

DESEMPENHO AMBIENTAL DE UM SISTEMA DE DEPÓSITO E REEMBOLSO EM CONTEXTO ACADÉMICO. UM CASO DE ESTUDO DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

J M Moura ^{a,*}, A P Gomes ^a, M I Nunes ^a

^a Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

RESUMO

O sistema de depósito e reembolso (SDR) consiste numa estratégia para melhorar a reciclagem de resíduos de embalagens e reduzir o seu impacto ambiental. Este estudo, realizado no âmbito do projeto REAP - *Reciclagem e Reembolso de Embalagens de alumínio e de PET (sistema piloto)*, visou avaliar o desempenho ambiental da implementação do SDR na Universidade de Aveiro para embalagens de polietileno tereftalato (PET) e de alumínio, através de uma análise de ciclo de vida (ACV). Para o efeito, foram analisados dois cenários: um cenário 1, de referência (aplicado ao sistema de gestão de resíduos da universidade sem SDR) e outro com a implementação do SDR com uma taxa de retorno de 40% (cenário 2). O estudo incluiu a análise do aumento da taxa de retorno (80%), aplicado ao cenário 2 para o fluxo embalagens de PET. Os resultados mostraram que, para as embalagens de PET, o SDR (cenário 2) pode reduzir as categorias de impacto ambiental entre 44% e 85%. Por outro lado, para as embalagens de alumínio, a aplicação do SDR motivou o aumento de impacto, possivelmente, porque o volume de embalagens depositadas não é suficiente para atenuar os impactos provenientes da extração e processamento de matérias-primas para produção das máquinas de venda reversa. A análise realizada à taxa de retorno confirmou a anterior suposição, concluindo que o aumento da taxa de retorno (de 40% para 80%) reflete uma redução adicional média de 50% das categorias de impacto. No geral, a aplicação do SDR permite reduzir o impacto ambiental do processo de reciclagem, no entanto o seu sucesso depende do envolvimento da população, da sensibilização ambiental e do reforço do enquadramento legal nacional.

Palavras-Chave: Sistema de depósito e reembolso, avaliação de ciclo de vida; garrafas PET, latas de alumínio, máquinas de venda reversa

doi: 10.22181/aer.2025.0208

* Autor para correspondência
E-mail: jessica.moura@ua.pt

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A REFUND-DEPOSIT SYSTEM IN AN ACADEMIC SCENARIO. UNIVERSITY OF AVEIRO CASE STUDY

J M Moura ^{a,*}, A P Gomes ^a, M I Nunes ^a

^a Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

ABSTRACT

The deposit-refund system (DRS) is a strategy to enhance packaging waste recycling and reduce its environmental impact. In this study, which is part of the REAP project – Recycling and Refund of aluminium and PET packaging (pilot system), was assessed the environmental performance of implementing DRS at the University of Aveiro for polyethylene terephthalate (PET) and aluminium packaging, using life cycle assessment (LCA). In the LCA, two scenarios were analysed: a baseline scenario (applying the previous university's waste management system, without DRS) and a second scenario with DRS at a 40% return rate. The study also evaluated the impact of return rate increase (80%), applied to scenario 2 for the PET packaging stream. Results showed that, for PET packaging, DRS (scenario 2) can reduce environmental impact categories by 44% to 85%. While, for aluminium packaging, the DRS implementation led to the environmental impact increase, possibly due to the low volume of returned packaging, which is insufficient to mitigate the reverse vending machine's production process impact. This assumption was confirmed by the return rate analysis, which showed an average reduction of the impact categories of 50%, for the return rate increase (from 40% to 80%). Overall, while DRS can reduce the environmental impact of the recycling process, its success depends on public engagement, environmental awareness and the strengthening of the national legal framework.

Keywords: Deposit-refund system, life cycle assessment, PET bottles, aluminium cans, reverse vending machine

doi: 10.22181/aer.2025.0208

* Corresponding author
E-mail: jessica.moura@ua.pt

1 Introdução

O crescimento exponencial da população associado ao crescimento proporcional de consumo de recursos, tem contribuído para o aumento da produção de resíduos, essencialmente de embalagens (Görgün et al., 2021; Malindzakova et al., 2022). As embalagens de bebidas de plástico, como é o caso das garrafas de polietileno tereftalato (PET) e de alumínio são apontadas como materiais críticos, atendendo à sua extensa e indevida utilização única e dispersão no ambiente (Malindzakova et al., 2022; UNEP, 2021), sendo urgente promover a sua reutilização e reciclagem. Esta crescente preocupação tem incentivado a revisão das políticas europeias de gestão de resíduos, incentivando a reintegração destes materiais como matéria-prima, numa perspetiva de economia circular, com vista na preservação de recursos naturais e na proteção dos oceanos (Dahlbo et al., 2018; Malindzakova et al., 2022; Van Eygen et al., 2018).

