

III-315 - MÉTODO PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE RECICLABILIDADE DE UM APARELHO DE TELEFONE CELULAR APÓS O SEU DESCARTE

Rosana Gonçalves Ferreira Franco⁽¹⁾

Química. Mestre em Meio Ambiente pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Coordenadora de curso da Faculdade Pitágoras de Belo Horizonte. Doutoranda em Meio Ambiente pelo PPG-SMARH-UFMG.

Liséte Celina Lange

Química. Professora Titular. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Cléo Cavalli

Engenheiro Ambiental. Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutorando em Meio Ambiente pelo PPG-SMARH-UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Iraí, 577/1302 – Vila Paris - Belo Horizonte - MG - CEP: 30380-640 - Brasil - Tel: (31) 98897-4397 - e-mail: gf.rosana@gmail.com

RESUMO

O aumento na geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) é evidenciado a nível global. Nos países em desenvolvimento estes resíduos, em sua maioria, são descartados de maneira irregular, ocasionando contaminação ambiental e perda de matéria-prima secundária. Nesse sentido, faz-se necessária a adoção de estratégias que garantam a destinação ambientalmente correta e a circularidade dos recursos, sua recuperação e reciclagem, sejam elas leis, diretivas ou normas técnicas. Assim, o presente artigo toma como referência a metodologia estabelecida para o cálculo do índice de reciclabilidade (IR) de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), a partir da norma técnica IEC TR 62635/2012, buscando verificar as dificuldades enfrentadas pelos atores envolvidos no gerenciamento dos REEE na aplicação desta norma. O objeto de estudo foi um aparelho de telefone celular e o cenário de fim de vida foi uma empresa de gerenciamento de REEE que atua com o processo manual de desmontagem. Os resultados demonstraram que o índice de reciclabilidade do aparelho de telefone celular foi de 55%. Este valor é considerado baixo, quando comparado às metas de valorização e reciclagem estabelecidas pela União Europeia para REEE (valores acima de 70%). Portanto, para se alcançar níveis altos faz-se necessária a implantação de um sistema de comunicação entre recicladores e fabricantes a fim de se obter o melhor *design* para reciclabilidade e recuperabilidade. A falta de identificação do tipo de material que constitui a peça; a variedade de materiais, principalmente polímeros; o uso de substâncias adesivas, que contaminam o material, e a dificuldade de desmonte devido aos diferentes tipos de encaixes, são alguns dos fatores que dificultam a reciclagem dos materiais presentes nos REEE.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos eletrônicos, telefone celular, reciclagem, índice de reciclabilidade, recuperação de materiais.

INTRODUÇÃO

O modelo de industrialização aplicado no século passado já não se sustenta. O inconsciente uso dos recursos naturais não renováveis estão resultando numa escassez de matérias-primas fundamentais para o desenvolvimento de novos produtos. Segundo o relatório da Comissão Europeia sobre materiais críticos, das 61 substâncias analisadas, 27 são consideradas críticas, ou seja, são materiais de elevada importância econômica e com alto risco associado à sua oferta (MATHIEUX *et al.*, 2017). Metais como o nióbio, tungstênio e o gálio fazem parte deste grupo e estão presentes na composição de materiais que são utilizados na fabricação de equipamentos eletroeletrônicos. A redução dos preços de venda, a crescente inovação tecnológica e a diminuição do tempo de vida útil são alguns dos fatores que contribuem para o seu descarte (FRANCO, LANGE, 2011). Surge nesse contexto, a necessidade de adoção de práticas que vão ao encontro do que é proposto na Economia Circular, em que os resíduos são considerados recursos e, portanto, contribuem para com a diminuição de extração de matéria-prima virgem.

Em 2016 a quantidade mundial de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, segundo BALDÉ *et al.* (2017), atingiu 44,7 milhões de t (uma geração de 6,1 kg *per capita*), com a maior parte dos resíduos sendo gerados na Ásia (40,7%), seguidos pela Europa (27,5%) e Américas (25,3%). A maior geração de resíduos por habitante foi observada na Oceania (17,3 kg *per capita*), com apenas 6% do resíduo coletado (0,7 t) e o segundo maior gerador foi a Europa (16,6 kg *per capita*). De acordo com os autores, o principal gerador de REEE nas Américas são os EUA, com 6,3 t, seguido do Brasil com 1,5 t (7,4 kg *per capita*), e o terceiro é o México, com 1 t.

