



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS (REEEs) EM UMA UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA

TIAGO PANIZZON

Caxias do Sul, 2014



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
CIÊNCIAS AMBIENTAIS

TIAGO PANIZZON

AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS (REEEs) EM UMA UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA

Dissertação apresentada no Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como requisito para a obtenção de grau de mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, orientado pelo Professor Dr. Geraldo Antônio Reichert e coorientado pela Professora Dra. Vania Elisabete Schneider.

Caxias do Sul, 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
UCS - BICE - Processamento Técnico

P193a Panizzon, Tiago, 1987-
Avaliação da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos
(REEEs) em uma universidade comunitária / Tiago Panizzon. – 2014.
111 f. : il. ; 30 cm

Apresenta bibliografia.
Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2014.
Orientador: Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert ; Coorientadora: Profa.
Dra. Vania Elisabete Schneider.

1. Gestão de resíduos. 2. Universidade. 3. Aparelhos eletrônicos –
Eliminação. 4. Gestão ambiental. I. Título.

CDU 2.ed.: 628.4

Índice para o catálogo sistemático:

1. Gestão de resíduos	628.4
2. Universidade	378.4
3. Aparelhos eletrônicos - Eliminação	621.389
4. Gestão ambiental	502.13

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária
Roberta da Silva Freitas – CRB 10/1730

RESUMO

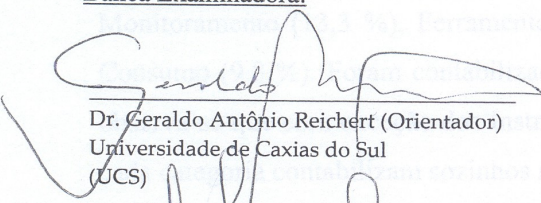
**“AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS (REEEs) EM UMA UNIVERSIDADE
PARTICULAR.”**

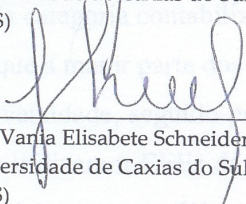
Tiago Panizzon


Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, Área de Concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

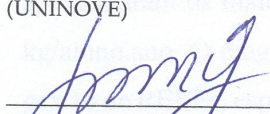
Caxias do Sul, 05 de Dezembro de 2014.

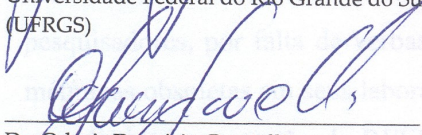
Banca Examinadora:


Dr. Geraldo Antônio Reichert (Orientador)
Universidade de Caxias do Sul
(UCS)


Dra. Vania Elisabete Schneider (Coorientadora)
Universidade de Caxias do Sul
(UCS)


Dra. Cláudia Echevengúá Teixeira
Universidade Nove de Julho
(UNINOVE)


Dr. Hugo Marcelo Veit
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS)


Dr. Odacir Deonísio Gracioli
Universidade de Caxias do Sul
(UCS)

Palavras-chave: Gestão de resíduos sólidos, REEE, logística reversa, EEE

RESUMO

Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico (REEE) é um termo utilizado para abranger diversas formas de equipamentos elétricos e eletrônicos que não possuem mais valor para seus proprietários. Este trabalho propôs avaliar a geração de REEEs em uma instituição de ensino superior comunitária localizada no estado do Rio Grande do Sul. Para este trabalho foram utilizados dados de EEEs disponíveis no sistema de informações da universidade, o qual totalizava 51.066 itens, englobando dados de aproximadamente 17 anos. Foi realizada uma análise detalhada acerca das características dos REEEs gerados, determinando características gerais, assim como específicas de diferentes áreas de ensino. Como resultado, foram gerados diversos indicadores importantes no gerenciamento de REEEs neste tipo de instituição. Verificou-se que o principal REEE gerado pela instituição são Equipamentos de informática e telecomunicações (48,2 %), seguido pelos Grandes eletrodomésticos (14,4 %), Instrumentos de Monitoramento (13,3 %), Ferramentas elétricas e eletrônicas (10,9 %) e Equipamentos de Consumo (9,8 %). Foram contabilizados 414 diferentes tipos de EEEs na instituição porém, observa-se que com exceção dos Instrumentos de Monitoramento, os dois principais EEEs de cada categoria contabilizam sozinhos mais de 50 % de suas respectivas categorias. Identificou-se que a maior parte dos REEEs (29,3 %) da instituição são gerados no bloco administrativo da universidade, seguido pelas salas de informática (17,3 %). Estes dois setores se caracterizam por utilizarem EEEs de rápida obsolescência, enquanto áreas como as Ciências Biológicas e parcialmente as Ciências Exatas, devido ao elevado número de equipamentos analíticos utilizados, possuem um ciclo de vida maior nos EEEs, reduzindo assim a geração de REEEs. Isto se refletiu na geração per capita das áreas de ensino, onde as ciências biológicas apresentaram os maiores resultados (14,58 kg/aluno.ano), tendo sido a média dos curso 1,02 kg/aluno.ano. O diagnóstico da instituição demonstrou uma série de problemas em relação à gestão de REEEs, especialmente devido à falta de planejamento da geração destes, não havendo assim um local adequado para seu armazenamento. Também se identificou que muitos pesquisadores, por falta de verbas para manutenção de equipamentos, optam por armazenar máquinas obsoletas em seus laboratórios. Todas essas características resultam em uma grande complexidade na gestão de REEEs em unidades de ensino superior, em especial, devido à grande variedade encontrada, sendo muitos deles de difícil reciclagem.

Palavras-chave: Gestão de resíduos sólidos, REEE, logística reversa, EEE

ABSTRACT

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is a word used to refer to many electric and electronic equipment that are no longer valuable for its owners. This study evaluated the WEEE generation in a private higher education institution, located in Rio Grande do Sul state. In this study were used data from Electrical and Electronic Equipment (EEE) available in the university information system, which amounted 51.066 items during 17 years. A detailed analysis was performed about the generated WEEE characteristics and the specific characteristics of different knowledge areas. As result, many important indicators were developed for WEEE management in this kind of institution. The main WEEE generated by the institution was IT and telecommunications equipment (48.2 %), followed by Large household appliances (14.4 %), Monitoring and control instruments (13.3 %), Electrical and electronic tools (10.9 %) and Consumer equipment (9.8 %). Over 400 EEEs classes were identified in the institution although, except for Monitoring and control instruments, the two main EEEs in each class correspond by at least 50 % of its categories. In addition, it was noted that the majority of WEEE was generated by the university administration (29.3 %), followed by the computer classrooms (17.3 %). Those two areas feature low life EEEs, while other areas like Biology and Exact Sciences, due to the high number of analytics equipment used, have a longer life cycle EEEs, resulting in smaller WEEE generation. This was noted in the knowledge areas per capita WEEE generation, with biological sciences showing the bigger results (14.58 kg/student.yr), while the average was 1.02 kg/student.yr. The institution diagnostic demonstrate many problems in WEEE management, especially due to lack of planning regarding their generation, resulting in an absence of a proper place for their storage. In addition, it was noted that many researchers, due to lack of maintenance resources, preferred to store obsolete machines in their labs. All these characteristic result in a great complexity in WEEE management in higher education institutions, mostly due the big diversity, increasing the recycling complexity.

