

## PROPOSTA DE MODELO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DESMONTAGEM NÃO DESTRUTIVA PARA A LOGÍSTICA REVERSA

Xavier, L.H. (\*); Bicov, N.<sup>2</sup>; Freitas, E.<sup>3</sup>

\* Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI, e-mail: [lxavier@cetem.gov.br](mailto:lxavier@cetem.gov.br)

### RESUMO

A exploração dos recursos naturais, segundo o conceito da economia linear, tem resultado no comprometimento e esgotamento das reservas naturais, geração de resíduos e impacto ambiental. Assim, a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a logística reversa é proposta como uma ferramenta sócio-econômica para a efetivação da gestão de resíduos no Brasil. Em uma esfera mais ampla, a proposta de reinserção de produtos e materiais nas cadeias produtivas, segundo o conceito da Economia Circular, possibilita a otimização dos recursos naturais em razão: do reuso dos produtos e materiais (prolongamento da vida útil). Uma das principais premissas da Economia circular consiste no incentivo ao reuso dos produtos, prolongando ao máximo sua vida útil, inibindo o consumismo e incentivando a redução do consumo dos recursos naturais para produção de novos produtos. Com base nesse entendimento, a reutilização tanto de bens acabados quanto peças, partes e componentes torna-se uma necessidade que demanda o planejamento de sistemas de logística reversa (SLR). Entretanto, os produtos disponíveis no mercado não foram produzidos de forma a considerar a viabilidade da desmontagem. Por isso, a busca de eficiência para a desmontagem não destrutiva, ou seja, aquela na qual se busca preservar a integridade de peças, partes, componentes e materiais, consiste em uma importante proposta com vistas a aumentar a eficiência da logística reversa e, da mesma forma, contribuir para o uso sustentável dos recursos.

**Palavras-Chaves:** Logística reversa, Desmontagem, Resíduos sólidos e Economia circular.

### INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é uma atividade que exige a atuação multidisciplinar e integrada para se atender as demandas apresentadas por meio de regulamentações específicas. O Brasil possui uma regulamentação estruturada para a gestão de resíduos por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que é composta pela Lei nº 12.305 de 2010 e o Decreto nº 7.404 de 2010 (BRASILa, 2010; BRASILb, 2010).

Tal política foi inovadora ao propor a responsabilidade compartilhada e a primeira da categoria na América Latina e serviu de modelo para vários países latinoamericanos. Outra inovação desta regulamentação foi a obrigatoriedade da implantação dos sistemas de logística reversa (SLR), que representam instrumentos sócio-econômicos e têm como objetivo a gestão eficiente dos resíduos por meio da responsabilidade compartilhada.

De acordo com a PNRS, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida na logística reversa implica na implementação de ações de forma individualizada e encadeada por parte dos agentes responsáveis, ou seja, por parte de representantes do comércio, distribuição, indústria, importadores e consumidores. Cada um desses agentes possui responsabilidades específicas, conforme especificado na regulamentação. Tais determinações, estabelecidas pela PNRS, são apresentadas a seguir.

Os consumidores são responsáveis por destinar de forma adequada os resíduos resultantes do consumo dos produtos, segregando as categorias e dispondo em local adequado ou devolvendo diretamente aos comerciantes. Percebe-se que os consumidores devem ser instruídos quanto aos procedimentos de separação e destinação para que todo o processo seja beneficiado e o grau de incerteza reduzido. Enquanto na logística tradicional há um alto grau de previsibilidade a respeito da disponibilidade dos recursos e tempos dos processos, na logística reversa o grau de incerteza é alto e há baixo nível de previsibilidade, o que impacta o planejamento das ações (AMARO e BARBOSA-PÓVOA, 2009) e, por isso, pode aumentar os custos de processamento.

