

CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL ACERCA DO IMPACTO DOS RESÍDUOS DO LIXO ELETRÔNICO, ALIADO AO ENSINO DE ROBÓTICA E DA PROTOTIPAGEM 3D

Environmental awareness about the impact of e-waste, combined with robotics teaching and 3D prototyping

Gustavo TEIXEIRA
Alexandre dos Santos ROQUE

RESUMO:

O descarte inadequado de materiais eletrônicos obsoletos ao longo dos anos tem trazido consequências negativas ao meio ambiente. Muitas empresas realizam a coleta desse lixo e diversos países possuem leis que tentam impedir a má disposição do lixo eletrônico (e-lixo), porém, o conhecimento dos perigos do e-lixo ainda não alcançou toda a população. O projeto EDUCABOT3D busca, nesse sentido, divulgar o conhecimento necessário para que as pessoas possam ajudar o meio ambiente, através de ações de reuso de componentes do lixo eletrônico, e do descarte adequado de itens não-reutilizáveis. Por meio de uma cartilha, denominada “Cartilha de destinação correta do lixo eletrônico”, são expostos os riscos trazidos para a natureza quando o lixo eletrônico é descartado incorretamente, além de expormaneiras de reutilizar o e-lixo e onde descartar itens não-reutilizáveis. Com a construção de um sistema robótico é possível a reutilização de componentes eletrônicos, assim como o ensino de conceitos da física, eletrônica e computação. Para este fim, um chassi de robô móvel foi modelado para impressão 3D (com material biodegradável). O robô utilizará uma placa de prototipagem rápida para a interação entre sensores e atuadores. A reutilização do lixo eletrônico, aplicada à robótica, é um assunto de grande interesse comunitário, uma vez que poderá instigar jovens a reutilizarem seus aparelhos obsoletos e também, entregá-los em locais adequados para que seja feita a reciclagem. Com isso, são disseminados os conceitos de computação em conjunto com a educação ambiental.

Palavras-chave:Conscientização ambiental. Reutilização de e-lixo. Robótica educacional.

ABSTRACT:

The inadequate disposal of obsolete electronic materials over the years has brought negative consequences to the environment. Many companies carry out garbage collection, several countries have laws that try to prevent the ill disposition of e-waste, but knowledge of the dangers of e-waste has not yet reached the entire population. The EDUCABOT3D project seeks, in this sense, to disseminate the necessary knowledge so that people can help the environment, through actions of reuse of components of electronic waste, and the proper disposal of non-reusable items. By means of a booklet entitled "Waste Disposal Handbook", the risks brought to nature are exposed when waste is disposed of incorrectly, as well as exposing ways to reuse e-waste, where to dispose of non-reusable items, Among other relevant information. With the construction of a robotic system it is possible to reuse electronic components, as well as teaching concepts of physics, electronics and computing. To this end, a mobile robot chassis has been modeled for 3D printing (with biodegradable material). The robot will use a rapid prototyping board for the interaction between sensors and actuators. The reuse of e-waste, applied to robotics, is a matter of great community interest, as it may instigate young people to reuse their obsolete devices and also deliver them in appropriate places for recycling. With this, the concepts of computing and mainly environmental

education are disseminated.

Keywords: Environmental awareness. Reuse of e-waste. Educationalrobotics.

1. Introdução

O visível aumento da taxa de desenvolvimento tecnológico de vários países, através do grande mercado consumidor, gerou um elevado crescimento do lixo eletrônico. Esse lixo é composto por inúmeros aparelhos eletroeletrônicos obsoletos, cujo descarte, em grande parte, é feito em locais inapropriados, pela própria população. Dados do relatório da ONU em (BALDÉ et al., 2015) mostram que, em 2014, foram gerados 1412 kilotons de lixo eletrônico (e-lixo) e doméstico no Brasil, que equivalem à 7 kg por habitante. O constante aperfeiçoamento de tecnologias eletroeletrônicas melhorou a qualidade de vida da sociedade de várias formas. Porém, a sociedade está preparada para esse avanço?

A insuficiente ênfase em conscientização ambiental apresentada a sociedade pode ser uma das causas dos problemas ambientais que enfrentamos hoje em dia. Possuímos aparelhos sofisticadíssimos em nossas mãos mas, quando não funcionam mais, onde fazer o descarte? A resposta para muitas pessoas é simples: deixar guardado em uma gaveta ou jogar o item em uma área verde. A perda nesse ato ocorre nos dois lados: para o meio ambiente e para a sociedade. Um celular antigo pode conter elementos contaminantes ao solo, prejudicando o desenvolvimento de plantas na área exposta. Ao mesmo tempo, um celular contém sensores e atuadores, peças que podem ser retiradas do aparelho, reduzindo a quantidade de componentes jogados fora. Posteriormente essas peças podem ser usadas no ensino de robótica, aliando a redução de e-lixo jogado fora por meio da reutilização do mesmo.

Uma vez que um grupo de pessoas esteja ciente da necessidade e vantagens de reaproveitamento de aparelhos antigos, um estudo sobre como reaproveitar esses itens é necessário. Apresentar algumas das diversas soluções para a redução do e-lixo é, também, um dos objetivos. Este projeto possibilita a integração de componentes retirados do lixo eletrônico com uma plataforma de prototipagem muito usada para ensino de robótica, mais especificamente, o Arduino. Analisou-se, em continuidade, a possibilidade de não se encontrar uma peça específica no e-lixo, necessária para a consolidação de um sistema robótico. Nesse sentido, faz-se o uso da impressão 3D, tecnologia de grande sucesso devido a facilidade de modelagem e obtenção de peças específicas, com o intuito de suprir essas necessidades.

A impressão 3D tem sido, nos últimos anos, motivo de muitas discussões e investimentos no âmbito acadêmico e empresarial. Ela abriu um leque de oportunidades em diversas áreas do conhecimento. Na robótica não é diferente, pois a prototipação de peças singulares é facilmente realizada com o uso dessa tecnologia. O baixo custo de compra do material de impressão (PLA) e alto rendimento, possibilita que universidades as usem de diversas maneiras. Pode-se, por exemplo, desenvolver polias e rodas dentadas para o estudo de mecanismo nas disciplinas da Engenharia Mecânica. A integração dela no projeto EDUCABOT3D, portanto, é fundamental para a construção de um robô móvel.