Keywords: Solid waste management, WEEE, reverse logistics, EEE

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MUNICÍPIOS COM COLETA DE REEES EM 2010	14
FIGURA 2: COMPOSIÇÃO DOS REEES RECEBIDOS EM ECOPONTOS, NA INGLATERRA, CONFORME CLASSIFICAÇÃO DA DIRETIVA EUROPEIA 2012/19/EU.....	16
FIGURA 3: FLUXOGRAMA OTIMIZADO DO CICLO DE VIDA DOS EEES NO CEFET/RJ.....	24
FIGURA 4: ETAPAS METODOLÓGICAS PARA ATENDIMENTO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO	26
FIGURA 6: DEPÓSITO NO SUBSOLO DE UM DOS BLOCOS DE AULA.....	77
FIGURA 7: DEPÓSITO NO SUBSOLO DE UM DOS BLOCOS DE AULA.....	77
FIGURA 8: DEPÓSITO SECUNDÁRIO NA VILA OLÍMPICA	77
FIGURA 9: DEPÓSITO HOSPITAL GERAL	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DOS REEE SEGUNDO FEAM (2009)	11
TABELA 2: TIPOLOGIA DA GERAÇÃO DE REEES NA EUROPA OCIDENTAL.....	15
TABELA 3: TIPOLOGIA DOS REEES NA UNIÃO EUROPEIA.	17
TABELA 4: MATERIAIS QUE COMPÕEM OS REEES.....	18
TABELA 5: CONCENTRAÇÃO DE DIFERENTES METAIS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI).....	19
TABELA 6: MOTIVO DO DESCARTE DE COMPUTADORES EM SETE UNIVERSIDADES AFRICANAS (Nº DE COMPUTADORES)	25
TABELA 7: PESOS UTILIZADOS PARA COMPUTADORES E MONITORES	30
TABELA 8: VIDA ÚTIL ADOTADA PARA DIFERENTES CLASSES.....	31
TABELA 9: COMPOSIÇÃO UTILIZADA	32
TABELA 10: COMPOSIÇÃO DE UMA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI).....	33
TABELA 11: CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA PARA OS REEES DE UNIVERSIDADES	81
TABELA 12: GERAÇÃO DE REEES PER CAPITA, POR ÁREA DO CONHECIMENTO	83
TABELA 13: MASSAS CONSIDERADAS PARA O “COMPUTADOR COMPLETO”	83
TABELA 14: MATERIAIS DISPONÍVEIS.....	84
TABELA 15: CONCENTRAÇÃO DE DIFERENTES METAIS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI).....	85

LISTA DE SIGLAS E UNIDADES

- CRT: Tubo de raios catódicos (em inglês, *cathode ray tube*)
- DEFRA: Departamento de Meio Ambiente, Comida e questões rurais da Inglaterra
- EEE: Equipamento Eletroeletrônico
- EMPA: Laboratório Federal Suíço para Ciência e Tecnologia dos Materiais
- FEAM: Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais
- FUCS: Fundação Universidade de Caxias do Sul
- GTI: Setor de Gerência de Tecnologia da Informação e Comunicação da UCS
- HG: Hospital Geral
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- kg/hab.dia: quilograma por habitante por dia
- kg: quilograma
- kt: kilotonelada
- LCD: Display de cristal líquido (em inglês, *liquid crystal display*)
- LED: Diodo emissor de luz (em inglês, *light emitting diode*)
- MIT: Instituto de Tecnologia de Massachusetts
- OLED: Diodo emissor de luz orgânico (em inglês, *organic light-emitting diode*)
- PBB: Bifenilas Polibromadas (em inglês, *polybrominated biphenyls*)
- PBDE: Éter Difenil Polibromados (em inglês, *polybrominated diphenyl ether*)
- PCI: Placas de circuito impresso
- RCB: Retardante de Chama Bromado
- REEE: Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico
- RSS: Resíduos de Serviço e Saúde
- SISACAD: Sistema Acadêmico da UCS
- StEP: *Solving the e-waste problem*
- T: Tonelada
- UCS: Universidade de Caxias do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1.	RELEVÂNCIA DA PESQUISA	3
2	OBJETIVOS.....	7
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1.	DEFINIÇÃO DE REEE.....	8
3.1.1.	<i>REEEs no Brasil</i>	8
3.1.2.	<i>REEEs na União Europeia</i>	11
3.2.	GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE REEES NO BRASIL	12
3.3.	GERAÇÃO DE REEES EM NÍVEL MUNDIAL.....	14
3.4.	TIPOLOGIA DOS REEES	15
3.5.	RISCOS HUMANOS E AMBIENTAIS.....	19
3.5.1.	<i>Chumbo</i>	20
3.5.2.	<i>Mercúrio</i>	20
3.5.3.	<i>Cádmio</i>	21
3.5.4.	<i>Cromo Hexavalente</i>	21
3.5.5.	<i>PBB (bifenilas polibromadas) e PBDE (éter difenil polibromados)</i>	22
3.6.	REEES EM UNIVERSIDADES	22
4	METODOLOGIA	26
4.1.	MAPEAMENTO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE REEES DA UCS	26
4.2.	LEVANTAMENTO DA GERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS REEES DA INSTITUIÇÃO.....	28
4.2.1.	<i>Avaliação preliminar dos REEEs recolhidos durante duas coletas</i>	28
4.2.2.	<i>Avaliação dos REEEs gerados na instituição</i>	29
4.2.3.	<i>Avaliação dos REEEs gerados no Hospital Geral</i>	33
5	RESULTADOS	34
5.1.	EVALUATING A BRAZILIAN UNIVERSITY WEEE GENERATION AND OPERATIONAL LOGISTICS.....	35
5.2.	AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEEs) EM UMA UNIVERSIDADE PARTICULAR	43
5.3.	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS EM ESTABELECIMENTOS DE ASSISTÊNCIA À SAÚDE	63
5.4.	RESULTADOS COMPLEMENTARES.....	74
5.4.1.	<i>Mapeamento do sistema de gerenciamento de REEEs da UCS</i>	74
5.4.2.	<i>Avaliação do sistema de gerenciamento de REEEs</i>	78
5.4.3.	<i>Classificação dos REEEs gerados na universidade</i>	80
5.4.4.	<i>Geração per capita de REEEs</i>	82
5.4.5.	<i>Materiais disponíveis nos REEEs de computadores na universidade</i>	84
6	CONCLUSÕES.....	86
7	RECOMENDAÇÕES	89

8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	90
ANEXO 1: PESOS E CLASSES ADOTADAS PARA OS DIFERENTES EEES DA INSTITUIÇÃO	94
ANEXO 2: COMPROVANTES DE SUBMISSÃO DE ARTIGOS E PERIÓDICOS.....	105
ANEXO 3: REGISTRO DOS ANAIS DO 14TH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM.....	108
ANEXO 4: ARTIGO “EVALUATIN A BRAZILIAN UNIVERSITY WEEE GENERATION AND OPERATIONAL LOGISTICS”, EM SEU FORMATO ORIGINAL	111

1 INTRODUÇÃO

Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico (REEE), também conhecido como “lixo eletrônico” ou *e-waste* na língua inglesa, é um termo genérico utilizado para abranger diversas formas de equipamentos elétricos e eletrônicos que não possuem mais valor para seus proprietários.

Apesar disso, o gerenciamento de REEEs consiste em uma área de estudo recente no Brasil, havendo ainda uma carência de estudos desenvolvidos sobre o assunto. Dentro deste cenário, propõe-se neste trabalho avaliar as características dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEEs) e o sistema de gestão destes em uma instituição de ensino superior, a Universidade de Caxias do Sul (UCS), localizada em Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. Esse estudo vem tentar suprir uma dessas lacunas, avaliando as características da geração de REEEs em uma universidade comunitária, respondendo questões como o que é gerado, como é gerado, quem gera e com que frequência, assim como determinar as características do sistema de gestão utilizado, permitindo assim identificar falhas e, por consequência, oportunidades de melhoria na gestão de REEEs.