Os comerciantes, por sua vez, são responsáveis por estabelecer os Postos de Entrega Voluntária (PEVs) ou outras modalidades ou processos de recolhimento dos produtos após o consumo. Verifica-se que no Brasil esta determinação da PNRS vem sendo cumprida gradualmente e se mantido, de modo geral, sob a responsabilidade dos grandes varejistas que, em razão dos volumes negociados, conseguem estabelecer procedimentos para o retorno. Tal determinação também é responsabilidade dos distribuidores, tanto para o caso do comércio varejista como atacadista.

Cabe às indústrias produtoras e aos importadores a responsabilidade efetiva pela implementação dos sistemas de

logística reversa (SLR). Estes agentes são, em última instância, os principais responsáveis pela elaboração, implantação e gestão dos SLR e podem receber produtos pós-consumo tanto dos comerciantes e distribuidores, como também dos consumidores; no entanto, em razão dos baixos volumes e dos custos logísticos de deslocamento, esta última possibilidade não é usual frente as demais.

Os SLR consistem em modelos estruturados para cada classe de materiais e produtos pós-consumo, com vistas a possibilitar a coleta, acondicionamento, transporte, processamento e destinação ambientalmente adequados. As alternativas de reuso, reparo, recondicionamento, remanufatura, manufatura reversa e reciclagem pertencem ao conjunto de ações possíveis na etapa de destinação de produtos pós-consumo na logística reversa.

Assim, a inovação tecnológica pode contribuir efetivamente, por meio de soluções sustentáveis (MIAO et al, 2017). A proposta de reinserção de produtos e materiais nas cadeias produtivas, segundo o conceito da Economia Circular, possibilita a otimização dos recursos naturais em razão: do reuso dos produtos e materiais (prolongamento da vida útil), da valorização de produtos e materiais, do incentivo à inovação sustentável, geração de emprego e renda e benefício econômico pela conformação de cadeias produtivas sustentáveis.

Prolongar a vida útil de produtos é a primeira alternativa a se considerar segundo o conceito de Economia Circular (URBINATI et al, 2017). De acordo com esse conceito, busca-se reduzir a pressão sobre os recursos naturais, inibir o consumismo e incentivar o reuso de produtos e materiais. Este conceito ainda pressupõe o design sustentável que, de forma breve, implica na elaboração de projetos de produtos de modo a viabilizar seu reuso ou reincorporação em processos produtivos sob a forma de matéria-prima secundária.

Para além do reuso, as demais alternativas, inclusive a reciclagem, consistem em técnicas que exigem maior ou menor grau de desmontagem dos produtos com vistas ao reaproveitamento de peças, partes e componentes. A reciclagem, por sua vez, exige a desmontagem ou destruição dos produtos com o objetivo de reaproveitamento de materiais. No entanto, algumas categorias de produtos pós-consumo, permite o reaproveitamento de peças, partes e componentes e, por este motivo, requer procedimentos de desmontagem por meio de técnicas não destrutivas. Este é o caso, por exemplo, de equipamentos automotivos, equipamentos eletroeletrônicos e maquinários de grande porte.

Porém, maior parcela dos produtos disponíveis no mercado não foram produzidos de modo a viabilizar sua desmontagem com a preservação de peças, partes, componentes e materiais. Assim, após a coleta e triagem, a desmontagem não destrutiva é tida como um importante desafio para a efetividade das técnicas de logística reversa.

A partir da PNRS encontra-se regulamentada a exigência da implantação do SLR para sete classes de resíduos prioritários: pneus, lâmpadas, equipamentos eletroeletrônicos, pilhas e baterias, óleo lubrificante e a respectiva embalagem, embalagem de agrotóxico e embalagens em geral. Além destas prioritárias, outras categorias de resíduos devem ser consideradas. Desta forma, o setor de medicamentos encontra-se em processo de discussão para o estabelecimento do acordo setorial neste setor.

