

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

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

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

^aDepartamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

RESUMO

O sistema de depósito e reembolso (SDR) surge no contexto da valorização de resíduos de embalagens, tratando-se de um método para redução de impacto associado à sua reciclagem. O presente estudo, realizado no âmbito do projeto REAP - *Reciclagem e Reembolso de Embalagens de alumínio e de PET - sistema piloto*, visou a análise de desempenho ambiental da implementação de um SDR na Universidade de Aveiro, para embalagens de polietileno tereftalato (PET) e de alumínio, assumindo uma taxa de devolução de 40% verificada para um ano de funcionamento. A avaliação do ciclo de vida foi realizada com recurso ao *software OpenLCA* e à base de dados *Ecoinvent*, para as categorias de impacto, do método *CML*: aquecimento global, acidificação, esgotamento de recursos naturais e fósseis e eutrofização. A implementação do SDR para o fluxo de embalagens de PET promoveu a redução de impacto entre 44% e 85%, para as categorias em análise, com exceção do potencial de escassez de recursos naturais. Não obstante, a redução de impacto tanto maior quanto mais elevada a taxa de deposição de embalagens, no SDR, aponta para a relevância do investimento na sensibilização ambiental, tendo em vista o máximo de participação neste sistema.

Palavras-Chave – Sistema de Depósito e Reembolso; Avaliação de Ciclo de Vida; garrafas PET; latas de alumínio; Máquinas de Venda reversa.

ABSTRACT

The refund-deposit system (RDS) arises in the context of packaging waste valorisation, being a method to reduce its recycling process impact. This study, performed at the REAP project – *Recycling and Refund of aluminium and PET packaging – pilot system* framework, intent to assess the environmental performance of the RDS implementation, at the University of Aveiro, for polyethylene terephthalate (PET) and aluminium packaging, for a devolution rate of 40%, met during a year of operation. The life cycle assessment was performed on *OpenLCA* and on *Ecoinvent* database, for the *CML* method impact categories: global warning, acidification, natural and fossil resources depletion and eutrophication. The RDS implementation for the PET packaging flow promoted the impact reduction between 44% and 85%, for the impact categories in analysis, except for the potential of natural resources depletion. Nonetheless, the higher the deposit rates, the greater the reduction of environmental impact, pointing out the investment relevance on environmental sensitization, to reach the maximum participation in this system.

* *Autor para correspondência. Corresponding author.*
E-mail: jessica.moura@ua.pt (Eng.)

Keywords – Refund-Deposit System; Life Cycle Assessment; PET bottles; aluminium cans; Reverse Vending Machine.

1 DESTAQUES

A implementação do SDR permitiu reduzir o impacto ambiental do sistema de gestão de resíduos, para o fluxo embalagens de PET. O estudo demonstrou ainda que o aumento da taxa de deposição de embalagens promove a diminuição de impacto associado à produção das MVR.

2 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), por intermédio da utilização de máquinas de venda reversa (MVR), tem originado um retorno positivo na reciclagem destes materiais, registando taxas de deposição de embalagens superiores a 80% (RELOOP, 2022; Zia et al., 2022).

Em 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 nº152-D/2017, relativo ao Regime Unificado dos Fluxos Específicos de Resíduos.

Ainda que a implementação deste sistema apresente alguma maturidade em outros países, o SDR é um tema com limitada análise científica disponível. O projeto REAP – *Reciclagem e Reembolso de Embalagens de alumínio e PET – sistema piloto*, promovido pela Universidade de Aveiro para os seus campi e polos de ensino, surgiu no âmbito do enquadramento legal nacional (Lei n.º 69/2018). O projeto REAP 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.

No âmbito deste projeto, o presente estudo tem como objetivo realizar a análise do desempenho ambiental da implementação do SDR, para garrafas de PET e para latas de alumínio, nos 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).

3 OBJETIVO

Considerando a sua integração no projeto REAP, o presente estudo pretende avaliar o desempenho ambiental da implementação de um SDR, no âmbito do Sistema de Gestão Integrada de Resíduos (SGIR) implementado nos campi da UA, por meio de uma análise de ciclo de vida (ACV).

