



**VII SINGEP**

Simposio Internacional de Gestao de Projetos, Inovacao e Sustentabilidade  
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317-8302

## **RASTREABILIDADE DE OBJETOS APLICADA AO RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**

**CARLOS EDUARDO WEBER**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO CARVALHO**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



## **RASTREABILIDADE DE OBJETOS APLICADA AO RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**

### **Resumo**

O avanço da tecnologia e a redução do ciclo de vida dos produtos alavancaram um crescimento da aquisição e descarte dos equipamentos eletroeletrônicos. Devido à questão do descarte, entidades de preservação ambiental e governos de vários países têm se preocupado com os problemas causados pelo acúmulo desse lixo eletrônico ao meio ambiente e à saúde do ser humano. Países e comunidades têm estabelecido normas e leis que responsabilizem os fabricantes e consumidores desses produtos. Este artigo tem o objetivo de realizar um levantamento sobre a questão da rastreabilidade de objetos e sua aplicabilidade no mercado de tratamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. O método de pesquisa usado neste trabalho inicia-se com uma pesquisa exploratória e evolui para uma revisão sistemática da literatura. O artigo reuniu a visão dos principais autores e publicações sobre o tema, dentro do escopo e contexto da pesquisa e sugere a implementação de possíveis trabalhos a serem executados nesta linha de pesquisa.

**Palavras-chave:** REEE, Lixo eletrônico, Rastreabilidade, Sustentabilidade, Tecnologia.

### **Abstract**

The advancement of technology and the reduction of the product life cycle have leveraged the growth of the acquisition and disposal of electronic equipment. Due to the issue of disposal, environmental preservation agencies and governments in several countries concerned about the problems caused by the accumulation of this electronic waste to the environment and human health. Countries and communities established standards and laws that hold manufacturers and consumers of these products accountable. This article aims to carry out a survey on the issue of traceability of objects and its applicability in the market for the treatment of Waste Electrical and Electronic Equipment. The method used in this work begins with an exploratory research and evolving to a systematic literature review. The article gathered the view of the main authors and publications on the subject, within the scope and context of the research and suggests the implementation of possible works to be performed in this line of research.

**Keywords:** WEEE, e-waste, Traceability, Sustainability, Technology.



## 1 Introdução

Para se garantir a preservação do planeta e a sua sustentabilidade, uma necessidade premente existente é o tratamento de materiais e equipamentos eletrônicos. Devido ao crescimento populacional e do número de equipamentos utilizados, devido à diminuição do tempo de vida útil dos produtos, essa ação torna-se indispensável. Segundo Kiddee, Naidu e Wong (2013), o desperdício eletrônico é um dos problemas de poluição de crescimento mais rápido em todo o mundo, dada a presença de uma variedade de substâncias tóxicas nesse tipo de equipamentos que podem contaminar o meio ambiente e ameaçar a saúde humana, se os protocolos de disposição não forem gerenciados meticulosamente.

Com a implementação dessa atividade, surge a necessidade de saber o destino dos equipamentos reciclados e seus componentes, a fim de realizar a gestão do material reciclado.

Este artigo tem o objetivo de realizar um levantamento sobre a questão da rastreabilidade de objetos e sua aplicabilidade no mercado de tratamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE).

Devido ao crescimento desse material e aos efeitos nocivos que pode causar ao planeta tornou-se uma preocupação mundial (Aizawa, Yoshida, & Sakai, 2008; Kiddee *et al.*, 2013), este trabalho de rastrear os REEE.

A fim de reduzir os impactos provocados por esses resíduos, a comunidade internacional tem estabelecido normas para o descarte sustentável desse material (Aizawa *et al.*, 2008; Kahhat *et al.*, 2008; União Europeia, 2003, 2012). No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (2017) estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que define regras e responsabilidades para o descarte dos resíduos.

As organizações e a sociedade têm procurado se adequar às normas e, com esse propósito surgiram entidades destinadas à coleta, ao tratamento e ao descarte desses materiais. No entanto, iniciaram-se pesquisas que indicam que algumas entidades acabam destinando esses resíduos para lugares inadequados ao invés de realizar o devido tratamento dos resíduos (Zhang, Schnoor, & Zeng, 2012).

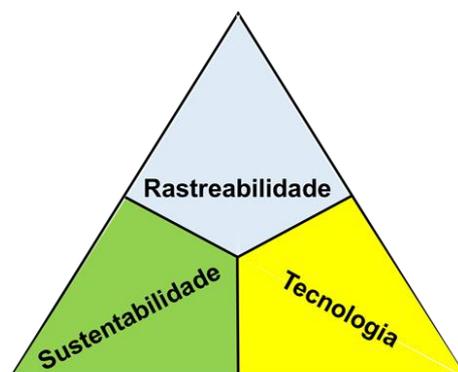
Surge, a partir dessa questão, a oportunidade de uma pesquisa para realizar a rastreabilidade desses resíduos. O uso da tecnologia para determinar o destino desse lixo eletrônico se mostra como um importante aliado para a minimização do problema. Face a esse cenário, o desenvolvimento de estudos científicos que auxiliem a desenvolver sistemas viáveis para a execução dessa atividade torna-se necessário.