Desde a promulgação da regulamentação da PNRS, foram estabelecidos os procedimentos para os respectivos SLR. Dentre os setores prioritários, destacados anteriormente, apenas para a categoria de equipamentos eletroeletrônicos não se chegou a uma solução conciliadora entre os agentes envolvidos. Algumas hipóteses podem ser construídas para tal impasse, tais como: (i) ampla diversidade de atuação das empresas produtoras, importadoras, distribuidoras e comerciantes; (ii) maior parte das empresas que atuam no país são multinacionais e, por isso, a inexistência de representantes com amplo poder de decisão compromete as ações; (iii) as empresas legalizadas têm que conviver e, por vezes, destinar o material que entra no país de forma clandestina; (iv) a variação do valor de mercado para os produtos e materiais pós-consumo e (v) diversidade de categorias de equipamentos no mercado.

A última hipótese sugerida é respaldada pelo conteúdo da Diretiva Européia 2011/19/EU (COMISSÃO EUROPEIA, 2012) que orienta os países europeus sobre a regulamentação da gestão dos resíduos eletroeletrônicos. Na última versão desta diretiva, os equipamentos eletroeletrônicos são classificados em 11 categorias em razão da sua diversidade. No Brasil, não há classificação formal das categorias de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. No entanto, a Associação Brasileira de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (ABINEE) e a Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (ELETROS) sugeriram a classificação industrial desses equipamentos em quatro linhas, desta forma (ABDI, 2013):

- Linha Branca: contempla os grandes eletrodomésticos;
- Linha Marrom: considera os equipamentos de áudio e vídeo;

- Linha Azul: abrange aparelhos portáteis;
- Linha Verde: inclui os equipamentos de informática e celulares.

Conforme pode ser observado, tal classificação possibilita uma classificação simples de quatro categorias. No entanto, não é possível uma segregação em função do potencial de risco, valor de mercado ou ainda das características técnicas dos produtos. Fleischmann et al. (1997) sugerem modelos quantitativos para a logística reversa, e a classificação que é dada de acordo com as seguintes dimensões: motivação para a reutilização, o tipo de itens recuperados, a forma de reutilização, e os atores envolvidos.

A classificação sugerida permite uma melhor compreensão da diversidade de equipamentos, mas não equaciona o impasse entre os agentes responsáveis pela implantação do SLR. Conforme mencionado anteriormente, outra questão que necessita especial atenção é custo de processamento e, em casos específicos, descontaminação na implantação do SLR. Em outras palavras, a diversidade de equipamentos, e materiais empregados em sua fabricação, resulta também em custos diferenciados para as categorias existentes.

Enquanto algumas categorias de produtos pós-consumo têm alto valor de mercado, e fácil separação e reciclabilidade de seus componentes podendo ser comercializados e gerar retorno financeiro, outros produtos possuem custo de armazenagem, transporte e descontaminação e destinação diferenciados e, por isso, resultam em custos para a implantação do SLR. Entende-se, portanto, que a classificação dos equipamentos segundo critérios específicos poderia auxiliar a resolução do impasse neste segmento produtivo, uma vez que viabilizaria a priorização do processamento dos produtos pós-consumo segundo a viabilidade dos processos específicos. Inserido no contexto dos estudos de logística reversa, todos os aspectos têm consequências importantes, que precisam ser analisados, para a concepção de modelos adequados (GUARNIERI, 2016).

O presente trabalho consiste na classificação de categorias de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo a partir da análise dos tempos demandados para a desmontagem e a respectiva classificação de complexidade do processo. Sendo papel da logística em questões de retorno de produtos, reciclagem, reutilização, disposição de resíduos, reparo e manufatura (STOCK, 1998).

## OBJETIVOS

Com o propósito de contribuir com uma ferramenta para a classificação dos produtos eletroeletrônicos pós-consumo e, desta forma, buscar viabilizar a implantação dos SLR, propõe-se um método de avaliação da eficiência de processamento para a logística reversa, tendo-se como base os tempos dedicados à desmontagem não destrutiva de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo.