A implementação do sistema de venda reversa, também conhecido como sistema de depósito e reembolso (SDR), incluindo as máquinas de venda reversa (MVR), tem originado um retorno positivo na reciclagem destes materiais, registando uma taxa média de deposição de embalagens de cerca de 80%, como é o caso da Croácia (90,7%), Países baixos (70%) e Suécia (88,2%) (RELOOP, 2022; Zia et al., 2022). No seguimento dos novos incentivos europeus e do sucesso registado nestes países, alguns estudos têm sido conduzidos com o propósito de avaliar o impacto ambiental da aplicação deste novo sistema. Em 2021, E. Görgün et al. produziu uma análise administrativa, técnica e económica da implementação do SDR na Turquia. Com base nos resultados, os autores concluíram que a implementação do sistema poderia aumentar a taxa de reciclagem até 70% para embalagens de PET, vidro e alumínio. Brizga (2024) avaliou o impacto ambiental do SDR na região costeira da Letónia, face aos resíduos marinhos e costeiros. Para o ano de 2023, os autores reportaram uma redução na produção destes resíduos de 69%, 52% e 48% para embalagens de plástico, alumínio e vidro, respetivamente, com a implementação do sistema. Um estudo desenvolvido na Grécia, revelou que o SDR tem um potencial de redução das emissões de CO₂ associadas ao processo de reciclagem de resíduos de embalagem de 30% a 70% (Razis e Anastassakis, 2023). Por fim, Zhou et al. (2023) realizou uma avaliação de ciclo de vida do SDR para o fluxo de resíduos de embalagens de PET, na China, com base no modelo *bottle-to-bottle*. Os autores concluíram que o SDR reduziu as emissões de gases efeito de estufa de 0,538 kg CO₂/kg_{garrafa PET} e 0,00173 PE/kg_{garrafa PET}, em relação ao processo regular de reciclagem.

Na sequência das orientações estratégicas europeias, Portugal definiu normas para a implementação deste sistema tendo em vista as metas nacionais de reciclagem de embalagens (de 70% em peso até 2030) presentes no Decreto-lei n.º 152-D/2017, relativo ao Regime Unificado dos Fluxos Específicos de Resíduos. Mais recentemente, a União Europeia publicou um novo regulamento sobre resíduos de embalagens (Regulamento (UE) n.º 2025/40) que prevê que os Países-Membros e os diferentes operadores económicos readaptem o seu enquadramento legal e respetivas obrigações.

Ainda que, a implementação deste sistema esteja bem consolidada noutros países, o SDR é um tema com limitada análise científica disponível e, no caso de Portugal, muito recente. O projeto REAP – *Reciclagem e Reembolso de Embalagens de alumínio e PET – sistema piloto*, foi promovido pela Universidade de Aveiro para os seus campi (Campus do Castro e Campus de Santiago) e polos de ensino de Oliveira de Azeméis (ESAN) e de Águeda (ESTGA) da Universidade de Aveiro (UA), no âmbito do enquadramento legal nacional (Lei n.º 69/2018). O projeto tem o propósito de desmistificar esta metodologia, relativamente à separação seletiva e ao encaminhamento para reciclagem de embalagens, integrando as vertentes técnico-científica, ambiental e social do SDR para embalagens de PET e de alumínio, em contexto académico.

O presente estudo foi desenvolvido no contexto do projeto REAP, com o propósito de avaliar o desempenho ambiental da implementação do SDR, para os fluxos de embalagem de bebida de

PET e de alumínio, nos campi e polos de ensino, e tendo por base os dados reais de venda e depósito de embalagens, obtidos no primeiro ano do projeto.

2 Objetivo

O presente estudo teve como mote a análise de ciclo de vida (ACV) da implementação de um SDR nos campi da UA, para os fluxos de resíduos de embalagens de bebidas de PET e alumínio, versus o modelo de recolha seletiva em ecoponto. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o impacto da aplicação do SDR no processo de reciclagem dos resíduos de embalagens de bebidas, incluindo a avaliação do impacto da taxa de retorno no desempenho ambiental do novo sistema de recolha.

