

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS: UM ESTUDO INTRODUTÓRIO VISANDO UM SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO

JEFERSON LINZMAIER

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

ISABEL CORRÊA NUNES

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

DELCIO PEREIRA

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

ALEXANDRE BORGES FAGUNDES

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

FERNANDA HANSCH BEUREN

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS: UM ESTUDO INTRODUTÓRIO VISANDO UM SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO

Resumo

A concorrência do mercado associada à obsolescência programada de produtos eletroeletrônicos, causam o crescente aumento na quantidade de resíduos destes produtos. A quantidade de pesquisas sobre o assunto vem crescendo acentuadamente, revelando assim a importância e necessidade de criação de alternativas que solucionem o problema dos resíduos gerados por estes produtos. O Sistema Produto-Serviço é uma alternativa que visa a sustentabilidade, trazendo soluções inovadoras e, quando aliado a ferramentas de gestão ambiental como a Análise do Ciclo de Vida (ACV), proporcionam uma visão mais ampla do problema ambiental causado por estes resíduos. Com isso, o presente trabalho propõe um estudo introdutório sobre a análise do ciclo de vida do produto, visando um PSS, com ênfase em equipamentos eletroeletrônicos.

Palavras-chave: Análise do Ciclo de Vida; Sistema Produto-Serviço; Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos.

Abstract

The market competition associated with the planned obsolescence of electrical and electronic products, causes the increasing increase in the number of residues of these products. The amount of research on the subject has been increasing sharply, thus revealing the importance and necessity of creating alternatives that solve the problem of the residues generated by these products. The Product-Service System is an alternative that aims at sustainability, bringing innovative solutions and, when combined with environmental management tools such as Life Cycle Analysis (LCA), provide a broader view of the environmental problem caused by this waste. With this, the present work proposes an introductory study on the analysis of the life cycle of the product, aiming at a PSS, with emphasis on electrical and electronic equipment.

Keywords: *Life Cycle Analysis (LCA); Product-Service System (PSS); Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).*

1. INTRODUÇÃO

O progresso tecnológico da indústria de equipamentos eletrônicos associado ao consumo acentuado desses produtos, elevam a quantidade de resíduo de equipamento eletroeletrônico (REEE) produzido no mundo (FERREIRA, 2008; CHEN et al., 2016; BEIGBEDER et al., 2013, BOLGENHAGEN, 2016), os quais são descartados inadequadamente no meio ambiente e manipulados de forma incorreta ao final de sua vida útil (MOI et al., 2011; WIDMER et al., 2005; LEUNG, 2006; HIBBERT e OGUNSEITAN, 2014, 2014; LIM e SCHOENUNG, 2010) provocando assim, impactos ambientais e problemas à saúde humana (NUNES et al., 2017).

Em 2016 foram descartados em torno de 45 milhões de toneladas de lixo eletrônico (essa marca poderá chegar aos 52 milhões de toneladas em 2021), sendo somente 20% devidamente reciclado (UNU, 2017; DA SILVA et al., 2015; GERBASE; OLIVEIRA; BERNARDES, 2012).

Devido às constantes atualizações nos seus softwares e aplicativos, aparelhos como *notebooks*, *desktops* e telefones celulares correspondem ao maior número de resíduos encontrados entre os EEE (SPROTTE, 2017; HIBBERT; OGUNSEITAN, 2014), somente um celular tem em sua composição mais de 60 elementos químicos de alta nocividade (PRADO et al., 2016; WU et

al., 2008) tornando-se nocivos quando descartados (SHARPRE, 2005; DENG et al., 2006). Esses aparelhos têm como principais insumos os metais pesados como cobre, arsênio, mercúrio, chumbo, cádmio, entre outros (MATTOS, 2008; DA SILVA et al., 2015; NUNES et al., 2017).

Nesse contexto, inúmeros problemas ambientais e sociais são registrados em decorrência do descarte dos REEE, entre eles: poluição da hidrosfera, poluição atmosférica e doenças diversas (câncer, infecção nos rins, no sistema nervoso). (PRADO et al., 2016; HIBBERT e OGUNSEITAN, 2014; CHEN et al., 2010; BOLGENHAGEN, 2016; UMAIR et al.; 2015; TANAUE et al.; 2015; NAMIAS, 2013).

Para Hong et al. (2015), Xue e Xu (2017), Wäger e Hirschier (2015), Song et al., (2012) e Song et al. (2013), o uso de ferramentas de gestão ambiental como a análise do ciclo de vida e modelos inovadores de negócios como o PSS, auxiliam no estudo dos processos envolvendo cada etapa da vida útil e de pós-uso do produto, propondo como resultados soluções sustentáveis (GOEDKOOOP et al., 1999).

Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise sistemática na literatura sobre análise do ciclo de vida e PSS, com ênfase em REEE da linha verde a fim incentivar novas pesquisas sobre o assunto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

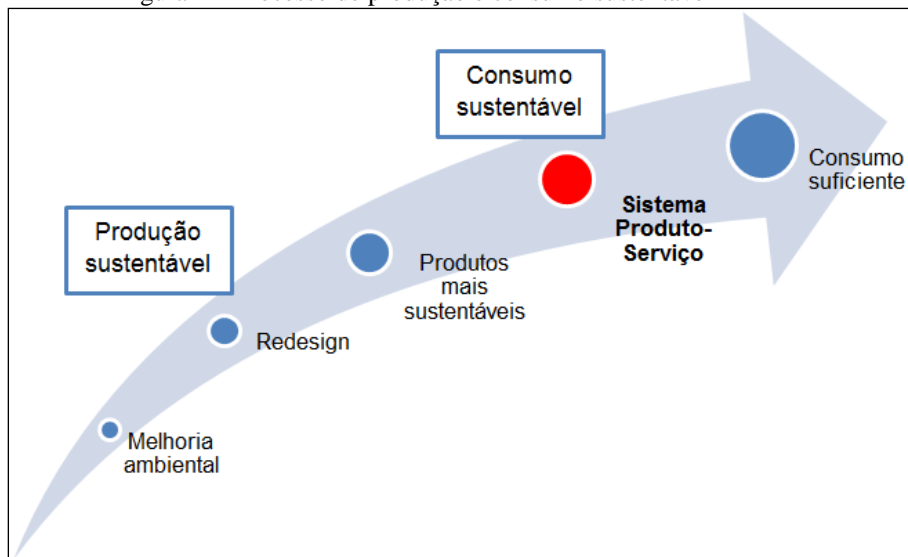
Nessa seção, são tratados os principais referenciais teóricos que abordam o tema proposto nesse trabalho.