Neste contexto, destaca-se que a robótica integra três grandes áreas: a eletrônica, a mecânica e a programação. A programação, em seu estado atual, é uma forte área de estudo e aperfeiçoamento de tecnologias, inclusive de sistemas robóticos. Esses sistemas possuem, geralmente, uma placa de circuito eletrônico, responsável por fazer a interação entre sensores e atuadores.

Se faz necessário, de acordo com tais problemas, uma maior divulgação das consequências trazidas pelo descarte incorreto de aparelhos eletroeletrônicos obsoletos e das oportunidades que são

geradas com o reuso do lixo eletrônico. O projeto EDUCABOT3D busca, nesse sentido, colaborar com a redução da má disposição de lixo eletrônico através da conscientização ambiental, com o uso de uma Cartilha, onde são expostos os perigos que o e-lixo causa ao meio ambiente. Além disso, são apresentados meios de apoiar o ensino de robótica, buscando reutilizar componentes do e-lixo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2, apresenta uma revisão da literatura procurando elucidar os principais conceitos envolvidos neste estudo; a seção 3, destaca os principais objetivos desta pesquisa; a seção 4, detalha a metodologia de pesquisa aplicada neste estudo; a seção 5 apresenta os principais resultados obtidos até o momento; a seção 6, discute os principais pontos de relevância acerca dos resultados, por fim, a seção 7 apresenta as conclusões e perspectivas de continuidade deste trabalho.

2. Revisão da literatura e fundamentos teóricos

O lixo eletrônico é um problema real da sociedade e cada vez mais políticas públicas e ações privadas são realizadas para fins de dirimir este problema. O impacto ambiental vem sendo estudado em diferentes pesquisas no Brasil e principalmente no exterior, onde este assunto vem sendo tratado há muito mais tempo.

No Brasil, alguns trabalhos recentes se destacam, como o trabalho de Keimerich(2013), que trata de impactos ambientais decorrentes da disposição incorreta de pilhas, baterias e lixo eletrônico no solo. O autor salienta que o aumento crescente de eletroeletrônicos que requerem o uso de pilhas e baterias tem provocado preocupações ambientais devido a geração de grandes quantidades desses dispositivos descartados nos aterros sanitários. De acordo com Kiddee *et al* (2013), o número de aterros tem aumentado em ambos os países desenvolvidos e em desenvolvimento. Sobre o impacto ambiental, Sigrist *et al* (2015) aponta que:

“[...] os impactos ambientais são consideravelmente maiores quando os REE são depositados em aterros não controlados, ocorrendo a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais devido à lixiviação das substâncias tóxicas presentes nesses equipamentos pelas águas das chuvas.” (SIGRIST *et al*, 2015).

Ambos Sigrist e Keimerich concordam que a divulgação da ideia de coleta seletiva e reciclagem de e-lixo e materiais relacionados é uma das soluções de longo prazo para esse problema. Sigrist *et al* (2015) ainda salienta que “o foco na divulgação e na educação ambiental deve ser levado em consideração, onde as informações referentes à importância do destino correto dos REE devem ser transparentes”.

No exterior destacam-se alguns estudos importantes, como o de Kiddee, Naidu e Wong (2013), que apresenta uma análise geral dos riscos que o e-lixo traz para a saúde humana e ambiental, citando diversos casos de disposição do lixo em questão e, por fim, aborda ferramentas de gestão usadas em países desenvolvidos e subdesenvolvidos. O autor cita, com ênfase, alguns métodos para amenizar a disposição incorreta do e-lixo:

“[...] Desenvolver dispositivos de propósito ecológico, coletar adequadamente o lixo eletrônico, recuperar e reciclar materiais por métodos seguros, descartar o lixo eletrônico por meio de técnicas adequadas, proibir a exportação de dispositivos eletrônicos usados para os países em desenvolvimento, aumentar a consciência do impacto da poluição do lixo eletrônico de ambos os usuários e fabricantes.” (Traduzido livremente) (KIDDEE, NAIDU e WONG 2013).

Os mesmos pesquisadores comentam que essas técnicas são muito usadas em países desenvolvidos – e com sucesso. Porém, a realidade nos países em transição e em países subdesenvolvidos é de que tais métodos não são implementados por vários motivos, dentre eles, o

não conhecimento do real problema pela população. Keimerich (2013) conclui, em seu trabalho, que:

“A maioria da população não tem conhecimento dos reais danos que o lixo eletrônico pode causar ao meio ambiente como um todo, sendo assim não se preocupam com o destino correto que deveria ser dado a ele e tampouco preocupam-se em buscar informações sobre o assunto.” (KEIMERICH 2013).

Kiddee, Naidu, e Wong (2013) citam que “nesses países, a educação das gerações jovens pode ser uma alternativa a ser seguida para o gerenciamento do lixo eletrônico” (Traduzido livremente). A educação dos jovens pode, sem dúvidas, transformar o cenário mundial, no contexto de disposição de e-lixo, ao longo dos anos. Pesquisadores da universidade de Griffith, na Austrália, dizem que é necessário fornecer aos indivíduos / estudantes mais do que simplesmente os conhecimentos e habilidades para reconhecer o desenvolvimento sustentável, mas também a capacidade de desenvolver práticas de desenvolvimento sustentável em seu “próprio mundo” (Traduzido livremente) (DAVISE WOLSKI 2009).

Vários pesquisadores nacionais (CASTRO et al 2013; RIBEIRO, SANTOS e JÚNIOR 2014; SUEMITSU e ARAÚJO 2015), dentro de universidades, têm buscado desenvolver modelos de gestão de resíduos eletroeletrônicos para o ambiente acadêmico e municipal. Relata-se que uma das principais dificuldades é o armazenamento do lixo eletrônico em locais inadequados, muitas vezes em salas que poderiam ser melhor usadas para outros fins. A adaptação de um modelo de fluxo de lixo eletrônico também gera gastos para a universidade, nesse sentido, os trabalhos buscaram formas de amenizar tais despesas.

O aumento de postos de coleta, estudado por Sigrist et al (2015), demonstrou um crescimento na quantidade arrecadada de lixo. Essa quantidade maior, muitas vezes, faz com que empresas privadas de reciclagem de e-lixo venham fazer a coleta desse lixo, diminuindo gastos de locomoção da universidade. Sigrist também comenta que, “para um ambiente sustentável, os resíduos eletroeletrônicos precisam ser direcionados para processos adequados de tratamento, como por exemplo, processos de reciclagem.”

A seguir, a Tabela 1 sumariza os trabalhos da literatura relacionados ao impacto ambiental do lixo eletrônico.

Tabela 1. Comparativo dos principais trabalhos relacionados.