3 Metodologia

O presente estudo comportou a ACV da implementação de um sistema de incentivo ao SDR, nos campi e polos de ensino da Universidade de Aveiro, para recolha de resíduos de embalagem de bebidas de PET e alumínio. Para o efeito, foram considerados os seguintes cenários:

- Cenário base ou cenário 1: correspondente ao sistema de gestão de resíduos, anteriormente implementado na UA. Este sistema inclui a recolha seletiva e indiferenciada dos resíduos em análise, e respetivo transporte, triagem, tratamento e eliminação. No campi da UA é ainda incluído um processo de pré-triagem integrado no parque de resíduos da UA, composto por autocompactadores e contentores para armazenamento;
- Cenário 2: correspondente à implementação do SDR para uma taxa de deposição de embalagens de 40%. Para este cenário o sistema de incentivo ao SDR é adicionado ao anterior cenário 1, ou seja, para além deste novo método de recolha de resíduos de embalagens são preservadas as tipologias de recolha de resíduos, bem como todos os processos (pré-triagem, transporte, tratamento e eliminação) considerados no cenário anterior. A taxa de depósito considerada para este cenário (40%) foi o valor experimental observado no primeiro ano de implementação do projeto REAP (Castro et al., 2023).

A análise destes dois cenários foi realizada separadamente para embalagens de PET e alumínio, uma vez que se trata de materiais com propriedades diferentes e, por conseguinte, com necessidade de tratamento distintas.

O estudo inclui a análise da influência do parâmetro taxa de retorno nas categorias de impacto ambiental. Para o efeito, foi utilizado o cenário 2 aplicado à recolha de resíduos de embalagem de PET, considerando a taxa de retorno de 40 % e de 80%. A taxa de retorno considerada (80%) para a presente análise foi selecionada com base nos valores obtidos para Estados-Membros, onde o sistema já se encontra bem estabelecido. Por fim, os valores das categorias de impacto resultantes foram comparados para os diferentes cenários.

O estudo foi direcionado para a análise do fluxo de garrafas de PET e de latas de alumínio, no qual os resíduos de embalagens encaminhadas para reciclagem foram definidos como produto do sistema. As entradas e saídas consideradas para análise dos sistemas foram determinadas em função da unidade funcional (UF) de 1 tonelada de resíduos de embalagem (PET ou alumínio) encaminhados para reciclagem, também considerado como fluxo de referência (RELOOP, 2022).

Os sistemas em análise, representados na figura 1, incluíram a taxa de recolha seletiva de embalagens, o transporte e pré-triagem realizada no âmbito do SGIR dos campi, o encaminhamento e tratamento de resíduos em unidades, de operadores parceiros, de triagem (considerando consumos energéticos e materiais) e de tratamento mecânico e biológico (TMB) e a rejeição de resíduos em aterro sanitário. O cenário 1 serviu de base para o desenvolvimento

do segundo cenário, o qual inclui a implementação de um SDR, com uma taxa de deposição de embalagens em MVR de 40% (Castro et al., 2023). O processo do SDR inclui a produção, utilização e fim de vida da MVR.

O SGIR, integrado nos campi da UA, incluiu a distribuição de ecopontos pelos departamentos, a definição de pontos de recolha com contentores de capacidade superior, a recolha ponto-a-ponto por meio de uma carrinha elétrica e a receção e pré-triagem dos resíduos no Parque de Resíduos (PR), localizado no *Campus* do Castro. No PR os resíduos indiferenciados são compactados e armazenados em autocompactadores com capacidade volúmica de 25m³, enquanto os resíduos resultantes da recolha seletiva são armazenados em contentores de 35m³. Estes resíduos, da recolha indiferenciada e seletiva, são encaminhados para tratamento em unidades de TMB e de triagem, respetivamente. Nas unidades de tratamento foram apenas considerados consumos energéticos. Para o refugo resultante da triagem, foi considerada a sua deposição em aterro sanitário.

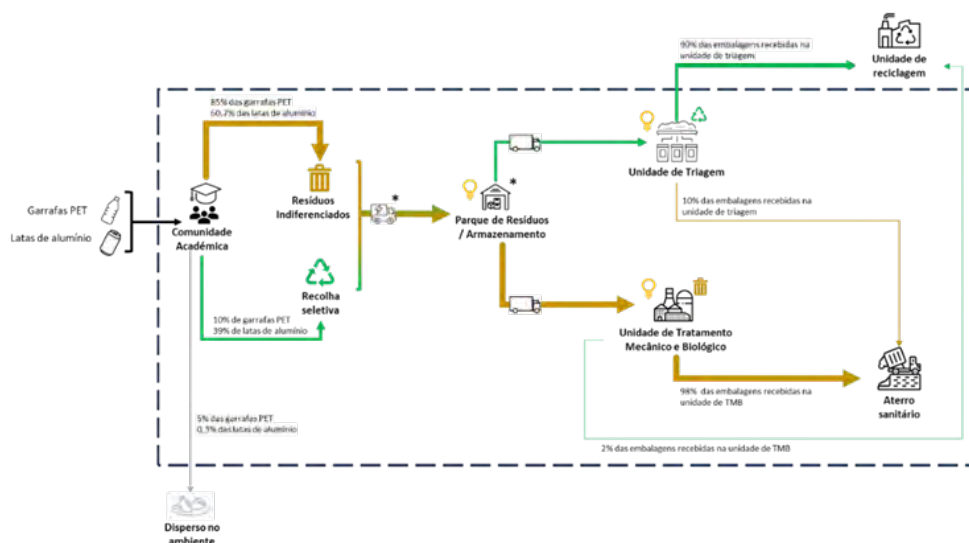
O SDR integra a disponibilização de 6 MVR (assim como implementado na UA) prontas para receber embalagens de PET e latas de alumínio. As MVR permitem a compactação das embalagens, reduzindo o seu volume em cerca de 90% (Jadayil et al., 2023). Para estes equipamentos foi considerado um tempo de vida útil de 10 anos e o seu desmantelamento, separação e valorização material aquando do seu fim de vida (RVM Systems, 2023). Associado à implementação do SDR foi definido, no seguimento do Despacho nº 6534/2019, foram definidos valores de reembolso de 0,02€ para embalagens com capacidade entre 0,1L a 0,5L e de 0,05€ para embalagens com capacidade entre 0,5L e 2L. Os volumes das embalagens considerados estão de acordo com o volume das embalagens disponibilizadas nos pontos de venda da Universidade de Aveiro.