Este artigo está estruturado inicialmente com a Introdução contendo o tema, o problema e o objetivo da pesquisa. O capítulo 2, Referencial Teórico, apresenta os estudos relevantes realizados para o tema escolhido. Refere-se ao levantamento bibliográfico realizado para estruturar a fundamentação teórica do trabalho construída a partir da análise do material coletado por meio da pesquisa. O Método de Pesquisa descrito no capítulo 3 deste artigo, apresenta os procedimentos, as técnicas e os instrumentos utilizados, informações sobre coleta, processamento de dados, local da pesquisa, fluxos de pesquisa e formas de análise. O capítulo 4, Análise dos resultados, descreve os resultados obtidos, em ordem cronológica, por meio de dados, gráficos, tabelas e figuras. Também descreve e relaciona causas e efeitos; estabelece, a partir dos levantamentos efetuados, a dedução das generalizações e princípios básicos; indica a aplicabilidade dos resultados obtidos; explica as teorias, princípios e possíveis contradições associadas ao trabalho. O quinto capítulo, Considerações finais, descreve as descobertas e conclusões fundamentadas nos resultados obtidos e na discussão realizada e sugere a possibilidade de realização de novas pesquisas em trabalhos futuros.



## 2 Referencial Teórico

A estrutura do trabalho tem como base, os seus principais constructos, a sustentabilidade, a tecnologia e a rastreabilidade, conforme Figura 1. Essa pesquisa apresenta como a rastreabilidade está associada à necessidade de sustentabilidade e à tecnologia que possibilita a sua execução.



**Figura 1: Constructos da pesquisa.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.1 Sustentabilidade

A palavra sustentabilidade é um substantivo feminino que indica qualidade, característica ou condição de sustentável. Deriva-se do verbo transitivo direto sustentar, do latim *sustentare*, que pode significar: Dar ou receber alimentos, condições materiais ou cuidados fundamentais à manutenção da vida; Criar e oferecer condições para que uma atividade tenha continuidade; Garantir recursos materiais para a sobrevivência de uma nação, de uma sociedade etc. (Michaelis On-Line, 2018a, 2018b, 2018c).

Segundo Holden, Linnerud e Banister (2014), o termo sustentabilidade surgiu na ciência ecológica e expressa as condições necessárias para que o ecossistema se sustente por um longo período. O tema sustentabilidade está associado à necessidade de aumento de práticas sociais que incentivem o acesso e a disseminação das informações sobre os problemas ambientais e a transparência das ações do poder público (Jacobi, 2003). A sociedade necessita estar informada e engajada na solução dos problemas que afetam a sua existência e a do planeta.

No entanto, o desenvolvimento é uma característica do ser humano e uma necessidade quanto à evolução da espécie. O desenvolvimento sustentável surge e pode ser definido como um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades (ONU, 2018).

#### 2.1.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Os riscos provocados à saúde da população pelos materiais provenientes dos REEE são preocupantes. Com o crescimento do consumo e uso de equipamentos eletroeletrônicos como telefones celulares e computadores pessoais e com a sua rápida obsolescência, o descarte de tais equipamentos acarreta no aumento de materiais perigosos para a saúde dos indivíduos, dispostos de forma inadequada na natureza (Kahhat *et al.*, 2008; Carvalho & Xavier, 2013; Tanskanen, 2013).



Exigências legais têm sido estabelecidas para responsabilizar os produtores, distribuidores e consumidores em relação ao processo de descarte desses materiais. A União Europeia (2002, 2003, 2012) definiu diretivas em relação a esse assunto na tentativa de minimizar os impactos nocivos ao meio ambiente e aos seres vivos. Por meio da lei nº 12.305/10, que institui a PNRS, o Ministério do Meio Ambiente (2017) regulamenta no Brasil as regras e as responsabilidades referentes ao descarte de resíduos sólidos.

Esse fator legal tem sido a motivação para que as empresas executem ações de ordem social, econômica e ambiental que permitam a implementação e o gerenciamento do descarte e da reciclagem sustentável de resíduos no planeta (Carvalho & Xavier, 2013).

A necessidade de acompanhamento do fluxo que se inicia na fabricação do equipamento eletroeletrônico e prossegue na comercialização e no processo de descarte (Kahhat *et al.*, 2008; Carvalho & Xavier, 2013; Kiddee *et al.*, 2013; Bahers & Kim, 2017) é algo que incentiva o desenvolvimento de estudos e ações sobre o assunto.

### 2.1.2 Economia Circular

A economia circular é um modelo que implementa o uso racional de recursos, capaz de restaurar ou regenerar um produto ou serviço, a fim de projetar o desperdício, estimando a quantidade de material a ser reaproveitada, por meio de um ciclo econômico, natural e social, minimizando os impactos negativos sobre a natureza (eCycle, 2013; Ellen MacArthur Foundation, 2017; Parajuly & Wenzel, 2017). A economia circular pode ser considerada uma alternativa para o modelo de negócio atual e uma forma de linha de apoio para a produção e o consumo sustentáveis (Parajuly & Wenzel, 2017).

A reciclagem de produtos de resíduos elétricos ou eletrônicos pode propiciar a diminuição do uso de recursos virgens na fabricação e, como consequência, uma redução da poluição ambiental (Cucchiella, D'Adamo, Lenny Koh, & Rosa, 2015).

A reciclagem pode auxiliar a estabelecer ciclos e realimentar o processo com o retorno de materiais à cadeia de produção. No entanto, é importante verificar que os ciclos podem não ser perfeitos e a ocorrência de desvios no processo é uma realidade a ser considerada (Bartl, 2015). A Figura 2 mostra o fluxo estabelecido pela economia circular.