Trabalho	Contexto Principal	Reutilização de E-lixo
Keimerich, P. D. C.; et Al (2014)	Apresentação dos impactos ambientais decorrentes da disposição incorreta de pilhas, baterias e lixo eletrônico no solo.	
Sigrist, C. S. L. et Al. (2015)	Desenvolvimento de um protótipo de ponto de coleta de REE em parceria com um centro de inovação sustentável, o Sinctronics.	
Ribeiro, T. G. D. S., Santos, A. R. R., & Júnior, M. E. (2014)	Estudo de caso para identificar qual o melhor fluxo para o descarte dos resíduos sólidos gerados pelo setor de tecnologia da informação do Instituto Federal Fluminense - IFF.	
Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H. (2013)	Visão geral dos riscos que os resíduos eletroeletrônicos representam para a saúde humana e ambiental, da reciclagem e disposição em aterro, juntamente com ferramentas para a gestão de tais resíduos.	
Sthiannopkao, S., & Wong, M. H. (2013)	Caracterização da situação do lixo eletrônico, no momento da pesquisa, em termos de tentativas de intervenção feitas para manter o e-lixo onde ele pode ser manuseado com segurança, e seu destino quando exportado.	

Zeng, <i>et al</i> (2015)	Desenvolvimento de uma planta integrada de reciclagem móvel, operando com processos combinados de desmantelamento, esmagamento e separação multi-nível de lixo eletrônico.	
Presente Trabalho	Estudo do impacto ambiental e disseminação da cultura de conscientização ambiental por meio de uma cartilha e do reaproveitamento de resíduos e-lixo.	X

É possível observar na Tabela 1 que muitos trabalhos têm enfoque na análise dos componentes químicos danosos ao meio ambiente e como estes podem afetar a saúde das pessoas, além dos processos relativos a coleta e destinação dos resíduos. Neste sentido, destaca-se que muitas pesquisas não incluem conceitos básicos direcionados ou com foco na educação, inseridos e disseminados desde a educação básica. Neste trabalho destacamos a importância da educação ambiental e de como muitos equipamentos podem ser reutilizados. Há a carência de pesquisas com enfoque no reaproveitamento dos materiais oriundos do lixo eletrônico, sendo esta uma das contribuições importantes da presente pesquisa, caracterizando também o seu diferencial em relação a muitos trabalhos da literatura.

3. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a disseminação dos conceitos de eletrônica e computação em conjunto com a conscientização ambiental acerca das consequências da má disposição do e-lixo. Este processo é tratado de duas formas: com uma cartilha que destaca o impacto ambiental do lixo eletrônico (trabalhando, nesse ponto, a conscientização ambiental); e o desenvolvimento de um kit de robótica educacional, com arquitetura simples, unindo partes projetadas e impressas em impressoras 3D com material oriundo de lixo eletrônico (aliando, nesse ponto, reuso do e-lixo e impressão 3D).

Como objetivos específicos apresentam-se os seguintes:

- Incentivar e mostrar as possibilidades de reuso do lixo eletrônico, identificando formas de reaproveitamento, e estimulando a criatividade no desenvolvimento de projetos em eletrônica.
- Desenvolvimento de um kit de robótica baseada em lixo eletrônico que contemple partes projetadas e impressas em impressora 3D, para ensino de computação e eletrônica de forma simples e objetiva.
- Divulgação do projeto desenvolvido na mídia, em escolas e organizações da região, com o intuito de estimular o reuso do lixo eletrônico e disseminar os conceitos de eletrônica e a cultura de preservação do meio ambiente.

4. Material e métodos

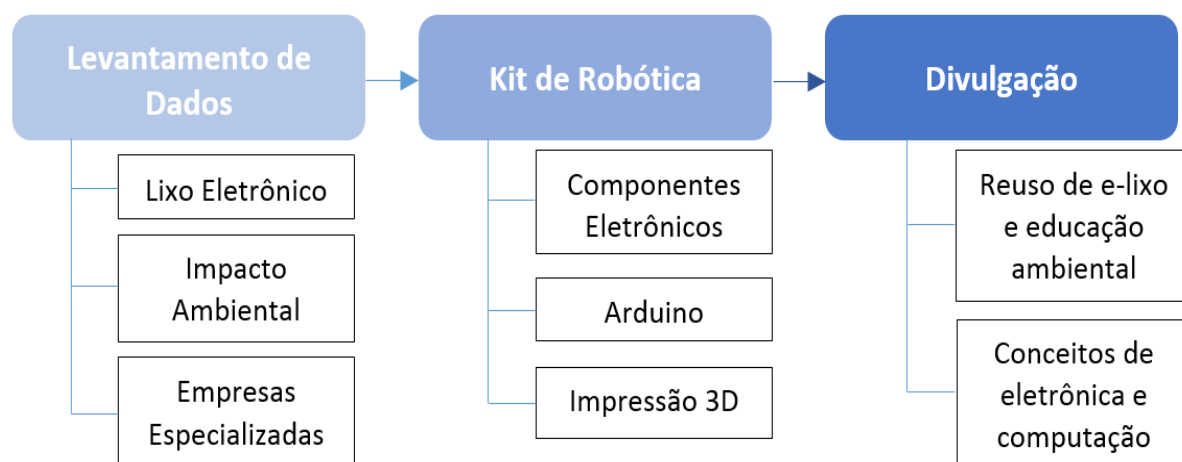
Inicialmente, foi realizado um estudo sobre o lixo eletrônico no cenário atual, procurando verificar o que têm sido feito no Brasil e em outros países com relação ao descarte do lixo eletrônico. Notou-se que, em muitos artigos, havia ênfase em educação ambiental para o auxílio da redução da má disposição do e-lixo. Com isso, após pesquisas específicas em artigos sobre reutilização do lixo eletrônico e estudo em amostras do lixo eletrônico, realizado no laboratório de Sistemas Digitais, da URI – Santo Ângelo, foi possível elencar uma tabela com materiais que podem ser reutilizados no ensino de robótica. Em paralelo, pesquisas relacionadas ao impacto ambiental do descarte incorreto, com soluções para o mesmo, foram compiladas, integradas com

outras informações relativas a legislação e políticas de descarte, que foram apresentadas em uma cartilha de destinação correta do lixo eletrônico.