Para a presente ACV foram consideradas um total de 137979 embalagens de PET e 107562 latas de alumínio adquiridas nos pontos de venda dos campi e polos da UA (consumos contabilizados no âmbito do protejo REAP para o ano de 2019).

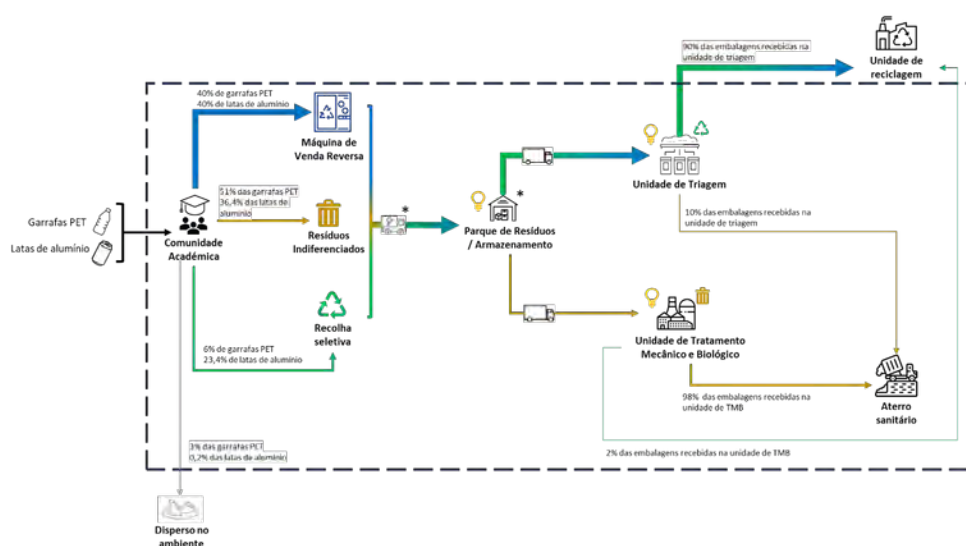
A fronteira definida na ACV não incluíram a produção de embalagens de bebidas (garrafas de PET e latas de alumínio), o processo de valorização/reciclagem do resíduo de embalagem de PET e de alumínio e a produção, utilização e fim de vida dos equipamentos das unidades de triagem, de TMB, aterro e contentores que servem os campi e polos da UA.

O estudo inclui ainda uma análise relativa para uma conjectura melhorada do cenário 2, para o qual é proposto uma taxa de 80% de deposição de embalagens de PET nas MVR, nos campi e polos da UA.

Cenário 1



Cenário 2.



Legenda

-  Eletricidade – um fluxu de entrada
-  Transporte elétrico (transporte utilizado no Campus da Universidade de Aveiro)
-  Transporte de resíduos para tratamento/triagem
-  Identifica os fluxos/processos associados apenas ao SGIR dos campi da UA

Figura 1. Fluxograma dos cenários em análise, para embalagens de PET e de alumínio desde o consumo até ao seu tratamento e envio para a unidade de reciclagem, aplicado ao caso de estudo da Universidade de Aveiro

3.1 Recursos

O estudo teve por base as normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, definidas para a ACV de um determinado produto. A ACV foi concretizada no software OpenLCA (versão 1.10) e suportada pela base de dados Ecoinvent (versão 3.9.1 – Cutoff LCI).

