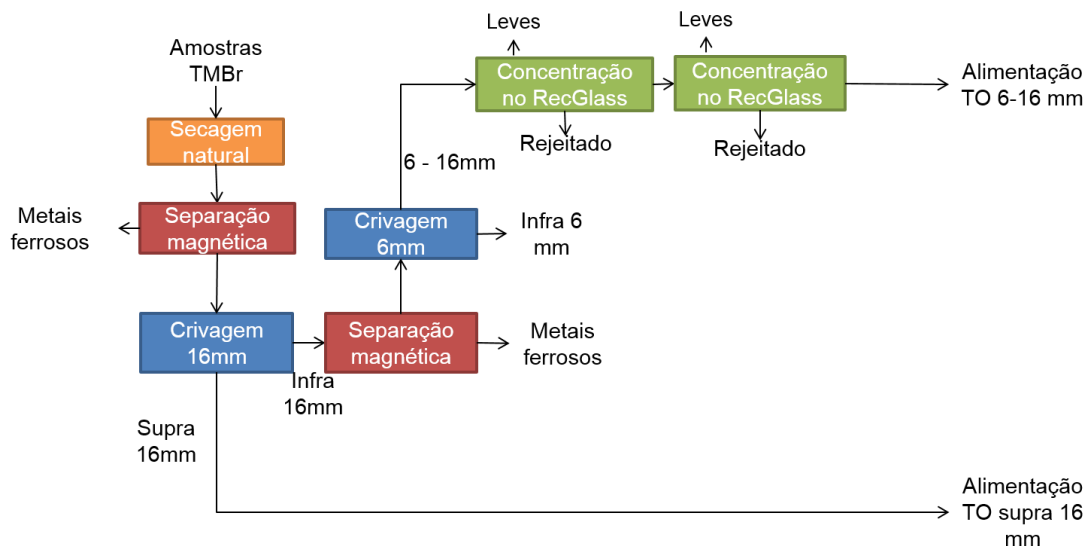


Figura 3-1 Diagrama de processamento correspondente à preparação das amostras para a triagem óptica

Depois da preparação, procedeu-se à divisão das amostras de maneira a ter um número de sub-amostras suficiente para se proceder a todos os ensaios.

3.1.2 Composição

Antes de se proceder à triagem óptica fez-se a análise de composição da alimentação. Os resultados obtidos com a análise de composição feita à fracção supra 16 mm das instalações SULDOURO e RESIESTRELA são apresentados na Figura 3-2.

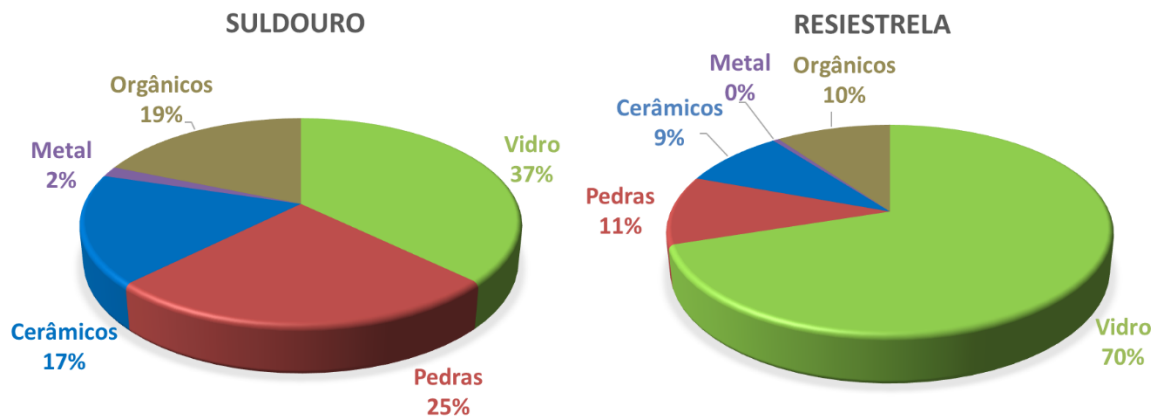


Figura 3-2 Análise de composição das amostras da fracção granulométrica supra 16 mm das instalações SULDOURO e RESIESTRELA

Relativamente à análise de composição das amostras das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR, fracção granulométrica 6-16 mm, os resultados obtidos são apresentados na Figura 3-3.

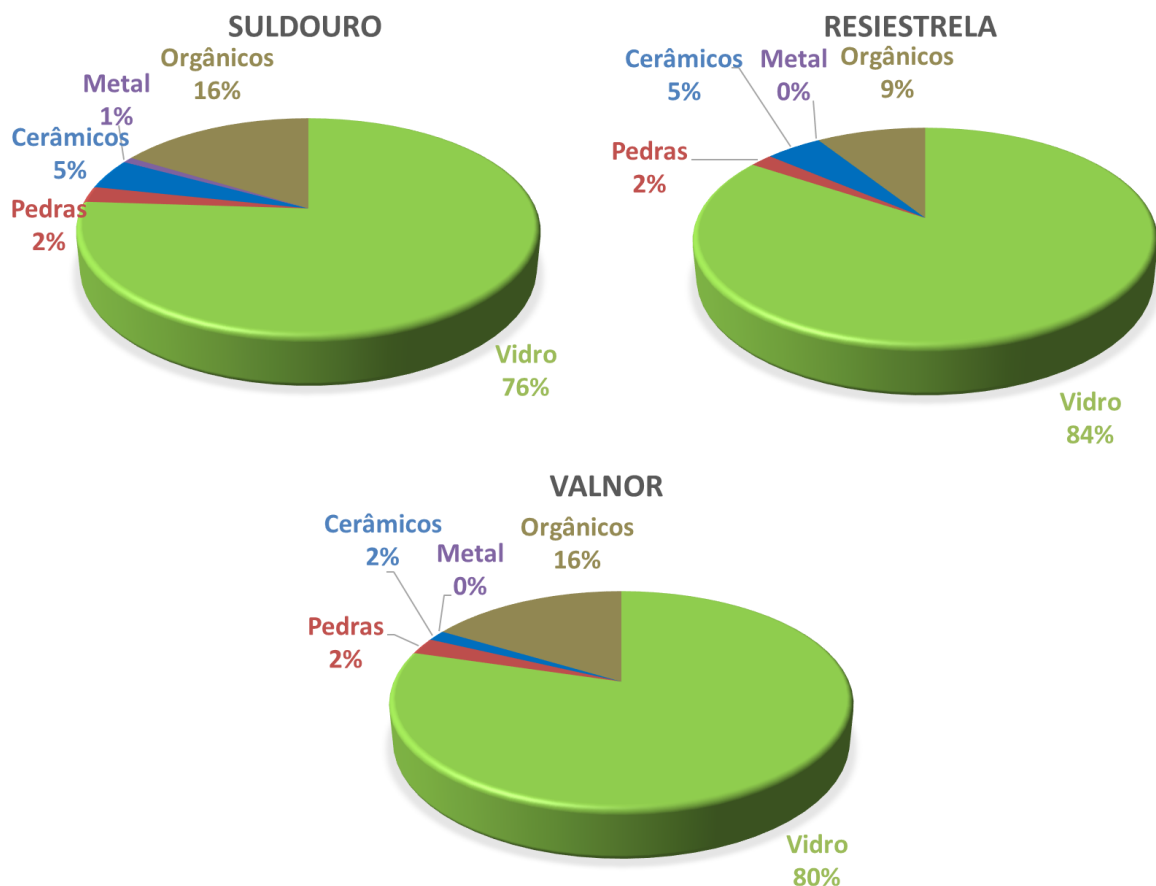


Figura 3-3 Análise de composição das amostras da fracção granulométrica 6-16 mm das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR

As amostras da fracção granulométrica supra 16 mm apresentam uma maior contaminação, sendo os principais contaminantes presentes as pedras, materiais cerâmicos e matéria orgânica e o teor em vidro é inferior a 60%. Por outro lado, a fracção 6-16 mm das amostras apresentam um maior teor em vidro, superior a 80%, a contaminação é devida principalmente a matéria orgânica.

3.2 Processamento - Triagem óptica

Após a preparação das amostras descrita no sub-capítulo 3.1, procedeu-se à optimização da triagem óptica. A optimização foi feita na instalação secundária da VIDROCICLO, que é utilizada para reprocessar o rejeitado da escolha óptica da linha principal, de maneira a recuperar uma quantidade adicional de vidro, que é posteriormente encaminhado para reciclagem. Esta quantidade adicional de vidro seria de outra forma enviada para aterro.

Nesta instalação estão montados dois triadores ópticos em série disponíveis no mercado. Os parâmetros ajustáveis no primeiro triador são: a intensidade de radiação, a radiação transmitida, o filtro, o atraso na ejeção e o tempo de ejeção. No segundo triador, os

parâmetros ajustáveis são: a intensidade de radiação, a radiação reflectida, a radiação transmitida, o filtro, o atraso na ejeção e o tempo de ejeção.

Não sendo viável variar todos os parâmetros, seleccionaram-se, de acordo com a experiência existente na instalação, como sendo os que mais influenciam os resultados. Os parâmetros estudados foram a intensidade de radiação (Intensidade de Radiação Emitida), a radiação transmitida (Nível de Radiação Recepcionada) e dois filtros (filtro 1 e filtro 2).

Como já referido anteriormente, a triagem óptica é um método de separação muito adoptado actualmente e o *know how* da sua utilização é uma vantagem competitiva nas várias áreas da indústria. Por essa razão, a VIDROCICLO disponibilizou o seu tempo, equipamentos e *know how* necessários para a elaboração do presente estudo, na condição que o seu modo de operação permanecesse confidencial.