2.1 Sistema Produto - Serviço (PSS)

Para Manzini e Vezzoli (2002) o processo de transformação da produção sustentável para o consumo sustentável, ocorre através da estratégia de design para a sustentabilidade, onde o foco do negócio atende às demandas específicas do cliente, reorientando as tendências de produção e consumo, dando enfoque na função do produto.

A Figura 1 ilustra a definição dada por Manzini e Vezzoli (2002) sobre o potencial de sustentabilidade do PSS.

Figura 1 – Processo de produção e consumo sustentável



Fonte: Manzini e Vezzoli (2002); Vezzoli (2007).

Para Baines et al. (2007) o PSS é um sistema que entrega ao cliente o uso do produto, e não a propriedade física do mesmo, sendo assim, as manutenções, trocas e descartes do produto, responsabilidade do proprietário. Esse sistema reduz descartes, melhora os aspectos econômicos e atende as necessidades dos clientes, respeitando questões ambientais, sociais e econômicas (BAINES et al., 2012 e MAXWELL et al., 2006). O PSS desenvolve bens e serviços visando à desmaterialização dos produtos (HU et al., 2012; LI et al. 2010) e enfoque nas suas funções (AMARAL et al., 2017; SILVA; SANTOS, 2009).

Além dos benefícios e características mencionados anteriormente, Beuren et al. (2013) e Yang et al. (2009) explicam que o PSS tem como objetivo incentivar a competitividade entre empresas, aumentando o ciclo de vida dos produtos, extraindo menor quantidade de recursos naturais para a sua fabricação (LI et al. , 2010), fazendo com que esses durem mais e possam ser reutilizados várias vezes (LINDAHAL, 2014).

2.1.1 Classificação do Produto - Serviço (PSS)

Conforme Figura 2, Tukker (2004), classifica o PSS:

Figura 2 - Classificação do Sistema Produto-Serviço



Fonte: Beuren (2013) com base em Tukker (2004).

O PSS orientado ao produto tem enfoque na oferta de produtos podendo incluir manutenção e orientações de uso, detendo o cliente a posse do produto.

A segunda categoria, PSS orientado ao uso oferece a utilização do produto e serviço. Nessa classificação a empresa detém a posse do produto.

Na última categoria, a empresa também detém a posse do produto e o PSS é orientado aos resultados, onde é oferecida a função do produto (Ex.: água filtrada e não o produto filtro de água).

2.2 Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)

São equipamentos eletroeletrônicos ou parte deles que não são mais utilizados e acabam sendo descartados em aterros. São exemplos de *e-waste*: computadores, televisores, celulares, notebooks, aparelhos de som, aparelhos de fax, copiadoras e geladeiras (MATTOS et al., 2008, ABDI, 2013; NUNES et al., 2017; SPROTTE, 2017).

O alto custo para o gerenciamento de REEE devido ao seu conteúdo estimulam algumas empresas a exportar REEE de países em desenvolvimento para países subdesenvolvidos, com consequências negativas economicamente e ambientalmente para quem os recebe. Nesses países, a maioria das atividades de gerenciamento dos resíduos se dá informalmente (SONG e LI, 2015, CHEN et al., 2016; NAMIAS, 2013). O resultado final é a prática de reciclagem em condições inadequadas para o meio ambiente e para os trabalhadores (HIBBERT e OGUNSEITAN, 2014).

2.2.1 Impactos ambientais e sociais dos REEE

Somente na desmontagem de um *desktop* de 17 polegadas são usados cerca de 1.800 quilos de componentes, sendo 240 quilos em combustíveis fósseis (petróleo, gás, etc.), 22 quilos de produtos químicos e 1.500 quilos de água potável (FERREIRA, 2008; ETBC, 2014).

Os impactos sociais devido à destinação incorretas desses resíduos afetam diretamente a saúde de quem está exposto a eles (NUNES et al., 2017), e são consequência da combinação de elementos químicos presentes nestes produtos, bem como os diversos meios de contaminação.

Figura 3 - Agravos a saúde provocados pelo descarte de REEE

Elementos químicos encontrados em REEE's	Sistemas prejudicados							Doenças			Órgãos danificados					
	Endócrino	Nervoso	Circulatório	Respiratório	Imunológico	Digestivo	Reprodutor	Metabólicas	Cardíacas	Cancerígenas	Baço	Cérebro	Coração	Fígado	Ossos	Rins
Bário											X		X	X		
Berílio										X						
Cádmio										X			X	X	X	
Chumbo	X	X	X			X	X			X			X			X
Cobre						X										
Cromo				X				X								
Mercúrio		X		X					X			X				X
Níquel				X						X			X			
Lítio						X							X			
Plásticos e PVC	X				X		X									
Retardantes de chamas	X						X					X				

Fonte: NUNES et al. (2017).

Para Prado et al. (2016), as infecções por elementos químicos, ocorrem por meio de poeira, alimentos e água contaminados, contatos com placas, soldas e cabos, processados de forma precária ao ar livre.

Como mencionado por Umair et al. (2015), Concepcion et al. (2016) e Hibbert e Ogunseitan (2014), os elementos químicos trazem diversos agravos à saúde quando manipulados e expostos indevidamente. A Figura 3 indica as principais doenças causadas pelo contato recorrente e sem cuidado com os REEE.

Conforme Araújo (2013) e Oliveira (2012) os produtos elétricos e eletrônicos, são constituídos por vários módulos básicos, e as substâncias perigosas nestes componentes são os metais pesados: mercúrio, chumbo, cádmio e cromo (LOPES et al., 2008; BIGUM et al., 2012).