3.2 Inventário de Ciclo de Vida

A análise de inventário inclui a introdução de fluxos físicos como matérias-primas, materiais, energia, transporte, produtos, semi-produtos, emissões e produtos-resíduos, baseados no modelo *gate-to-gate*. A informação secundária, como é o caso da deposição de resíduos de embalagens de PET e de alumínio em aterro, foram utilizados processos da base de dados Ecoinvent.

3.3 Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida

A metodologia de avaliação de impacte aplicada foi CML (baseline – versão 4.4, janeiro 201). Esta metodologia é amplamente utilizada por múltiplas empresas, devido à sua robustez e consistência em estudos prévios (Roche et al., 2023). Considerando o principal objetivo do estudo, as categorias de impacte em análise selecionadas foram o potencial de acidificação (AP), o potencial de aquecimento global (GWP 100), os potenciais de esgotamento de recursos abióticos naturais (ADP (naturais)) e fósseis (ADP (fósseis)) e potencial de eutrofização (EP).

4 Resultados

4.1 Análise de impacte do ciclo de vida dos cenários 1 e 2

Nas figuras 2 e 3 estão representados os valores resultantes da análise de impacte do ciclo de vida (AICV) para as embalagens de bebida de PET e de alumínio, respetivamente, aplicados aos cenários 1 e 2. O tratamento de resultados tem por base a definição de processos, com o propósito de identificar o fator com maior influência nas categorias de impacte. Para o efeito, foram definidos os processos MVR (inclui a produção, utilização e fim-de-vida das MVR), PR (inclui os consumos energéticos e de transporte associados ao SGIR nos campi da UA), transporte de resíduos até às unidades de tratamento (unidades de triagem e de TMB), consumo energético das unidades de tratamento (unidades de triagem e TMB) e a rejeição dos resíduos em aterro. Para o estudo da ACV foi determinada, para cada processo, a respetiva fração relativa para cada categoria de impacte, para os cenários 1 e 2.

Com base na AICV realizada para o fluxo de resíduos de embalagens de PET (figura 2), a implementação do SDR na UA para uma taxa de retorno de 40%, (cenário 2) permitiu reduzir as categorias de impacte AP, GWP100, ADP (fósseis) e EP, em -44%, -73%, -53% e -85%, respetivamente. Estes resultados validam a eficiência da implementação do SDR, uma vez que promove a criação de um fluxo de resíduos de embalagens de PET limpo (não contaminado por outros resíduos) e direto para unidades de reciclagem. Este novo fluxo, por ter reduzidas necessidades de triagem e tratamento, motiva o decréscimo acentuado do impacte ambiental dos processos, nomeadamente, a diminuição dos consumos energéticos em unidades de triagem e de TMB e decréscimo da quantidade de rejeitados depositados em aterro. Paralelamente, a implementação do SDR gerou o aumento da categoria de impacte ADP (naturais) em cerca de +100%. O aumento do impacte associado ao esgotamento de recursos abióticos naturais surge no âmbito do processo de produção de MVR, que integra a extração e processamento de matérias-primas/recursos virgens. É importante salientar que na presente ACV não foi considerada a criação das unidades de tratamento e triagem de resíduos e produção dos respetivas máquinas e equipamentos, ao contrário do SDR o qual integrou a produção das MVR. Portanto, estes resultados estão de acordo com o esperado, não obstante é possível reduzir o impacto da produção das MVR aumentando o seu tempo de vida útil, mediante manutenção e limpeza adequada (RVM Systems, 2023).

Na AICV aplicada ao fluxo dos resíduos de embalagem de bebida de alumínio (figura 3) observou-se o aumento das categorias de impacte com a implementação do SDR para uma taxa de retorno de 40% (cenário 2). Apesar disso, na transição do cenário 1 para o 2 foi possível verificar a redução das categorias de impacte para os processos de rejeição de resíduos em

aterro e de consumos energéticos nas unidades de tratamento. Por exemplo, para a categoria ADP (fósseis) verificou-se uma redução de até -31% e -22%, para a deposição em aterro e para o consumo energético em unidades de tratamento, respetivamente. Como representado na figura 3, o acréscimo de impacto no cenário 2 está diretamente relacionado com a produção e utilização das MVR, constituindo 70% a 100% do impacto ambiental total do cenário 2, para o fluxo do alumínio. Este aumento de impacto é consequência da baixa massa volúmica das embalagens de alumínio, ou seja, o número (107562) de latas de alumínio adquiridas nos pontos de venda dos campi e polos da UA representa uma massa pequena e francamente menor que a massa das 137979 embalagens de PET, não permitindo usufruir da mesma rentabilidade de uso das MVR para os dois tipos de material (PET e alumínio). Atendendo ao facto que a UF da presente ACV é 1 tonelada de resíduos de embalagem encaminhada para reciclagem, prevê-se que seja possível reduzir o impacto da geração do equipamento mediante o aumento da quantidade de embalagens de alumínio depositadas. Portanto, tirando partido do máximo de capacidade das MVR é possível beneficiar do conceito de “economia de escala”, numa perspetiva de sustentabilidade ambiental e social do projeto.