Para facilitar ao leitor a compreensão dos parâmetros e a ganhar alguma sensibilidade aos mesmos, a maneira encontrada para representar os valores dos parâmetros foi acrescentar numeração romana às iniciais de cada um – IR (Intensidade de radiação emitida), NR (Nível de radiação recepcionada), F1 (filtro 1) e F2 (filtro 2), conforme o valor seja mais ou menos elevado conforme apresentado na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 Tabela explicativa dos valores (confidenciais) dos parâmetros da triagem óptica

	Mais elevado  Menos elevado			
Intensidade de Radiação emitida	IR _I	IR _{II}	IR _{III}	IR _{IV}
Nível de Radiação Recepcionada	NR _I	NR _{II}	NR _{III}	
Filtro 1	F1 _I	F1 _{II}	F1 _{III}	F1 _{IV}
Filtro 2	F2 _I	F2 _{II}	F2 _{III}	F2 _{IV}

Devido ao tamanho limitado das amostras, foi necessário atribuir prioridades aos testes dos parâmetros do equipamento. A experiência da VIDROCICLO permitiu escolher quais seriam os parâmetros que teriam de ser testados em maior detalhe. Assim, a intensidade da radiação emitida (IRE) foi testada com a fracção supra 16 mm das amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA e a fracção 6-16 mm da amostra da VALNOR. O nível de radiação recepcionada (NRR) foi testado com a fracção supra 16 mm da amostra da instalação SULDOURO e com a fracção 6-16 mm da VALNOR. Como os filtros seriam os parâmetros

mais sensíveis a variações de composição das amostras, foram utilizadas as fracções supra 16 mm e 6-16 mm das amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA e a fracção 6.16 mm da amostra da instalação VALNOR.

Como se pode ver na Figura 3-4, que apresenta o esquema de montagem dos dois triadores ópticos, a alimentação é feita através de um alimentador vibratório no primeiro triador. O material que chega ao segundo triador é o que não foi rejeitado pelo primeiro triador, ou seja, o segundo triador (OK1) efectua um apuramento do produto aceite pelo primeiro triador. Este material não é acessível entre as duas triagens, não sendo por isso possível ter acesso à análise de composição do produto OK1. O produto final (OK2) é o produto da triagem óptica efectuada com o OK1. O rejeitado obtido (NOK) é uma mistura dos rejeitados dos dois triadores.

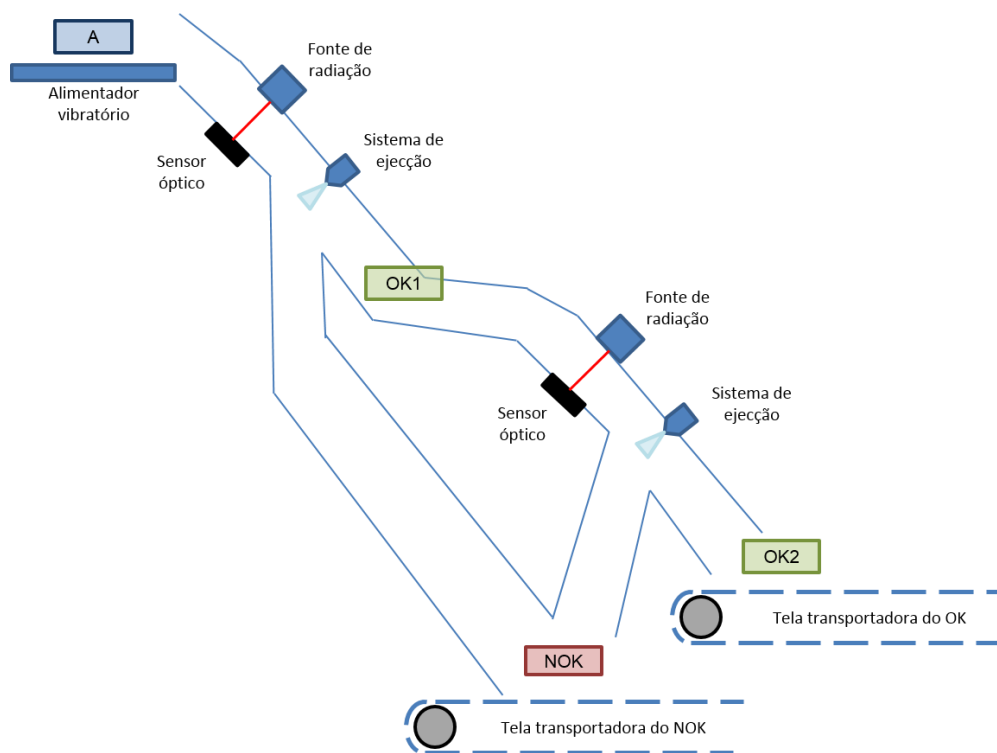


Figura 3-4 Esquema de montagem dos triadores ópticos na instalação da VIDROCICLO

Os parâmetros estudados no presente estudo, estão directamente relacionados com a transparência do material analisado. Apesar de já terem sido explicados de uma maneira mais geral anteriormente, é necessário fornecer mais algumas informações sobre o funcionamento dos parâmetros estudados.

1. Intensidade da Radiação Emitida

A Intensidade da Radiação Emitida (IRE), como o nome indica, controla a intensidade da radiação emitida pelo equipamento. Valores mais elevados de IRE fazem com que o triador aceite material mais opaco devido à potência de radiação ser muito forte e valores mais baixos fazem com que o triador rejeite material mais transparente.

No decorrer do estudo, os valores estudados para este parâmetro situaram-se entre o máximo IR_I e o mínimo IR_{IV} . Estes valores foram pré-estabelecidos de acordo com a experiência da instalação.

Para determinar quais os valores deste parâmetro que conduzem aos melhores resultados, fizeram-se ensaios com três amostras diferentes. Para determinar os melhores valores aplicáveis à fracção granulométrica supra 16 mm usaram-se as amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA. No caso da SULDOURO testaram-se os valores IR_{II} e IR_I e no caso da RESIESTRELA testaram-se os valores IR_{II} e IR_{III} . Para determinar os respeitantes à fracção granulométrica 6-16 mm utilizou-se a amostra da VALNOR. Neste caso, testaram-se os valores IR_{II} e IR_{IV} .

2. Nível de Radiação Recepcionada

O Nível de Radiação Recepcionada (NRR) é a quantidade mínima de radiação que deve chegar ao sensor para que um dado material seja aceite. Está directamente dependente da IRE, visto que esta quantidade é relativa à que foi emitida pelo IRE. Quando o NRR assume valores elevados é rejeitado vidro que não permite a passagem de radiação (por exemplo, vidro mais espesso ou sujo). Com valores baixos deste parâmetro está a ser aceite material mais opaco, já que não se está a exigir que uma grande parte da radiação atravesse o material (como, por exemplo, uma partícula de cerâmica mais fina).

No decorrer do estudo, os valores estudados para este parâmetro situaram-se entre o máximo NR_I e o mínimo NR_{III} . Estes valores foram pré-estabelecidos de acordo com a experiência da instalação.

No caso da fracção supra 16 mm, utilizou-se inicialmente com a amostra da SULDOURO os valores NR_{III} e NR_I . Chegou-se à conclusão que o valor de NR_I fazia com que fosse rejeitado muito vidro, tendo-se realizado os restantes testes (SULDOURO e RESIESTRELA) com o valor NR_{III} .

Com a fracção 6-16 mm, realizaram-se os testes preliminares com os valores NR_{III} e NR_I com a amostra da VALNOR. Os testes seguintes feitos com as outras duas amostras (SULDOURO e RESIESTRELA) foram realizados mantendo o valor de NR_{III} .

3. Filtros 1 e 2

Os filtros determinam a quantidade máxima de área opaca que uma partícula apresente. Ambos controlam o tamanho da aresta da malha do filtro. Isto faz com que o vidro seja aceite já

que é transparente e conseqüentemente definir qual o tamanho máximo de área de sujidade que a partícula de vidro pode apresentar. Os testes para determinar os valores dos filtros que produziam os melhores resultados foram efectuados com todas as amostras e fracções.

O valor do filtro deve ser definido tendo em consideração que um valor muito baixo pode conduzir à rejeição de vidro que esteja um pouco sujo e que um valor elevado pode permitir que contaminantes totalmente opacos, como pedras, sejam aceites.

O procedimento adoptado foi de manter o filtro 1 com um valor mais elevado ao ponto de ser possível remover uma quantidade aceitável de contaminantes e manter o valor do filtro 2 mais baixo, removendo assim as partículas de contaminantes que não foram rejeitadas pelo primeiro triador.

Nos primeiros testes, realizados com a amostra supra 16 mm da SULDOURO, conjugaram-se três valores diferentes nos dois filtros. No filtro 1 testaram-se os valores F1_{IV}, F1_{II}, e F1_I e no filtro 2 testaram-se os valores F2_{III}, F2_{II} e F2_I. As conjugações dos filtros são apresentadas na Figura 3-5, cada círculo corresponde a um ensaio, identificado com o número correspondente do ensaio que pode ser consultado no ANEXO B.

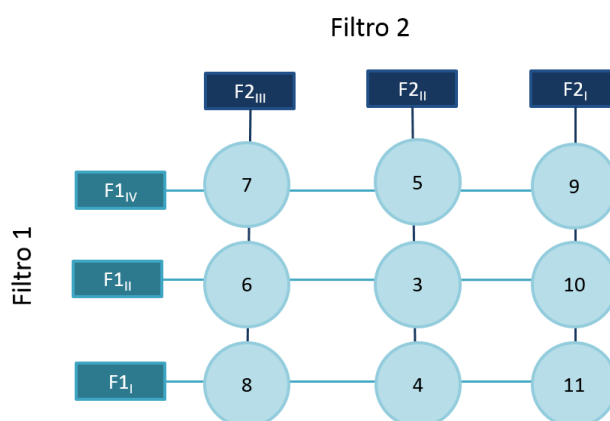


Figura 3-5 Ensaio correspondente à conjugação de valores dos filtros usados com a amostra da instalação SULDOURO, fracção supra 16 mm

Os resultados destes testes mostraram que o valor de F1_I conduzia a uma fracção de vidro rejeitado demasiado elevada. Assim, com a amostra da RESIESTRELA usaram-se apenas dois níveis para o filtro 1 (F1_{IV} e F1_{II}) e mantiveram-se os três níveis no filtro 2 (Figura 3-6).

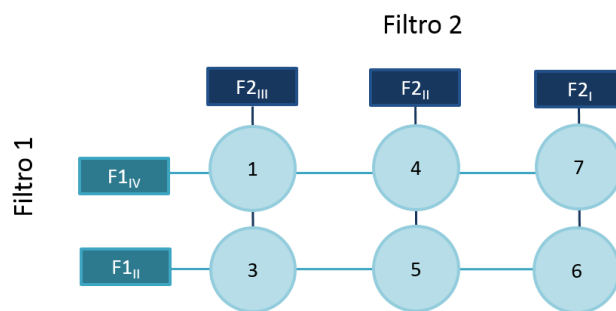


Figura 3-6 Ensaio correspondente às conjugações de valores de filtros usados com a amostra da instalação RESIESTRELA, fracção supra 16 mm

No caso da fracção 6-16 mm, com base na experiência da instalação, foram testados os valores F1_{IV} e F1_{III} no filtro 1 e os valores F2_{IV}, F2_{III} e F2_{II} no filtro 2 (Figura 3-7).