Logo após, um estudo mais específico sobre os conceitos que podem ser ensinados com o lixo eletrônico foi desenvolvido com a pesquisa, incluindo notícias recentes da mídia, internet, artigos e livros, como por exemplo o *Practical Electronics for Inventors* (SCHERZ e MONK, 2013), onde foi possível verificar várias ideias de aplicação de componentes eletrônicos em circuitos pequenos e de fácil prototipação. Com base nisso, um kit robótico está sendo estruturado, junto com um manual de montagem do robô, abordando também os conceitos utilizados na construção do mesmo. Nele, estarão expostas dicas de como reutilizar aparelhos antigos, cuidados que devem ser tomados ao desmontar esses objetos, quais podem ser utilizados, de que forma é feita essa reutilização e como adequá-los ao robô. Com ele, é possível o estudo de assuntos relacionados à física, mecânica e computação, além de ajudar diminuir a quantidade de e-lixo descartado.

Os objetivos centrais do presente artigo, se constituem no estudo e levantamento de dados, baseado em pesquisa exploratória e bibliográfica de acordo com a metodologia de Wazlawick (2014), baseado em artigos científicos da área, em livros e em conteúdo online, sobre o lixo eletrônico e seu impacto no meio ambiente. Com esses fundamentos é consolidado um kit robótico e estruturada uma cartilha de educação e conscientização ambiental, para a divulgação do projeto. Desta forma, contribuimos com a educação ambiental e redução no descarte de incorreto de lixo eletrônico, além da disseminação de conhecimentos das áreas que abrangem a robótica. A figura 1 ilustra a metodologia do projeto:

Figura 1. Procedimentos metodológicos. Fonte: dos autores.



A seguir, serão apresentados os resultados e descrições das atividades realizadas.

5. Resultados

Entende-se que o lixo eletrônico é composto de equipamentos eletroeletrônicos descartados ou obsoletos. Incluem-se aí computadores, impressoras, rádios, DVDs, celulares e aparelhos similares. Uma parte dos componentes e/ou estruturas desses materiais podem ser reaproveitados, como componentes discretos (resistores, diodos, LEDs), e a outra deve, corretamente, ser descartada (pilhas e baterias). Através da desmontagem de alguns computadores, impressoras e outros aparelhos, com o objetivo de estabelecer políticas de filtragem do lixo eletrônico, foi possível elaborar uma tabela com a relação entre equipamentos obsoletos e suas partes que podem, parcialmente ou não, serem reutilizadas:

Filtragem de Lixo Eletrônico					
Total/Parcialmente Reutilizável				Não-Reutilizável	
Computadores Desktop	Componentes Eletrônicos	Gabinete HD e Coolers	Fonte Drivers	PCI	Memória RAM
Impressora	Componentes Eletrônicos	Estrutura Motores	Mecanismos Barras	PCI	
Reprodutores de DVD	Componentes Eletrônicos	Estrutura Motores		PCI	
Rádio	Componentes Eletrônicos	Estrutura Antena	Alto falante	PCI	
Baterias não-recarregáveis	Conector				Não reciclável; deve ir, portanto, para local correto de descarte
Celulares	Sensores Tela	Motor de vibração	Botões	PCI	Bateria
Caixas de Som, Mouse e Teclado	Componentes Eletrônicos	Sensor óptico Teclas	Alto falante Sensor de som	PCI	

Tabela 2. Relação entre equipamentos eletrônicos e a possível reutilização de suas partes. Fonte: dos autores.

A placa de circuito impresso (PCI), torna-se não reutilizável uma vez que seus componentes funcionais tenham sido removidos. Esses componentes serão adequados, posteriormente, ao kit de robótica. O robô móvel utiliza como atuador de movimentação duas rodas emborrachadas. Nelas, serão usados dois motores que podem ser retirados de impressoras e reprodutores de DVD. Ainda é possível adequar vários outros itens, mostrados na tabela 1, ao kit.

Baterias não recarregáveis – e também as recarregáveis, quando não possuem mais a possibilidade de recarga - são componentes que não se encaixam, em todo, no kit e devem, portanto, ser descartadas em local apropriado. Uma ênfase nelas foi feita na Cartilha de Destinação Correta do Lixo Eletrônico, que será abordada logo mais.

Encontramos muitos dos itens da tabela 1 em terrenos baldios e em áreas verdes. Em várias cidades é realizada a coleta de lixo eletrônico, mas mesmo assim não é suficiente para acabar com esse problema. A ação da população é tão necessária quanto a do Governo. Foi promulgada, no Brasil, em 2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10), na tentativa de reduzir o lixo produzido diariamente nas diversas regiões do país. Porém, essa legislação nacional não é específica para o tratamento do lixo eletrônico, sendo que somente o estado de São Paulo tem uma lei exclusiva (OLIVEIRA, 2010). Bachi (2013) também comenta sobre essa falha da lei quanto ao lixo eletrônico e ainda complementa que “seria necessário também um trabalho de educação ambiental [...]” para que a redução do lixo eletrônico fosse realidade.

Uma das formas de reduzir esse lixo é reutilizá-lo. Devido à enorme variedade de aparelhos eletroeletrônicos existentes, define-se que, na grande parte deles, os componentes eletrônicos podem ser reciclados ou reutilizados. Para fins de estudo, desmontou-se uma fonte de computador

antiga e, após testar os componentes que a compõem e dessoldá-los, estes foram categorizados e estudados, com o intuito de verificar quais se adequariam ao ensino de robótica. A figura 2 mostra uma fonte de computador obsoleta e alguns de seus componentes dessoldados:



Figura 2. Fonte de computador e alguns de seus componentes dessoldados.
Fonte: dos autores.

Verificou-se que, não apenas nessa placa, mas em outras, resistores e capacitores de vários tipos são os mais encontrados. A figura 2 também mostra um transformador, dois indutores e dois diodos. Poderão ser usados, em um contexto educacional, componentes dessoldados do e-lixo e alguns comprados (de baixo custo) e que não são comumente encontrados em PCIs. A lista abaixo relaciona ambos:

- Resistores;
- Capacitores;
- Diodos;
- Transistores;
- LEDs;
- Potenciômetros;
- Circuitos Integrados Simples;
- LDR.

Esses componentes poderão ser usados em sala de aula, no estudo prático da Física – Eletromagnetismo. A tabela 3 abaixo explica melhor os assuntos que podem ser ensinados para os alunos de acordo com cada componente:

Resistores	Lei de Ohm; Resistividade; Associação de Resistores.
Capacitores	Capacitância; Associação de Capacitores; Energia armazenada.
Diodos	Aplicações em circuitos.
Transistores	Tipos e usos; Aplicações em circuitos.
Potenciômetros	Resistência variável; Aplicações em circuitos.
Circuitos Integrados Simples	Aplicações em circuitos.