**Figura 2: Economia Circular.**

Fonte: Adaptado de (NetResíduos, 2013).

A implementação da Economia Circular no mundo ainda se encontra em um estágio inicial de desenvolvimento, no entanto ela fornece um quadro que possibilita o aprimoramento do modelo comercial atual e oferece condições para o desenvolvimento econômico e industrial preventivo e regenerativo, além de proporcionar o aumento do bem-



estar com base na integridade ambiental recuperada. No entanto, apenas um número limitado de países adotou ações preliminares em relação à Economia Circular e ainda é necessário um comprometimento maior nesse sentido (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016). Dessa forma, verifica-se que a adoção da Economia Circular pode trazer benefícios para a sociedade evitando o desperdício e tornando o planeta mais sustentável. Campanhas de treinamento dedicadas sobre a importância da recuperação de REEE devem ser incentivadas, a fim de aumentar o potencial de recuperação desse material (Awasthi *et al.*, 2018). A reutilização dos equipamentos representa uma atividade importante que precisa ser encorajada para o desenvolvimento de uma economia circular (Cole, Gnanapragasam, & Cooper, 2017).

Segundo Awasthi *et al.* (2018), o desperdício eletrônico pode ser considerado uma oportunidade para a reciclagem ou recuperação de metais valiosos como cobre, ouro e prata. Cucchiella *et al.* (2015) analisaram os resíduos obtidos de diversos equipamentos e módulos eletrônicos e compararam as receitas geradas pela reciclagem desse material. Concluíram que as potenciais receitas provenientes da reciclagem de resíduos eletrônicos eram da ordem de 2,15 bilhões de euros no mercado europeu.

### 2.1.3 Logística Reversa

A Logística Reversa consiste na responsabilização das empresas em relação aos produtos após o consumo, de forma que se assegure a devida coleta e o encaminhamento do material à empresa de origem para o seu reaproveitamento ou destinação segura (Demajorovic, Huertas, Boueres, da Silva, & Sotano, 2012).

Analisando os aspectos sociais da logística reversa, verifica-se que as cooperativas de reciclagem são uma alternativa para trabalhadores não qualificados e evidencia-se um maior número de mulheres dentre os cooperados das organizações desta natureza. Em comparação ao trabalho de catadores autônomos, nas cooperativas existe a possibilidade dos seus cooperados obterem um trabalho formal, em um ambiente de menor insalubridade, onde os materiais fornecidos às cooperativas são pré-selecionados, além disso existe a disponibilidade de equipamentos de proteção individual, o que não acontece para os catadores autônomos (de Souza, de Paula, & de Souza Pinto, 2012).

## 2.2 Rastreabilidade

A rastreabilidade de requisitos está associada à capacidade de acompanhar e descrever a trajetória da vida de um requisito, desde a sua origem até o momento de análise (Gotel & Finkelstein, 1994).

Existe o desafio de mudar o atual sistema para uma economia circular e uma proteção ecológica por meio de dispositivos digitais. Isso depende da rastreabilidade dos dispositivos e da cooperação entre todas as partes interessadas, local e globalmente. Além disso, há a necessidade de mecanismos de apoio para facilitar, padronizar e reduzir o custo de transação dos processos e aumentar seu valor agregado (Franquesa, Navarro, & Bustamante, 2016).

A digitalização da cadeia de fornecimento baseada em tecnologia apropriadas pode diminuir os riscos de desperdício e ineficiência. Verifica-se a necessidade de estimar os benefícios potenciais de novos serviços de logística e transporte neste complexo cenário de cadeia de suprimentos e operações relacionadas à projetos da área de telecomunicações (Liotta & Holmström, 2016).



## 2.3 Tecnologia

Tecnologia é uma palavra de origem grega que indica o estudo da técnica, da arte ou de um ofício. Envolve o conhecimento técnico e científico e a sua aplicação por meio da sua transformação no uso de ferramentas, processos e materiais, elaborados e usados com base nesse conhecimento. Sendo assim, a tecnologia pode ser considerada, genericamente, o encontro entre a ciência e a engenharia (Wikipedia, 2018). Pode-se definir a tecnologia como um conjunto de processos, métodos e conhecimentos que podem gerar uma aplicação (Larousse do Brasil & Carvalho, 2009).

O uso da tecnologia permite ao ser humano o desenvolvimento e a implementação de sistemas, mecanismos ou serviços que atendam ao interesse da sociedade. Em relação ao tema abordado existem algumas tecnologias que podem contribuir para a concretização da proposta deste trabalho.

### 2.3.1 Código de barras

O código de barras é uma linguagem internacional comum usada em produtos no mundo. Trata-se de um código unificado internacional sobre um produto. O uso mais comum da técnica é no controle de estoque de materiais. A tecnologia de código de barras facilita a integração da gestão de compra, venda e armazenamento. Possibilita a gestão automatizada industrial (Hong-ying, 2009).

### 2.3.2 Identificação por radiofrequência

A identificação do objeto deve ser feita de forma que ele se diferencie dos demais, estabelecendo um código único que garanta a sua identidade universal.

Ao longo dos anos verificou-se o uso de códigos de barras para catalogar os produtos em lojas, supermercados, farmácias, fábricas, etc. Atualmente, a tecnologia de radiofrequência (*Radio-Frequency IDentification* – RFID) vem sendo utilizada, em substituição do código de barras, de modo a facilitar o processo de coleta dos dados que identificam o objeto sem a necessidade de intervenção humana (Khoo, 2010).