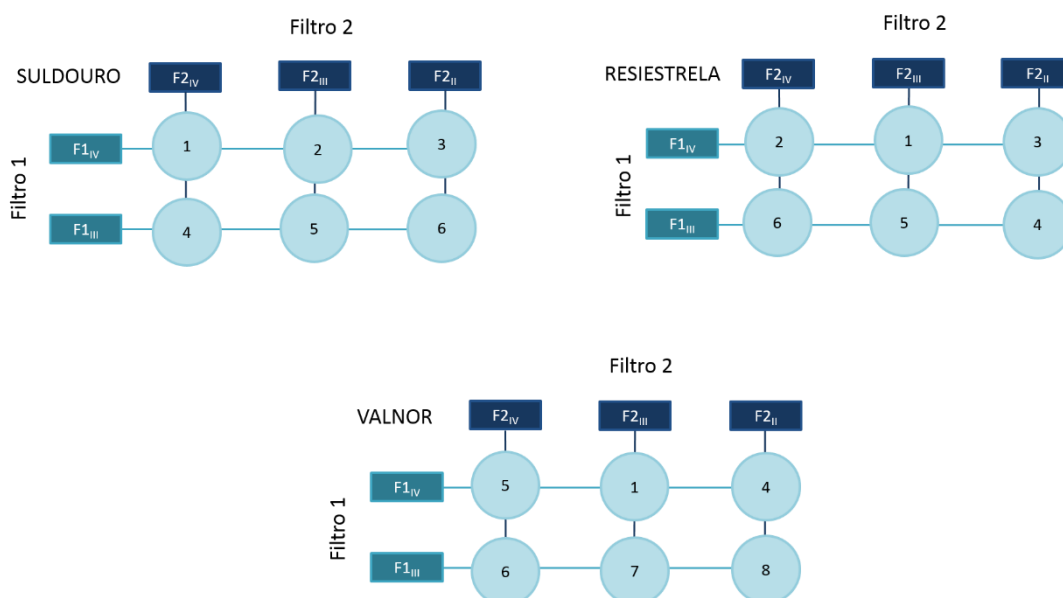


Figura 3-7 Ensaio correspondente às conjugações de valores de filtros usados com as amostras das instalações SULDOURO, RESIESTRELA e VALNOR, fracção 6-16 mm

4. Reprocessamento

Obtidos os valores dos parâmetros que, na fase anterior, geraram os melhores resultados na fase anterior, utilizaram-se esses mesmos valores para efectuar um reprocessamento por triagem óptica do concentrado de vidro, de maneira a perceber se este poderia melhorar os resultados. Nesta fase do estudo, utilizaram-se os mesmos equipamentos com o objectivo de avaliar se uma terceira triagem óptica poderia ser benéfica. No entanto, como já referido anteriormente, os triadores ópticos utilizados estão montados em série, sem possibilidade de ter acesso às amostras entre triagens. A maneira encontrada para contornar este facto foi

alimentar os triadores do mesmo modo que na fase anterior, mas mantendo o primeiro triador óptico desligado, tal como mostra a Figura 3-8. Deste modo, valores dos parâmetros que produziram melhores resultados nos testes anteriores foram inseridos no segundo triador óptico.

Este foi o único caso em que uma amostra foi sujeita a mais que uma triagem óptica, sendo que a amostra alimentada foi a que já tinha sido triada com os parâmetros que se determinou, para cada instalação e cada fracção que produziam melhores resultados.

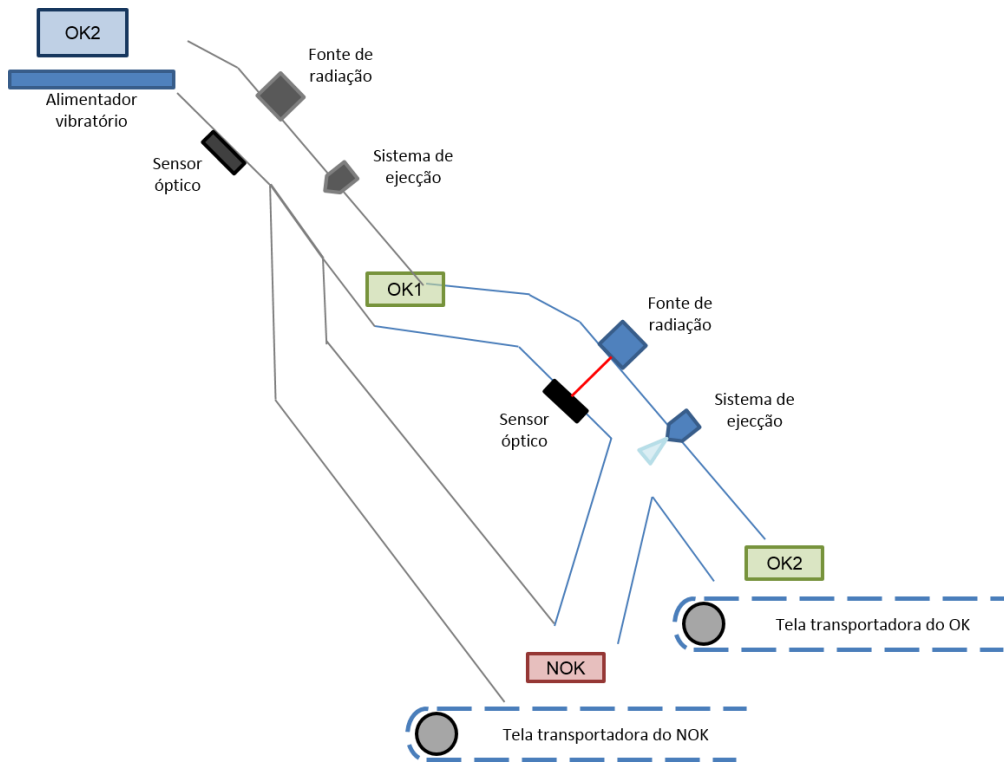


Figura 3-8 Esquema da configuração dos triadores ópticos utilizada nos testes de reprocessamento

A Tabela 3-2 mostra todos os ensaios realizados para encontrar os valores de cada parâmetro operacional que conduzem aos melhores resultados.

Tabela 3-2 Tabela resumo de todos os ensaios realizados para a otimização da triagem óptica

	FRACÇÃO SUPRA 16 mm					FRACÇÃO 6-16 mm									
	Ensaio	Parâmetros triador				Ensaio	Parâmetros triador								
		Laser power	Threshold	Filtro 1	Filtro 2		Laser power	Threshold	Filtro 1	Filtro 2					
SULDOURO	1	PR _I	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _{II}	1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{IV}					
	2	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _{II}	2	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}					
	3	PR _{II}	NR _I	F1 _{II}	F2 _{II}	3	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}					
	4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{II}	4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{IV}					
	5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{III}					
	6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _{III}	6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}					
	7	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	7	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{IV}					
	8	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{II}										
	9	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _I										
	10	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _I										
	11	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _I										
	12	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{II}										
RESIESTRELA	1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}					
	2	PR _{III}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	2	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{IV}					
	3	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{III}	3	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}					
	4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}					
	5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{II}	5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{III}					
	6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _I	6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{IV}					
	7	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _I	7	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{III}					
	8	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{II}										
VALNOR											1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}
											2	PR _{IV}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}
											3	PR _{II}	NR _{II}	F1 _{IV}	F2 _{III}
											4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}
											5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{IV}
											6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{IV}
											7	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}
						8	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}					
						9	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{III}					

3.3 Análise de resultados

Os resultados da separação foram avaliados com base no teor e recuperação dos constituintes (materiais) no produto da separação.

O teor é a percentagem mássica de um material na amostra e a recuperação a percentagem recuperada de um material num produto de separação em relação à quantidade do mesmo material que entrou na alimentação do processo de separação. Calculou-se o teor (eq. 1) e a recuperação (eq. 2) para cada material, com as massas obtidas na análise de composição.

$$t^i(\%) = \frac{m_i}{m} \quad (eq. 1)$$

Em que t_i corresponde ao teor do constituinte i na amostra, m_i a massa de constituinte i presente na amostra e m a massa total da amostra.

$$\eta_c^i(\%) = \frac{m_c^i}{m_A^i} \quad (\text{eq. 2})$$

Em que η_c^i corresponde à recuperação do constituinte i num dado produto de separação, m_A^i a massa de constituinte na alimentação, m_c^i a massa do constituinte i no produto c .

Primeiro avaliou-se a influência dos valores dos parâmetros no teor e na recuperação de vidro – o material de valor e no teor e recuperação de pedras e cerâmicas – os contaminantes mais problemáticos na reciclagem de vidro.

Os melhores parâmetros foram escolhidos com base por ordem de importância dos seguintes critérios:

1. Teor máximo em vidro;
2. Teor mínimo em pedras e cerâmicas;
3. Recuperação máxima de vidro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados todos os resultados obtidos ao longo do estudo. Primeiramente mostra-se a influência da variação dos diferentes parâmetros estudados e determina-se os valores que conduzem aos melhores resultados, de acordo com os critérios pré-estabelecidos, nos resultados obtidos. De seguida são apresentados os resultados da avaliação da necessidade de uma etapa extra de reprocessamento. Por fim, discutem-se os resultados obtidos.

4.1 Influência dos parâmetros operacionais

Apresentam-se em seguida os resultados que mostram a influência de cada parâmetro nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas. As recuperações dos restantes materiais podem ser consultadas nas tabelas no ANEXO B. A análise referente a cada parâmetro é feita comparando os resultados obtidos em ensaios em que o parâmetro foi variado tendo os restantes sido mantidos constantes.

Devido à grande diferença entre a recuperação de vidro e as recuperações de pedras e cerâmicas optou-se por se apresentar os resultados em gráficos com dois eixos verticais, de maneira a facilitar a leitura dos mesmos.