Um estudo realizado por Hibbert e Ogunseitan (2014), simulou a queima de partes de um celular (baterias, placas de circuito, plásticos e telas) e a extração de elementos químicos na queima

dessas partes. Como resultado foram encontradas altas concentrações de metais pesados como Cobre, Berílio e Níquel. Portanto, a manipulação e reciclagem correta desses REEE podem diminuir a exposição e contaminação por esses materiais (PRADO et al., 2016).

2.3 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Todo produto ou serviço, seja ele de madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento, provoca um impacto no meio ambiente, devido ao seu processo produtivo, as matérias-primas que consome, ou ao final da sua vida útil (CHEHEBE,1997).

Visando melhores índices de qualidade, as empresas estão buscando métodos e ferramentas que façam com que seus produtos e processos se tornem mais sustentáveis (LOPES et al., 2011).

A análise do ciclo de vida é uma técnica que responde a essas exigências, pois avalia os impactos ambientais decorrentes de um produto, incluindo etapas que vão desde a extração dos insumos para a sua fabricação até o fim da sua vida útil (ARAUJO, 2013; NBR 14040, 2001; WÄGER e HISCHIER, 2015; SONG et al., 2012; BLUMENSCHNEIN, 2012).

As ACV geram resultados que possibilitam a tomada de decisão, seleção de indicadores ambientais importantes para avaliação e identificação dos impactos ambientais, otimização nos processos e oportunidades de melhoria associadas com todos os estágios do sistema (HONG et al., 2015, LOPES et al., 2011).

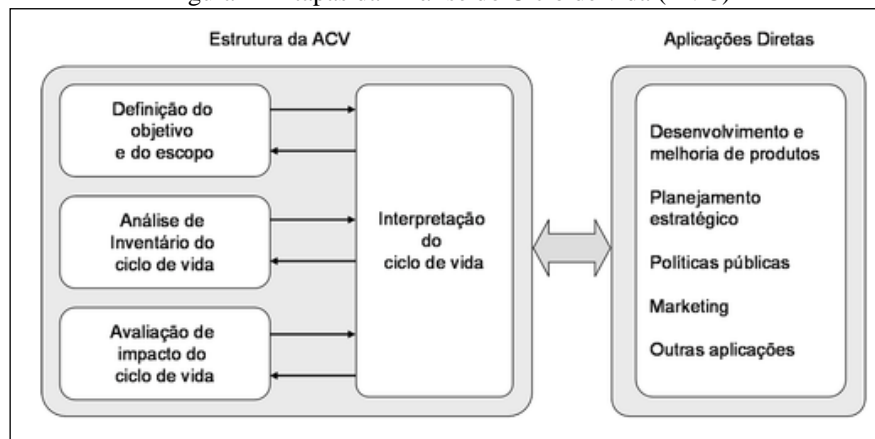
Desde então, a aplicação da (ACV) como ferramenta para produção mais limpa, vem aumentando a competitividade das empresas e o fortalecendo para a promoção da sustentabilidade (CHERUBINI; RIBEIRO, 2015).

2.3.1 Fases da Análise do Ciclo de Vida

Segundo a NBR 14.040 (2001), a ACV tem as seguintes etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados, conforme ilustrado na Figura 4.

A análise do ciclo de vida de um produto está estruturada de acordo com a Norma NBR 14040 (2009).

Figura 4 - Etapas da Análise do Ciclo de vida (AVC)



Fonte: NBR 14040 (2009).

2.3.1.1 Definição do objetivo e do escopo

Nesta etapa há descrição do sistema do produto, seu propósito e limites (HAUSCHILD, 2005; NBR 14041, 2009) como unidade funcional, fluxos, processos analisados e indicadores ambientais.

2.3.1.2 Análise de inventário

Essa fase avalia de forma quantitativa os impactos ambientais, incluindo a coleta de dados de fluxos de entrada e saída de insumos para um determinado processo (LOPES et al., 2011; NBR 14041, 2009; ARAÚJO, 2013).

É nessas em que identificam-se as necessidades de informações para a avaliação do processo ocasionando ou não, mudanças nos procedimentos de análise.

2.3.1.3 Avaliação de impacto

Na avaliação de impacto do ciclo de vida, há a avaliação dos aspectos ambientais (emissões e esgotamento de matéria prima com o processo) apresentados durante a etapa de inventário (ARAÚJO, 2013; LOPES et al., (2011).

As principais categorias de impactos ambientais analisados pela ACV são: uso de recursos naturais, impactos na saúde e as consequências ecológicas do processo (poluição, mudanças climáticas entre outros) (ARAÚJO, 2013 e MAZUR, 2011).

2.3.1.4 Interpretação

Nessa fase da ACV há a análise dos resultados e informações confrontados com os objetivos e escopos estabelecidos inicialmente, e elaboram-se as conclusões e recomendações para a minimização de impactos ambientais gerados pelo sistema (ARAÚJO, 2013).

3. MÉTODOS DE PESQUISA

Essa seção expõe os procedimentos metodológicos inerentes à pesquisa realizada, incluindo etapas, técnicas de coletas de dados, e ferramentas utilizadas.

3.1 Análise Sistêmica

A análise sistêmica compreende as etapas iniciais onde são definidas as palavras-chaves, os periódicos a serem pesquisados, períodos de busca nos periódicos, leitura dos trabalhos encontrados, as quais resultam na lacuna de pesquisa a ser preenchida.

Essa etapa inclui a análise bibliométrica e a análise de conteúdo que serão abordadas a seguir.

3.1.1 Análise bibliométrica

A primeira etapa dos métodos de pesquisa contém a busca de referencial teórico em bancos de dados nacionais e internacionais e foi dividida em 3 sub etapas para a busca, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Etapas da pesquisa bibliográfica e respectivas palavras-chaves

ETAPAS	Palavras-chaves	Total de artigos
1	"product-service system" + "life cycle assessment"	67
	"product-service system" + "e-waste"	
	"product-service system" + "electronic waste"	
	"product-service system" + "environmental impacts"	
	"product-service system" + "WEE"	
	"product-service system" + "life cycle assessment" + "electronic waste"	
2	"life cycle assessment" + "e-waste"	126
	"life cycle assessment" + "eletronic waste"	
	"life cycle assessment" + "product-service system"	
	"life cycle assessment" + "e-waste" + "environmental impacts"	
	"life cycle assessment" + "WEEE"	
3	TOTAL	193
	TOTAL sem duplicados	175
	TOTAL título, resumo, palavras-chaves	93

Fonte: Elaborado pelos Autores (2018).