Os REEE podem ser considerados um recurso de metais valiosos (OGUCHI *et al.*, 2011; VEIT, BERNARDES, 2015; CUCCHIELLA *et al.*, 2015) que, quando não são recuperados, novas matérias-primas precisam ser extraídas e processadas para produzir novos produtos, resultando em significativa perda de recursos e danos ambientais, exigidos pela mineração, fabricação, transporte e uso de energia (BOHR, 2007; ONGONDO, WILLIAMS, CHERRETT, 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é um importante instrumento que rege acerca dos resíduos sólidos em território brasileiro. Foi instituída pela Lei nº 12.305 em 2 de agosto de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010. As principais inovações trazidas por essa lei foram: a implementação da coleta seletiva; a obrigatoriedade da elaboração de planos de gestão de resíduos sólidos por todos os entes da federação; a responsabilidade compartilhada dos resíduos gerados; a logística reversa; e a valorização e inclusão social dos catadores de materiais recicláveis (MAIA *et al.*, 2014).

Outros temas abordados na PNRS que estão diretamente relacionados a este estudo são: o incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclado (cap. 2, item VI); reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais (cap. III, seção II, item III); estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis (cap. III, seção II, item V); as embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem (cap. III, seção II, art. 32) (BRASIL, 2010).

Para que a recuperação desses materiais seja efetiva e eficaz, ferramentas como o *ecodesign* (*design for environment* - *DfE*; *design for recyclability* - *DfR*) e análise do ciclo de vida (*end-of-life* - *EoL*) passaram a ser incorporadas no âmbito de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos (pesquisa e desenvolvimento - P&D). O alto potencial de materiais recicláveis que um produto contiver torna-se uma forma de contribuir para a conservação dos recursos naturais. Portanto, questões como reuso, remanufatura e reproprocessamento devem ser consideradas durante a fase de concepção do produto (UMEDA *et al.*, 2013; AGUIAR *et al.*, 2017).

A reciclabilidade de um produto é definida como “a capacidade de um produto descartado ser reciclado pelas práticas reais”, o que implica viabilidade econômica, social e tecnológica do processo de reciclagem. O índice de reciclabilidade (*recyclability rate*) é “a razão entre a massa do produto reciclável e a massa total do produto” (ARDENTE, MATHIEUX, 2012).

A partir do princípio de recuperação de materiais, a comunidade europeia, estabeleceu metas de valorização e reciclagem para os produtos fabricados e/ou comercializados nos países membros, sendo que os REEE pertencentes à categoria 3 (equipamentos de informática e de telecomunicações) e 4 (equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos) devem ser 80% valorizados, e 70% reutilizados ou reciclados (EUROPEAN UNION, 2012).

Seguindo esta tendência, os índices de reciclabilidade e recuperabilidade vêm ganhando destaque no cenário brasileiro diante das discussões propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a adoção da norma técnica IEC TR 62635. A implantação dessa norma visa aumentar a recuperação de matérias-primas secundárias oriundas dos REEE, orientando fabricantes e recicladores sobre as informações necessárias para o cálculo do índice de reciclabilidade e de recuperabilidade de equipamentos elétricos e eletrônicos em seu fim de vida (IEC/TR 62635, 2012).

O objetivo deste trabalho é calcular o índice de reciclabilidade de um aparelho de telefone celular e faz parte da tese, que está sendo desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, cujo objetivo geral é desenvolver indicadores para o cálculo do índice de reciclabilidade de REEE, considerando o cenário tecnológico nacional de

reciclagem. A metodologia aplicada foi a estabelecida pela *International Electrotechnical Commission* (IEC) que orienta os fabricantes e recicladores sobre as informações para o cálculo do índice de reciclabilidade e de recuperabilidade de equipamentos elétricos e eletrônicos em seu fim de vida, o IEC/TR 62635 – *Guidelines for end-of-life information provided by manufactures and recyclers and for recyclability rate calculation of electrical and electronic equipment* (IEC/TR 62635, 2012).

MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo foi um aparelho de telefone celular pós-consumo, modelo Lg Kp570, fabricado no Brasil e lançado no mercado no ano de 2009, de dimensão 10,6 x 5,5 x 1,1cm. A massa total, de acordo com o fabricante é de 89g, sendo computada nesta aferição: aparelho, bateria Li-Ion, carregador, fone de ouvido, cabo de dados, cartão de memória, micro SD card 1GB. A escolha do modelo para análise se justifica, devido à quantidade elevada de aparelhos para serem desmontados na empresa de gerenciamento de REEE. O equipamento usado para pesagem, foi a balança semi-analítica modelo 2200g - 0,01G série S2202. As ferramentas utilizadas para desmontagem foram: chave Tork, chave Philips e chave de Fenda, próprias para equipamentos de pequeno porte.

Os métodos utilizados na pesquisa foram a entrevista aberta e o estudo de caso. Aplicou-se a metodologia da IEC/TR 62635 (2012) para a determinação do índice de reciclabilidade (IR) do aparelho de telefone celular e a entrevista aberta para verificação dos fatores que interferem neste índice. Para a determinação do IR foram consideradas as seis seguintes etapas estabelecidas pelo guia IEC/TR 62635:2012, sendo:

1ª etapa: selecionar o cenário de cálculo.

2ª etapa: obter os dados do produto (descrição do material e massa).

3ª etapa: identificar as peças desmontáveis e seus índices de reciclagem e recuperação, incluindo:

- peças reutilizáveis: peças que são passíveis de separação mantendo sua função e para as quais existem evidências técnicas de reutilização;
- peças para tratamento seletivo: peças que necessitam de tratamento especial (ex. componentes contendo substâncias perigosas);
- peças com um único material e fáceis de desmontar: peças de interesse econômico e que possuam canais já estabelecidos de reciclagem; e
- peças difíceis de processar: peças que não possam ser destinadas para tratamento convencional de reciclagem (com base nas informações dos recicladores)

4ª etapa: selecionar a correspondência entre índice de reciclabilidade e índice de recuperabilidade.

5ª etapa: calcular o índice de reciclabilidade e o índice de recuperabilidade.

6ª etapa: identificar no restante das peças a massa de materiais recicláveis por meio da separação do material.

O índice de recuperabilidade do produto, etapas 4 e 6, não foi avaliado nesta pesquisa devido à falta de atos normativos nacionais que versam sobre este tema e que são necessários para subsidiarem os cálculos.

Os dados obtidos, na consolidação das seis etapas, foram aplicados na equação (1) estabelecida pelo IEC/TR 62635 (2012):

$$IR_{EEE} = \Sigma (m_i * IR_{pi}) / m_{EEE} [\%]$$

equação (1)

Sendo:

IR_{EEE} = índice de reciclabilidade do produto (em porcentagem);

m_{EEE} = massa total do produto (em gramas);

m_i = massa da peça i^{th} (em gramas);

IR_{pi} = índice de reciclabilidade da peça i^{th} (em porcentagem).

RESULTADOS

A primeira etapa para obter o IR de um EEE, de acordo com a metodologia da IEC/TR 62635 (2012), é estabelecer o cenário de análise. No Brasil, a desmontagem dos REEE ocorre predominantemente de forma manual, de acordo com Dias *et al.* (2018), e a separação dos materiais é baseada no conhecimento tácito do

operador de triagem ou então, quando existente, na simbologia de identificação estampada na peça. Nos países desenvolvidos estes processos são automatizados, ocorrendo a fragmentação e a separação por densidade dos diferentes tipos de materiais presentes nos REEE.

O aparelho de telefone celular foi desmontado em um suporte e os componentes foram pesados em balança. Após a pesagem dos componentes, estes foram separados em I) peças para tratamento seletivo, II) peças com um único material e fáceis de desmontar e III) peças difíceis de processar. Posterior a esta análise os materiais foram classificados nas seguintes categorias: metais, polímeros (plásticos), placas de circuito impresso (PCI) e peças com características tóxicas, como a bateria. A Tabela 1 apresenta os dados após a pesagem e classificação dos materiais.