Tabela 3. Relação entre componentes eletrônicos e o conteúdo que pode ser abordado em aula. Fonte: dos autores.

Além desses conceitos específicos, a união deles instiga a construção de pequenos circuitos. Podem ser feitas experiências com o uso de um multímetro, associando componentes para que se veja na prática o que acontece com a tensão ou a corrente nesses circuitos, dentre outras análises. “Ao construir seu próprio modelo e as formas de representá-lo o estudante torna-se um agente da construção do conhecimento, interpretando e internalizando a linguagem simbólica, tão importante na física.” (CAVALCANTE, 2011).

Existem alguns componentes eletrônicos e materiais que podem gerar danos ao meio ambiente. Aqueles que não puderem ser reutilizados deverão ser descartados em local apropriado – em postos de coleta de lixo eletrônico. Caso eles não sejam descartados adequadamente, há riscos de contaminação do meio ambiente. Essa contaminação pode acabar retornando ao ser humano através da poluição da água, por exemplo, e causar problemas de saúde.

O principal item descartado do lixo e o mais perigoso é a placa de circuito impresso, com seus vários componentes ainda soldados. Nesta placa, devido aos vários elementos químicos a qual ela é constituída, é possível retirar frações de metais pesados que possuam um grande potencial de contaminação do solo e da água. A figura 3 relaciona a quantidade em porcentagem com os elementos químicos provindos de PCIs obsoletas. São analisadas três amostras (F1, F2 e F3):

PCI			
(%)	F1	F2	F3
Cobre	6,28	23,53	24,34
Zinco	0,05	0,08	0,23
Ferro	0,43	1,13	1,58
Alumínio	3,01	1,55	1,56
Níquel	0,15	0,40	0,50
Chumbo	0,90	0,95	1,35
Estanho	2,51	2,50	3,51
Ouro	0,17	0,095	0,038

Figura 3. Metais encontrados em uma placa de circuito impresso. Fonte: VEIT 2005.

Altos níveis de metais como os da tabela acima podem gerar problemas no ambiente. Especialmente o Chumbo, que é um metal pesado. Outros metais, como Cádmio, Mercúrio, Selênio e Arsênico, que podem ser encontrados em alguns tipos de baterias, pilhas e componentes eletrônicos, também são muito perigosos ao meio ambiente. Uma pesquisa realizada no Alaba International Market em Ojo, na Nigéria, por Bakareet al (2013), mostrou que, dentre vários resultados, a exposição de cebolas e peixes, em água provinda de depósito de lixo eletrônico (principalmente PCIs), afetam a estrutura celular, o desenvolvimento e, no caso da cebola, várias alterações ocorreram no processo de divisão celular. Entende-se, então, que a disposição do e-lixo em rios pode causar danos no meio ambiente e não somente próximo ao local onde ele foi deixado, mas também a certa distância, devido à correnteza, que leva os metais tóxicos para outras localidades. Nesse sentido, enfatiza-se a importância da educação ambiental.

Atualmente, em diversos dispositivos, tem ocorrido um aumento substancial do uso das conhecidas baterias de lítio recarregáveis. Tanto pelo seu longo tempo de duração quanto pela sua alta capacidade de armazenamento de energia e liberação de corrente elétrica. Gaidajiset al (2010)

concluem que “a introdução de baterias recarregáveis causou a diminuição dos níveis de Ni e Cd porém aumentou-se os níveis de Lítio e outros metais pesados”. Ainda nesse contexto, os resultados de um estudo da Universidade da Califórnia indicam que:

[...] As baterias recarregáveis à base de lítio associadas aos produtos eletrônicos portáteis são fontes potenciais de poluentes metálicos perigosos ao ambiente. Esses poluentes metálicos podem afetar negativamente a qualidade do ambiente e da saúde humana, em particular nas regiões do mundo que não têm infraestrutura para a coleta de resíduos sólidos, triagem e reciclagem. (KANG et al2013).

Em busca de melhores alternativas para a solução do problema de metais tóxicos, pesquisadores têm encontrado soluções que nem sempre são as ideais, porém são melhores que as anteriores. As lâmpadas LED que vêm, aos poucos, substituindo as de CFL e incandescentes, são um exemplo.

Lâmpadas LED e CFL (*Compactfluorescentlamp*) possuem, em seu driver, um pequeno circuito de componentes eletrônicos e, apesar de serem conhecidas por serem mais amigáveis devido ao maior tempo de vida, elas podem se tornar prejudiciais caso sejam jogadas em ambiente indevido. No geral, esses drivers contêm uma maior quantidade de metais comparados com os drivers de lâmpadas incandescentes (LIM et al 2012). A figura 4 ilustra os drivers das lâmpadas:



Figura 4. Driver de lâmpada LED e driver de lâmpada fluorescente. Fonte: adaptado de LIM et al., 2012.

Uma pesquisa mostrou que diferentes cores de LEDs têm diferentes níveis de toxicidade no meio ambiente (LIM et al 2010). Lim (2010) concluiu, em sua pesquisa, que:

Quando se examinaram as diferenças de potencial de toxicidade entre as diferentes LEDs [...], verificou-se que LEDs vermelhas de baixa intensidade apresentam o nível mais alto, devido ao seu elevado teor de chumbo (Pb) e que os LEDs de elevada intensidade geralmente exibem maiores níveis de toxicidade do que os seus equivalentes de baixa intensidade, devido às suas altas concentrações de cobre, ferro e níquel. (Traduzido livremente) (LIM et al 2010).

Deve-se ter cuidado, portanto, onde as lâmpadas são colocadas após o seu tempo de vida se expirar. Muitos equipamentos do cotidiano das pessoas são feitos com circuitos integrados e outros componentes e esses, com metais pesados. Buscam-se, atualmente, alternativas para a redução do uso desses metais, porém um melhor desempenho na eficiência da lâmpada é obtido, na maioria dos casos, com esses elementos perigosos.