À parte do processo de produção, utilização e fim-de-vida das MVR, embora a AICV para os fluxos de embalagens de PET e de alumínio apresentem tendências semelhantes, aquando da implementação do SDR, não é adequado fazer a comparação direta dos fluxos. Isto porque trata-se de dois materiais com propriedades físicas e químicas diferentes, para as quais serão afetados tratamentos, consumos de energia e de transporte distintos.

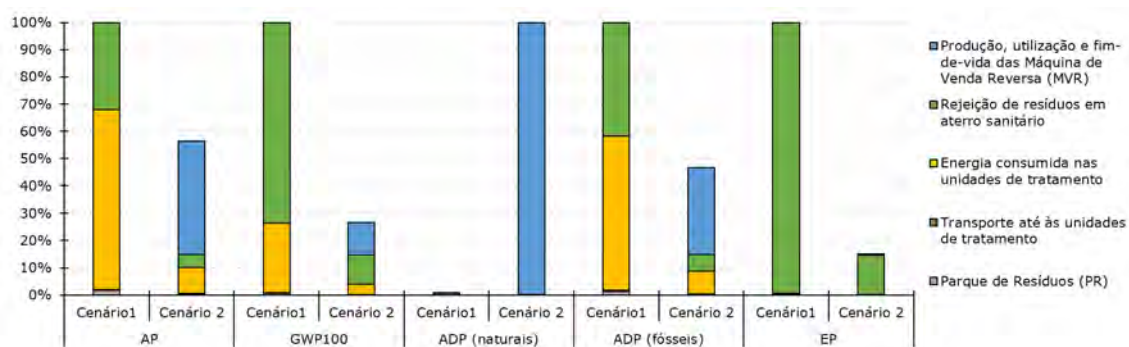


Figura 2. Análise relativa das categorias de impacto para os cenários 1 e 2, para uma taxa de deposição de embalagens de PET em MVR de 40% (Cenário 2), para os campi e os polos de ensino (ESAN e ESTGA) da UA

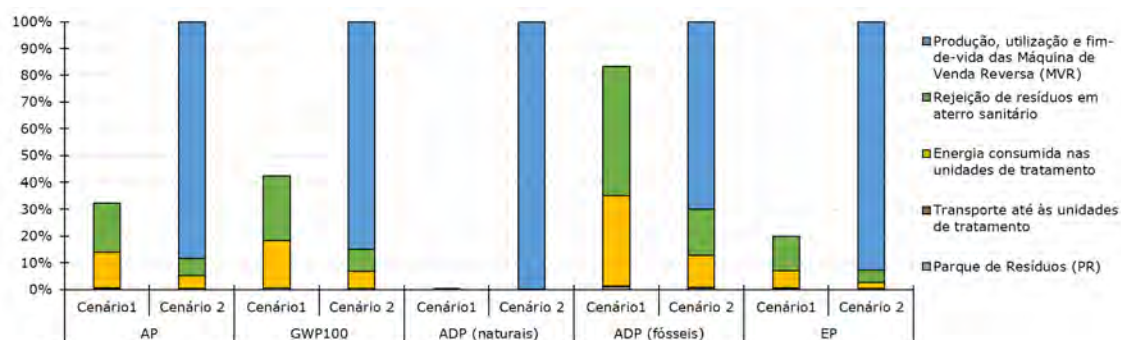


Figura 3. Análise relativa das categorias de impacto para os cenários 1 e 2, para uma taxa de deposição de embalagens de alumínio em MVR de 40% (Cenário 2), para os campi e os polos de ensino (ESAN e ESTGA) da UA

4.2 AICV do cenário 2 otimista

Considerando o impacto da taxa de retorno, apontada como crucial na secção 5.1, denotado foi realizada uma análise relativa da otimização do SDR. Esta análise, representada na figura 4, viabiliza a avaliação do desempenho ambiental do SDR para uma taxa de depósito de embalagens em MVR de 80%. Esta conjectura foi aplicada ao cenário 2 para o fluxo de embalagens de PET.

Os resultados obtidos permitiram comprovar a redução de impacto para 50%, 38%, 51%, 46% e 21% das categorias de impacto AP, GWP100, ADP (naturais), ADP (fósseis) e EP, respetivamente. Esta dedução adveio do aumento do número de embalagens de PET depositadas nas MVR, enviadas diretamente para unidades de reciclagem, e da consequente redução da quantidade de resíduos gerados com necessidades de tratamento (triagem e TMB) e de rejeitados em aterro. Portanto, assim como previsto na secção 5.1 o aumento da taxa de deposição de embalagens em MVR promove a melhoria do desempenho ambiental deste SDR, ressaltando a redução de impacto associada à produção dos equipamentos.