O sistema RFID é formado basicamente por três componentes: Leitor / Programador; Antena; e *Tag* ou *Transponder* (Zhekun, Gadh, & Prabhu, 2004).

### 2.3.3 Sistema de Posicionamento Global

Para determinar a localização de um objeto no planeta utilizam-se os parâmetros de latitude e longitude. Entre as tecnologias usadas para identificar o posicionamento de um objeto verifica-se: Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) (Brevik, Armitage, Wania, & Jones, 2014; EarthFixMedia, 2016; Khoo, 2010; Lee, Offenhuber, Duarte, Biderman, & Ratti, 2018; MIT Senseable City Lab, 2014), triangulação pelo serviço móvel de telefonia celular (Tecmundo, 2014) e o geoposicionamento por IP (Freedman, Vutukuru, Feamster, & Balakrishnan, 2005).

### 2.3.6 Internet das Coisas

A ideia de uma integração de vários objetos à Internet e o relacionamento com os seres humanos de acordo com seus desejos, preferências e necessidades nos remetem à Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT). Esse conceito fornece a ideia da presença de uma variedade de coisas ou objetos que, por meio de esquemas de endereçamento únicos, são capazes de



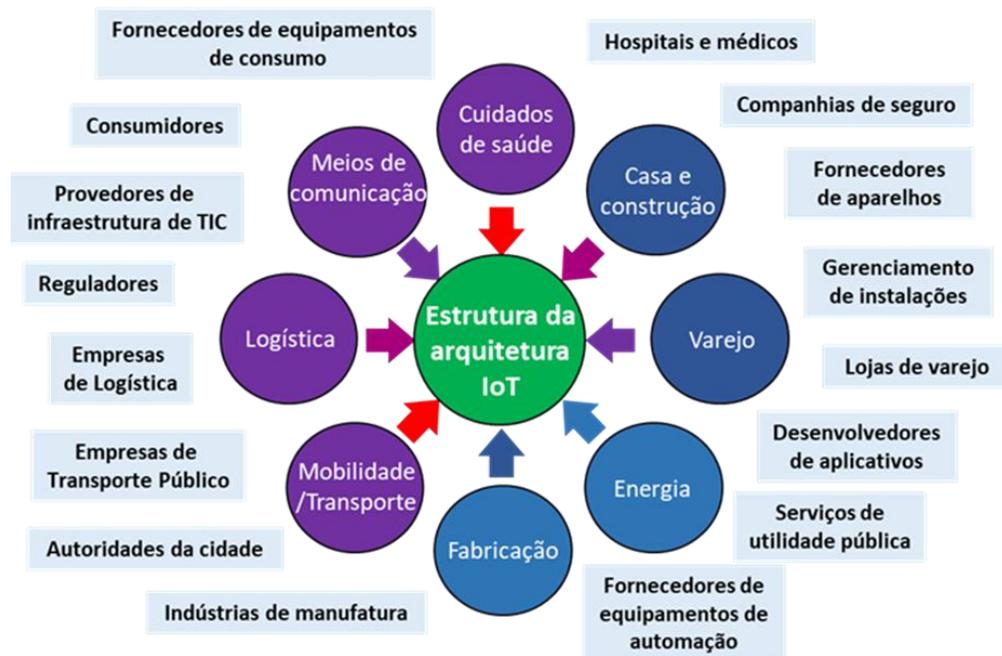
interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos em comum. A sua possível aplicabilidade pode estar associada a campos como a automação e fabricação industrial, logística, gerenciamento de negócios ou processos, transporte inteligente de pessoas e bens (Atzori, Iera, & Morabito, 2010).

A expressão IoT foi criada no fim dos anos 90. Embora a criação do termo seja atribuída a Kevin Ashton, pesquisador do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), em 1999 (Brasil, 2015; MIT, 2017), o (IEEE, 2015) relata que o termo foi usado pelo *International Telecommunication Union* (ITU), em 1997.

A definição dada pelo (IEEE, 2015) ao termo IoT é: “Uma rede de itens - cada uma incorporada a sensores - que estão conectados à Internet”.

A IoT surgiu com o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à tecnologia RFID, destinada à identificação de objetos por radiofrequência (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015; IEEE, 2015).

A IoT tende a afetar a trajetória da economia em geral, dando origem a uma nova era, onde produtos inteligentes e conectados terão um papel fundamental e trarão um crescimento da produtividade (Porter & Heppelmann, 2014). Vários setores poderão utilizar a IoT para os seus negócios, conforme pode ser visto na Figura 3.



**Figura 3: Mercado e Stakeholders de Internet das Coisas.**

Fonte: Adaptado de (IEEE, 2015).

### 3 Método de Pesquisa

O método de pesquisa iniciou-se por meio de uma pesquisa exploratória sobre o tema em estudo e foi ampliada por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura.