Por meio de análise em bases de dados do Portal de Periódicos CAPES (*Scopus e Science Direct*), realizou-se a busca e coleta de artigos com base nas palavras chaves citadas na Figura 7, entre os anos de 2008 e 2017, totalizando 193 artigos. Esses artigos foram encaminhados para o *software* Endnote®, onde foram retirados os duplicados restando 175 artigos.

Posteriormente, os 175 artigos passaram por análise bibliométrica no *software* Endnote® onde foram selecionados e organizados. Em seguida procedeu-se a análise de conteúdo desses artigos havendo a leitura de seus títulos, resumos e palavras-chaves identificando-se os trabalhos pertinentes à pesquisa, restando 93 artigos.

Desses 93 artigos foram escolhidos os 25 artigos com os autores mais citados na análise bibliométrica realizada no Endnote®, os quais representaram a base para a justificativa desse trabalho. Em seu conteúdo, expressaram os impactos ambientais e sociais, decorrentes das substâncias envolvidas na produção dos REEE.

3.1.2 Análise de conteúdo

Nessa etapa os 25 artigos indicados na análise bibliométrica como os mais citados, foram lidos na íntegra para identificar na literatura os problemas ligados aos REEE que mais impactam ambientalmente. Outras referências que exaltam os impactos provenientes desses elementos, também foram utilizadas para compor a justificativa desse trabalho.

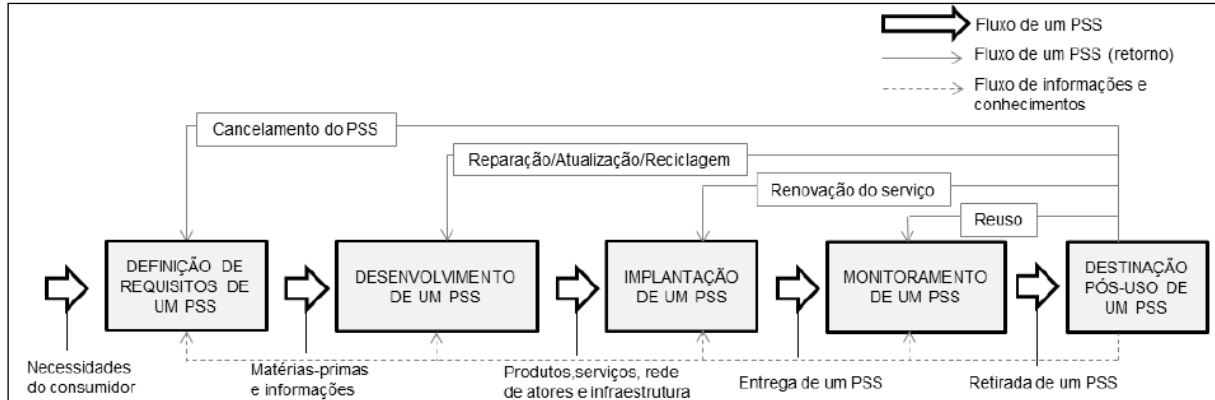
Por meio dessa leitura identificou-se a linha verde dos REEE e os seus componentes como a mais nociva, devido a vários aspectos (quantidade produzida mundialmente, ciclo de vida, composição, entre outros) que justificam o seu estudo.

Como resultado da análise de conteúdo, foi elaborado um quadro (encontra-se na seção 4.2 desse trabalho) com os principais autores citados na literatura e os principais pontos destacados pelos mesmos.

3.1.2.1 Ciclo de vida do Sistema Produto-Serviço (PSS)

Bolgenhagen (2016) explica que o PSS envolve todos os atores envolvidos no processo (fabricantes, fornecedores e clientes), os quais interagem entre si na cadeia produtiva do início ao fim, Figura 6, podendo ser adaptado dependendo do modelo de negócio PSS. Assim, o ciclo de vida do PSS deve ser avaliado e projetado em todas as suas fases de aplicação (TUKKER, 2004; MEIER et al., 2010).

Figura 6– Ciclo de vida do Sistema Produto-Serviço (PSS)



Fonte: Beuren (2013).

Conforme mostra Beuren (2013), o ciclo de vida do PSS inclui cinco etapas principais, cada uma dividida em sub etapas definidas como fatores, que fazem parte do modelo de negócio.

A primeira etapa na criação de um PSS é a definição de requisitos, onde são definidas as necessidades dos clientes agregando informações como orientação do PSS (orientado ao produto, serviço ou resultado) e melhorias para a etapa de desenvolvimento.

Posteriormente, a etapa de desenvolvimento delimita as ações que devem ser feitas em cada fator (produto, serviço, rede de atores e infraestrutura) para o desenvolvimento do PSS.

Após o desenvolvimento, a etapa de implantação indica como o PSS deve ser aplicado pelo consumidor em todos os seus fatores, indicando seu modo de utilização, o comportamento dos atores para atender ao PSS, e por fim, a infraestrutura necessária para a implantação.