4 METODOLOGIA

O estudo comportou uma ACV do sistema de recolha e tratamento dos resíduos produzidos na UA, por tonelada de resíduo de embalagem encaminhado para reciclagem. Para tal, foram definidas as seguintes etapas:

- Definição e análise relativa de dois sistemas de recolha (cenários 1 e 2) nos campi e polos de ensino da UA, para embalagens de PET e de alumínio:

Cenário 1. Sistema de gestão resíduos já existente na UA. Inclui o SGIR implementado nos campi da UA;

Cenário 2. Implementação do SDR para uma taxa de deposição de embalagens de 40%. Para desenvolvimento deste cenário é adicionado o SDR ao anterior cenário 1, mantendo o seu processo de funcionamento.

- Análise relativa do desempenho ambiental do cenário 2 para uma taxa de deposição de embalagens de PET de 80%, aplicada aos campi e polos de ensino da UA.

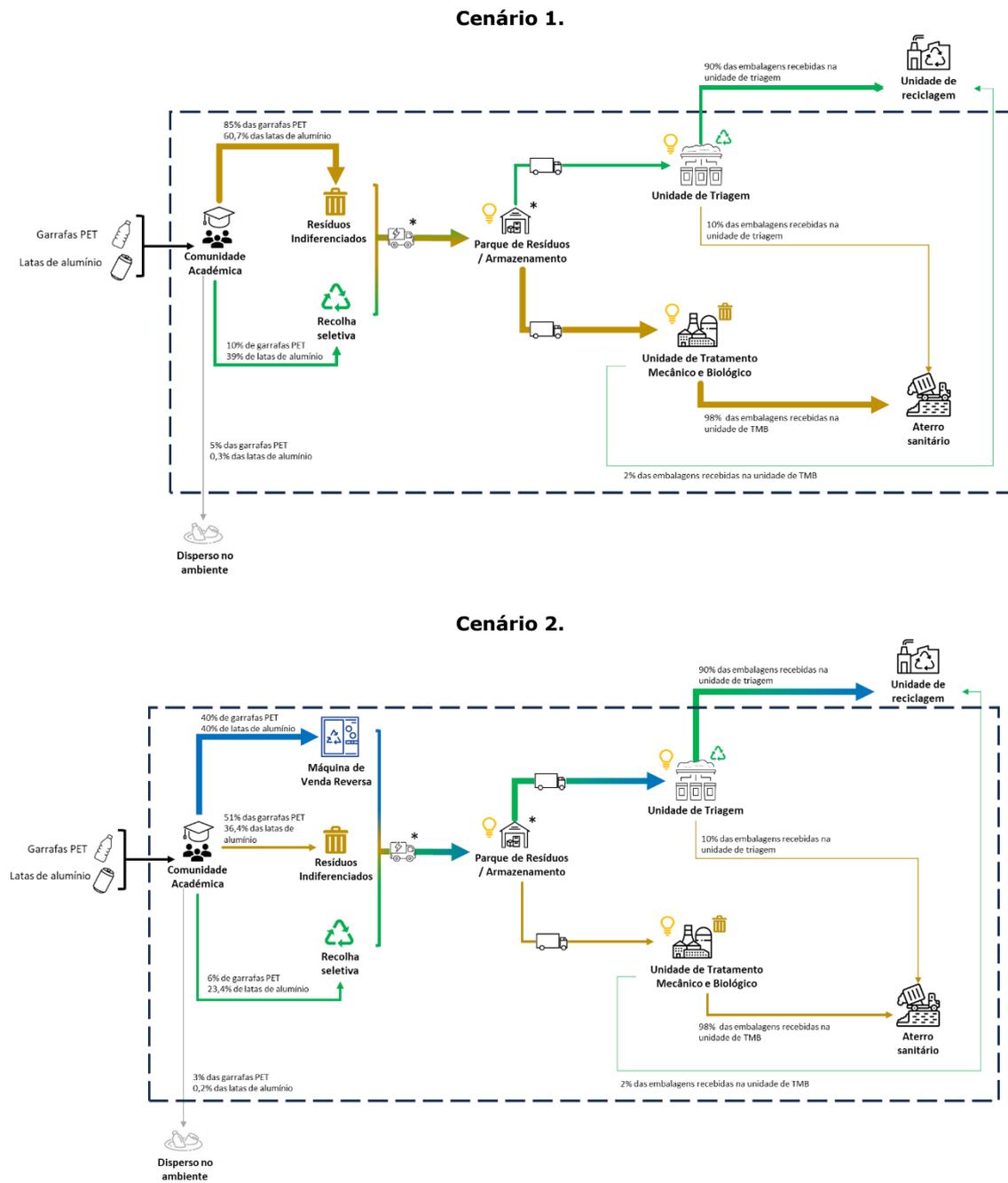
O estudo foi direcionado para a análise do fluxo de garrafas de PET e de latas de alumínio, no qual os resíduos de embalagens encaminhadas para reciclagem foram definidos como produto do sistema. As entradas e saídas consideradas para análise dos sistemas foram determinadas em função da unidade funcional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

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 do 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 A 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 prontas para receber embalagens de PET e latas de alumínio. 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. 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.