#### 3.1 Pesquisa exploratória

Com o intuito de identificar as principais obras e autores sobre o tema, inicialmente foram utilizadas as técnicas de bibliometria. Para esse fim, foi usada a ferramenta de

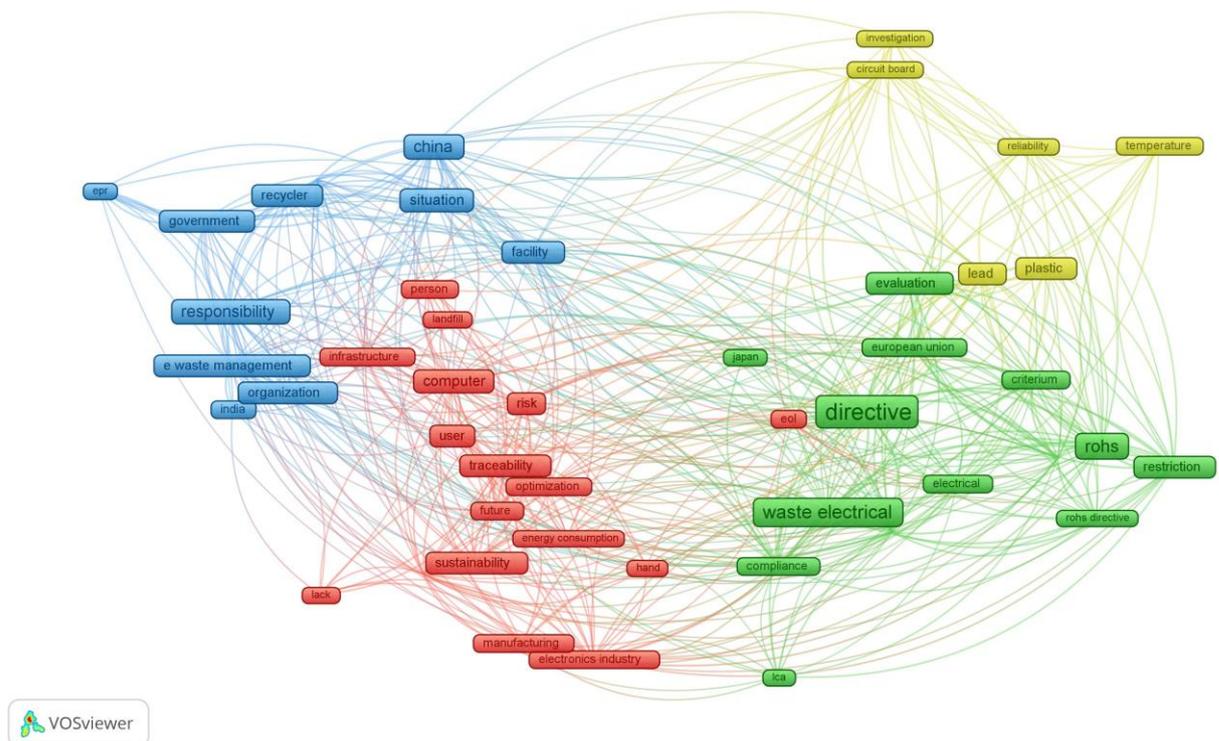


bibliometria *Harzing's Publish or Perish* (Harzing, 2016), para criar uma lógica inicial de pesquisa a ser aplicada nas bases de dados considerando-se os parâmetros usados nesta pesquisa, assim como a classificação (*ranking*) por número de citações, citações por ano e h-index. Após a análise com termos associados à pesquisa, usando como referência a base do Google Acadêmico, com uma associação lógica de pesquisa entre as palavras-chave chegou-se ao seguinte conjunto: (((*"e-waste"*) OR (*"weee"*) OR ((*"waste"*) AND (*"electronic\*"*))) AND (*"traceability"*)).

### 3.2 Revisão Sistemática da Literatura

A Revisão Sistemática da Literatura segue um processo com conjunto de atividades que visa determinar de forma procedimental os principais documentos acadêmicos das bases de dados sobre um determinado assunto. Para isso existem alguns critérios que o pesquisador deve seguir para atingir o objetivo desejado, conforme alguns modelos existentes (Littell, Corcoran, & Pillai, 2008; M. M. de Carvalho, Fleury, & Lopes, 2013; Kitchenham, 2004).

A lógica de palavras-chave resultante da pesquisa exploratória foi aplicada às bases da *Web of Science*, *Scopus*, *IEEE Xplore*, *ACM* e *Engineering Village*. O resultado da busca com 392 *papers* foi submetido à ferramenta gráfica *VOSviewer* (Eck & Waltman, 2010) para análise dos termos obtidos nos *papers*, gerando o mapa de palavras conforme Figura 4.



**Figura 4:** Mapa de palavras.

Fonte: Elaborada pelo autor. Utilizando a ferramenta *VOSviewer*.

Com a pesquisa realizada também foi possível revelar os *papers* com maior índice de relevância de forma que foi determinado a partir da análise dos artigos mais relevantes tomando como parâmetro o Índice de Impacto do Artigo ( $A_{IF}$ ), que resulta do produto do número de citações ( $A_{TC}$ ) e JCR do *Journal* ( $JCR_{IF}$ ) de acordo com a fórmula apresentada (Carvalho, Fleury, & Lopes, 2013):

$$A_{IF} = A_{TC} * (JCR_{IF} + 1)$$



Com base nessa equação foi feita uma análise mais aprofundada dos oito trabalhos de maior relevância de acordo com o contexto pesquisado, sendo que representam um percentual de 65,46% do impacto total, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Artigos mais relevantes (com base no Índice de Impacto do Artigo)