4.3.1 Intensidade de Radiação Emitida

Apresenta-se na Figura 4-1 o gráfico da influência da variação da intensidade de radiação emitida (IRE) nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas.

O comportamento esperado seria que tanto a recuperação de vidro como a de contaminantes (pedras e cerâmica) aumentasse com o valor da IRE. O vidro porque um vidro mais espesso ou sujo já será aceite com uma IRE mais elevado, os contaminantes porque uma IRE maior, pode fazer com que a radiação seja forte o suficiente para os atravessar e fazer com que estes sejam aceites.

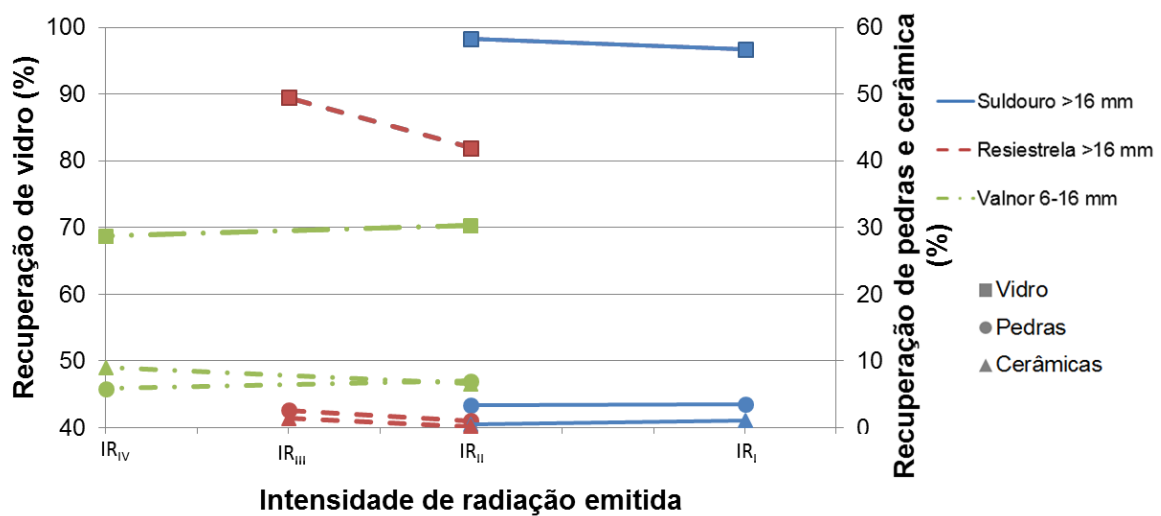


Figura 4-1 Influência da intensidade de radiação emitida e do calibre na recuperação de vidro, pedras e cerâmica

Verificou-se, contudo, que no intervalo de valores do parâmetro usado, independentemente da composição e calibre da alimentação, as diferenças de recuperação dos constituintes no OK2 foram insignificantes, excepto no caso da amostra da RESIESTRELA, que apresenta o comportamento contrário ao esperado. As diferenças de recuperação não significativas podem ser atribuídas a pequenas diferenças de composição das sub-amostras.

4.3.2 Nível de radiação recepcionada

Na Figura 4-2 é possível observar a influência do nível de radiação recepcionada nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas. O comportamento esperado neste caso seria o de que, para uma mesma intensidade de radiação emitida (IRE) a recuperação dos constituintes no OK2 aumentasse com a diminuição do valor do nível de radiação recepcionada (NRR). Este facto deve-se ao facto de, neste caso, ser necessário que pouca radiação atravessasse os materiais analisados e chegue ao sensor, o que implica que materiais mais opacos poderão ser aceites.

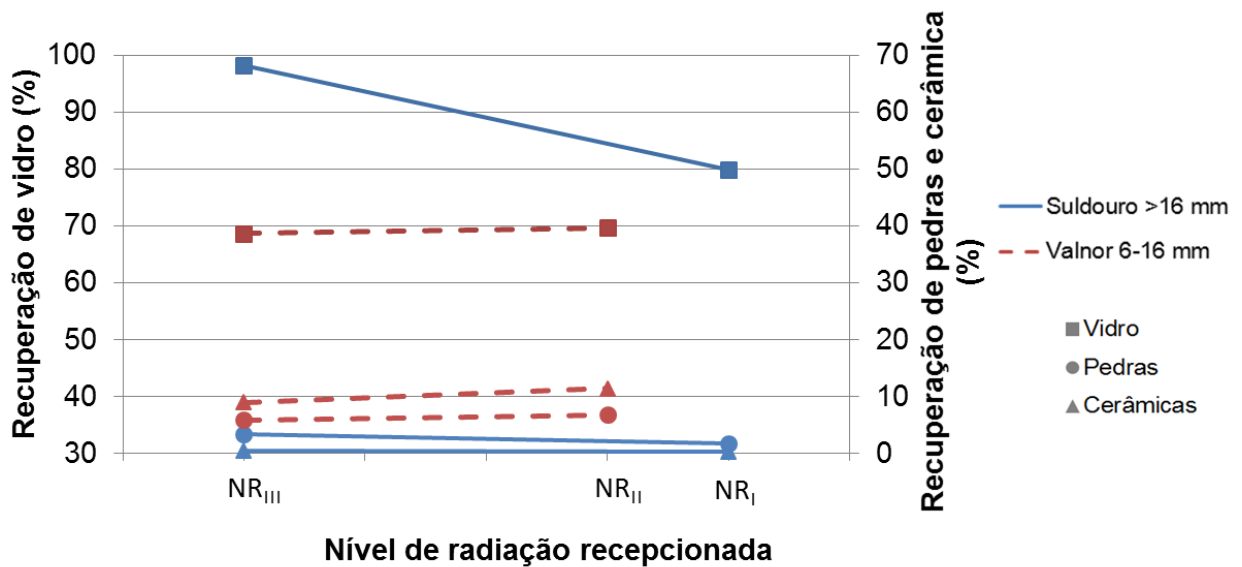


Figura 4-2 Influência do nível de radiação emitida e do calibre na recuperação de vidro, pedras e cerâmica

A recuperação de vidro quando se utilizou a amostra da instalação SULDOURO desce significativamente com o aumento de

NRR. Ao obrigar-se o sistema a aceitar partículas apenas quando uma percentagem significativa de radiação chega ao sensor, ou seja, que só as partículas mais transparentes sejam recuperadas, a recuperação de vidro cai de quase 100% para cerca de 80%. Isto mostra haver alguma heterogeneidade na transparência das partículas de vidro, que pode ocorrer devido ao calibre ser grosseiro ou evidenciada espessura diferente nas partículas, o que corrobora a observação visual das partículas.

Por outro lado, observa-se que a recuperação de todos os constituintes quando se usou a amostra da VALNOR manteve-se aproximadamente constante independentemente dos valores de NRR testados.

4.3.3 Filtros

Apresentam-se em seguida os gráficos que traduzem a influência dos valores dos filtros nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas no produto OK 2 da triagem óptica. O modo de leitura destes gráficos é equivalente ao dos gráficos respeitantes à IRE e ao NRR.

Recorde-se que o valor do filtro está ligado à área admissível da partícula que pode ser considerada “opaca”, com condições fixadas de IRE e NRR, para que a partícula seja aceite. Espera-se assim que quanto maior os valores dos filtros, maior será a recuperação de qualquer dos materiais, considerando que o sistema de sopragem tem capacidade de rejeitar o material mesmo quando os filtros assumem valores mais exigentes (menores valores de filtro). É nos

valores intermédios de filtro que é necessário encontrar o equilíbrio entre o valor do filtro 1 e o valor do filtro 2 que conduzem a que a recuperação de vidro seja maximizada e a de contaminantes seja minimizada

Para melhor visualizar a influência dos filtros, os resultados obtidos com diferentes amostras e diferentes fracções granulométricas são mostrados em gráficos separados. Os resultados obtidos nos testes dos dois filtros são semelhantes dentro de cada fracção, razão pela qual são apresentados os resultados por fracção e não por instalação. Os resultados relativos à fracção supra 16 mm são apresentados na Figura 4-3.

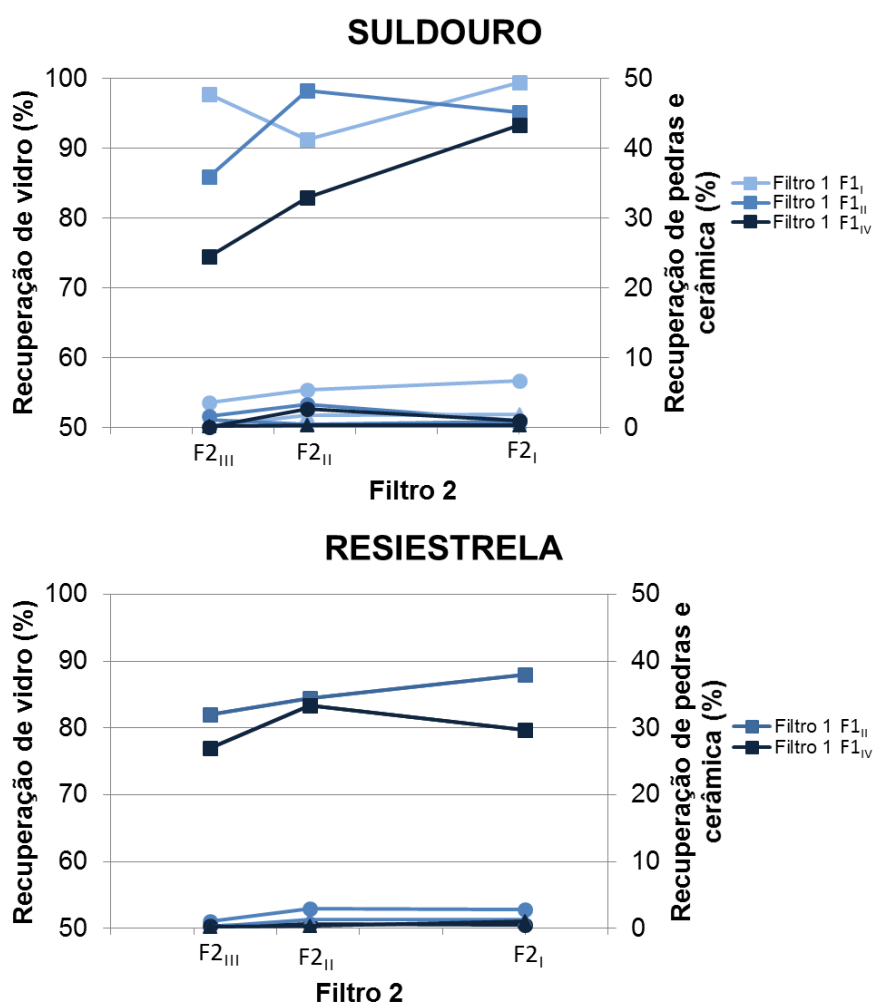


Figura 4-3 Influência dos filtros nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas nas amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA, fracção supra 16 mm

As amostras da fracção supra 16 mm da SULDOURO foram as primeiras a serem testadas e como já foi explicado no capítulo anterior, foi neste caso que se conjugaram mais valores do filtro 1, mantendo os restantes parâmetros com os valores que conduziram aos melhores resultados, encontrados na fase anterior. As recuperações mais baixas de contaminantes foram obtidas com os valores mais baixos do filtro, no entanto, estes valores também foram os que originaram as menores recuperações de vidro.