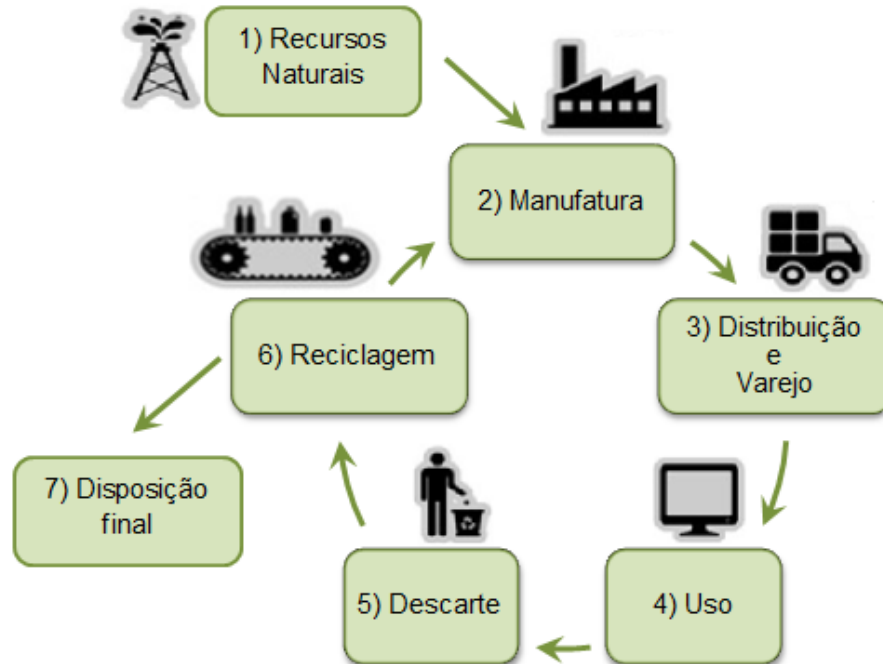
Em seguida, na etapa de monitoramento são identificadas possíveis melhorias no negócio a partir de informações do produto dadas pelo consumidor e atores envolvidos.

Por fim, na etapa de pós-uso é feita uma análise das informações obtidas da etapa anterior. Beuren (2013), destaca a importância das melhorias contínuas ao fim de cada etapa, visando aceitação e satisfação do consumidor e melhores resultados.

3.1.2.2 Ciclo de vida da linha verde de REEE

São etapas do ciclo de vida dos REEE: retirada das matérias primas, processamento na indústria, uso do equipamento e seu fim de vida útil (BOLGENHAGEN, 2016), conforme ilustra a Figura 7:

Figura 7 - Ciclo de vida dos REEE



Fonte: Elaborado pelos Autores (2018).

Na primeira etapa do ciclo de vida do REEE, são retirados os insumos necessários para a fabricação de eletrônicos de diversos tipos e linhas, incluindo partes compradas e subconjuntos de peças.

Após a extração, esses insumos são enviados para a indústria, processados e posteriormente resultarão em um aparelho eletrônico o qual será distribuído para o varejo, e adquirido pelo consumidor.

Na quarta etapa o equipamento é utilizado até chegar ao fim da sua primeira vida útil, podendo ser armazenado, reciclado ou enviado para um mercado de segunda mão.

Ao fim da segunda vida útil esse equipamento é descartado ou encaminhado para usinas de reciclagem, onde será incinerado (ABDI, 2013; BOLGENHAGEN, 2016). Essa etapa é a mais crítica no ciclo de vida dos equipamentos eletroeletrônicos, onde ocorrem os maiores riscos de contaminação ambiental e social (PRADO et al., 2016; HIBBERT e OGUNSEITAN, 2014) devido ao processo de reciclagem onde há a separação manual ou mecanizada das peças e elementos (HIBBERT e OGUNSEITAN, 2014), geralmente metais, plásticos e placas de circuito eletrônico, os quais carregam uma grande quantidade de elementos químicos ocasionando riscos à saúde e ao meio ambiente (ABDI, 2013; UMAIR et al., 2015; CONCEPCION et al., 2016).

Na última etapa de disposição em aterros do material, ocorre a queima e distribuição dos rejeitos provenientes da reciclagem, segunda vida útil ou da etapa de armazenamento (BOLGENHAGEN, 2016). Ao serem incinerados os resíduos eliminam em forma de fumaça tóxica os elementos químicos, causando poluição do ar e intoxicação (PRADO et al., 2016; HIBBERT e OGUNSEITAN, 2014). Quando dispostos em aterros, os elementos químicos são diluídos no lençol freático e poluem a água (MATTOS et al., 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

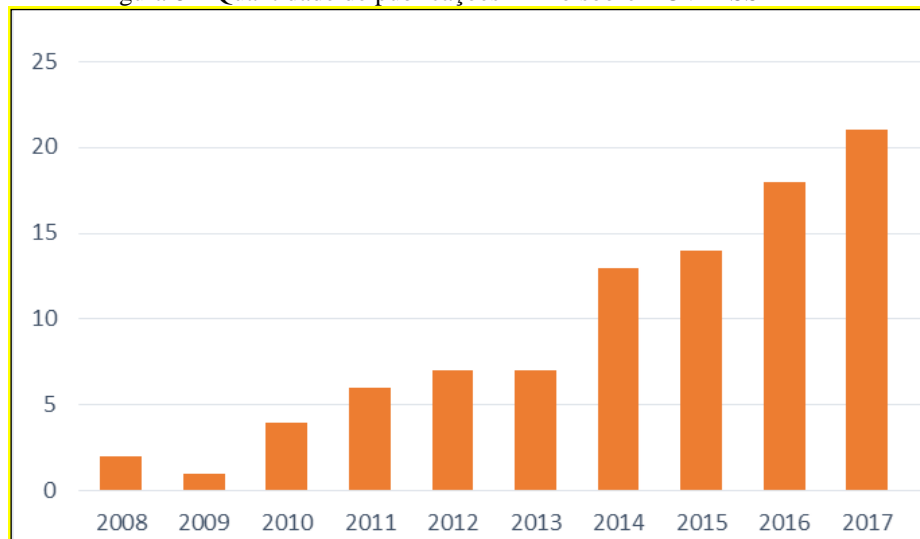
A seguir, serão expostos os resultados obtidos em cada etapa desse trabalho.

4.1 Resultados da análise bibliométrica

Essa seção apresenta os resultados obtidos na análise bibliométrica dos 93 artigos, conforme Figura 5, realizada no *software* Endnote®, tendo como período de buscas os anos entre 2008 – 2017.

Sabe-se que o tema é relevante para especialistas e para a academia, tal resultado pode ser observado na Figura 8, onde apontam-se o crescimento de publicações anuais sobre os temas ACV + PSS + REEE.