Artigo	Índice	Citações
Aizawa, H.; Yoshida, H.; Sakai, S.I. (2008)	35,496	58
Shinkuma, T.; Huong, N.T.M. (2009)	22,973	51
Ruth, S. (2009)	13,343	41
Rezoug, M.; Ouiddir, R.; Aksa, W.; Medles, K.; Bilici, M.; Dascalescu, L. (2015)	6,238	5
Guna, V. K.; Murugesan, G.; Basavarajaiah, B. H.; Ilangovan, M.; Olivera, S.; Krishna, V.; Reddy, N. (2016)	5,430	3
Aksa, W.; Medles, K.; Rezoug, M.; Ouiddir, R.; Bendaoud, A.; Dascalescu, L. (2015)	4,991	4
Wolf, M.I.; Colledani, M.; Gershwin, S. B.; Gutowski, T. G. (2013)	3,734	4
Bol, D.; de Vos, J.; Botman, F.; de Streeel, G.; Bernard, S.; Flandre, D.; Legat, J. D. (2013)	2,600	13

Nota: Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4 Análise dos resultados

Devido ao crescimento do número de eletrodomésticos residenciais, o risco ambiental associado a esses aparelhos também aumentou. Muitos países, incluindo o Japão, introduziram sistemas de reciclagem a fim de minimizar os impactos indesejáveis ao planeta (Aizawa *et al.*, 2008). Shinkuma e Huong (2009) relatam que a Convenção de Basileia exige que seja realizado previamente o aviso ao governo de um país importador de qualquer proposta de exportação de itens que possam oferecer perigo ao meio ambiente. Este pedido deve ser analisado pelo órgão competente desse país a fim de autorizar ou recusar a importação desse material. Atualmente, países asiáticos como China, Vietnã e Camboja têm recebido um grande número de REEE, principalmente do Japão (Shinkuma & Huong, 2009). Um método quantitativo de avaliação de tecnologias de reciclagem e design ecológico deve ser explorado (Aizawa *et al.*, 2008). Essa é a ideia de realizar a rastreabilidade dos REEE, evitando que atos ilegais que prejudicam a natureza possam ser cometidos.

O despejo de equipamentos usados é supostamente a questão de Tecnologia da Informação (TI) verde mais legislada e requerida. O descarte de lixo eletrônico, incluindo computadores, monitores, impressoras, *videogames*, televisores e outros REEE são regulados pelos estados da União. No entanto, setenta por cento de todos os resíduos perigosos são provenientes do lixo eletrônico, que são em grandes volumes, de difícil reciclagem e podem conter elevados níveis de metais pesados e produtos químicos oferecendo perigo à saúde e ao meio ambiente (Ruth, 2009).

A abordagem da separação eletrostática por dispositivos a fim de realizar a reciclagem de materiais plásticos granulares a partir de REEE tem sido tratada para o reaproveitamento dos materiais (Rezoug *et al.*, 2013; Aksa *et al.*, 2015).

Uma forma para conseguir a redução da carga ambiental com lixo eletrônico é a transformação dos produtos eletrônicos em materiais biodegradáveis. Uma placa de circuito impresso (PCB) completamente biodegradável foi desenvolvida fazendo-se uso de uma proteína natural e fibra de celulose natural (Guna *et al.*, 2016).

Um modelo apresentado por Wolf, Colledani, Gershwin e Gutowski (2013) descreve a capacidade de incorporar várias tecnologias distintas de separação, abordar a simplicidade de configuração do sistema de separação física, a partir de informações e processos individuais que podem ser adaptados para outros sistemas.



Bol *et al.* (2013) defende a ideia de que um desenvolvimento sustentável de IoT deve enfrentar desafios em relação ao número de nós de sensores sem fio (*Wireless Sensor Nodes - WSN*) a serem implantados e à grande quantidade de dados a serem gerados.

Sendo assim, a necessidade de novas soluções tecnológicas para combater os malefícios causados pelo acúmulo de REEE são aparentes.

## 5 Considerações finais

Com o crescimento do consumo de produtos eletroeletrônicos e os avanços tecnológicos, gerando produtos com ciclos de vida menores, o descarte desse material torna-se cada vez maior. Com essa situação, a preocupação da comunidade internacional com o acúmulo de REEE tem aumentado e políticas visando o controle desse lixo eletrônico têm sido implementadas. Este artigo teve o objetivo de levantar e analisar as necessidades da sociedade e verificar as legislações que regulamentam o mercado de tratamento de REEE, bem como as tecnologias que podem atender às necessidades de rastreabilidade e os desafios a serem superados, conforme a pesquisa realizada. Sendo assim, cumpriu o seu objetivo de realizar um levantamento sobre a questão da rastreabilidade de objetos e sua aplicabilidade no mercado de tratamento de REEE.

Para adequar-se a essas políticas e evitar punições, as organizações inseridas no contexto de fabricação, comercialização e utilização desses equipamentos têm buscado soluções para controlar e minimizar os efeitos dessa poluição ambiental.

Por esse motivo, o trabalho proposto contribuiu para a ideia de identificação e rastreabilidade do material em questão. Por meio da rastreabilidade de objetos e sua aplicabilidade no mercado de tratamento de REEE, usando tecnologias, procura-se auxiliar na construção de um caminho para a solução desse problema que afeta, de forma crescente, a comunidade mundial, a sustentabilidade do nosso planeta e a preservação do ser humano na Terra.