1.1. RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Os REEEs se caracterizam por ser um conjunto de resíduos de rápido crescimento, aumentando na faixa de 3 a 5 % ao ano (MOHAN *et al.*, 2008), reflexo do constante aumento no consumo de eletroeletrônicos e da redução do ciclo de vida destes, aumentando assim a velocidade de obsolescência desses equipamentos. Somente em 2012, foram gerados 48.894 kt de REEEs em todo o mundo (ONU, 2012a).

Uma vez que os REEEs consistem em resíduos de baixíssimo potencial de degradabilidade, torna-se relevante pensar no acumulado de REEEs no decorrer dos anos. Segundo, Widmer *et al.* (2005), estima-se que em todo o mundo, no ano de 1994 aproximadamente 20 milhões de computadores chegaram ao final de sua vida útil. Em 2004 esse valor aumentou para 100 milhões, sendo o acumulado de 1994 a 2003 de aproximadamente 500 milhões de computadores. Em termos materiais, isso significa em torno de 2.872.000 t de polímeros, 718.000 t de chumbo, 1.363 t de cádmio e 287 t de mercúrio, referentes apenas a computadores.

Tendo em vista o elevado número de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEEs) no mercado, os REEEs acabam por ser uma classe complexa de resíduos, tanto que a Diretiva

Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012) optou por dividi-los em 10 classes distintas, as quais totalizam juntas mais de 100 itens. Essa grande variedade de elementos, somado ao rápido crescimento e às constantes mudanças tecnológicas, implicam em um grande desafio no processo de gestão e reciclagem destes resíduos, tanto por parte dos gestores públicos quanto privados.

De fato, a própria composição dos REEEs consiste em um desafio para sua reciclagem e disposição, tendo em vista que esses são resultados da combinação complexa de diversos materiais. Conforme Morf *et al.* (2007), observa-se que 66 % dos REEEs são compostos por elementos como ferro, alumínio, cobre e metais não-ferrosos. Porém, encontra-se ainda polímeros, vidros, metais valiosos (ouro, prata e paládio) e até mesmo elementos tóxicos como chumbo, mercúrio, cádmio além de PBBs (bifenilas polibromadas) e PBDEs (éter difenil polibromados). Somente nas placas de circuito impresso, Veit (2005) encontrou 8 diferentes tipos de metais.

Horne e Gertsakis (2006) relatam que a contaminação provocada por REEEs acaba tornando-se de característica imprevisível, uma vez que existe uma variedade muito grande de substâncias que compõem os Equipamentos Eletroeletrônicos (EEEs). Dentre elas os autores citam algumas principais: polímeros, vidro, chumbo, bromo, cádmio, mercúrio, berílio, retardantes de chama a base de bromo e até mesmo arsênico.

Importante lembrar que tais elementos tóxicos representam um risco à saúde das pessoas, em especial pela contaminação de águas subterrâneas e superficiais. Conforme dados da Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças dos Estados Unidos (ATSDR, 2012), o chumbo pode ter efeitos sobre praticamente todos os órgãos do corpo, porém, o principal alvo é geralmente o Sistema Nervoso. Já o mercúrio, em especial sua forma metilmercúrio, pode danificar permanentemente o cérebro e rins, além de afetar fetos em gestantes. Já o cádmio pode ter os mais diversos efeitos, causando edema pulmonar, danos nos rins e até mesmo câncer. Horne & Gertsakis (2006) destacam ainda que os danos causados aos rins pelo cádmio são irreversíveis, não havendo regeneração do órgão nas partes afetadas.

Menos conhecidos pela população em geral, Retardantes de Chamas Bromados e Éteres de Difenilas Polibromadas (do inglês, PBBs e PBDEs respectivamente) consistem em aditivos utilizados como retardantes de chamas em polímeros, pinturas, tecidos, dentre outros. Estes são particularmente preocupantes devido ao seu efeito bioacumulante, podendo degradarem-se em compostos biopersistentes, e devido à facilidade de migração desses

compostos. De fato, McPherson *et al.* (2004) relataram a presença de PCBs no pó de diversos computadores e monitores situados em locais públicos, entre eles um museu infantil.

Apesar destes riscos, a preocupação do usuário comum com esse tipo de resíduo ainda é insipiente. Franco (2008), verificou que apenas 2 % dos consumidores destinavam os celulares para a reciclagem. Ainda, no caso de televisores, computadores e geladeiras, REEEs de médio e grande porte, nenhum dos entrevistados afirmou encaminhar tais equipamentos para reciclagem. No caso especificamente dos computadores, estes eram em geral doados (36 %), vendidos (17 %) ou guardados (6 %). Outras categorias somaram 3 % e 31 % dos entrevistados não respondeu à pesquisa.

No Brasil, a reciclagem de REEEs consiste num assunto recente. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b) é a primeira Lei Federal a tratar diretamente deste assunto. Em termos estaduais, somente alguns poucos Estados como São Paulo, Mato Grosso e Paraná possuem legislação específica. Por outro lado, verifica-se atualmente um esforço brasileiro para a melhor definição das políticas sobre os REEEs, existindo no momento um grupo de trabalho desenvolvido com este intuito e outro buscando a elaboração de uma norma do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) específica sobre REEEs.

Essa preocupação torna-se evidente quando olhamos os índices de geração desse tipo de resíduo. Estima-se que em 2012 tenham sido gerados aproximadamente 712.700 t de REEEs no Brasil, o que representa em torno de 3,58 kg/hab.ano. De fato, estima-se que o Brasil chegará à marca de geração de 1.000.000 t de REEEs por ano em 2033.

Apesar disso, dados referentes à composição e gestão de REEEs, em contrapartida, são escassos, especialmente quando comparados com outros tipos de resíduos como os domésticos ou os de serviço de saúde. Seria de se esperar uma situação diferente em universidades, tendo em vista seu caráter de centralizador do conhecimento. Isso porém, nem sempre é verdade.

Em estudo realizado por Chibunna *et al.* (2012) para a UKM - University Kebangsaan Malaysia, verificou-se que apenas 33,5 % dos 200 alunos entrevistados conheciam ou já tinham ouvido falar sobre REEEs. No caso dos funcionários esse número foi um pouco maior, 46 % dos 270 funcionários entrevistados, porém, ainda abaixo do desejável.

Da mesma forma, a própria necessidade de geração do volume atual de REEEs em Universidades pode ser questionada. Odhiambo (2009) desenvolveu um estudo para uma série de Universidades no Quênia no qual constatou que 17 % dos computadores são inutilizados devido à presença de vírus, problema este de fácil resolução.

Considerando a problemática destacada, e tendo em vista que se trata de uma área recente, em especial no Brasil, tendo poucos estudos desenvolvidos, o presente trabalho buscou diagnosticar a geração e o gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em uma instituição de ensino superior. Por meio destas, determinou-se diversos aspectos positivos e negativos, identificando diversas dificuldades específicas de setores de ensino.

Paralelamente, foi realizada uma análise detalhada acerca das características dos REEEs gerados, determinando características gerais, assim como específicas de diferentes áreas de ensino. Como resultado, foram gerados diversos indicadores importantes no gerenciamento de REEEs neste tipo de instituição.

Conforme estabelecido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, esta dissertação está dividida em seis partes: introdução, objetivos, metodologia, resultados, conclusões e recomendações, sendo o item “resultados” composto de dois artigos submetidos, além de uma seção intitulada “resultados complementares”, no qual estão apresentados dados que não chegaram a ser incluídos nos dois artigos.

2 OBJETIVOS

Em linhas gerais essa dissertação teve como objetivo geral avaliar e caracterizar a geração de Resíduos Eletroeletrônicos e sua gestão em uma instituição de ensino superior.