Como forma de sintetizar as informações adquiridas nesse trabalho e também de compartilhar dicas e cuidados no destino de componentes eletrônicos, foi elaborado uma Cartilha, denominada “Cartilha de Destinação Correta do Lixo Eletrônico”. Nela, são expostos pequenos textos cujo objetivo é, dentre outros, evidenciar o perigo do descarte incorreto de equipamentos e também indicar onde eles devem ser entregues. A cartilha foi catalogada, através da Bibliotecária responsável da URI de Santo Ângelo, e recebeu o ISBN 978-85-7223-415-3. A figura 5 mostra a capa e o sumário da cartilha:

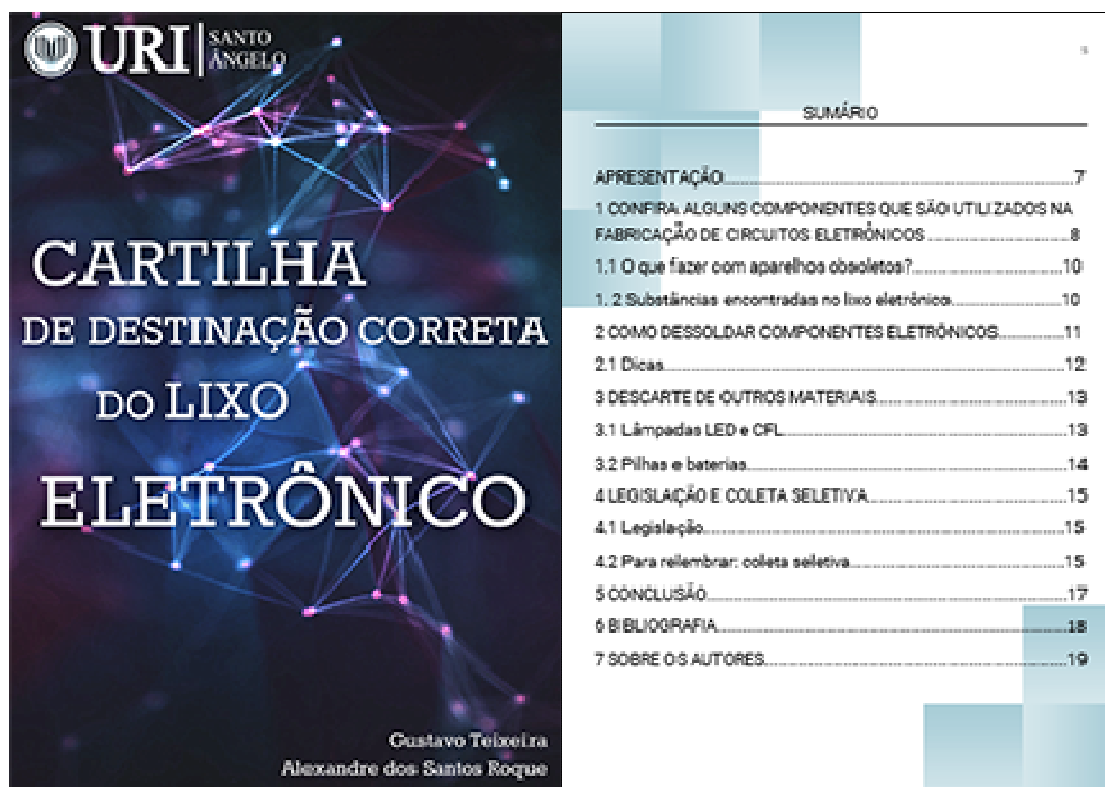


Figura 5. A capa e sumário da Cartilha. Fonte: dos autores.

As primeiras seções da Cartilha mostram os elementos químicos que constituem grande parte dos componentes eletrônicos atuais e de modelos antigos. Uma foto de uma fonte de computador antiga está exposta no centro das páginas 7 e 8. Em seguida, é apresentado um texto sobre o destino desses materiais e quais as substâncias que causam danos ao meio ambiente. Como forma de expor um meio de reutilização de componentes que ainda funcionam, a seção 2 apresenta um passo a passo de como dessoldar um componente, tomando os cuidados necessários, e dicas de como melhorar a segurança. Para leigos, é indicada a ajuda de um profissional dessa área.

A seção 3 aborda o descarte de outros materiais, igualmente perigosos ao meio ambiente, como as lâmpadas de LED e CFL, pilhas e baterias. Como forma de expor o lado jurídico desse problema, na seção 4 é apresentada, brevemente, a Lei nº 12.305/10, que traz uma tentativa de redução desse tipo de lixo. Por fim, como forma de lembrar aos leitores da Cartilha que o e-lixo não é o único problema relacionado ao descarte de materiais, a seção 4.2 traz um memorando sobre as cores das lixeiras da coleta seletiva. Dessa maneira, expressa-se uma ênfase no descarte correto de grande parte dos itens que causam problemas no meio ambiente.

Quanto a distribuição da Cartilha, está em progresso a visitação em escolas, com horário marcado, para uma apresentação do projeto EDUCABOT3D, elucidando suas motivações e

objetivos, apresentando a Cartilha e expondo algumas maneiras de reutilização do e-lixo. Um questionário também foi desenvolvido, utilizando o Google Forms, composto por 10 perguntas simples sobre o tema em questão. Ainda não é apresentado resultados referentes a esse questionário, nesse trabalho, devido ao processo de andamento do mesmo. No término desse processo, será possível verificar, dentre outras opiniões, a posição dos jovens quanto ao e-lixo e seu descarte e reuso, o ponto de vista sobre o papel do indivíduo em relação ao meio ambiente e todo esse desenvolvimento tecnológico, e seu entendimento sobre o presente trabalho durante a apresentação.

Após o desenvolvimento dessa cartilha e dos conhecimentos adquiridos, uma relação de componentes do lixo eletrônico que podem ser reaproveitados em projetos de robótica está sendo desenvolvida. Com base nessa relação de componentes um Kit de Robótica é estruturado, complementando algumas partes com a impressão 3D e a placa Arduino. A figura 6 ilustra a modelagem do chassi do Robô móvel, realizada no software gratuito SketchUpMake:

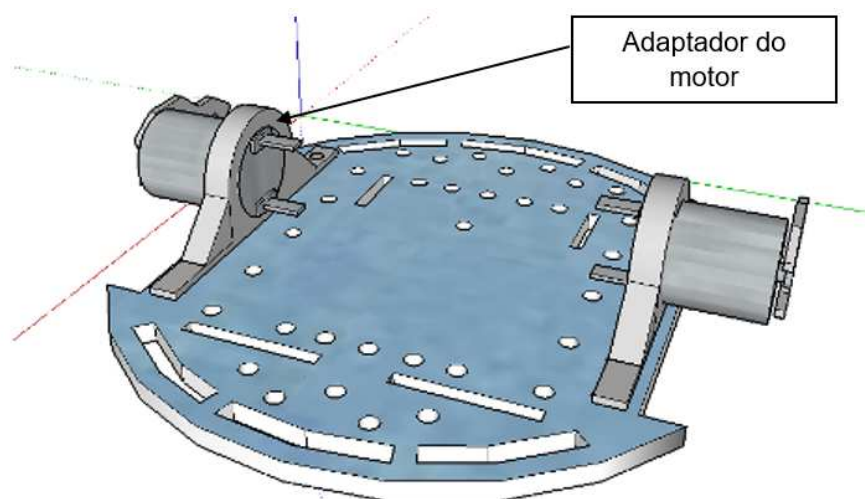


Figura 6. Modelo 3D do chassi, com motores e adaptadores. Fonte: dos autores.