Tabela 1: Dados da pesagem e classificação dos materiais

Massa EEE (g)	Peça	Itens	Classificação do material	Materiais	Massa (mi) (%)	Índice de reciclabilidade IR* (%)	Massa da peça (%)	Massa reciclável (g)
86,7								
Peças reutilizáveis	Não considerado na análise	-	-	-	0	0	0,0	0,00
Peças de tratamento seletivo	Bateria	22	Outros	Componentes Li-Ion	19,2	70	22,1	13,4
	Placa de circuito impresso (PCI)	10	Metais	Metais não ferrosos	8,8	17	10,1	1,5
	Fitas condutoras	14 e 15	Metais	Metais não ferrosos	1,9	18	2,2	0,3
	Câmera	18	Outros	Metais não ferrosos+plástico	0,4		0,5	0,0
	Autofalante/Microfone	16 e 17	Outros	Metais não ferrosos+plástico	2,8		3,2	0,0
	Armação da tela	1 e 4		Metais não ferrosos+plástico	3		3,5	0,0
	Apoio PCI	11	Outros	Cu + plásticos	1,8		2,1	0,0
	Caneta (<i>s-pen</i>)	20		Metal + plástico	1,2		1,4	0,0
	LCD (<i>liquid crystal display</i>)	9	Outros	Área menor que 100c	4,4	0	5,1	0,0
Peças com um único material	Tampa interna	19 e 21	Plástico	ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno). Plásticos contendo retardantes de chama	8,3	94	9,6	7,8
	Visor	5 e 6	Plástico	PMMA (polimetilmetacrilato)	7,9	94	9,1	7,4
	Botões de comando	13	Plástico	PMMA (polimetilmetacrilato)	0,4	94	0,5	0,4
	Tampa traseira	2 e 3	Plástico	PC (Policarbonato)	8,1	95	9,3	7,7
	Suporte fita condutora	8	Metal	Aço (geral)	2,3	95	2,7	2,2
	Proteção conjunto LCD	7	Metal	Aço (geral)	3,7	95	4,3	3,5
	Proteção da PCI	12	Metal	Alumínio	3,7	95	4,3	3,5
	Parafusos	24	Metal	Aço (geral)	0,1	95	0,1	0,1
Peças difíceis de processar	Conjunto LCD completo		Outros		8,7	0	10,0	0,0
			TOTAL		86,7			47,9
			Índice de reciclabilidade		$IR_{EE} = \frac{\sum(m_i \cdot IR_i)}{m_{EEE}} [\%]$			55

* Valores obtidos na IEC IR 62635, (2012).

O aparelho de telefone celular, em estudo, apresentou um índice de reciclabilidade de: $IR_{EEE} = 55\%$. Este valor é considerado baixo, quando comparado com as metas de reciclagem estabelecidas pela diretiva europeia relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, onde estes equipamentos devem ter um índice de reciclabilidade de 70%. Na Tabela 1, algumas peças como a armação da tela e a caneta para celular (*s-pen*), não possuem IR determinado, a ausência deste valor se justifica por se tratar de junção de materiais e a viabilidade técnica da reciclagem só ocorre se estes materiais forem separados, no entanto o tempo gasto na separação eleva o custo do processo, ocasionando a inviabilidade econômica da reciclagem. A Figura 1 apresenta as peças do equipamento desmontado, com identificação dos itens na Tabela 1.