Para atender este objetivo, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o sistema de gerenciamento de EEEs e REEEs na instituição;
- Desenvolver uma classificação para os REEEs gerados;
- Avaliar o sistema de gerenciamento de REEEs e propor melhorias;
- Quantificar os REEEs gerados na instituição de ensino superior e em seus ambientes e gerar indicadores para auxiliar seu gerenciamento;
- Avaliar a gestão de REEEs no hospital escola da instituição.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica referente à caracterização dos REEEs e à problemática atual destes. Neste capítulo pretende-se detalhar os principais aspectos que definem esse tipo de resíduo, em especial a sua elevada complexidade e variabilidade, característica da elevada gama de equipamentos utilizados pela sociedade moderna, e que acabam por compor este tipo de resíduo. Primeiramente, porém, será definido com maior clareza no que consiste um Resíduo Eletroeletrônico.

3.1. DEFINIÇÃO DE REEE

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos consistem em equipamentos eletroeletrônicos que chegaram ao fim de sua vida útil, perdendo seu valor e sendo então considerados resíduos. Enquanto uma definição geral de REEE é relativamente simples, a percepção acerca do que efetivamente pode ser classificado como um REEE, tendo em vista a grande variedade de materiais e equipamentos utilizados pela sociedade moderna, não é tão clara. Desta forma, nos próximos itens destacam-se as visões acerca do que compõe um REEE segundo diferentes diretrizes legais.

3.1.1. REEEs no Brasil

No Brasil, a legislação que trata da destinação de REEEs em nível nacional é relativamente recente, tendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b), Lei 12.305/10, sido aprovada apenas em agosto de 2010. Através dessa Lei ficou definido que REEEs consistem em uma classe de resíduos especiais, intitulados resíduos com logística reversa obrigatória.

Conforme definição da Lei 12.305/10, a logística reversa tem como objetivo estabelecer “ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”. De forma simplificada, pode-se dizer que a logística reversa consiste na definição de como atender os objetivos trazidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos para o tipo de resíduo em questão, através de um acordo entre a sociedade, o setor público e o setor privado.

Desta forma, enquanto resíduos que não exigem logística reversa (como é o caso dos resíduos domésticos) possuem seu processo regulatório definidos em nível federal pela Lei

12.305/10, resíduos que demandam logística reversa deverão, além de atender ao disposto na respectiva Lei, firmar acordos setoriais específicos de forma a detalhar sua regulação, aspecto esse definido pelo artigo 15 do decreto 7.404 (Brasil, 2010c), que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Além dos Resíduos Eletroeletrônicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes (seus resíduos e embalagens) e lâmpadas fluorescentes, são considerados resíduos reversos pela PNRS. Além desses, foram posteriormente definidos como resíduos que devem ter logística reversa medicamentos e embalagens em geral.

Ressalta-se que nem a Lei 12.305/10, nem seu respectivo decreto definem o que consiste um REEE, trazendo apenas o termo “Produtos eletroeletrônicos e seus componentes”. Como o próprio termo eletrônicos não é bem definido, variando entre países e até mesmo estados, pode-se dizer que não está clara a abrangência desta Lei.

Desta forma, tendo em vista que até a conclusão desta dissertação o acordo setorial para REEEs não foi aprovado, o qual provavelmente trará uma definição de quais resíduos podem ser caracterizados como Resíduos Eletroeletrônicos, inexistente até o momento uma definição em âmbito federal para REEE.

3.1.1.1. REEEs no Rio Grande do Sul

Estando a Universidade de Caxias do Sul, foco deste trabalho, inserida no município de Caxias do Sul, localizado no estado do Rio Grande do Sul, torna-se importante avaliar as definições trazidas pelas legislações deste estado. O Rio Grande do Sul conta com a Lei 13.533 de 2010 (RIO GRANDE DO SUL, 2010) a qual “institui norma e procedimento para a reciclagem, o gerenciamento e a destinação final de lixo tecnológico”. Nessa legislação percebe-se que definição de REEE, denominada de “lixo tecnológico”, como sendo:

- I - componentes e periféricos de computadores;
- II - monitores e televisores;
- III - acumuladores de energia (baterias e pilhas);
- IV - produtos magnetizados.

Essa lei representa um avanço em termos de definições, quando comparado ao trazido pela legislação federal. Tal definição, porém, ainda pode ser melhor trabalhada, visto que a mesma não reflete a complexidade deste tipo de resíduo. De fato, a Lei 13.533/10 tenta suprir essa lacuna ao utilizar o termo “produtos magnetizados”, o qual engloba uma grande variedade de componentes.

3.1.1.2. REEEs em demais estados e municípios

Uma vez que Caxias do Sul, o município alvo deste estudo, não possui legislação específica sobre REEEs, foi realizada uma avaliação acerca das principais legislação estaduais e municipais disponíveis. Conforme dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2012) existem, entre estados e municípios, 23 leis aprovadas e 21 em análise referentes à regulação de REEEs. Apenas os estados de Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Paraná, Paraíba, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo possuem legislação específica.

Ressalta-se a lei 13.576/2009 (SÃO PAULO-Estado, 2009), a qual é muito semelhante à lei 13.533/2010, apresentando a mesma definição e abrangência para os REEEs.

Outra lei importante foi aprovada para o estado de Mato Grosso: a Lei 8.876/2008 (MATO GROSSO, 2008) que em seu art. 2º, parágrafo único, define que os REEEs: “São considerados *lixos tecnológicos*, os computadores, equipamentos de informática, pilhas, baterias (celulares, filmadoras, industriais, etc.), televisores e monitores, micro-ondas, máquinas fotográficas, lâmpadas fluorescentes e eletroeletrônicos”. Esta classificação traz uma visão distinta em termos de REEEs das trazidas até agora, em especial ao considerarmos que ela engloba lâmpadas fluorescentes como REEEs.

Enquanto em certos países isso ocorre de fato, como é o caso da União Europeia (UNIÃO EUROPEIA, 2012) ou do Peru (PERÚ, 2012) a Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil considera resíduos de lâmpadas fluorescentes como sendo um resíduo à parte, também sendo resíduo reverso. Desta forma, essa legislação está, pelo menos em parte, incompatível com a legislação federal.

Dentro do contexto de gestão de REEEs, pode-se ainda citar a a lei 15.851/2008 (PARANÁ, 2008), a qual rege a gestão de REEEs no estado do Paraná, porém, a mesma refere-se apenas a gestão de resíduos de informática, sendo então insuficiente para abranger todos os REEEs analisados neste estudo. Nesse sentido, pode-se dizer que as legislações presentes no Brasil sobre o assunto carecem de uma visão mais ampla sobre o que compreende um REEE, estando focadas apenas nos resíduos domésticos mais comuns, como computadores, televisores, celulares e afins.

Tal fato fica evidente mesmo em novas propostas de lei como os projetos 0031/2009 (SÃO PAULO, 2009a), 0335/2009 (SÃO PAULO, 2009b) e 616/2009 (SÃO PAULO, 2009c), propostos para o município de São Paulo, os quais focam-se computadores, televisores e celulares. No caso do projeto 616/2009, este compreende ainda frascos de aerossóis e lâmpadas

fluorescentes. Tendo em vista que essa proposta é anterior à PNRS, essa dissonância é compreensível.

Por último, a Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM, 2009), trabalha com uma classificação própria os REEEs, apresentada na Tabela 1. Essa classificação engloba três categorias distintas, sendo também focada exclusivamente nos REEEs oriundos de residências.