Figura 8 – Quantidade de publicações x Ano sobre ACV+PSS+REEE

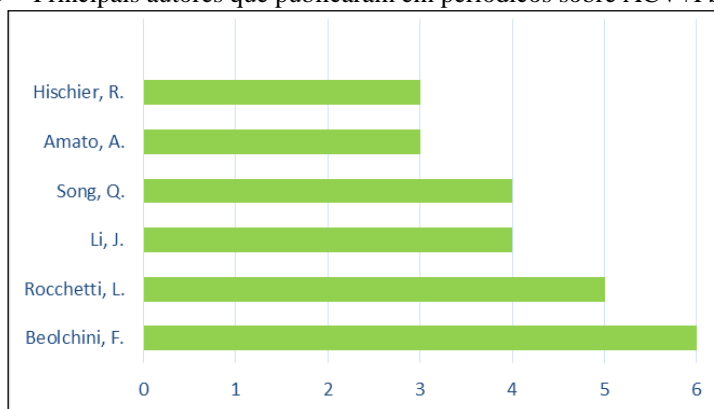


Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

Desde 2008 esse assunto vem sendo abordado pela academia e especialistas, sendo que em 2017 ele passou da marca dos 20 artigos publicados em periódicos por ano. Acredita-se que esse montante tende a crescer devido à importância acadêmica e social do tema.

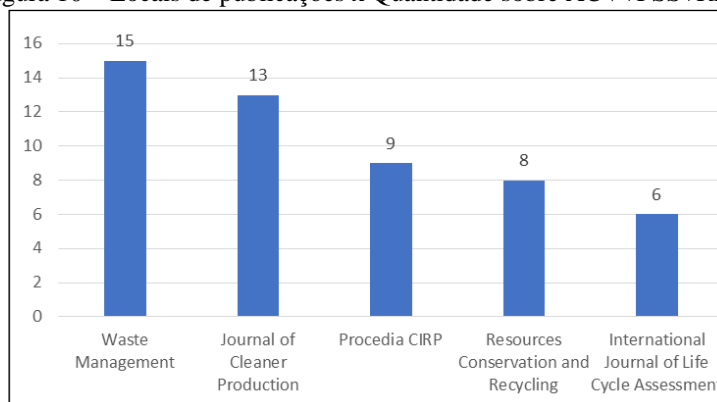
A Figura 9, aponta os principais autores que escreveram e publicaram sobre o tema no período de buscas (entre 2008 e 2017), sendo esses responsáveis pela lacuna de pesquisa encontrada nesse trabalho.

Figura 9 – Principais autores que publicaram em periódicos sobre ACV+PSS+REEE



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Figura 10 – Locais de publicações x Quantidade sobre ACV+PSS+REEE



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Francesca Beolchini e Laura Rocchetti são as autoras mais citadas na literatura, a partir da análise bibliométrica dos 93 artigos (Figura 9), tendo respectivamente 6 e 5 trabalhos publicados no período de buscas (2008-2017). Em companhia de Li, Song, Amato e Hischier, compõem o grupo de autores que mais publicam sobre o tema.

Na Figura 10, são mostrados os periódicos que mais publicam sobre ACV+PSS+REEE. *Waste Management* é o local onde há mais publicações no período de pesquisa (2008 – 2017), sendo 15 no total. Em seguida, *Journal of Cleaner Production* e *Procedia CIRP* seguem no topo de publicações acerca de temas envolvendo sustentabilidade, tendo 13 e 9 artigos publicados respectivamente.

4.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Como resultado da análise de conteúdo, elaborou-se o Quadro 1, onde foram analisados os principais tópicos abordados pelos 25 artigos indicados na análise bibliométrica, além de outras referências importantes para a pesquisa.

Quadro 1 – Principais tópicos identificados na literatura (n=25 artigos)

	Principais tópicos	Referências
Componentes REEE	Partes de REEE de linha verde que causam preocupação devido aos seus componentes: LCD(Display de Cristal líquido), CRT (Tubo de raio catódico), Placas de circuito impresso	AMATO et al. (2017); AMATO et al. (2016); HISCHIER (2015); ROCCHETTI et al. (2013); RUELLO et al. (2016); SONG et al. (2015),(2013),(2012); WAGER et al. (2011); WIDMER et al. (2005); WU et al. (2008)
	Materiais valiosos que compõem os REEE os quais poderiam ser reciclados e são importantes economicamente. Por exemplo: Índio, Ouro, Paládio e Prata.	AMATO et al. (2017); AMATO et al. (2016); ROCCHETTI et al. (2013); RUELLO et al. (2016); SONG et al. (2015),(2013),(2012); WAGER et al. (2011)
	Materiais tóxicos que compõe os REEE os quais impactam no meio ambiente e saúde humana. Por exemplo: Mercúrio, Chumbo, Cádmiio, Cromo, Cobre, Níquel, retardadores de chamas bromados, entre outros.	AMATO et al. (2017); LI et al. (2016); ROCCHETTI e BEOLCHINI (2014); ROCCHETTI e VEGLIO (2014); ROCCHETTI et al. (2013); RUELLO et al. (2016); SONG et al. (2015),(2013),(2012); WAGER et al. (2011); PRADO (2016) ; HIBBERT e OGUNSEITAN (2014); ABDI (2013); UMAIR et al. (2015); CONCEPCION et al. (2016); MATTOS et al. (2008); LOPES et al. (2008); BIGUM et al. (2012); WU et al. (2008)
ACV	Aplicação da Análise do Ciclo de Vida (ACV) como técnica de apoio e coleta de informações sobre os REEE	AMATO et al. (2017); AMATO et al. (2016); HISCHIER (2015); ROCCHETTI e BEOLCHINI (2014); ROCCHETTI e VEGLIO (2014); ROCCHETTI et al. (2013); RUELLO et al. (2016); SONG et al. (2015),(2013),(2012); WAGER e HISCHIER (2015); WAGER et al. (2011); WU et al. (2008)
Tratamentos de REEE	Sistemas com novas tecnologias de tratamento e reciclagem de REEE	ROCCHETTI e BEOLCHINI (2014); ROCCHETTI e VEGLIO (2014); ROCCHETTI et al. (2013); WAGER e HISCHIER (2015); WAGER et al. (2011)
Impactos dos REEE	Impactos ambientais e sociais (lixiviação, poluição do ar, solo e água, intoxicação, doenças, etc) associados ao descarte e manipulação indevida de REEE.	AMATO et al. (2017); LI et al. (2016); ROCCHETTI e BEOLCHINI (2014); ROCCHETTI et al. (2013); RUELLO et al. (2016); SONG et al. (2015),(2013),(2012); WAGER e HISCHIER (2015); WAGER et al. (2011); PRADO (2016) ; HIBBERT e OGUNSEITAN (2014); ABDI (2013); UMAIR et al. (2015); CONCEPCION et al. (2016); MATTOS et al. (2008); NUNES et al. (2017); WU et al. (2008)
	Aumento da produção e tecnologia avançada em eletrônicos, obsolescência programada e menor vida útil desses aparelhos	AMATO et al. (2017); AMATO et al. (2016); LI et al. (2016); ROCCHETTI e VEGLIO (2014); RUELLO et al. (2016); SONG et al. (2015),(2013),(2012); MATTOS et al., 2008; UMAIR et al.(2015)