Este artigo teve como escopo a pesquisa exploratória, o trabalho bibliométrico e a uma revisão sistemática da literatura e os resultados apresentados são válidos para o contexto apresentado. Contudo, este estudo pode servir de base para futuros trabalhos neste segmento e ampliado realizando testes em laboratório, estudos de casos e pesquisas quantitativas ou qualitativas que contribuam para evolução do conhecimento nessa área.

## 6 Referências

Aizawa, H., Yoshida, H., & Sakai, S. (2008). Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(12), 1399–1410. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.07.013>

Aksa, W., Medles, K., Rezoug, M., Ouiddir, R., Bendaoud, A., & Dascalescu, L. (2015). Modeling and Optimization of a Separator for Granular Mixtures Composed of Multiple Insulating Materials. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(6), 4743–4751. <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2445815>

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>



- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Awasthi, A. K., Cucchiella, F., D’Adamo, I., Li, J., Rosa, P., Terzi, S., ... Zeng, X. (2018). Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. *Science of The Total Environment*, 613–614, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.288>
- Bahers, J.-B., & Kim, J. (2017). Regional approach of waste electrical and electronic equipment (WEEE) management in France. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(Supplement C), 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.016>
- Bartl, A. (2015, setembro). Circular Economy: Cycles, Loops and Cascades 2. International Solid Waste Association - ISWA.
- Bol, D., Vos, J. D., Botman, F., Streel, G. de, Bernard, S., Flandre, D., & Legat, J. (2013). Green SoCs for a sustainable Internet-of-Things. In *2013 IEEE Faible Tension Faible Consommation* (p. 1–4). <https://doi.org/10.1109/FTFC.2013.6577767>
- Brasil. (2015, janeiro 16). Criador do termo “internet das coisas” discute comunicação e cotidiano [Notícia]. Recuperado 4 de novembro de 2017, de <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2015/01/criador-do-termo-internet-das-coisas-discute-comunicacao-e-cotidiano>
- Brevik, K., Armitage, J. M., Wania, F., & Jones, K. C. (2014). Tracking the Global Generation and Exports of e-Waste. Do Existing Estimates Add up? *Environmental Science & Technology*, 48(15), 8735–8743. <https://doi.org/10.1021/es5021313>
- Carvalho, T. C. M. de B., & Xavier, L. H. (2013). *Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos. Uma Abordagem Prática Para a Sustentabilidade* (Edição: 1ª). Elsevier.
- Carvalho, M. M. de, Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on Technology Roadmapping (TRM): Contributions and Trends, p. 1418–1437.
- Cole, C., Gnanapragasam, A., & Cooper, T. (2017). Towards a Circular Economy: Exploring Routes to Reuse for Discarded Electrical and Electronic Equipment. *Procedia CIRP*, 61, 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.234>
- Cucchiella, F., D’Adamo, I., Lenny Koh, S. C., & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.010>
- de Souza, M. T. S., de Paula, M. B., & de Souza Pinto, H. (2012). O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 52(2), 246–262.
- Demajorovic, J., Huertas, M. K. Z., Boueres, J. A., da Silva, A. G., & Sotano, A. S. (2012). Logística reversa: como as empresas comunicam o descarte de baterias e celulares? *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 52(2), 165–178.
- EarthFixMedia. (2016). *The Circuit: Tracking America’s Electronic Waste*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=n6FJJ29k8uc>



Eck, N. J. van, & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

eCycle. (2013). Economia circular: o modelo que propõe um reaproveitamento sistemático de tudo o que é produzido. Recuperado 13 de dezembro de 2017, de <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/63-meio-ambiente/2853-economia-circular-o-modelo-que-propoe-um-reaproveitamento-sistematico-de-tudo-o-que-e-produzido-inteligencia-planeta-organismo-vivo-autorregula-processo-ciclico-energia-sol-harmonia-regeneracao-design-regenerativo-economia-performance-cradle-berco.html>

Ellen MacArthur Foundation. (2017). What is a Circular Economy? Recuperado 11 de fevereiro de 2018, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy>

Franquesa, D., Navarro, L., & Bustamante, X. (2016). A Circular Commons for Digital Devices: Tools and Services in Ereuse.Org. In *Proceedings of the Second Workshop on Computing Within Limits* (p. 3:1–3:9). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2926676.2926684>

Freedman, M. J., Vutukuru, M., Feamster, N., & Balakrishnan, H. (2005). Geographic Locality of IP Prefixes. In *Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement* (p. 13–13). Berkeley, CA, USA: USENIX Association. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1251086.1251099>

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114(Supplement C), 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Gotel, O. C., & Finkelstein, C. W. (1994). An analysis of the requirements traceability problem. In *Requirements Engineering, 1994., Proceedings of the First International Conference on* (p. 94–101). IEEE.