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 para o ano de 2019).



Legenda

- Eletricidade – um fluxo de entrada
- Transporte elétrico (transporte utilizado no Campus Universitário)
- Transporte de resíduos para tratamento/triagem

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: Universidade de Aveiro. Cenário 1 - Cenário base, o qual integra dois fluxos de recolha de resíduos (indiferenciados e seletivos) e um SGIR implementado nos campi; Cenário 2 - Implementação do SDR ao cenário base (Cenário 1). Os ícones identificados com o símbolo "*" pretendem identificar fluxos/processos associados apenas ao SGIR dos campi da UA.

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.

4.1 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).

4.2 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*.

4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

A metodologia de avaliação de impacto 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 impacto 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).

5 Resultados

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

A análise relativa dos cenários em estudo para as embalagens de PET e de alumínio nos campi e polos de ensino da UA estão ilustradas nas figuras 2 e 3, respetivamente. A análise envolve o estudo dos processos: MVR (incluindo a produção, a utilização e o fim-de-vida das MVR), PR (considerados consumos energético e de transporte associados ao SGIR nos campi), transporte de resíduos até às unidades de tratamento (de triagem e de TMB), consumos energéticos (nas unidades de triagem e TMB) e a rejeição dos resíduos em aterro sanitário. Para o estudo da ACV determinou-se a fração relativa de cada processo para cada categoria de impacto, para os cenários 1 e 2.

Com base na análise de impacte do ciclo de vida (AICV), no cenário 2 para o fluxo de embalagens de PET (figura 2) verificou-se a redução das categorias de impacte AP, GWP100, ADP (fósseis) e EP, em -44%, -73%, -53% e -85%, respetivamente. Esta diminuição de impacte advém da redução na produção de resíduos com necessidades de tratamento. Ou seja, a implementação do SDR instigou a criação de um fluxo direto e limpo (sem contaminantes) de resíduos de embalagens para unidades de reciclagem. Desta forma, ocorre a redução dos consumos energéticos em unidades de triagem e de TMB, bem como o decréscimo da quantidade de rejeitados depositados em aterro. Não obstante, destaca-se o aumento da categoria de impacte ADP (naturais) de 0,00013 kg Sb/UF para 0,016 kg Sb/UF, no mesmo fluxo, considerando a implementação do SDR. Este aumento no esgotamento de recursos abióticos naturais é consequência do processo de produção de MVR, o qual integra processos de extração de matérias-primas/recursos virgens. Ainda assim, é possível reduzir

este impacto ampliando o tempo de vida útil do equipamento, mediante manutenção e limpeza adequada dos equipamentos (segundo RVM Systems), e aumentado a quantidade de embalagens depositadas nas MVR. Denota-se que não foram considerados os impactos associados à alocação dos resíduos de embalagem, da UA, nos equipamentos das unidades de triagem, de TMB e aterro. A integração desta alocação poderia atenuar as diferenças de impacto observadas entre cenários, relativamente aos equipamentos.

Divergente ao observado na figura 2, com base na AICV referente o fluxo de embalagens de alumínio (figura 3) observou-se o aumento das categorias de impacto com a transição para o cenário 2, embora os processos de rejeição de resíduos em aterro e de consumos energéticos nas unidades de tratamento (triagem e TMB) tenham diminuído o seu impacto. 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. O acréscimo de impacto no cenário 2 está diretamente relacionado com a produção e utilização das MVR, representando entre 70% e 100% do impacto total, das categorias de impacto. O aumento de impacto anexo à implementação do SDR é resultante da transação e da deposição de uma quantidade mássica inferior de embalagens de alumínio, comparativamente ao fluxo de embalagens de PET. Por outras palavras, dada a relação entre a quantidade de embalagens depositadas e a produção das MVR, prevê-se que seja possível reduzir o impacto da geração do equipamento (MVR) aumentando a taxa de utilização das MVR, através da extensão do alcance social deste sistema. 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.