É importante referir que pode existir algum erro associado aos resultados apresentados, pelo facto de algumas partículas terem ficado presas no interior do equipamento, devido à sua elevada dimensão. Este facto pode justificar o caso em que o filtro 1 esteve constante com o valor F_{1i} enquanto se alterava o valor do filtro 2 e a recuperação de vidro com o aumento do valor de filtro não aumenta, ao contrário do que se esperava.

Relativamente às amostras da fracção supra 16 mm da instalação RESIESTRELA, obteve-se uma baixa recuperação de vidro associada a baixas recuperações de pedras e cerâmicas quando foram testados valores baixos de filtros. Apesar de haver uma descida na recuperação de vidro com o aumento do filtro 2, esta descida pode ser justificada por pequenas variações de composição das amostras.

A Figura 4-4 mostra as recuperações de vidro, pedras e cerâmicas obtidas com a variação dos valores dos dois filtros na fracção 6-16 mm.

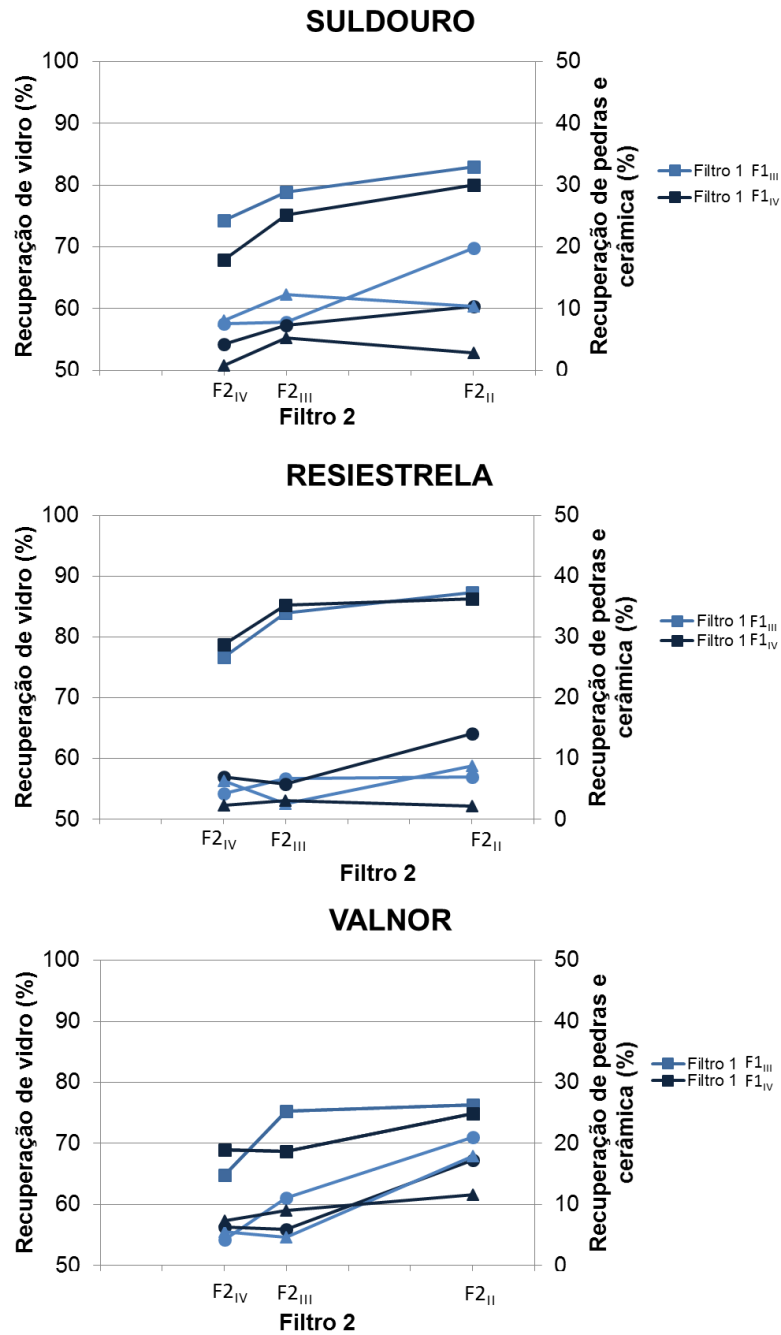


Figura 4-4 Influência dos filtros nas recuperações de vidro, pedras e cerâmicas nas amostras das instalações **SULDOURO**, **RESIESTRELA** e **VALNOR**, fracção 6-16 mm

Observa-se que, com algumas excepções, a recuperação dos três materiais aumenta com o valor do filtro 1 e do filtro 2.

No caso do vidro esta variação parece ser quadrática relativamente ao filtro 2, aumentando significativamente para valores menores do filtro e atenuando a variação com o aumento do valor do filtro. Este facto pode dever-se ao elevado valor do filtro 2 (F2_{II}), já que este valor está próximo do calibre máximo das partículas desta fracção. Ou seja, o vidro é aceite mesmo

estando sujo devido ao facto de o filtro não estar a rejeitar por estar com um valor elevado o suficiente para deixar passar as partículas, estando elas sujas ou não.

4.1.4 Conclusões do sub-capítulo 4.1

Observou-se no estudo efectuado que as variáveis Intensidade da Radiação Emitida e Nível de Radiação Recepcionado, na gama de valores estudada, não afectam significativamente a recuperação dos materiais. As excepções ocorreram em fracções com calibre grosseiro, podendo ter sido devidas à heterogeneidade da composição ou à operação do equipamento, pois verificou-se que ocasionalmente havia partículas que ficavam presas. Dado o tamanho da amostra e a percentagem em massa significativa de cada partícula, isto pode justificar alguma da variabilidade observada.

Verificou-se que as variáveis que mais influenciam a recuperação de vidro foram a composição da alimentação e o calibre das partículas. Com o conjunto de ensaios realizados não foi possível determinar se existe variação dos valores óptimos destes parâmetros com a composição e espectro granulométrico das amostras.

No que diz respeito aos contaminantes, pedras e cerâmicas, a recuperação é insensível à variação destes dois parâmetros. Também neste caso a composição e calibre da alimentação justificam as pequenas variações de recuperação dos materiais.

Relativamente aos filtros, observou-se que pequenas variações nos valores testados nestes parâmetros conduziam a variações significativas na recuperação dos materiais, ao contrário do que acontecia com os parâmetros anteriores.

As recuperações de vidro aumentam com o aumento dos valores de filtro, tal como esperado. As amostras de maior calibre mostraram uma maior resposta à alteração de vidro quando comparadas com as de menor calibre.

As recuperações dos contaminantes mostraram o comportamento inverso. Parecem não ser afectadas pela alteração de filtro nas amostras de maior calibre e nas amostras de menor calibre as recuperações destes constituintes variam significativamente com a variação dos valores do filtro.

4.2 Conjugação de parâmetros que produz melhores resultados

Depois de avaliados todos os parâmetros operacionais, foi necessário determinar qual a combinação destes que gerava os melhores resultados. Os critérios pelos quais se escolheram

os valores foram os apresentados anteriormente: teor máximo em vidro, teor mínimo em pedras e cerâmicos e máxima recuperação de vidro.

Devido à quantidade de ensaios efectuados, não é possível mostrar todos os diferentes resultados obtidos, no entanto, no ANEXO B podem ser consultadas as tabelas com todos os resultados dos teores e recuperações obtidos com as diferentes combinações dos parâmetros operacionais. A Tabela 4-1 mostra os valores que conduziram aos melhores resultados segundo o critério do teor máximo em vidro em todas as instalações – SULDOURO (SD), RESIESTRELA (RE) e VALNOR (VN).

Tabela 4-1 Valores dos parâmetros operacionais que conduziram melhores resultados em todas as instalações

Parâmetro	SD 6-16 mm	SD, RE >16 mm RE, VN 6-16 mm
IRE	PR _{II}	PR _{II}
NRR	NR _{III}	NR _{III}
filtro 1	F1 _{IV}	F1 _{IV}
filtro 2	F2 _{IV}	F2 _{II}

Utilizando o critério do teor máximo em vidro, os valores que conduziram aos melhores resultados são iguais para todas as instalações à excepção da fracção 6-16 mm da instalação SULDOURO, que difere apenas no valor de filtro 2. Os teores em vidro obtidos com os valores apresentados são superiores a 97%.

A Tabela 4-2 mostra os valores que conduziram aos melhores resultados segundo o critério do teor mínimo em pedras e cerâmicas.

Tabela 4-2 Valores dos parâmetros operacionais que conduziram melhores resultados segundo o critério do teor mínimo em pedras e cerâmicas

Parâmetro	SD, RE 6-16 mm	SD, RE >16 mm VN 6-16 mm
IRE	PR _{II}	PR _{II}
NRR	NR _{III}	NR _{III}
filtro 1	F1 _{IV}	F1 _{IV}
filtro 2	F2 _{IV}	F2 _{II}

Utilizando o critério do teor mínimo em pedras e cerâmicas, os valores que conduziram aos melhores resultados diferem dos anteriores apenas na fracção 6-16 mm da RESEIESTRELA, que passa a ter melhores resultados segundo este critério com os valores da fracção 6-16 mm da SULDOURO. Os teores em contaminantes obtidos com os valores apresentados são inferiores a 0,3%.