Guna, V. K., Murugesan, G., Basavarajaiah, B. H., Ilangovan, M., Olivera, S., Krishna, V., & Reddy, N. (2016). Plant-Based Completely Biodegradable Printed Circuit Boards. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 63(12), 4893–4898. <https://doi.org/10.1109/TED.2016.2619983>

Harzing, A.-W. (2016, fevereiro). Publish or Perish. Recuperado 4 de dezembro de 2017, de <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>

Holden, E., Linnerud, K., & Banister, D. (2014). Sustainable development: Our Common Future revisited. *Global Environmental Change*, 26, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.006>

Hong-ying, S. (2009). The Application of Barcode Technology in Logistics and Warehouse Management. In *2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science* (Vol. 3, p. 732–735). <https://doi.org/10.1109/ETCS.2009.698>

IEEE. (2015, maio 27). Towards a definition of the Internet of Things (IoT). Recuperado 4 de novembro de 2017, de



[https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Revision1\\_27MAY15.pdf](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf)

Jacobi, P. (2003). Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa*, (118), 189–206. <https://doi.org/10.1590/S0100-15742003000100008>

Kahhat, R., Kim, J., Xu, M., Allenby, B., Williams, E., & Zhang, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 955–964. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.002>

Khoo, B. (2010). RFID- from Tracking to the Internet of Things: A Review of Developments. In *Proceedings of the 2010 IEEE/ACM Int’L Conference on Green Computing and Communications & Int’L Conference on Cyber, Physical and Social Computing* (p. 533–538). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/GreenCom-CPSCom.2010.22>

Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, 33(5), 1237–1250. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.006>

Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004), 1–26.

Larousse do Brasil, & Carvalho, L. B. de. (2009). *Minidicionário Larousse da Língua Portuguesa* (3<sup>o</sup> ed). Larousse.

Lee, D., Offenhuber, D., Duarte, F., Biderman, A., & Ratti, C. (2018). Monitour: Tracking global routes of electronic waste. *Waste Management*, 72, 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.014>

Liotta, G., & Holmström, J. (2016). Simulation of In-transit Services in Tracked Delivery of Project Supply Chains: A Case of Telecom Industry. In *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference* (p. 2442–2453). Piscataway, NJ, USA: IEEE Press. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3042094.3042397>

Littell, J. H., Corcoran, J., & Pillai, V. (2008). *Systematic Reviews and Meta-Analysis*. Oxford University Press, USA.

Michaelis On-Line. (2018a). Sustentabilidade. Recuperado 5 de maio de 2018, de <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/sustentabilidade/>

Michaelis On-Line. (2018b). Sustentar. Recuperado 5 de maio de 2018, de <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/sustentar/>

Michaelis On-Line. (2018c). Sustentável. Recuperado 5 de maio de 2018, de <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/sustent%C3%A1vel/>

Ministério do Meio Ambiente. (2017). Política Nacional de Resíduos Sólidos. Recuperado 4 de outubro de 2017, de <http://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>



- MIT. (2017). Has the Internet of Things Arrived? Recuperado 4 de novembro de 2017, de <https://spectrum.mit.edu/continuum/has-the-internet-of-things-arrived/>
- MIT Senseable City Lab. (2014). *Trash / Track*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=fvTZc5hWBNY>
- NetResíduos. (2013). NetResíduos - Portal Português de Gestão de Resíduos - Notícias do setor - Disponibilizados 6 relatórios sobre economia circular. Recuperado 13 de dezembro de 2017, de <http://www.netresiduos.com/content.aspx?menuid=134&eid=3655&bl=1>
- ONU. (2018). General Assembly of the United Nations. Recuperado 5 de maio de 2018, de <http://www.un.org/en/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Parajuly, K., & Wenzel, H. (2017). Potential for circular economy in household WEEE management. *Journal of Cleaner Production*, 151, 272–285. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.045>
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
- Rezoug, M., Ouiddir, R., Aksa, W., Medles, K., Bilici, M., & Dascalescu, L. (2013). Tribo-aero-electrostatic separator for ternary mixtures of granular plastics. In *2013 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting* (p. 1–6). <https://doi.org/10.1109/IAS.2013.6682452>
- Ruth, S. (2009). Green IT More Than a Three Percent Solution? *IEEE Internet Computing*, 13(4), 74–78. <https://doi.org/10.1109/MIC.2009.82>
- Shinkuma, T., & Huong, N. T. M. (2009). The flow of E-waste material in the Asian region and a reconsideration of international trade policies on E-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2008.04.004>
- Tanskanen, P. (2013). Management and recycling of electronic waste. *Acta Materialia*, 61(3), 1001–1011. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.005>
- Tecmundo. (2014, junho 5). Como nossos celulares “sabem onde estão” mesmo sem GPS? Recuperado 20 de novembro de 2017, de <http://www.tecmundo.com.br/celular/57571-nossos-celulares-sabem-onde-mesmo-modo-offline.htm>
- União Europeia. (2002). 96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Official Journal of the European Union L*, 37, 24–38.
- União Europeia. (2003). Directive 2002/95/EC on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. *Off. J. Eur. Union*, 46, 19–23.
- União Europeia. (2012). Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment, WEEE. *Official Journal of the European Union L*, 197, 38–71.
- Wikipedia. (2018). Tecnologia. In *Wikipédia, a enciclopédia livre*. Recuperado de <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Tecnologia&oldid=52261202>



Wolf, M. I., Colledani, M., Gershwin, S. B., & Gutowski, T. G. (2013). A Network Flow Model for the Performance Evaluation and Design of Material Separation Systems For Recycling. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(1), 65–75. <https://doi.org/10.1109/TASE.2012.2203594>

Zhang, K., Schnoor, J. L., & Zeng, E. Y. (2012). E-Waste Recycling: Where Does It Go from Here? *Environmental Science & Technology*, 46(20), 10861–10867. <https://doi.org/10.1021/es303166s>

Zhekun, L., Gadh, R., & Prabhu, B. S. (2004). Applications of RFID Technology and Smart Parts in Manufacturing, 123–129. <https://doi.org/10.1115/DETC2004-57662>