Mais se acrescenta que de acordo com Perugini F. et al. (2005), o processo de reciclagem de resíduos de plástico, obtidos a partir da recolha seletiva e indiferenciada, consome 3,48kg de água para produção de 1kg de PET reciclado. Porém, dada a produção de resíduos de embalagem limpos (sem contaminantes), aquando da implementação do SDR, o seu processo de reciclagem exigirá consumos inferiores de água e de energia, tanto em unidades de tratamento (triagem e TMB) como em unidades de reciclagem. Para além do mais, a utilização de MVR permite a compactação das embalagens, reduzindo o seu volume em cerca de 90% (Jadayil et al., 2023), diminuindo os impactos (ambientais e económicos) associados ao transporte destes resíduos até às unidades de tratamento.

Ademais, ainda que a AICV para os fluxos de embalagens de PET e de alumínio apresentassem 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 química diferentes, para as quais serão afetados tratamentos e consumos de energia e de transporte distintos.

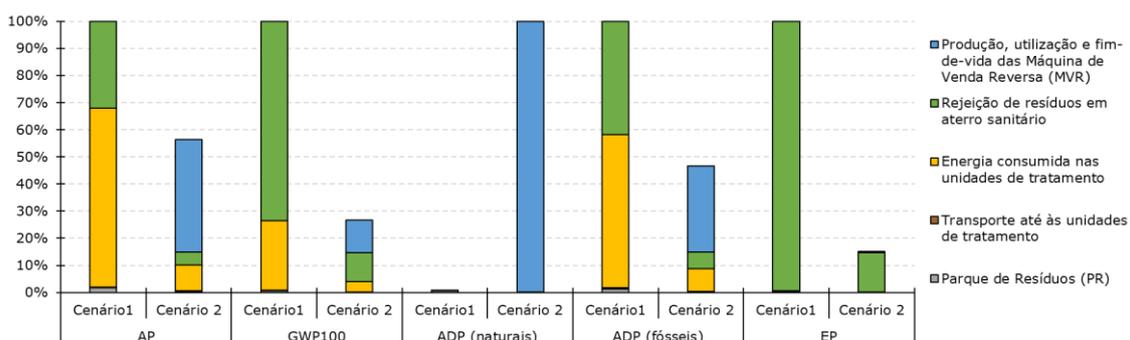


Figura 2. Análise relativa das categorias de impacto para os cenários 1 e 2, para uma taxa de deposição de embalagens de PET em MVR de 40% (Cenário 2), para os campi e os polos de ensino (ESAN e ESTGA) da UA.

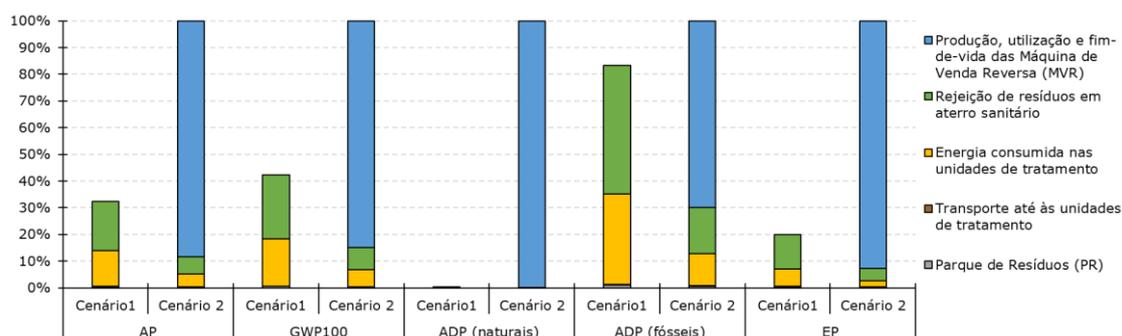


Figura 3. Análise relativa das categorias de impacto para os cenários 1 e 2, para uma taxa de deposição de embalagens de alumínio em MVR de 40% (Cenário 2), para os campi e os polos de ensino (ESAN e ESTGA) da UA.

5.2 AICV do cenário 2 otimista

Numa perspetiva de melhorar o impacto ambiental das MVR, e considerando as taxas de deposição de embalagens ponderadas em outros países europeus (RELOOP, 2022), 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 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 predito 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.