A Tabela 4-3 mostra os valores que conduziram aos melhores resultados segundo o critério da recuperação máxima de vidro.

Tabela 4-3 Valores dos parâmetros operacionais que conduziram melhores resultados segundo o critério da recuperação máxima de vidro

Parâmetro	SD, RE, VN 6-16 mm	SD >16 mm	RE >16 mm
IRE	PR _{II}	PR _{II}	PR _{II}
NRR	NR _{III}	NR _{III}	NR _{III}
filtro 1	F1 _{III}	F1 _I	F1 _{II}
filtro 2	F2 _{II}	F2 _I	F2 _I

Ao utilizar o critério da recuperação máxima de vidro, os valores que conduziram aos melhores resultados são os esperados. Por um lado, a IRE e o NRR são os mesmos que nos casos anteriores, o que comprova o facto já referido anteriormente, que estes parâmetros não têm uma influência significativa nos resultados. Por outro lado, os valores dos filtros que conduzem à máxima recuperação de vidro são, dentro do intervalo de valores testados, os mais elevados. Este facto também era esperado, tendo em conta que valores elevados de filtros fazem com que o material seja todo aceite e que, conseqüentemente, aumente a recuperação dos materiais.

Os valores dos diferentes parâmetros que foram utilizados posteriormente foram os que conduziram aos melhores resultados segundo o critério do teor máximo em vidro, uma vez que os resultados obtidos com estes valores são os mais próximos das especificações técnicas para aceitação de um lote para reciclagem do vidro da recolha selectiva.

4.3 Reprocessamento

Apresentam-se de seguida os gráficos da influência de uma etapa de reprocessamento. Devido à diferença de ordem de grandeza dos valores de teor e recuperação do vidro e dos contaminantes, apresentam-se os contaminantes separados do vidro para uma maior facilidade na leitura dos gráficos. O ponto de recuperação igual a 100% correspondente ao teor da alimentação, o segundo ponto corresponde aos resultados obtidos após o primeiro processamento por triagem óptica e o terceiro ponto corresponde aos resultados obtidos após o reprocessamento.

A Figura 4-5 mostra os resultados relativos ao reprocessamento das amostras das instalações SULDOURO e RESIESTRELA, fracção supra 16 mm.

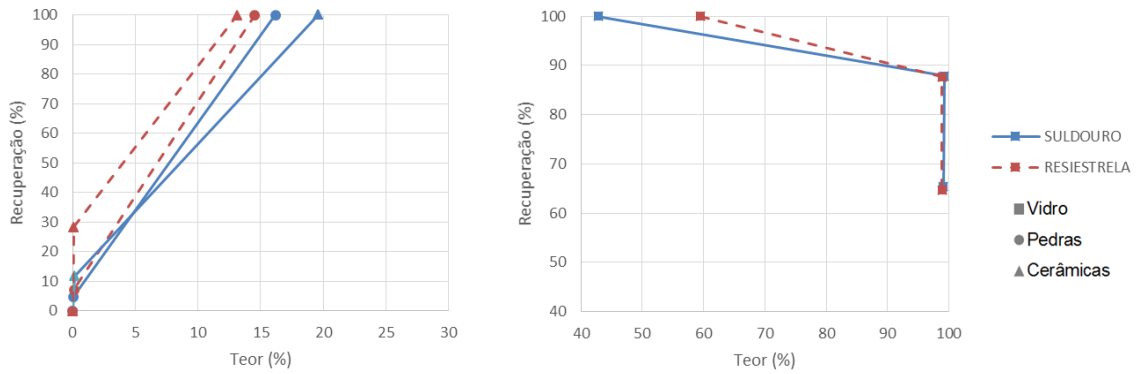


Figura 4-5 Influência do reprocessamento no teor e recuperação de vidro, pedras e cerâmica

Como é possível observar pelos gráficos, o teor em vidro aumenta consideravelmente com o primeiro processamento por triagem óptica, no entanto, o reprocessamento apenas faz com que a recuperação de vidro diminua sem aumento do teor. Além disso, o teor em contaminantes também não varia de forma significativa entre o primeiro processamento e o reprocessamento.

Os resultados relativos às amostras da fração 6-16 mm de todas as instalações são apresentados na Figura 4-6

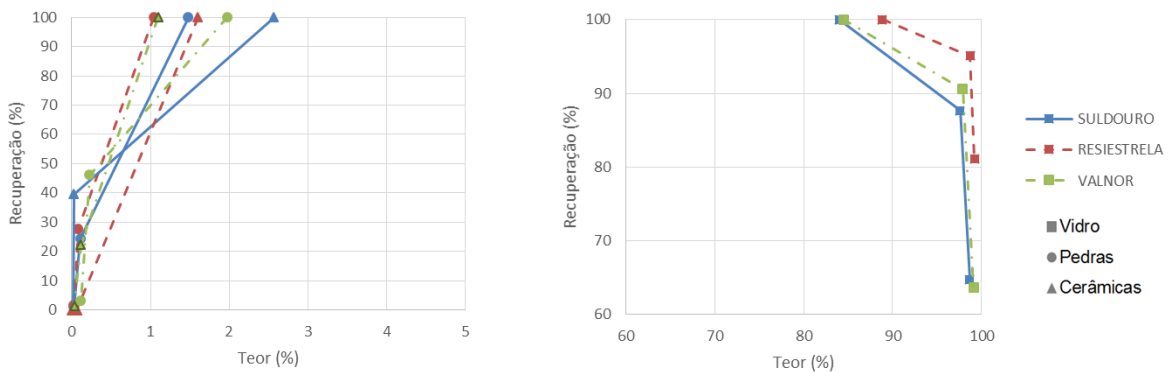


Figura 4-6 Influência do reprocessamento no teor e recuperação de vidro, pedras e cerâmica

É possível observar que independentemente da composição da amostra, neste caso, também o reprocessamento faz com que a recuperação de vidro diminua, não havendo uma alteração significativa do teor em vidro. Também o teor em contaminantes diminui para valores próximos de zero com o primeiro processamento, não se alterando significativamente com o reprocessamento.

4.4 Optimização da triagem  ptica

Não foi feita a optimização da triagem  ptica. Devido a todas as condicionantes   execução do presente estudo (tamanho limitado das amostras, tempo e disponibilidade limitados para a execução do trabalho em ambiente industrial, etc.), não foi possível fazer realmente a optimização da triagem  ptica. Conseguiu-se, no entanto, encontrar um óptimo local dos valores dos parâmetros estudados, ao aproveitar o conhecimento experimental da VIDROCICLO. No entanto, esta procura do óptimo local continuará a ser denominada por optimização por facilidade de escrita.

A optimização da triagem óptica permitiu encontrar o conjunto de valores dos parâmetros estudados que produziram os melhores resultados para cada fracção granulométrica de cada amostra de cada instalação. Na possibilidade se se vir a implementar o processamento estudado, não é apropriado separar-se apenas uma fracção granulométrica de uma instalação para ser processada em separado, sendo por isso processada com os parâmetros das restantes instalações. Caso se opte por esta alternativa, o teor em vidro altera-se aproximadamente de 98% para 96%.

Mostrou-se que a optimização da triagem óptica conduz a um aumento de teor em vidro no concentrado quando comparado com os primeiros ensaios à escala industrial do projecto RecGlass (Tabela 4-4) realizados nas condições de operação da instalação para o tratamento do vidro da recolha selectiva. Adicionalmente, o teor em vidro de todas as amostras depois da optimização da triagem óptica foi superior a 98%.

É, contudo, importante ter presente que ao caracterizar a alimentação do presente estudo, os resultados foram ligeiramente diferentes dos da fase anterior. Se por um lado, os teores em vidro foram mais elevados no presente estudo, por seu lado, os teores em contaminantes foram mais baixos. No entanto, estas características não se observaram na amostra RESIESTRELA supra 16 mm. As características das duas alimentações podem ser consultadas no ANEXO A.

Tabela 4-4 Teor de vidro máximo obtido sem e com optimização da triagem  ptica

Instalação	Fracção granulométrica	Teor máx. em vidro na 1� fase do projecto (%)	Teor máx. em vidro após o presente estudo (%)
SULDOURO	Supra 16 mm	78,3	99,3
	6-16 mm	96,4	98,6
RESIESTRELA	Supra 16 mm	94,8	98,9
	6-16 mm	98,0	99,2
VALNOR	6-16 mm	86,3	99,1

Observou-se que para se obter os melhores resultados, a regulação de parâmetros é a mesma, independentemente da composição e calibre da amostra. Nestas condições, o teor do produto final é aproximadamente igual como se pode ver na

É importante referir, no entanto, que os valores máximos da fracção 6-16 mm das várias instalações foram obtidos após o reprocessamento, que como já referido anteriormente, provoca uma descida significativa na recuperação de vidro que deve ser tida em conta.

Apesar dos elevados teores de vidro obtidos, que estão dentro do estipulado pelas especificações da SPV para o vidro da recolha selectiva, o teor em infusíveis no produto final é superior a 0,05%, o mínimo permitido pelas mesmas especificações técnicas.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Numa fase anterior do projecto RecGlass, testaram-se vários diagramas de processamento com o objectivo de recuperar o vidro presente no rejeitado pesado do tratamento mecânico e biológico (TMBr) para reciclagem.

Um dos processos estudados nos diagramas de processamento foi a triagem óptica, que é uma solução muito utilizada na separação de materiais com base nas suas características ópticas. No entanto, a triagem óptica é um método de processamento bastante sensível às características do material que separa e é necessário ajustar os parâmetros operacionais dos triadores ópticos às características do material que está a ser triado.

Nos primeiros ensaios à escala industrial efectuados no âmbito do projecto RecGlass, não foi feito esse ajuste. Contudo, os resultados obtidos não foram suficientes para cumprir com as especificações para recolha desse produto pelo retomador. Sendo assim, optou-se por ajustar os parâmetros (intensidade da radiação emitida, nível de radiação recepcionada, e dois filtros) do triador óptico às características do produto alimentado (optimização da triagem óptica). A variação da intensidade da radiação emitida e do nível de radiação recepcionada não alterou significativamente os resultados, no entanto, variações mais subtis nos valores dos filtros provocaram variações consideráveis nos resultados.