## METODOLOGIA

No procedimento de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos, também conhecidos como *e-waste* (do inglês, *electronic waste*), é usual a prática de quebra e compactação como forma de se recuperar peças de maior valor de mercado, como as placas de circuito impresso, cobre e alumínio, bem como um modo de reduzir os custos de transporte. No entanto, sabe-se que a quebra de algumas categorias de equipamentos eletroeletrônicos pode resultar em impactos significativos ao meio ambiente e à saúde humana em razão da disponibilização de metais e outras substâncias com potencial de contaminação (MARCHI, 2011).

A opção pelo método não destrutivo tem como base a premissa do reuso, reparo, condicionamento e remanufatura de equipamentos, peças, partes e componentes, bem como minimizar a possibilidade de contaminação do meio ambiente. A opção pela reciclagem é tida como etapa posterior, após se esgotar as alternativas preliminares de reaproveitamento do equipamento, suas peças e partes.

Desta forma, o que se buscou foi a configuração de uma linha de desmontagem, a partir da qual, em um primeiro momento, foi possível a quantificação dos tempos para a desmontagem de diferentes variedades e modelos de equipamentos eletroeletrônicos. Apesar do método ter contemplado diferentes marcas, estes não foram segregados em relação às marcas, pois não houve a possibilidade de se obter amostra de todas as marcas disponíveis no mercado.

Como procedimento metodológico realizou-se a seleção de equipamentos de diferentes marcas e modelos, sendo dois produtos de cada uma das seis categorias analisadas (vide Tabela 1 na próxima sessão). A desmontagem não destrutiva foi realizada por técnicos de informática que lidam tanto com instalação de softwares, quanto manutenção de

equipamentos, ou seja, estão habituados aos procedimentos usuais de manuseio de equipamentos e sistemas de informação, mas não estão familiarizados com procedimentos de desmontagem.

A classificação da eficiência da desmontagem não destrutiva foi definida a partir da premissa de que o tempo de desmontagem dos equipamentos representa um dos principais critérios que pode refletir o grau de complexidade ou de risco envolvidos no manuseio e desmontagem de produtos eletroeletrônicos pós-consumo.

A eficiência do processo de desmontagem de equipamentos eletroeletrônicos, critério avaliado neste artigo, pode ser percebida como o resultado do tempo médio possível de desmontagem ( $T_{med}$ ) em função do tempo mínimo ótimo para a mesma desmontagem ( $T_{min}$ ). Sendo que a eficiência é inversamente proporcional aos tempos verificados, ou seja, quanto menor o tempo, mais eficiente é o processo. Assim, foi proposta a seguinte fórmula para o cálculo da eficiência (Equação 1).

$$\xi = \frac{1}{\frac{T_{med}}{1}} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$\xi$  = Eficiência da desmontagem

$T_{min}$  = Tempo mínimo gasto na desmontagem

$T_{med}$  = Tempo médio gasto na desmontagem

## RESULTADOS

A partir dos resultados verificados para a tomada dos tempos mínimo e máximo para a desmontagem de amostras para as seis categorias de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo analisados, foi calculado tempo médio de desmontagem por média simples. A partir dos valores do tempo mínimo e do tempo médio, aplicado a Equação 1, foi possível a quantificação da eficiência para a desmontagem dos equipamentos (Tabela 1).

**Tabela 1. Classificação da eficiência de desmontagem não destrutiva de equipamentos eletroeletrônicos.**

Equipamento	$T_{min}$ (min)	$T_{max}$ (min)	$T_{med}$ (min)	Variação ( $T_{max}-T_{min}$ )	Eficiência	Classificação
Impressora	7	42	24,5	35	0,29	Ruim
Monitor CRT	18	25	21,5	7	0,84	Bom
Monitor LCD	6	15	10,5	9	0,57	Regular
Gabinete	8	18	13	10	0,62	Regular
Estabilizador	15	22	18,5	7	0,81	Bom
Celular	8	17	12,5	9	0,64	Regular

Conforme apresentado na Tabela 1, as categorias Monitor CRT e Estabilizador apresentaram maior eficiência em relação ao tempo de desmontagem, enquanto impressoras apresentaram maior ineficiência. Os resultados evidenciaram que os diferentes tempos foram invariavelmente registrados para equipamentos de diferentes marcas e/ou modelos. Verificou-se uma similaridade entre os tempos de desmontagem para equipamentos de um mesmo modelo.