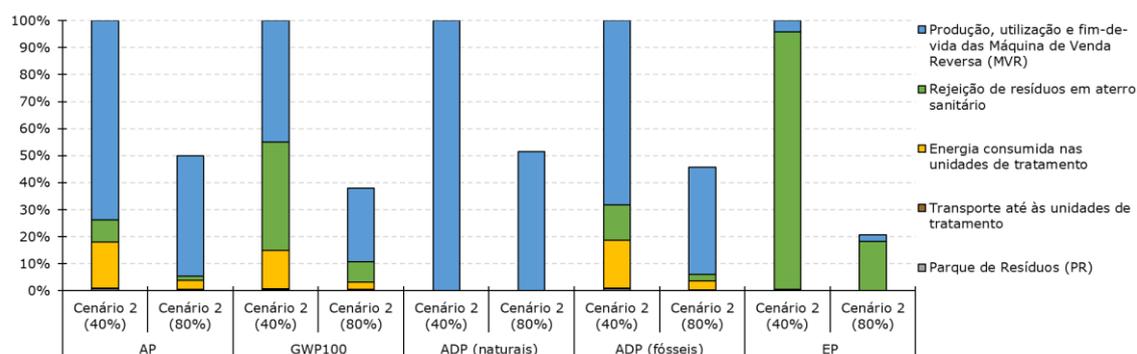


Figura 4. Análise relativa das categorias de impacto para a otimização do cenário 2, com inclusão de um SDR, comparando as taxas de 40% e 80% para deposição de embalagens em MVR. Análise aplicada a garrafas de PET, para os campi e os polos de ensino (ESAN e ESTGA) da UA.

5.3 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.

6 CONCLUSÃO

A implementação do SDR surge no âmbito da valorização de resíduos de embalagens tendo em vista a sensibilização e incentivo para a separação de resíduos e consequentemente o aumento da quantidade e da qualidade da matéria reciclável. A separação é realizada por depósito, de forma que a recolha seja unimaterial e limpa (sem contaminações), reduzindo o impacto associado ao subsequente processo de 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 para a integração do SDR, do fluxo de embalagens de PET, permitiu validar um bom desempenho ambiental, alicerçado ao decréscimo da produção de resíduos de embalagem com necessidades de tratamento em unidades de triagem e TMB, e à redução da quantidade de resíduos de embalagem depositados em aterro. Contudo, a produção de MVR registou um aumento da categoria de impacto de ADP (naturais) em +0,015 kg Sb/UF, em consequência dos processos de extração de matérias-primas virgens para produção destes equipamentos. Por meio da AICV realizada ao cenário 1 e 2 para o fluxo de embalagens de alumínio foi possível verificar a redução do impacto associados às unidades de tratamento e da rejeição em aterro sanitário. No entanto, em sequência do elevado impacto associado à produção da MVR, esta análise veio alertar para a importância da utilização assídua dos equipamentos com vista na redução do impacto agregado ao seu processo de construção. Simultaneamente, é possível reduzir o impacto da produção das MVR aumentando o seu tempo de vida útil, por meio de uma manutenção e limpeza adequadas. Para além do mais, a utilização das MVR alinhada com o SDR, contribui para a recolha de resíduos de embalagens limpos e compactados, permitindo a redução dos consumos de água e de transporte. Estas propriedades materiais induzem o decréscimo das emissões de efluentes líquidos (associadas à limpeza do material durante o processo de reciclagem) e de poluentes atmosféricos (associados ao transporte até às unidades de tratamento).

Tendo em vista os resultados obtidos e as colusões retiradas, foi realizada a AICV do cenário 2 para embalagens de PET, considerando uma taxa de deposição de 80%. 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). No entanto, o aumento de taxa de deposição é um aspeto social, para o qual é essencial o investimento na sensibilização ambiental da academia e o reforço no incentivo para a implementação do SDR.

5. AUTORIZAÇÕES E DIREITOS DE AUTOR

Os autores autorizam a divulgação e/ou publicação da presente comunicação.

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
- Castro A, Gomes, A. P., Correia A C, Ribeiro M H, & Queirós A. (2023). Reimbursement of aluminum and PET packaging project at a University Campus: a case study. <https://doi.org/https://doi.org/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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.35208/ERT.862611>
- Jadayil, W.A.; Aqil, E. Building a Deposit–Refund System (DRS) for Closed-Loop Recycling of Water Bottles in the United Arab Emirates. *Recycling* 2023, 8, 76. <https://doi.org/10.3390/recycling8050076>
- Malindzakova, M., Štofková, J., & Majernik, M. (2022). Economic–Environmental Performance of Reverse Logistics of Disposable Beverage Packaging. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/SU14137544>
- Perugini, F., Mastellone, M.L. and Arena, U. (2005), A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environ. Prog.*, 24: 137-154. <https://doi.org/10.1002/ep.10078>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02200-x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.040>
- 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). <https://doi.org/10.3390/RECYCLING7050070>