O chassi possui vários furos, com o intuito de ser possível acoplar nele diversos sensores e atuadores retirados no lixo eletrônico, assim como a placa Arduino. Além disso, o chassi deverá se adaptar a uma boa parte de motores, retirados de impressoras, e que servirão como rodas. Para isso, o adaptador dos motores foi feito de maneira a ser modificado facilmente em diversos tamanhos. A figura 7 exemplifica alguns tamanhos:

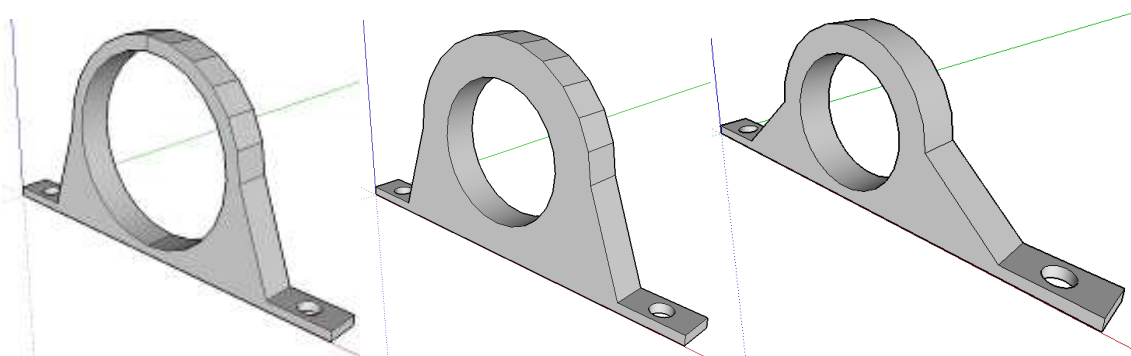


Figura 7. Modelos de adaptadores de motor. A medida do diâmetro, da esquerda para a direita, é, respectivamente: 40mm, 30mm e 24mm. Fonte: dos autores.

Uma vez que o kit robótico esteja definido, um manual de montagem do robô será

estruturado. Nele, deverão estar presentes os materiais que podem ser acoplados no robô móvel e como fazer isso.

6. Discussão dos resultados

Diante da necessidade de divulgação de conhecimentos sobre o perigo do descarte de eletrônicos no meio ambiente e da possibilidade de reutilização de componentes discretos do e-lixo para o ensino de robótica, o presente trabalho envolveu estudos bibliográficos para o levantamento de dados sobre o lixo eletrônico e a estruturação de uma cartilha de destinação correta do lixo eletrônico. Destaca-se, portanto, que a principal contribuição do presente artigo é a educação ambiental, por meio da cartilha e dos diversos estudos relacionados aos perigos do descarte incorreto. Além disso, está em andamento outra contribuição importante deste projeto, o desenvolvimento do kit para o ensino de robótica, reutilizando o lixo eletrônico.

Através de pesquisas, foi evidenciado o perigo trazido para o meio ambiente quando materiais eletroeletrônicos são descartados no meio ambiente em locais inapropriados. Até mesmo aterros não são, definitivamente, a opção para descarte adequado desse material. Existem empresas especializadas em fazer a reciclagem do e-lixo, porém elas não conseguem estar presentes em todas as cidades para realizar a coleta. Nesse caso, uma ação comunitária se faz necessária. Para isso, é preciso que a população tenha conhecimento do problema e saibam o que fazer. Nesse sentido, com o objetivo de incentivar e mostrar as possibilidades de reuso do lixo eletrônico e de disseminar a cultura de conscientização ambiental, destacando como fazer o descarte correto do e-lixo, uma cartilha foi estruturada.

A cartilha é um meio de divulgação de conhecimentos de fácil leitura e entendimento, trazendo ao alcance do público, e direcionado principalmente a escolas, informações e dicas que poderão ser repassadas por elas a outras pessoas, aumentando ainda mais o alcance da informação. A cartilha está sendo divulgada na mídia, em escolas e em organizações da região, com o intuito de ser de grande ajuda na tarefa de conscientizar as pessoas sobre o descarte do e-lixo. Durante a distribuição das cartilhas, esta sendo coletada também, por meio de um questionário, uma avaliação da cartilha, dizendo que pontos pensa ser relevante, quais não possuía conhecimento, possíveis tópicos que acha interessante, para que assim, melhoramentos possam ser realizados futuramente.

Embora o Brasil possua uma lei relacionada ao destino de resíduos sólidos, ela não é específica quanto ao lixo eletrônico, abordando apenas o tema da Logística Reversa, porém deixando muitas lacunas quanto à disposição final do e-lixo. É necessário, portanto, a educação ambiental para que os jovens, ao longo de sua vida, preservem a natureza e não joguem lixo perigoso nela. Pode-se retirar inúmeras peças do e-lixo e, com elas, construir pequenos sistemas robóticos e, com isso, aprender vários conceitos relacionados à computação, eletrônica e mecânica. Foram relacionados conceitos de física que podem ser aplicados ao ensino médio, durante o ensino de eletromagnetismo. Usando o Arduino como plataforma de intermediação entre sensores e atuadores, é possível incentivar jovens a praticarem a reutilização de eletrônicos obsoletos e, possivelmente, iniciar a caminhada de um profissional na área de computação, eletrônica ou mecânica, além de áreas afins.

Com a definição desses componentes, que podem ser reutilizados, e a elaboração de uma cartilha de destinação correta do e-lixo, foi feita a modelagem e impressão do chassi do robô móvel a ser usado no kit. O kit robótico foi consolidado está sendo apresentado, junto com a cartilha, nas visitas as escolas. Um manual de montagem do robô móvel, usando o kit, também está sendo construído e será divulgado posteriormente. Todo esse material será de grande importância para a divulgação e ensino de robótica, além da educação ambiental.