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

O Quadro 1 destaca os principais tópicos destacados nos principais trabalhos identificados na literatura sobre o assunto pesquisado. Os principais tópicos foram divididos em: Componentes REEE, os quais destacam os materiais que causam maiores danos ao meio ambiente; ACV, a qual realiza uma análise do ciclo de vida dos materiais, apontando durante o ciclo quais os danos causados ao meio ambiente; Tratamentos de REEE, os quais salientam que existem tecnologias de tratamento e reciclagem destes materiais; e Impactos dos REEE, destacando os principais impactos causados, como lixiviação, poluição do ar, do solo e ar e demais doenças que podem causar o descarte incorreto de materiais oriundos dos resíduos de Eletroeletrônicos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado da indústria de eletrônicos tem oferecido inúmeras inovações em produtos para atender as demandas e necessidades do consumidor. Porém o mesmo mercado é o maior responsável pelo montante de lixo eletrônico produzido no mundo, ocasionando impactos relevantes nas esferas social e ambiental.

Nesse contexto, há a necessidade de criação de projetos e pesquisas de produtos e ferramentas que auxiliem as indústrias na elaboração de equipamentos eletrônicos mais sustentáveis que reduzam os resíduos desses equipamentos ao final da sua vida útil.

O presente trabalho evidenciou tanto os malefícios decorrentes da disposição inadequada desses resíduos, bem como o aumento no número de pesquisas sobre o tema, demonstrando a sua importância em nível mundial, sugerindo uma maior atenção por parte da academia. Para as empresas responsáveis cabe o cumprimento das novas políticas para a sustentabilidade que estão sendo desenvolvidas mundialmente, uma maior aplicação de modelos e ferramentas de gestão ambiental para gerenciar o ciclo de vida desses produtos, como também o fomento de técnicas de P&D visando os desenvolvimentos de produtos mais sustentáveis a longo prazo.

O PSS é uma alternativa que visa a minimização de problemas causados ao meio ambiente pelo descarte incorreto de materiais, especificamente neste trabalho, voltado para resíduos Eletroeletrônicos. O PSS visa o prolongamento do descarte dos produtos pois o produto pertence ao provedor da oferta sendo este responsável pela sua destinação pós-uso. Assim, a proposta de realizar a análise do ciclo de vida de produtos focados em PSS é uma alternativa que deve ser considerada no desenvolvimento de novos produtos.

Este trabalho está em desenvolvimento o qual busca desenvolver uma proposta de modelo de ACV para o produto PSS direcionada aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos estudados nesse trabalho. Esta proposta visa contribuir para a elaboração de novos produtos visando um PSS, os quais sejam analisados previamente por ferramentas de ACV, considerando assim possíveis problemas que possam ser desenvolvidos no pós-uso destes produtos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, M.; SANTOS, F. A. F.; FAGUNDES, A. B.; PEREIRA, D.; BEUREN, F. H. *Proposta de um sistema produto-serviço para embalagens de proteção de produtos*. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2017.
- ARAÚJO, Marcelo M. *Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- BAINES, TIM S. et al. *State-of-the-art in product-service systems*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 221, n. 10, p. 1543-1552, 2007.
- BAINES, T.; LIGHTFOOT, H.; SMART, P. *Servitization within manufacturing operations: An exploration of the impact on facilities practices*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v.226, n.2, p.377-380, 2012.
- BEIGBEDER J, PERRIN D, MASCARO J-F, LOPEZ-CUESTA J-M. *Study of the physico-chemical properties of recycled polymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE) sorted by high resolution near infrared devices*. Resources, Conservation and Recycling, v.78, p.105-14. 2013.
- BEUREN, Fernanda Hänsch. *Desenvolvimento de um modelo conceitual para a caracterização de sistemas produto-serviço com base no seu ciclo de vida*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- BEUREN, F.H., GOMES FERREIRA, M.G., CAUCHICK MIGUEL, P.A. *Product-service systems: a literature review on integrated products and services*. Journal of Cleaner Production, v.47, 222-231, 2013.
- BOLGENHAGEN, Andrea. *Proposta de um sistema produto-serviço visando a correta destinação do lixo eletrônico*. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. São Bento do Sul, 2016.

CHEN, MENGJUN. et al. *Evolution of electronic waste toxicity: Trends in innovation and regulation*. Environment International, v.89-90, p.147-154, 2016.

CHEN, L. et al. *Study on adverse impact of e-waste disassembly on surface sediment in East China by chemical analysis and bioassays*. Journal of Soils and Sediments, v. 10, n. 3, p. 359-367, 2010.

CHEHEBE, J. R. B. *Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

CHERUBINI, Edivan; RIBEIRO, Paulo Trigo. *Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia: desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil*. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT. Brasília, 2015.

DENG, W.J.; LOUIE, P. K. K.; LIU, W. K.; BI, X. H.; FU, J. M.; WONG, M. H. *Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM2.5 at an electronic waste recycling site in southeast China*. Atmospheric Environment, v. 40, n. 36, p. 6945-6955, 2006.