Tabela 1: Classificação dos REEE segundo FEAM (2009)

Categoria	Exemplos
Grandes eletrodomésticos	Geladeira, máquina de lavar roupa e louça, fogão, micro-ondas
Equipamentos de informática e de tele comunicação	Computador, laptop, impressora, telefone celular, telefone fixo
Equipamentos de consumo	Televisão, DVD, vídeo

Fonte: Adaptado de FEAM (2009)

3.1.2. REEEs na União Europeia

Tratando-se de legislações sobre REEEs, a Diretiva Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012), a qual consiste em uma atualização da diretiva 2002/96/EC, traz um avanço significativo em termos de definição e classificação de REEEs, definindo esse tipo de resíduo em 10 categorias, as quais englobam mais de 100 tipos de equipamentos:

1. *Grandes eletrodomésticos*: refrigerador, máquinas de lavar, micro-ondas, ar condicionado, etc.;
2. *Pequenos eletrodomésticos*: aspirador de pó, sanduicheira, ferro de passar, máquina de café, relógios, etc.;
3. *Equipamentos de informática e telecomunicações*: desktop, celulares, telefones de mesa, impressoras, servidores, aparelho de fax, etc.;
4. *Equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos*: câmera fotográfica, câmera de vídeo, instrumentos musicais, amplificadores de áudio, etc.;
5. *Equipamentos de iluminação*: luminárias, reatores, lâmpadas (com exceção das filamentosas), etc.;
6. *Ferramentas elétricas e eletrônicas*: serra, furadeira, parafusadeira, máquina de costura, lixadeira, cortador de grama, etc. Essa classificação não inclui ferramentas industriais;

7. *Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer*: trens e carros elétricos, videogames, equipamentos eletrônicos para corredores, ciclistas, mergulhadores, etc.;

8. *Aparelhos médicos*: equipamentos de radioterapia, diálise, etc. Não estão incluídos produtos implantados e/ou infectados;

9. *Instrumentos de monitoramento e controle*: termostato, detector de fumaça, controlador de temperatura, etc.;

10. *Distribuidores automáticos*: caixas eletrônicos, máquinas de refrigerante, etc.

Como se pode observar, a classificação de REEE para este caso é muito abrangente, excedendo em muitos as legislações nacionais analisadas, englobando não apenas os REEEs mais comuns como telefones e celulares, como outros mais complexos porém encontrados na instituição de ensino, como equipamentos de laboratório, médicos, esportivos e ferramentas.

De fato, essa legislação traz um avanço no sentido de trabalhar não apenas com resíduos eletroeletrônicos domésticos, como também outros típicos de uso industrial e serviços (ressalta-se que ferramentas industriais fixas de grandes dimensões não são englobadas pela lei). Essa maior abrangência reflete os objetivos da Diretiva Europeia 2012/19/EU em gerenciar o REEE gerado por produtores e importadores localizados na União Europeia (WIDMER *et al.*, 2005).

3.2. GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE REEES NO BRASIL

Com exceção de alguns poucos países, em sua maioria europeus, informações sobre a geração de REEEs são escassas. Tal situação não é diferente no Brasil, onde até o momento a quantidade de estudos referentes a REEEs é escassa, em especial quando comparado com outros resíduos de maior geração como domésticos e de Serviço e Saúde (RSSs).

De fato, a escassez de políticas bem desenvolvidas em relação ao manejo de REEEs se reflete na carência de estudos específicos elaborados no país. Existem, porém algumas análises que juntas ajudam a melhor compreender a situação destes resíduos no Brasil.

Tanto o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) quanto o Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação possuem levantamentos acerca da utilização de eletroeletrônicos nos domicílios brasileiros. A Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM, 2009) sintetizou os dados do IBGE para EEEs em residências brasileiras e, baseado na vida útil média desses equipamentos, elaborou uma estimativa de geração de REEEs para o país. Foi projetado que em 2012 teriam sido gerados aproximadamente 712.700 t de REEEs no Brasil, considerando uma taxa de crescimento de 1,6 % ao ano, o que representa em

torno de 3,58 kg/hab.ano. Neste ritmo, o Brasil chegará à marca de geração de 1.000.000 t de REEEs por ano em 2033.

Com vistas à avaliar esse valor, pode-se compará-lo com outros tipos de resíduos gerados no país. Se por um lado esse número é significativamente mais baixo do que o volume de Resíduos Sólidos Urbanos, sendo de aproximadamente 448 kg/hab.ano conforme dados da ABRELPE (2012), ao se comparar com a geração de Resíduos de Serviço e Saúde, os quais conforme dados da mesma entidade estão na faixa de 1,496 kg/hab.ano, fica evidente que os volumes de geração de REEEs são significativos.

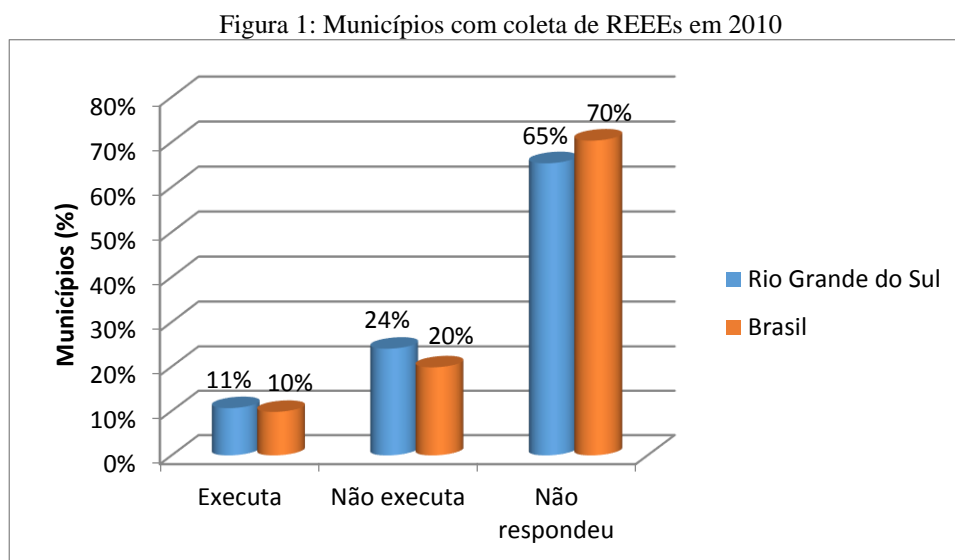
Aqui porém, cabe destacar que as metodologias de estimativa dessas gerações são distintas, uma vez que a avaliação de REEEs foi desenvolvida a partir de dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio do IBGE, enquanto a de RSSs foi desenvolvida a partir de questionários junto à empresas que trabalham com tratamento deste tipo de resíduo. Desta forma, deve-se tomar cuidado ao efetuar a comparação direta destes coeficientes.

De fato, o valor apresentado pela FEAM contrasta com aqueles levantados pela ONU (2012) através da iniciativa *Solving the e-waste problem* (StEP), uma iniciativa desenvolvida pela ONU para reduzir os impactos ambientais decorrentes de REEEs, a qual aponta uma geração de 1.387.000 t de REEEs no Brasil já no ano de 2012. Essa diferença provavelmente está relacionada ao fato do estudo realizado pela ONU compreender uma gama maior de REEEs, uma vez que considera a maior parte dos englobados pela Diretiva Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012). Ambos os estudos consideram apenas resíduos eletroeletrônicos gerados em residências.

Importante também avaliar não apenas a geração, mas a destinação dos mesmos. Nesse sentido, Franco (2008) elaborou estudo no município de Belo Horizonte avaliando a destinação de REEEs. Através deste, verificou-se que apenas 2 % dos consumidores destinavam os celulares para a reciclagem. Ainda, no caso de televisores, computadores e geladeiras, REEEs de médio e grande porte, nenhum dos entrevistados afirmou encaminhar tais equipamentos para reciclagem, sendo estes em geral armazenados em casa (15 %), doados (41 %) ou vendidos (18 %). O que se observa nesses dados é que a elevada geração de REEEs nas residências brasileiras contrasta com um desinteresse por parte dos consumidores de destinar esses equipamentos para a reciclagem.