Foi possível encontrar um óptimo local com recurso ao conhecimento pericial da VIDROCICLO, tendo sido possível determinar os valores que produziam melhores resultados para os parâmetros intensidade da radiação emitida (IR_{II}), nível de radiação recepcionada (NR_{III}) e filtro 1 ($F1_{IV}$). A amostra de fracção 6-16 mm da instalação SULDOURO, originou melhores resultados com um valor de filtro 2 menor ($F2_{IV}$), todas as outras amostras, produziram melhores resultados com um valor de filtro 2 maior ($F2_{III}$).

O reprocessamento, aplicado à fracção 6-16 mm, provocou o aumento do teor em vidro, fazendo com que o produto final obedeça às especificações técnicas para a recolha de vidro proveniente da recolha selectiva, no entanto, este aumento em teor dá-se à custa duma diminuição acentuada da recuperação de vidro. Em relação à fracção supra 16 mm, o reprocessamento provou não ser necessário, já que o vidro perdido com o reprocessamento prejudica a qualidade do produto final.

Ao encontrar os valores óptimos locais dos parâmetros da triagem óptica, foi possível aumentar o teor em vidro no TMBr em relação à fase anterior do projecto RecGlass. O teor em vidro obtido foi superior a 98%, teor mínimo em vidro necessário para ser aceite pelas especificações da SPV para a retoma do vidro da recolha selectiva. No entanto a quantidade de infusíveis no final do tratamento ainda impede que o produto final seja aceite segundo as mesmas especificações técnicas. Assim, tecnicamente é possível recuperar o vidro presente no

TMBr com teor aceitável segundo as especificações, no entanto é necessário encontrar um meio de conseguir remover mais infusíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lidgate Crescent, 2014. World class in Glass recycling. [Online]

Available at: <http://www.berrymanglassrecycling.com/>

[Acedido em 28 Julho 2014].

BEST, 2014. *Opus, optical sorter*. [Online]

Available at: <http://www.bestsorting.com/sorting-food/sorters/opus/>

[Acedido em 10 Março 2014].

BEST, 2014. *Tobacco - BEST Optical Sorting Solutions*. [Online]

Available at: <http://www.bestsorting.com/tobacco/>

[Acedido em 10 Março 2014].

BEST, 2014. *X-ray - BEST Optical Sorting Solutions*. [Online]

Available at: <http://www.bestsorting.com/sorting-technologies/x-ray/>

[Acedido em 10 Março 2014].

British Glass Manufacturers, 2013. *Glass is Infinitely Recyclable*. [Online]

Available at: <http://www.britglass.org.uk/infinately-recyclable>

[Acedido em 17 Março 2014].

British Glass Manufacturers, 2013. *Types of Glass*. [Online]

Available at: <http://www.britglass.org.uk/types-of-glass>

[Acedido em 19 Março 2014].

Carvalho, M. T., Dias, N., Belo, N., Máximo, A., Landim, S., Sousa, J. & Pina, P., 2013. *Relatório interno do projecto RecGlass*, s.l.: s.n.

Dias, N. & Carvalho, M. T., 2012. *Novel equipment to separate contaminants from glass cullet*. Bodrum, s.n.

Dias, N., Carvalho, M. T. & Pina, P., 2012. Characterization of Mechanical Biological Treatment reject aiming at packaging glass recovery for recycling. *Minerals Engineering*, pp. 72-76.

Dias, N., Máximo, A., Belo, N. & Carvalho, M. T., 2013. Packaging glass contained in the heavy residual fraction refused by Portuguese Mechanical and Biological Treatment plants. *Resources, Conservation and Recycling*, Issue 85.

Doak, A. G., 2003. *Optical glass sorting machine and method*. U.S., Patente Nº US6504124 B1.

Edwards, M., 2004. *Detecting foreign bodies in food*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. pp. 86-118

EMPA, 2009. *e-Waste Composition*. [Online]

Available at: <http://ewasteguide.info/e-waste-composition>

[Acedido em 14 Março 2014].

ERSAR & APA, 2012. *PERSU II: Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016. Relatório de Acompanhamento 2010*, s.l.: s.n.

EU, 1999. *1999/31/CE Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho*. [Online]

Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:31999L0031>

EU, 2008. *2008/98/CE Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho*. [Online]

Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>

Ewaste Center, 2014. *Ewaste Facts*. [Online]

Available at: <http://www.ewastecenter.com/facts/ewaste-facts/>

[Acedido em 14 Março 2014].

Krause Manufacturing, 2012. *Paper Sorter & Paper Sorting Equipment*. [Online]

Available at: <http://www.krausemanufacturing.com/recycling-equipment/optical-sorting-equipment/paper-sorting-equipment/>

[Acedido em 12 Março 2014].

McManus, B., 2013. *Schneider Electric*. [Online]

Available at: <http://blog.schneider-electric.com/energy-management-energy-efficiency/2013/01/28/importance-of-measuring-energy-use/>

[Acedido em 17 Fevereiro 2014].

Ministério do ambiente e do ordenamento do território, 2011. *Decreto-Lei n.º 73/2011*. [Online]

Available at: http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/DL_73_2011_DQR.pdf

Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, 2007.

Portaria n.º 187/2007. [Online]

Available at:

http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/PERSU_II/Portaria_187_2007_PERSU_II.pdf

Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, 2009.

Decreto-Lei n.º 73/2011. [Online]

Available at: <http://dre.pt/pdf1s/2009/08/15300/0517005198.pdf>

MSS, Inc., 2012. *Electronic Waste Management With eWaste Sorting Equipment*. [Online]

Available at: <http://www.magsep.com/material-sorting-equipment/ewaste-sorting-equipment/>

[Acedido em 14 Março 2014].

NASA, 2013. *Climate Science Investigations*. [Online]

Available at: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>

[Acedido em 17 Fevereiro 2014].

NHPT, 2014. *NatureWorks*. [Online]

Available at: <http://www.nhptv.org/natureworks/nwep11b.htm>

[Acedido em 10 Fevereiro 2014].

Recycling Today, 2011. *Plastic Optical Sorters - RT - Recycling Today*. [Online]

Available at: https://www.recyclingtoday.com/MSS-plastic-optical-sorter.aspx?client_id=42403

[Acedido em 13 Março 2014].

SPV, 2011. *Especificações técnicas 2011*. [Online]

Available at:

<http://www.spvnet.net/cpanel/assets/documentos/Especificaca%C3%A7%C3%B5es%20T%C3%A9cnicas%202011.pdf>

SPV, 2014. *Quem somos*. [Online]

Available at: http://www.pontoverde.pt/quem_somos.php

[Acedido em 17 Fevereiro 2014].

Sun, D.-w., 2000. Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method. *Journal of Food Engineering*, pp. 245-249.

TAPPI, 2001. *Paper University - All About Paper*. [Online]

Available at:

http://www.tappi.org/paperu/all_about_paper/earth_answers/EarthAnswers_Recycle.pdf

[Acedido em 12 Março 2014].

TOMRA, 2014. *Mining*. [Online]

Available at: <http://tomra.com/en/solutions-and-products/sorting-solutions/mining>

[Acedido em 17 Fevereiro 2014].

Wills, B., 1992. *Mineral Processing Technology*. 5th ed. s.l.:s.n.

ANEXO A

No presente anexo, apresentam-se primeiro as tabelas com os resultados da análise de composição das amostras que constituem a alimentação da triagem óptica. Para além da análise efectuada no presente estudo, também são apresentados os resultados obtidos na fase anterior do projecto RecGlass realizada à escala industrial.

Tabela A-1 Resultados da análise de composição da alimentação da triagem óptica obtidos na fase anterior do projecto RecGlass

Instalação (fracção)	Teor componentes (%)							TOTAL
	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	Espelho e vidro com metal	Vidro opala	
SULDOURO (supra 16 mm)	37.2	25.4	17.2	1.6	18.6	0.0	0.0	100.0
RESIESTRELA (supra 16 mm)	70.0	10.7	9.0	0.5	9.9	0.0	0.0	100.0
SULDOURO (6-16 mm)	76.0	2.4	4.5	0.9	16.2	0.0	0.0	100.0
RESIESTRELA (6-16 mm)	84.3	1.9	4.7	0.0	9.0	0.0	0.0	100.0
VALNOR (6-16 mm)	79.6	2.4	1.6	0.0	16.4	0.0	0.0	100.0

Tabela A-2 Resultados da análise de composição da alimentação da triagem óptica obtidos no presente estudo

Instalação (fracção)	Teor componentes (%)							TOTAL
	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	Espelho e vidro com metal	Vidro opala	
SULDOURO (supra 16 mm)	42.6	16.2	19.6	3.0	18.4	0.1	0.1	100.0
RESIESTRELA (supra 16 mm)	59.0	14.5	13.1	1.8	11.0	0.1	0.4	100.0
SULDOURO (6-16 mm)	83.8	1.5	2.6	0.8	11.1	0.1	0.2	100.0
RESIESTRELA (6-16 mm)	88.8	1.0	1.6	0.3	7.8	0.1	0.3	100.0
VALNOR (6-16 mm)	84.4	2.0	1.1	0.0	12.4	0.0	0.1	100.0

Resumidamente pode-se classificar a classe grosseira da amostra da RESIESTRELA como mais rica em vidro que a da SULDOURO, contendo menor percentagem de contaminantes, em particular pedras e cerâmicas, mas também matéria orgânica. No que diz respeito à fracção 6-16 mm a amostra da RESIESTRELA é mais rica em vidro e tem menos contaminantes que as da SULDOURO e VALNOR, tendo estas duas amostras composição similar.

As maiores diferenças ocorrem com o vidro, com as pedras e cerâmicas. A Figura A-1 Teores em vidro, pedras e cerâmicos obtidos no estudo actual e em fases anteriores do projecto RecGlasspermite mais facilmente visualizar estas diferenças.