Considerando-se os valores obtidos para eficiência como valores equivalentes a percentuais, percebe-se que tanto a variação entre os tempos máximos e mínimos quanto a relação entre os tempos médios e o valor ótimo ( $T_{min}$ ), foram fundamentais para a obtenção do padrão de eficiência. Desta forma, foi possível a classificação nominal em três categorias (Bom, Regular e Ruim), conforme apresentado na Tabela 1.

## CONCLUSÕES

Os resultados observados para os tempos de desmontagem não destrutiva para equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo nesta pequena amostra analisada não devem ser considerados como definitivos. Propõe-se, portanto, a realização de outros ensaios de desmontagem dos equipamentos, a partir do estabelecimento de protocolos de desmontagem e segregação de peças partes e componentes, bem como o registro dos tempos em relação as marcas e modelos. Tal contribuição pode ser útil inclusive para o planejamento do desenho do produto, tendo-se como foco o design sustentável.

A proposta do trabalho foi sugerir uma ferramenta para a classificação dos resíduos em relação ao tempo de desmontagem, sendo que este tempo pode denotar maior complexidade da atividade e, eventualmente, maior risco. Não foram estabelecidos procedimentos para avaliação do risco, mas o tempo de desmontagem pode vir a considerar, como fator de ponderação o risco envolvido no procedimento de desmontagem.

A eficiência do processo, para este trabalho, foi avaliada em razão do tempo de desmontagem. No entanto, trabalhos futuros podem aprofundar a abordagem avaliando outros critérios como o grau de segregação de peças, partes e componentes ou o risco inerente ao manuseio. A inclusão de variáveis mais complexas como: peso do equipamento, composição, distância do reciclador, treinamento e valor agregado, dependem primordialmente das conclusões e comprovações desta etapa do trabalho.

Assim, a maior contribuição consiste na classificação da eficiência, a análise em relação as características das categorias de eletroeletrônicos e, desta forma, fornecer subsídio para a efetivação dos SLR para os eletroeletrônicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDI, 2013. Disponível em: [http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1416934886.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1416934886.pdf). Acesso em setembro de 2017.
2. Amaro, A.C.C. e Barbosa-Póvoa, A.P.F.D. (2009). The effect of uncertainty on the optimal closed-loop supply chain planning under different partnerships structure. *Computers & Chemical Engineering* 33(12), 2144-2158.
3. Araújo, M., Magrini, A., Mahler, C.F., Bilitewsky, B., 2012. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, Vol, 32, 2. Pp. 335-342.
4. BRASILa. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: agosto de 2017.
5. BRASILb. Decreto Nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm) Acesso em: agosto de 2017.
6. COMISSÃO EUROPEIA, 2011. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065>. Acesso em setembro de 2017.
7. Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R. Quantitative models for reverse logistics. *A Review. European Journal of Operational Research*, 1997.
8. Guarnieri, P., Silva, L.C., Levino, N.A., 2016. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 133, Pp. 1105-1117.
9. Marchi, C.M.D.F. (2011). Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*. Vol. 1, 2, Pp. 118-135.
10. Miao, C., Fang, D., Sun, L., Luo, Q. 2017. Natural resources utilization efficiency under the influence of green technological innovation. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 126. Pp. 153-161.
11. STOCK, J.R. *Development and Implementation of Reverse Logistics Programs*. Oaks Brook, IL, Council of Logistics Management Books, 1998.
12. Urbinati, A., Chiaroni, D., Chiesa, V. 2017. Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 168, Pp. 487-489.