Cabe aqui fazer uma observação acerca da gestão de REEEs pelos órgãos públicos no Brasil. Conforme é possível observar na Figura 1, segundo dados do Ministério das Cidades (2012) para o ano de 2010, menos de 10 % dos municípios entrevistados afirmou possuir

sistema para recolhimentos de REEEs, tanto por órgãos públicos quanto por empresas terceirizadas. No Rio Grande do Sul esse valor não é muito diferente, sendo de somente 10,6 % dos entrevistados. Ressalta-se que uma quantidade significativa de entrevistados não respondeu a este item do questionário, havendo porém grande possibilidade de tais municípios não possuírem coleta de REEEs.



Fonte: Adaptado de Brasil (2010a)

Apesar desse valor ser baixo, ele não representa necessariamente uma anomalia, uma vez que a legislação brasileira atribui aos produtores de eletroeletrônicos a responsabilidade pelo recolhimento de REEEs. Desta forma, a coleta de REEEs pelo órgão público só é admitida quando remunerada pelos produtores. De fato, essa informação torna-se importante justamente pelo fato de existir uma parcela significativa de municípios que realizam esse serviço apesar de não ser de sua responsabilidade.

3.3. GERAÇÃO DE REEES EM NÍVEL MUNDIAL

Estimativas de geração de resíduos eletroeletrônicos em nível mundial são escassas. Isso se deve ao fato de as técnicas adotadas para estimar a geração variarem dependendo do país analisado, tanto em termos de métodos quanto de pressuposições (WIDMER *et al.*, 2005). Nesse sentido, torna-se importante realizar uma comparação entre os estudos existentes.

Primeiramente, destacam-se os valores de Zoeteman, Krikke e Venselaar (2009), os quais estimam um total de 20 milhões de toneladas ano, em 2005. Os autores destacam ainda o

grande fluxo de REEEs entre países, estando estimando que para esse mesmo ano, 3,82 kt de REEE estariam sendo exportadas.

Uma segunda estimativa é fornecida pela Organização das Nações Unidas, por meio do StEP. Através deste, estima-se que em 2012 foram gerados 48,894 milhões de toneladas de REEEs em todo o mundo, sendo 9.918 kt referentes à União Europeia, 9.360 kt aos Estados Unidos e 7.253 kt à China (ONU, 2012).

De forma interessante, esses valores situam-se dentro da faixa prevista pelo relatório emitido durante a Convenção de Basel, no qual é estimado um valor total de 20 a 50 milhões de toneladas por ano, sendo aproximadamente 12 milhões oriundos de países asiáticos (BASEL CONVENTION, s. d.). Esse último dado, porém, deve ser visto com cautela, tendo em vista que a fonte não teve validação científica.

3.4. TIPOLOGIA DOS REEES

Ao se avaliar o sistema de gerenciamento de REEEs é fundamental conhecer a tipologia do resíduo em questão, sendo diversos estudos desenvolvidos com este fim. Em trabalho desenvolvido por Widmer *et al.* (2005) realizado na Europa Ocidental, apresentado na Tabela 2, evidenciou-se que a maior parte dos REEEs gerados correspondem às categorias 1 a 4 da Diretiva Europeia 2012/19/EU, a qual totaliza 95 % da massa gerada.

Tabela 2: Tipologia da geração de REEEs na Europa Ocidental

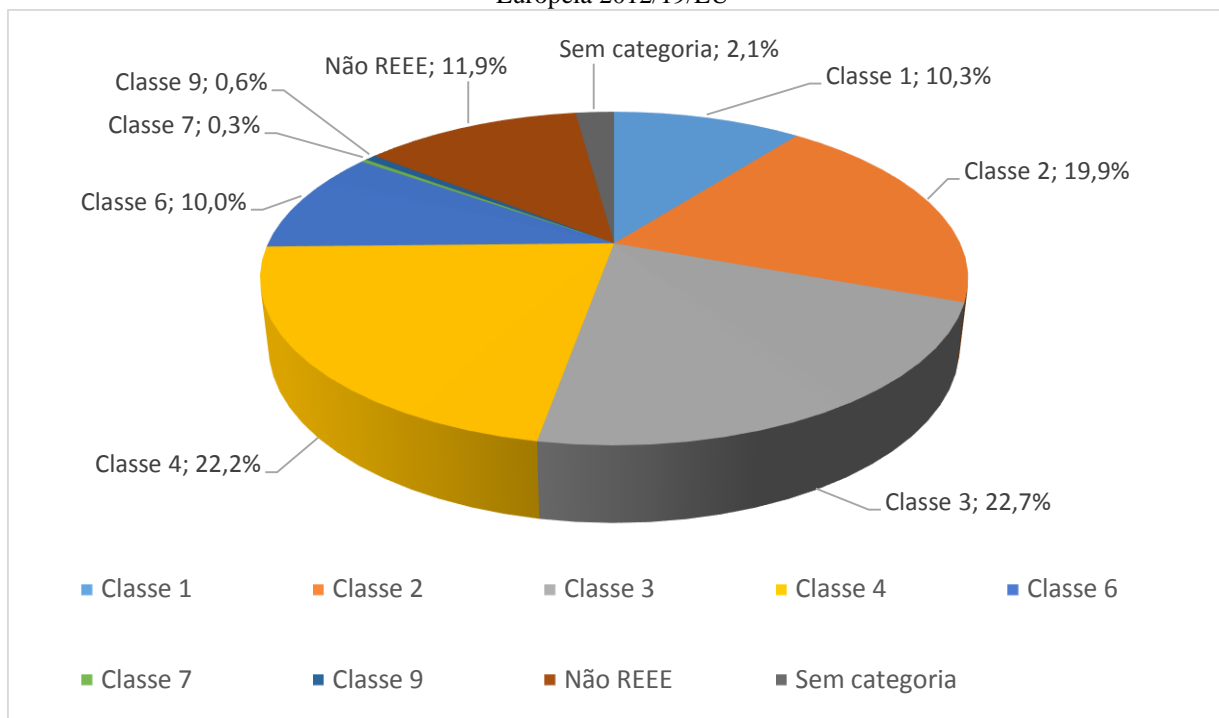
n°	Categoria	Geração (%)
1	Grandes eletrodomésticos	42,1
2	Pequenos eletrodomésticos	4,7
3	Equipamentos de informática e telecomunicações	33,9
4	Equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos	13,7
5	Equipamentos de iluminação	1,4
6	Ferramentas elétricas e eletrônicas	1,4
7	Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer	0,2
8	Aparelhos médicos	1,9
9	Instrumentos de monitoramento e controle	0,1
10	Distribuidores automáticos	0,7

Fonte: adaptado de Widmer *et al.* (2005))

Outro estudo que merece destaque foi desenvolvido pelo Departamento de Meio Ambiente, Alimentação e Questões Rurais da Inglaterra (DEFRA, 2007). Nesse caso, foi

avaliada a tipologia dos REEEs encaminhados para quatro pontos de coleta. Ao final, estes apresentaram resultados similares, sendo sua média apresentada na Figura 2.

Figura 2: Composição dos REEEs recebidos em ecopontos, na Inglaterra, conforme classificação da Diretiva Europeia 2012/19/EU



Fonte: Adaptado de Defra (2007)

A diferença entre ambas as análises é evidente, porém, algumas características comuns podem ser apontadas: em ambos os casos as categorias 1 a 4 (grandes e pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática e telecomunicações e equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos) permanecem como sendo as mais significativas, sendo a categoria 3 (Equipamentos de informática e telecomunicações) a mais expressiva. Ressalta-se que os valores de DEFRA (2007) demonstraram também uma quantidade expressiva de componentes na classe 6 (Ferramentas elétricas e eletrônicas), o que pode indicar uma peculiaridade regional.