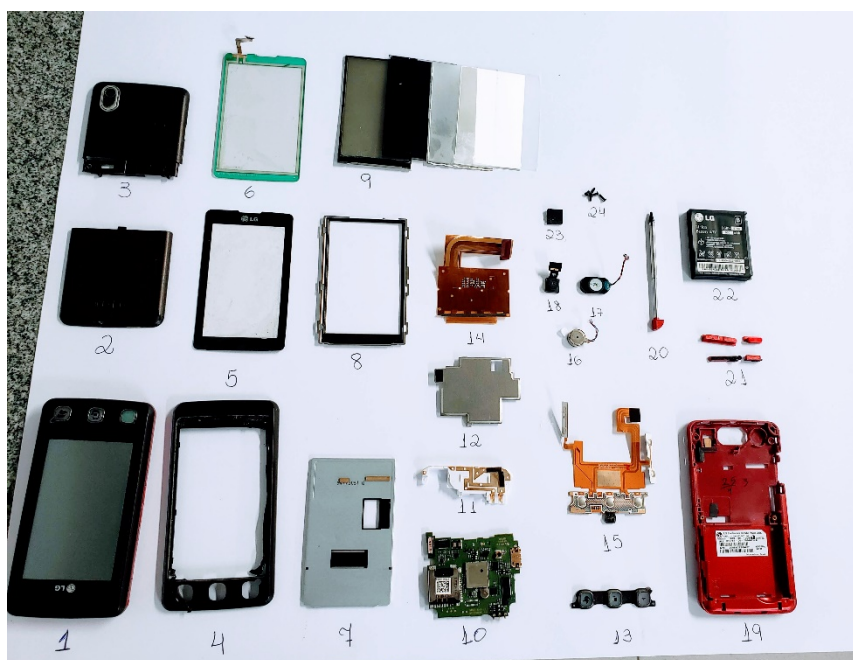


Figura 1: Aparelho de telefone celular desmontado.

O uso de aditivos químicos, como pigmentos de coloração (Figura 1, item 19); o uso de cola na fixação de peças e retardantes de chamas aplicados nos polímeros, são fatores que contribuem para um IR baixo, uma vez que, materiais com estas características são difíceis de serem processados como matéria-prima secundária.

A reciclagem das PCI presentes nos EEE (Figura 1, item 10), em muitos casos, é o que viabiliza a reciclagem dos REEE. Embora a PCI, do equipamento analisado, tenha um IR de 17% (variável de acordo com o tipo de placa), o valor elevado dos metais preciosos recuperados justifica sua reciclagem (KHALIQ *et al.*, 2014). As PCI são consideradas peças de tratamento seletivo, uma vez que precisam ser preparadas para serem exportadas para países que possuem tecnologia de recuperação de metais advindos de resíduos. A Figura 2 apresenta o processo de preparação de PCI pós-consumo para exportação, utilizado em uma das empresas visitadas.



Figura 2: Preparação das placas de circuito impresso pós-consumo para exportação.

O IR obtido considera somente o tipo de material utilizado na fabricação do equipamento. Dificuldades no processo de desmontagem devido aos diferentes tipos de junção e a presença de contaminantes, como feltros, fitas adesivas e etiquetas, fatores apontados como responsáveis pelo aumento do custo do processo, não foram analisados nesta pesquisa.

CONCLUSÕES

Para um efetivo gerenciamento de REEE, em território brasileiro, é necessário o estabelecimento de atos normativos que versem sobre estes resíduos. A adoção da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010, estabelecendo a “responsabilidade compartilhada” entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, setor público e consumidor no gerenciamento dos resíduos sólidos, deixou uma lacuna em quem realmente é o responsável pelo produto em seu fim de vida. Como a parcela de responsabilidade, de cada ator, não é descrita na lei, não há um avanço no processo legislativo. Se não há um “dono”, não temos a quem responsabilizar pela contaminação ambiental e pela perda de matéria prima advinda do mau gerenciamento dos REEE.

Para que a metodologia da IEC/TR 62635 (2012) seja aplicável no cenário tecnológico nacional, é necessário a implantação de um sistema de comunicação entre recicladores e fabricantes a fim de se obter as informações necessárias para uma efetiva desmontagem do produto. A falta de identificação do tipo de material que constitui a peça; a variedade de materiais, principalmente polímeros; o uso de substâncias adesivas, que contaminam o material, e a dificuldade de desmonte devido aos diferentes tipos de encaixes, são alguns dos fatores que dificultam a reciclagem dos materiais presentes nos REEE. Fabricantes devem informar as melhores práticas de desmontagem e recuperação dos materiais dos produtos e, recicladores devem informar sobre as dificuldades e inviabilidades de reciclagem dos materiais e produtos, contribuindo assim para o desenvolvimento de produtos de elevado índice de reciclabilidade e de recuperabilidade.