Este sistema representa uma mais-valia no âmbito da valorização destas embalagens, proporcionando reduções de impacto associadas seu tratamento de pré-reciclagem. A implementação do SDR aliada ao aumento da taxa de deposição de embalagens demonstrou uma melhoria significativa do seu desempenho ambiental. Contudo, este progresso tem agregado uma componente social muito forte, que exige um intenso trabalho de sensibilização ambiental (3drivers & APA, 2018). É, portanto, fundamental o investimento neste domínio tanto na divulgação das funcionalidades e vantagens deste sistema, como no incentivo à adoção do SDR, considerando a sua integração na gestão e valorização de resíduos e contribuição no cumprimento das metas nacionais e europeias para a reciclagem.

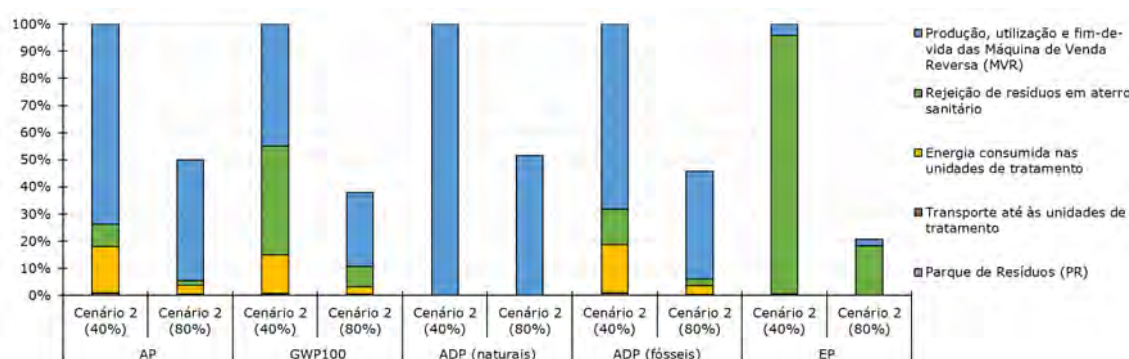


Figura 4. Análise relativa das categorias de impacto para a otimização do cenário 2, com inclusão de um SDR, comparando as taxas de 40% e 80% para deposição de embalagens em MVR. Análise aplicada a garrafas de PET, para os campi e os polos de ensino (ESAN e ESTGA) da UA.

4.3 Análise de Sensibilidade

Com o propósito de avaliar o impacto das distâncias, afetas aos trajetos para transporte de resíduos até à unidade de tratamento, no desempenho ambiental do sistema, foi realizada uma análise de sensibilidade ao processo de transporte. No entanto, por se tratar de viagens dentro do mesmo distrito, foram verificadas variações inferiores a 1% para as categorias de impacto em análise, para os campi e polos de ensino da UA.

5 Conclusão

A implementação do SDR surge no âmbito da valorização de resíduos de embalagens com o propósito de sensibilizar e incentivar a separação de resíduos e, consequentemente, aumentar a quantidade e a qualidade do material reciclável. O sistema consiste na recolha unimaterial e

limpa (sem contaminações) e teve como mote a redução do impacto do tratamento do material, a redução da quantidade de refugo resultante do tratamento e o aumento da quantidade e qualidade de material encaminhado para reciclagem. O presente estudo teve lugar no âmbito do projeto REAP, com vista na análise do desempenho ambiental da implementação do SDR com uma taxa de deposição de 40% nos campi e polos (ESAN e ESTGA) da Universidade de Aveiro, para os fluxos de embalagens de PET e de alumínio.

A ACV realizada para as embalagens de PET permitiu concluir que a implementação do SDR permite reduzir o impacto ambiental do sistema de recolha e tratamento deste fluxo de resíduos de embalagens. Estes resultados são reflexo do decréscimo da produção de resíduos de embalagem com elevadas necessidades de tratamento (triagem e TMB), e da redução da quantidade de resíduos de embalagem depositados em aterro. No entanto, a produção de MVR, necessária à implementação do sistema de incentivo, expressou aumento da categoria de impacto de ADP (naturais) em cerca de +100%.

Na AICV elaborada para embalagens de alumínio, apesar da redução do impacto relativo ao tratamento e deposição de resíduos, destacou-se o aumento do impacto ambiental com a implementação do SDR, também associado à produção da MVR. Estes resultados veem alertar para a dependência da eficiência do sistema na rentabilizando a sua utilização, bem como, da importância de prolongar o tempo de vida útil das MVR, aumentando o seu tempo de vida útil, por meio de uma manutenção e limpeza adequadas.