Um estudo feito pela Universidade das Nações Unidas (2007) para a União Europeia apresenta algumas diferenças significativas nos resultados, apresentados na Tabela 3. Enquanto, conforme esse, as 4 primeiras categorias continuam compreendendo a vasta maioria dos REEEs, o restante das categorias apresentam maior semelhança com o estudo de Widmer *et al.* (2005) do que de Defra (2007), provavelmente decorrente do fato o segundo trabalhar com

informações de ecopontos, os quais, por questões de transporte, costumam receber mais equipamentos de pequeno e médio porte do que grandes eletrodomésticos.

Tabela 3: Tipologia dos REEEs na União Europeia.

Classe	Descrição	Categoria	Subcategoria
1	Grandes eletrodomésticos	49,07%	
1A	Grandes eletrodomésticos		27,70%
1B	Refrigeração		17,74%
1C	Grandes eletrodomésticos (itens menores)		3,63%
2	Pequenos eletrodomésticos	7,01%	7,01%
3	Equip. de informática e telecomunicações	16,27%	
3A	Equip. de informática e telecomunicações, menos CRTs		8,00%
3B	Monitor de CRT		8,27%
3C	Monitor de LCD		0,00%
4	Equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos	21,10%	
4A	Equipamentos de consumo, menos CRTs		7,82%
4B	TVs de CRT		13,28%
4C	Tvs de tela plana		0,00%
5	Equipamentos de iluminação	2,40%	
5A	Luminárias		0,70%
5B	Lâmpadas		1,70%
6	Ferramentas elétricas e eletrônicas	3,52%	3,52%
7	Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer	0,11%	0,11%
8	Aparelhos médicos	0,12%	0,12%
9	Instrumentos de monitoramento e controle	0,21%	0,21%
10	Distribuidores automáticos	0,18%	0,18%
	Total	100,00%	100,00%

Fonte: Adaptado de Universidade das Nações Unidas (2007)

Para o Brasil, não foram encontrados valores de geração de resíduos por classe, sendo encontrados apenas os referentes ao total de REEEs, já abordados.

Importante ainda avaliarmos não apenas os tipos de equipamentos que compõem os REEEs, mas também os seus materiais. Nesse sentido, pode-se utilizar os dados do Laboratório Federal Suíço para Ciência e Tecnologia dos Materiais (EMPA). Conforme dados de EMPA (2012) este tipo de resíduo é composto pelos mais diversos elementos, dentre eles metais ferrosos, alumínio, chumbo, polímeros, vidros, e até mesmo materiais mais valiosos como ouro, prata e paládio. Na Tabela 4 apresenta-se uma síntese da tipologia destes resíduos.

Tabela 4: Materiais que compõem os REEEs

Material	Massa (%)		
	Grandes aparelhos domésticos	Pequenos aparelhos domésticos	Equipamentos de TI e telecomunicações
Metal Ferroso	43	29	36
Alumínio	14	9,3	5
Cobre	12	17	4
Chumbo	1,6	0,57	0,29
Cádmio	0,0014	0,0068	0,018
Mercúrio	0,000038	0,000018	0,00007
Ouro	0,00000067	0,00000061	0,00024
Prata	0,0000077	0,000007	0,0012
Paládio	0,0000003	0,00000024	0,00006
Índio	0	0	0,0005
Polímeros bromados	0,29	0,75	18
Outros polímeros	19	37	12
Vidro de Chumbo	0	0	19
Outros Vidros	0,017	0,16	0,3
Outros	10	6,9	5,7
Total	100	100	100

Fonte: Adaptado de EMPA, 2012

Uma vez que as categorias apresentadas na Tabela 4 compreendem na maior parte dos casos pelo menos 90 % dos REEEs gerados em residências, pode-se constatar que mais da metade dos resíduos gerados a partir de eletroeletrônicos consistem em materiais metálicos como ferro, cobre e alumínio. Tal aspecto é corroborado por afirmação de Morf *et al.* (2007) o qual verificou que 66 % dos REEEs é composto por elementos como ferro, alumínio, cobre, ouro e outros metais não ferrosos.

Apesar de haver uma quantidade considerável de metais, os dados da Tabela 4 reiteram um problema em relação à reciclagem de REEEs, a elevada diversidade de elementos que compõem o resíduo, dificultado assim sua triagem e classificação. Assim, além de ferro, alumínio e cobre, encontram-se polímeros, vidros, metais valiosos (ouro, prata e paládio) e até mesmo elementos tóxicos como chumbo, mercúrio e cádmio.

Uma dificuldade cada vez maior na reciclagem de REEEs diz respeito às placas de circuito impresso. Veit (2005) analisou a composição dos metais utilizados em placas de

circuito impresso de computadores pessoais, tendo encontrado nas placas em questão a presença de 8 metais distintos, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Concentração de diferentes metais em placas de circuito impresso (PCI)

Elemento	% no Minério	% na média na PCI
Cobre	0,5 – 3,0	21,19
Zinco	1,7 - 6,4	0,17
Estanho	0,2 – 0,85	3,17
Chumbo	0,3 – 7,5	1,2
Ferro	30 – 60	1,31
Níquel	0,7 – 2,0	0,17
Alumínio	51 – 64	1,79
Ouro	6 – 12 ppm	10 ppm

Fonte: Veit (2005)

Pelos dados é possível observar que o cobre representa uma parcela significativa dos metais encontrados, porém, a comparação das concentrações típicas em placas de circuito impresso com as concentrações usuais desses mesmos metais em minérios deixa evidente também como muitos desses metais encontram-se em concentrações maiores do que em sistemas de mineração. Esse aspecto ajuda a ilustrar a elevada concentração de diferentes metais em REEEs, demonstrando o potencial de reciclagem dessas placas.

No que diz respeito à massa de REEEs gerados no Brasil, FEAM (2009) apresenta valores de quantidade de metais, polímeros e vidros potencialmente recicláveis/reutilizáveis no país oriundos de REEEs domésticos. Estima-se que para o ano de 2014 estariam sendo gerados 435.000 t de metais, 178.000 t de polímeros, 65.000 t de vidro e 59.000 t de outros materiais, decorrentes do descarte desses REEEs.

3.5. RISCOS HUMANOS E AMBIENTAIS

Os REEEs, dentro da sua vasta composição, incluem diversos elementos essenciais para o funcionamento dos equipamentos no decorrer da sua vida útil, porém, nocivos à saúde e ao meio ambiente no momento do seu descarte. Neste sentido, apresenta-se a seguir uma síntese dos principais impactos causados pelos elementos potencialmente perigosos mais comuns em REEEs.

3.5.1. Chumbo

Segundo Horne & Gertsakis (2006), além da utilização em baterias antigas, o chumbo é empregado em soldas, placas de circuito impresso, bulbo de lâmpadas incandescentes e fluorescentes, tubos de raios catódicos, placas de fotocopiadoras, dentre outros. A concentração de chumbo pode chegar a 50 g/m² em placas-mãe, 1,6 kg a 3,2 kg em tubos de raios catódicos e 0,3 a 1 g por lâmpada.

Os autores relatam ainda que a principal fonte de contaminação por chumbo ocorre pela solubilização do chumbo contido em tubos de raios catódicos, os quais acabam quebrados e posteriormente atacados por águas ácidas (como as encontradas em aterros sanitários e lixões).