As constatações obtidas com os resultados iniciais reafirmam a justificativa e relevância desse trabalho, pois se os processos de gerenciamento dos REEEs não estiverem mapeados, registrados e as variáveis que interferem na reciclabilidade de um produto, bem delineadas, os fabricantes não poderão melhorar o design de seus novos produtos e consequentemente os recicladores não terão ganho nos processos de reciclagem, ocasionando a perda da matéria-prima secundária.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ao Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio à pesquisa por meio de bolsas e outros auxílios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARDENTE, F.; MATHIEUX, F. *Integration of resource efficiency and waste management criteria in European product policies – Second phase. Report n° 2: Application of the project's methods to three product groups*. Publications Office of the European Union, 2012.
2. AGUIAR, J.; OLIVEIRA, L.; SILVA, J.O.; BOND, D.; SCALICE, K.; BECKER, D. *A design tool to diagnose product recyclability during product design phase*. *Journal of Cleaner Production*, v. 141, p. 219–229, 2017.
3. BALDÉ, C. P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources*. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) e International Solid Waste Association (ISWA), Bonn / Genebra / Viena, 2017.
4. BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União (DOU), Brasília, DF, seção 1, nº 147, p. 3-7, 3 ago. 2010.
5. BOHR, P. *The Economics of Electronics Recycling: New Approaches to Extended Producer Responsibility*. 2007. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Technische Universität Berlin, Berlim, 2007.

6. CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; KOH, S. C. L.; ROSA, P. *Recycling of WEEE: An economic assessment of present and future e-waste streams. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51, p. 263-272, 2015.
7. DIAS, P.; MACHADO, A.; HUDA, N.; BERNARDES, A. M. *Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 7-16, 2018.
8. EUROPEAN UNION. *European Parliament, Concil of the European Union. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (Recast). Official Journal of the European Union*, L 197, 24 July 2012.
9. FRANCO, R.G.F.; LANGE, L.C. *Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 73-82, 2011.
10. IEC/TR 62635. *The International Electrotechnical Commission. Technical Report IEC/TR 62635. Guidelines for End of Life information provision from manufacturers and recyclers, and for recyclability rate calculation of Electrical and Electronic Equipment*, 2012.
11. KHALIQ, A., RHAMDHANI, M.A., BROOKS, G., MASOOD, S. *Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective. Resources*, v. 3, n. 1, p. 152-179, fev. 2014.
12. MAIA, H.J.L.; ALENCAR, L.D.; BARBOSA, E.M.; BARBOSA, M.F.N. *Política Nacional de Resíduos Sólidos: um marco na legislação ambiental brasileira. Polêm!ca, [S.l.]*, v. 13, n. 1, p. 1070-1080, fev. 2014.
13. MATHIEUX, F., ARDENTE, F., BOBBA, S., NUSS, P., BLENGINI, G., ALVES DIAS, P., BLAGOEVA, D., TORRES DE MATOS, C., WITTMER, D., PAVEL, C., HAMOR, T., SAVEYN, H., GAWLIK, B., ORVEILLON, G., HUYGENS, D., GARBARINO, E., TZIMAS, E., BOURAOUI, F. AND SOLAR, S. *Critical Raw Materials and the Circular Economy – Background report. JRC Science-for-policy report, EUR 28832 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg*, 2017.
14. OGUCHI, M.; MURAKAMI, S.; SAKANAKURA, H.; KIDA, A.; KAMEYA, T. *A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources. Waste Management*, v. 31, n. 9-10, p. 2150-2160, 2011.
15. ONGONDO, F. O.; WILLIAMS, I. D.; CHERRETT, T.J. *How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. Waste Management*, v. 31, n. 4, p. 714-730, 2011.
16. UMEDA, Y.; FUKUSHIGE, S.; MIZUNO, T.; MATSUYAMA, Y. *Generating design alternatives for increasing recyclability of products. CIRP Annals. Manuf. Technol.* v. 62, issue 1, pages 135-138, 2013.
17. VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M. (editores). *Electronic Waste: recycling techniques. Heidelberg: Springer*, 2015.