7. Conclusão

O elevado crescimento do mercado de eletrônicos, aliado à um consumismo desenfreado, trouxe um grande aumento no descarte de equipamento obsoletos, muitas vezes realizado pela própria população. A falta de conhecimento é uma das causas da poluição de diversos locais antigamente verdes. Esse trabalho busca mudar essa visão, uma vez que traz ao público geral, inúmeras informações e dicas relevantes com o objetivo de não somente conscientizar as pessoas sobre o descarte do e-lixo, mas também mostrá-las como fazer o reuso inteligente do material obsoleto. Esse trabalho, relacionado a educação ambiental, é de grande importância para que se tenha, com o tempo, um ambiente mais limpo.

O desenvolvimento e divulgação da cartilha de destinação correta do lixo eletrônico, contribui para o alcance cada vez maior da cultura de conscientização ambiental. Os diversos componentes eletrônicos danosos ao meio ambiente são apresentados, e corroborados em diferentes trabalhos da literatura. Com esses dados, é possível verificar os perigos que os mesmos podem trazer a saúde do ser humano.

Os mesmos componentes que causam estes dados, podem servir de ferramenta de ensino. A robótica educacional é algo que atrai jovens para a área da tecnologia. Como forma de reaproveitar os componentes eletrônicos do e-lixo, sistemas robóticos podem ser construídos e, dessa forma, disseminar conhecimentos de física, mecânica, elétrica e computação. Atualmente, esse setor é muito discutido na mídia, sendo desenvolvido com extrema rapidez, nas mais diversas áreas de aplicação. A possibilidade de uso de uma plataforma de prototipagem rápida para a programação, ajuda muito na divulgação de conhecimentos inerentes ao desenvolvimento de projetos robóticos.

Por fim, o enfoque em um problema ambiental importante como o do e-lixo, unido a políticas adequadas de reaproveitamento e conscientização ambiental, podem contribuir para o desenvolvimento de uma sociedade que se preocupa mais com o meio onde vive, e não somente usufrui exacerbadamente do meio onde vive.

Bibliografia

- BACHI, M. H. **Resíduos tecnológicos: A relação dos Resíduos Eletroeletrônicos com a Legislação do Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental - RBGA, Pombal – PB - Brasil, v. 7, n. 1, p. 01 - 05, jan./mar. 2013.
- BAKARE, Adekunle A., et al. **In vivo cytogenotoxicity and oxidative stress induced by electronic waste leachate and contaminated well water**. Challenges 4.2 (2013): 169-187.
- BALDÉ, C.P., WANG, F., KUEHR, R. & HUISMAN, J. **The global e-waste monitor – 2014**, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany. 2015.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política nacional de resíduos sólidos** [recurso eletrônico]. Disponível em: http://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf – 2. ed. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p. – (Série legislação ; n. 81).
- CASTRO, M. et al. **Contexto atual e proposta de alternativas para a gestão de resíduos eletroeletrônicos no município de São Carlos-SP**. III Seminário Internacional Sobre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos–SIREE. Cidades Sustentáveis e Experiências Inovadoras na Gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, 2013.
- CAVALCANTE, M. A. T., Cristiane R. C. & Molisani, E. **Física com Arduino para iniciantes**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4503, 2011.
- DAVIS, Georgina. & WOLSKI, Malcolm. **E-waste and the sustainable organisation: Griffith University's approach to e-waste**. International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 10 Iss 1 pp. 21 – 32, 2009.
- GAIDAJIS, G., ANGELAKOGLU, K., & AKTSOGLU, D. (2010). **E-waste: Environmental**

- Problems and Current Management.** Journal of Engineering Science and Technology Review, 3(1), 193-199.
- KANG, D. H. P., CHEN, M., & OGUNSEITAN, O. A. (2013). **Potential environmental and human health impacts of rechargeable lithium batteries in electronic waste.** Environmental science & technology, 47(10), 5495-5503.
- KEIMERICH, P. D. C.; et al. **Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v.10, n. 2, p. 208-219, mar./abr. 2013.
- KIDDEE, Peeranart; NAIDU, Ravi; WONG, Ming H. **Electronic waste management approaches: An overview.** Waste Management, v. 33, n. 5, p. 1237-1250, 2013.
- LIM, S. R., KANG, D., OGUNSEITAN, O. A., & SCHOENUNG, J. M. (2012). **Potential environmental impacts from the metals in incandescent, compact fluorescent lamp (CFL), and light-emitting diode (LED) bulbs.** Environmental science & technology, 47(2), 1040-1047.
- MCCANN, D. & WITTMANN, A. **E-waste Prevention, Take-back System Design and Policy Approaches.** Solving the E-Waste Problem (Step) Green Paper. Editor: RuedigerKuehr, United Nations University – Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS). 2015.
- OLIVEIRA, de C. R. **Alternativas tecnológicas para o tratamento e reciclagem do lixo de informática.** Trabalho de conclusão de curso. UFRGS – Instituto de Química. Porto Alegre, 2010.
- RIBEIRO, Tiago Gomes Da Silva; SANTOS, Acacio Romeu Rodrigues; JÚNIOR, Milton Erthal. **Gerenciamento dos Resíduos Provenientes do Setor de Tecnologia da Informação do Instituto Federal Fluminense.** Blucher Marine Engineering Proceedings, v. 1, n. 1, p. 464-472, 2014.
- SANT'ANA, H. B. S., MOURA, F. J., & VEIT, H. M. **Caracterização físico-química de placas de circuito impresso de aparelhos de telefone celular.** Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 10, n. 3, p. 231-238, jul.-set. 2013.
- SCHERZ, Paul; MONK, Simon. **Practical electronics for inventors.** McGraw-Hill, 2013.
- SIGRIST, C. S. L. et al. **Desenvolvimento de ponto de coleta de resíduos eletroeletrônicos.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (Fechada para submissões por tempo indeterminado), v. 19, n. 2, p. 1423-1438, 2015.
- SUEMITSU, Walter Issamu, ARAÚJO, Marcelos Guimarães. **Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos no Centro de Tecnologia da UFRJ.** Revista Pernambucana de Tecnologia, Recife, v. 3, n. 3, p. 60-65, mar, 2015.
- VEIT, H. M. **Reciclagem de Cobre de Sucatas de Placa de Circuito Impresso.** Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 101p, 2005, p.90.
- WAZLAWICK, Raul. **Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação,** 2ª Edição. Elsevier Brasil, 2014.