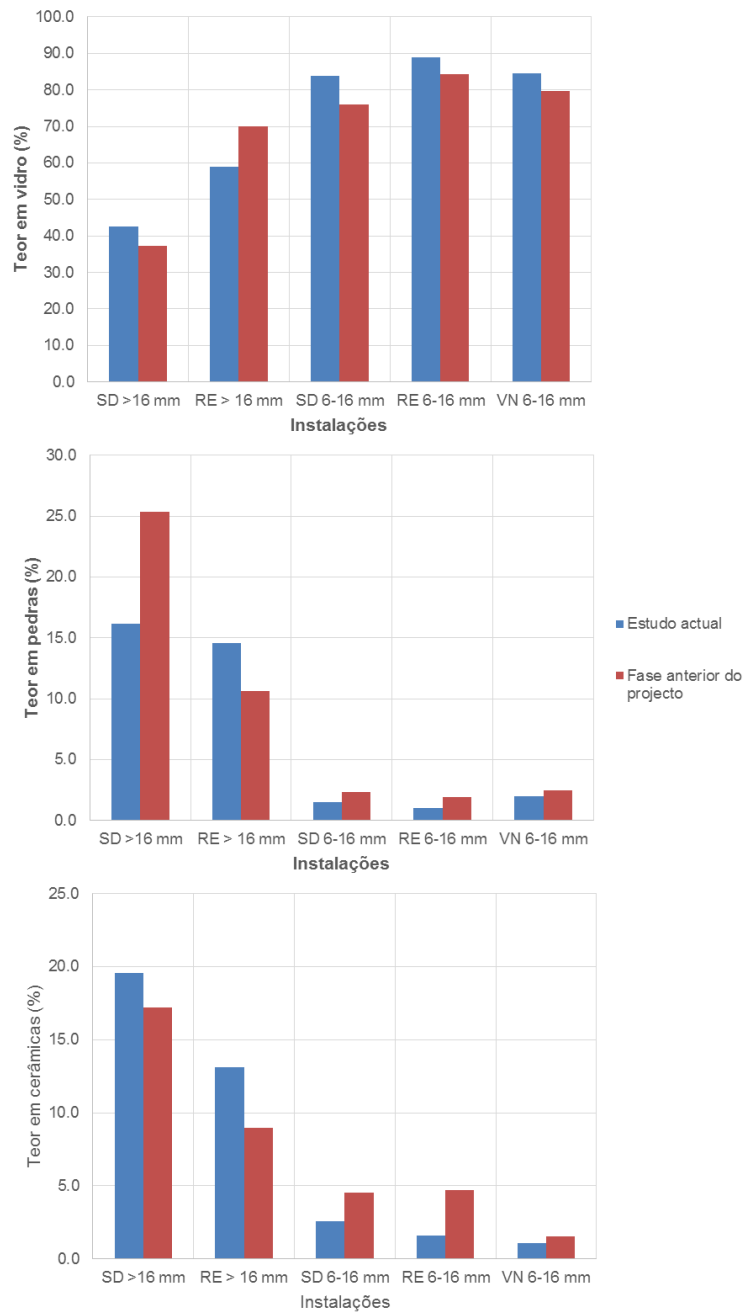


Figura A-1 Teores em vidro, pedras e cerâmicos obtidos no estudo actual e em fases anteriores do projecto RecGlass

ANEXO B

Seguidamente mostram os resultados de teor e recuperação obtidos para todos os constituintes através da análise de composição do OK2. A última linha de cada tabela corresponde aos resultados da análise de composição das amostras sujeitas ao reprocessamento.

Tabela B-1 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação SULDOURO, fracção supra 16 mm

Ensaio	Parâmetros triador				Teor componentes (%)							Recuperação componentes (%)				
	PRE	NRR	Filtro 1	Filtro 2	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	vidro com metal	Vidro opala	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos
1	PR _I	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _{II}	96.5	0.5	0.3	0.2	1.9	0.5	0.1	86.8	1.8	0.9	3.9	7.8
2	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _{II}	96.2	1.3	0.2	0.0	2.2	0.0	0.2	98.3	3.4	0.5	0.1	5.1
3	PR _{II}	NR _I	F1 _{II}	F2 _{II}	95.4	0.8	0.1	0.0	1.6	1.2	0.9	79.9	1.7	0.2	0.0	3.1
4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{II}	89.2	2.0	0.8	0.2	2.1	5.4	0.2	91.3	5.4	1.8	3.4	4.9
5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	96.2	1.2	0.2	0.0	2.2	0.0	0.2	83.0	2.8	0.4	0.2	4.4
6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _{III}	97.2	0.7	0.6	0.0	1.3	0.0	0.2	85.9	1.7	1.1	0.0	2.6
7	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	99.2	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	74.5	0.1	0.3	0.0	0.9
8	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{III}	97.3	1.4	0.1	0.1	1.1	0.0	0.0	97.8	3.6	0.3	1.6	2.6
9	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _I	97.0	0.4	0.2	0.1	2.1	0.0	0.2	93.3	1.1	0.4	0.7	4.6
10	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{II}	F2 _I	96.4	0.4	0.4	0.0	2.6	0.0	0.1	95.1	1.1	0.9	0.4	5.9
11	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _I	94.9	2.4	0.8	0.0	1.8	0.0	0.1	99.5	6.7	1.9	0.1	4.3
12	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{III}	99.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.2	87.9	4.7	11.6	-	123.1

Tabela B-2 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação RESIESTRELA, fracção supra 16 mm

Ensaio	Parâmetros triador				Teor componentes (%)							Recuperação componentes (%)				
	PRE	NRR	Filtro 1	Filtro 2	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	vidro com metal	Vidro opala	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos
1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	98.8	0.1	0.1	0.0	0.6	0.0	0.4	76.9	0.4	0.3	0.0	2.5
2	PR _{III}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	98.6	0.2	0.1	0.0	0.7	0.0	0.4	73.8	0.7	0.2	0.0	2.9
3	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{III}	98.7	0.3	0.1	0.4	0.2	0.0	0.3	81.9	1.0	0.2	10.8	1.0
4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	97.9	0.2	0.1	0.0	0.8	0.2	0.8	83.3	0.7	0.4	0.4	3.6
5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _{II}	97.5	0.8	0.3	0.0	0.6	0.4	0.5	84.4	2.9	1.3	0.0	2.6
6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _I	F2 _I	97.5	0.8	0.3	0.0	0.8	0.2	0.3	87.9	2.9	1.3	0.0	4.0
7	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _I	97.8	0.2	0.3	0.0	1.0	0.1	0.7	79.6	0.5	1.0	0.2	4.2
8	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{III}	98.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9	87.7	7.2	28.4	-	32.9

Tabela B-3 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação RESIESTRELA, fracção 6-16 mm

Ensaio	Parâmetros triador				Teor componentes (%)							Recuperação componentes (%)				
	PRE	NRR	Filtro 1	Filtro 2	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	vidro com metal	Vidro opala	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos
1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	98.7	0.1	0.1	0.0	0.8	0.1	0.3	85.3	5.8	3.1	1.8	7.7
2	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{IV}	98.8	0.1	0.1	0.0	0.7	0.0	0.3	78.7	7.0	2.3	6.3	6.2
3	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	98.1	0.2	0.0	0.1	1.3	0.1	0.1	86.3	14.1	2.2	19.5	13.4
4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}	97.9	0.1	0.2	0.0	1.3	0.1	0.4	87.3	7.0	8.7	6.2	13.1
5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{III}	98.8	0.1	0.1	0.1	0.9	0.0	0.1	83.9	6.7	2.5	13.5	8.3
6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{IV}	98.3	0.1	0.1	0.0	0.8	0.1	0.6	76.7	4.2	6.4	0.0	7.1
7	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{III}	99.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	95.1	27.8	0.0	0.0	62.2

Tabela B-4 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação SULDOURO, fracção 6-16 mm

Ensaio	Parâmetros triador				Teor componentes (%)							Recuperação componentes (%)				
	PRE	NRR	Filtro 1	Filtro 2	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	vidro com metal	Vidro opala	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos
1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{IV}	97.6	0.1	0.0	0.3	1.8	0.0	0.2	67.9	4.2	0.7	22.9	9.2
2	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	96.2	0.2	0.2	0.7	2.6	0.0	0.1	75.2	7.3	5.3	52.4	15.1
3	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	97.5	0.2	0.1	0.3	1.7	0.1	0.1	79.9	10.4	2.9	21.0	10.4
4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{IV}	95.2	0.2	0.3	0.6	3.4	0.2	0.1	74.2	7.5	8.0	47.8	20.0
5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{III}	96.4	0.2	0.5	0.4	2.4	0.0	0.2	78.8	7.8	12.3	29.8	14.8
6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}	95.8	0.4	0.4	0.4	2.8	0.0	0.2	83.0	19.8	10.3	36.4	18.3
7	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{IV}	98.6	0.0	0.0	0.2	1.0	0.0	0.1	92.8	24.3	39.4	51.5	51.7

Tabela B-5 Teores e recuperações obtidos nos ensaios efectuados com as sub-amostras da instalação VALNOR, fracção 6-16 mm

Ensaio	Parâmetros triador				Teor componentes (%)							Recuperação componentes (%)				
	PRE	NRR	Filtro 1	Filtro 2	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos	vidro com metal	Vidro opala	Vidro	Pedras	Cerâmicos	Metal	Orgânicos
1	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	97.9	0.2	0.1	0.0	1.6	0.0	0.1	70.3	7.0	6.5	0.0	8.0
2	PR _{IV}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{III}	97.2	0.2	0.2	0.0	2.3	0.0	0.2	68.7	5.9	9.0	16.4	11.0
3	PR _{II}	NR _{II}	F1 _{IV}	F2 _{III}	96.9	0.2	0.2	0.1	2.4	0.0	0.1	69.7	6.8	11.5	264.3	11.9
4	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{II}	96.1	0.5	0.2	0.0	3.0	0.0	0.2	74.9	17.3	11.6	226.4	15.9
5	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{IV}	F2 _{IV}	97.6	0.2	0.1	0.0	1.8	0.0	0.2	68.9	6.3	7.3	0.0	8.9
6	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{IV}	98.1	0.2	0.1	0.0	1.5	0.0	0.1	64.8	4.3	5.6	0.0	6.5
7	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{III}	97.3	0.3	0.1	0.0	2.1	0.0	0.2	75.4	11.1	4.7	0.0	10.9
8	PR _{II}	NR _{III}	F1 _{III}	F2 _{II}	95.6	0.6	0.3	0.0	3.4	0.0	0.1	76.4	21.0	17.9	0.0	18.3
9	PR _{II}	NR _{III}	-	F2 _{III}	99.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.1	90.6	46.1	22.1	-	33.8