FERREIRA, Juliana M. de B. et al. *A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica*. Revista Ciências exatas e tecnologia, v.3, n. 3, p. 157-170, 2008.

GERBASE, E.A., OLIVEIRA, C.R.D., BERNARDES, M.A. *Collection and recycling of electronic scrap: a worldwide overview and comparison with the Brazilian situation*. Waste Management. V. 32, p. 1592-1610, 2012.

GOEDKOOP, M. J. et al. *Product Service Systems ecological and economic basics. Report for Dutch Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ)*, 1999.

HAUSCHILD, M.Z. *Assessing Environmental Impacts in a Life Cycle Perspective*. Environmental Science and Technology, v. 39, n.4, p. 81A-88A, 2005.

HU, A. H.; Chen, S.H.; Hsu, C.W.; Wang, C.; Wu, C.L. *Development of sustainability evaluation model for implementing product service systems*. International Journal of Environmental Science and Technology. v.9, n. 2, p. 343-354, 2012.

LI, M.S., ZANG, H.M., LI, Z., TONG, L.J. *Economy-wide material input/output and dematerialization analysis of Jilin Province (China)*. Environmental Monitoring and Assessment 165 (1-4), 263-274, 2010.

LI, J., DONG, Q., LIU, L., SONG, Q. *Measuring treatment costs of typical waste electrical and electronic equipment: a pre-research for Chinese policy making*. Waste Management. 57, 36-45, 2016.

LOPES, R. J. F.; OLIVEIRA, I.L.; KOVALESKI, J.L.; SILVA, A.S. *Análise do Ciclo de Vida de Produtos como Técnica de Apoio a Gestão Ambiental e Industrial*. 2011. Disponível em: <<http://pg.utfpr.edu.br/expout/2011/artigos/7.pdf>>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: Edusp, 2002.

MATTOS, K. M.C. et al. *Os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente*. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

MAXWELL, D., SHEATE, W., VAN DER VORST, R. *Functional and systems aspects of the sustainable product and service development approach for industry*. Journal of Cleaner Production 14 (17), 1466-1479, 2006.

MAZUR, Fabiane. *Avaliação do ciclo de vida do produto: uma ferramenta de gestão ambiental*. Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

MEIER, H; UHLMANN, E.; KRUG, C.M. VÖLKER, O.; GEISERT, C.; STELZER, C. *Dynamic IPS2 networks and operations based on software agents*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v.3, n.2, p. 165-173, 2010.

MOI, Paula C.P. et al. *Lixo Eletrônico: Consequências e Possíveis Soluções*. UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT, 2011.

NAMIAS, Jennifer. *The future of electronic waste recycling in the united states: Obstacles and Domestic Solutions*. Department of Earth and Environmental Engineering - Columbia University. United States of America. 2013.

NUNES, I. C.; NITZ, A. L.; FAGUNDES, A. B.; PEREIRA, D.; BEUREN, F. H. *Impactos Sociais, ambientais e econômicos do lixo eletrônico: Uma revisão na literatura visando um Sistema Produto-Serviço*. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2017.

OLIVEIRA, Livia, F. F. *Comércio de resíduos eletrônicos e a convenção da Basiléia: Uma análise econômica*. Tese Mestrado. Universidade de Brasília. 2012.

PRADO, O. A; GALEGALE, N. V.; TEIXEIRA, E. P.; IRAZUSTA, S. P. *Agravos à saúde decorrentes do descarte incorreto de resíduos eletroeletrônicos revisão de literatura*. XI Workshop de Pós-Graduação e pesquisa do Centro Paula Souza, São Paulo, 2016.

ROCCHETTI L., BEOLCHINI F. *Environmental burdens in the management of end-of-life cathode ray tubes*, Waste Management, 34, 468-74, 2014.

- ROCCHETTI L., VEGLIÒ F., KOPACEK B., BEOLCHINI F. *Environmental impact assessment of hydrometallurgical processes for metal recovery from WEEE in a mobile prototype*, Environmental Science and Technology, 47, 1581-1588, 2013
- SILVA, L. S. V da. et al. *Logística reversa do lixo tecnológico: um estudo sobre o comportamento dos consumidores de aparelhos móveis*. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 11, n. 3, p. 133-151. Bauru, 2015.
- SILVA, J.S.G; SANTOS, A. Dos. *O conceito de sistemas produto-serviço: um estudo de caso introdutório*. III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí, 2009.
- SHARPRE, M. *Climbing the e-wast mountain*. Journal of Environmental Monitoring, v. 7, p. 933-936, 2005.
- SONG, Q., LI, J. *A review on human health consequences of metals exposure to e-waste in China*. Environ. Pollut. 196, 450–461, 2015.
- SONG, Q., WANG, Z., LI, J. *Sustainability evaluation of e-waste treatment based on emergy analysis and the LCA method: A case study of a trial project in Macau*. Ecol. Indic. 30, 138-147, 2013.
- SONG, Q., WANG, Z., LI, J., & ZENG, X. *Life cycle assessment of TV sets in China: A case study of the impacts of CRT monitors*. Waste Management, 32(10), 1926-1936, 2012.
- SPROTTE, Kátia. *Melhores práticas na oferta de aparelhos celulares para PSS*. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2017.
- TANAUE, A. C. B. et. al. *Lixo Eletrônico: Agravos a Saúde e ao Meio Ambiente*. Ensaios Cienc., Cienc. Biol. Agrar. Saúde, v.19, n.3, p. 130-134, 2015.
- TUKKER, A. *Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet*. Business Strategy and the Environment, v.13, n.4, p.246-260, 2004.
- UMAIR, Shakila, et al. *Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines*. Journal Resources, Conservation and Recycling, v.95, p.46-57, 2015.
- VEZZOLI, C. *System design for sustainability. Theory, methods and tools for a sustainable “satisfaction-system” design*. Maggioli Editore. Milano, Italy, 2007.
- YANG, X., MOORE, P., PU, J.S., WONG, C.B. *A practical methodology for realizing product service systems for consumer products*. Computers and Industrial Engineering 56 (1), 224-235, 2009.