Com base nos resultados obtidos e conclusões retiradas, foi analisada a influência do aumento da taxa de deposição, aplicado ao cenário 2 para o fluxo de embalagens de PET. Para o efeito, foram recalculadas as categorias de impacto para uma taxa de retorno de 80%, os resultados foram comparados com o cenário 2 (para uma taxa de retorno de 40%). Para esta circunstância verificou-se uma significativa redução de impacto, em grande parte associado à melhoria do desempenho ambiental do processo de produção da MVR (relativizado à quantidade de embalagens depositadas).

À parte dos resultados, é importante realçar que a taxa de deposição é uma varável de componente social, portanto o seu crescimento é essencial e dependente do investimento na sensibilização ambiental e no reforço de incentivos e enquadramento legal do SDR.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro por meio do Programa Ambiental do Mecanismo Financeiro plurianual (EEA Grants), estabelecido no âmbito do Acordo de Espaço Económico Europeu.

Referências

- 3drivers, & APA. (2018). Análise do Mercado de Embalagens: Relatório Final. https://www.apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/FluxosEspecificosResiduos/ERE/Relat%C3%B3rio%20Final_An%C3%A1lise_Mercado_Embalagens_22022019_0.pdf
- Brizga, J., Ulme, J., and Larsson, A. (2024). Impact of the Implementation of the Deposit Refund System on Coastal Littering in Latvia. *Sustainability*, Vol. 16, Page 6922, vol. 16, no. 16, p. 6922, Aug. 2024, doi: 10.3390/SU16166922
- Castro, A., Gomes, A., Correia, A., Ribeiro, H., and Queirós, A. (2023). Reimbursement of aluminum and PET packaging project at a University Campus: a case study. *Proceedings of CEST2023-International Conference on Environmental Science and Technology*, doi: 10.30955/gnc2023.00116

- Dahlbo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O., & Anderson, R. (2018). Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. *Waste Management*, 71, 52–61. doi: 10.1016/J.WASMAN.2017.10.033
- Görgün, E., Adsal, K. A., Misir, A., Aydin, E. V., Ergün, Ç. E., Keskin, N., Acar, A., & Ergenekon, Ş. (2021). Deposit refund system for beverage containers as a best practice example for recycling maximization. *Environmental Research and Technology*, 4(3), 199–205. doi: 10.35208/ERT.862611
- Jadayil, W.A.; Aqil, E. (2023). Building a Deposit–Refund System (DRS) for Closed-Loop Recycling of Water Bottles in the United Arab Emirates. *Recycling*, 8, 76. doi: 10.3390/recycling8050076
- Malindzakova, M., Štofková, J., & Majernik, M. (2022). Economic–Environmental Performance of Reverse Logistics of Disposable Beverage Packaging. *Sustainability* (Switzerland), 14(13). doi: 10.3390/SU14137544
- Razis A. and Anastassakis, G. (2023). Establishment of deposit refund system in Greece for PET bottles: Economic analysis, benefits and impacts. *Reciklaza i održivi razvoj*, vol. 16, no. 1, pp. 51–66. doi: 10.5937/ROR2301051R
- RELOOP. (2022). Global Deposit Book 2022 - An Overview of Deposit Return Systems for Single-Use Beverage Containers. <https://www.reloopplatform.org/global-deposit-book-2022/>
- Roche, L., Muhl, M., & Finkbeiner, M. (2023). Cradle-to-gate life cycle assessment of iodine production from caliche ore in Chile. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28, 1132–1141. doi:10.1007/s11367-023-02200-x
- RVM Systems (2023). Explore our machines. <https://rvmsystems.com/>
- UNEP. (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution, United Nations Environment Programme (UNEP). <https://www.unep.org/>
- Van Eygen, E., Laner, D., & Fellner, J. (2018). Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria. *Waste Management*, 72, 55–64. doi: 10.1016/j.wasman.2017.11.040
- Zhou, K., Liu, Q., Feng, J., Chang, T., and Liu, J. (2023). Comprehensive environmental performance of bottle-to-bottle recycling of PET bottles based on deposit-refund system in China. *Waste Management*, vol. 172, pp. 90–100, doi: 10.1016/J.WASMAN.2023.10.018
- Zia, H., Jawaid, M. U., Fatima, H. S., Hassan, I. U., Hussain, A., Shahzad, S., & Khurram, M. (2022). Plastic Waste Management through the Development of a Low Cost and Light Weight Deep Learning Based Reverse Vending Machine. *Recycling*, 7(5). doi: 10.3390/RECYCLING7050070