No que diz respeito à saúde humana, a Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças dos Estados Unidos (ATSDR, 2012) destaca que o chumbo afeta praticamente todos os órgãos do corpo, porém, o principal alvo é geralmente o Sistema Nervoso. Como resultado, a exposição prolongada tende a causar fraqueza em dedos e articulações, e em grandes quantidades pode danificar o cérebro e rins, levando eventualmente à morte. Em gestantes, a exposição ao chumbo pode levar a sérios efeitos no desenvolvimento do cérebro do feto, enquanto que a exposição em homens pode danificar os órgãos responsáveis pela produção de esperma.

Conforme relatado por FEAM (2009), no meio ambiente, o chumbo é considerado um elemento bioacumulante, como consequência, ele se acumula no solo, na água e nos animais, passando pelos diferentes níveis tróficos, até eventualmente chegar ao ser humano.

3.5.2. Mercúrio

Utilizado em sensores e placas de circuito impresso, baterias, lâmpadas fluorescentes, celulares, tubos de televisores de tela plana dentre outros (Horne & Gertsakis, 2006). Uma das principais formas de contaminação de mercúrio oriundo de REEEs ocorre em aterros, onde o mercúrio inorgânico é solubilizado pelas bactérias em um tipo de mercúrio orgânico (metilmercúrio) o qual é mais rapidamente acumulado pelos tecidos orgânicos (ATSDR, 2012).

Em seres humanos, a exposição prolongada ao metilmercúrio pode danificar permanentemente o cérebro e rins, além de fetos em gestantes. Os efeitos sobre o cérebro podem resultar em irritabilidade, tremedeiras além de problemas de visão, audição e memória (ATSDR, 2012).

No meio ambiente, a contaminação por mercúrio ocorre pela transformação do mercúrio inorgânico em metilmercúrio, o qual, da mesma forma que o chumbo, se acumula nos diferentes níveis tróficos, chegando eventualmente no ser humano. O mercúrio é ainda conhecido por afetar o DNA, prejudicando a reprodução de espécies (FEAM, 2009).

3.5.3. Cádmio

O cádmio em REEEs pode ser encontrado em placas de circuito impresso, resistências de chips SMD, tubos de raios catódicos antigos, estabilizadores em PVC, baterias, interruptores e materiais fluorescentes (HORNE & GERTSAKIS, 2006). O Cádmio é considerado um elemento tóxico, cancerígeno e ecotóxico em ambientes aquáticos, tendo sido um sério problema nas décadas de 50 e 60.

Os efeitos do cádmio sobre a saúde humana são dos mais diversos. Nos pulmões ele pode causar edema pulmonar, enquanto nos rins ocorrem danos severos, podendo resultar em falha renal. Horne & Gertsakis (2006) destacam ainda que os danos causados aos rins pelo cádmio são irreversíveis, não havendo regeneração do órgão nas partes afetadas.

Ainda, como mencionado anteriormente, o cádmio é cancerígeno, podendo causar osteoporose, resultando em dores nas costas e nas juntas, e aumentando o risco de fratura dos ossos (ATSDR, 2012). Por tais motivos, a contaminação por cádmio em elevadas concentrações muitas vezes é letal.

Da mesma forma que o mercúrio e o chumbo, o cádmio é bioacumulante, passando pelos diversos níveis da cadeia trófica FEAM (2009). Apesar disso, existem poucos estudos acerca da lixiviação do mesmo, não sendo conhecido como este se comporta em aterros e lixões.

3.5.4. Cromo Hexavalente

Em REEEs, o cromo pode ser encontrado principalmente em superfícies decorativas, pigmentos e no aço inoxidável (HORNE & GERTSAKIS, 2006). O cromo é um elemento com elevado risco de saúde e ambiental, sendo inclusive cancerígeno. Dentre os efeitos do cromo sobre a saúde humana os autores destacam: câncer de pulmão, irritação de mucosas, garganta e pulmões, úlceras, dermatites, além de danos aos rins, olhos e fígado.

A forma hexavalente do cromo é a segunda mais estável, sendo o cromo trivalente a primeira. Diferente da sua forma trivalente, o cromo hexavalente é solúvel em água, podendo

ser lixiviado até rios e córregos (ATSDR, 2012). Porém, diferente do chumbo, mercúrio e cádmio, o cromo não é bioacumulante.

3.5.5. PBB (bifenilas polibromadas) e PBDE (éter difenil polibromados)

PBBs e PBDEs consistem em aditivos utilizados como retardantes de chamas em polímeros, pinturas, tecidos, dentre outros (Horne & Gertsakis, 2006). Conseqüentemente, os mesmos estão presentes em placas de circuito impresso, carcaças, conectores e cabos de eletroeletrônicos.

PBBs e PBDEs caracterizam-se por serem bioacumulantes ou por degradarem-se em compostos biopersistentes, estando, de fato, todo o grupo de retardantes de chamas bromados (RCBs) presentes na lista dinamarquesa de produtos indesejáveis (DANISH MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, 2011). Em estudo conduzido pela Universidade da Flórida (TOWNSEND *et al.*, 2003) em um aterro de REEES, foram encontrados níveis elevados de compostos organobromados, indicando a propensão de migração de RCBs, além da quebra dos mesmos em produtos de ainda mais elevada biopersistência.

McPherson *et al.* (2004) relataram a presença de RCBs no pó de diversos computadores e monitores situados em locais públicos, entre eles um museu infantil. Devido ao caráter bioacumulante dessas substâncias o autor demonstra preocupação com a facilidade de migração de tais compostos para o meio ambiente.

Por tais motivos, tais compostos estão sendo eliminados da indústria. Ressalta-se apenas que a substituição de RCBs por outros compostos tem se mostrado um processo complicado. Segundo McPherson *et al.* (2004), a melhor alternativa até o momento são os retardantes a base de fósforo, porém, existem dúvidas acerca da biopersistência de muitos destes compostos alternativos, forçando assim diversas empresas a optar por mudanças no design, como a utilização de carcaças de polímeros por carcaças de aço, para solucionar o problema.

Além dos componentes apresentados, a lista de elementos tóxicos em EEEs inclui ainda compostos como arsênico (placas de circuito impresso), selênio (retíficas), bário (TVs de tubo), berílio (usado para garantir condutividade térmica), dentre outros.

3.6. REEES EM UNIVERSIDADES

A avaliação da geração de REEES em universidades consiste em uma área de estudo restrita, não havendo muitos estudos desenvolvidos sobre isso até o momento, porém, existem

alguns trabalhos desenvolvidos com os quais pode-se montar um panorama geral dessa realidade.

Um estudo realizado por Chibunna *et al.* (2012) para a UKM - University Kebangsaan Malaysia, avaliou a percepção dos alunos e funcionários em relação ao sistema de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos. Tal avaliação teve como objetivo resolver o problema gerado pela disposição dos mais de 8.000 computadores utilizados na instituição, estando por isso o estudo focado neste tipo de REEE.

O sistema adotado na instituição é semelhante ao verificado em outras instituições de ensino: computadores encaminhados para reparo são avaliados pelo setor de informática, sendo que quando não são mais interessantes à instituição, os mesmos são encaminhados para doação, doados ou vendidos. Importante destacar que todos os dados são apagados previamente ao descarte, apesar de não ser mencionada a técnica adotada.

No que tange a percepção de alunos e funcionários, os autores verificaram que apenas 33,5 % dos 200 alunos entrevistados conheciam ou já tinham ouvido falar sobre REEEs. No caso dos funcionários esse número foi um pouco maior, 46 % dos 270 funcionários entrevistados, porém, ainda abaixo do desejável. Ainda, verificou-se que 90,5 % dos entrevistados recusaram-se a opinar acerca do sistema de gerenciamento de REEEs na instituição.

Também, foi desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology, ou MIT) avaliação da gestão de REEEs na Universidade de São Paulo (BONHOMME; CASTRO; CLARKE, 2008). Esse estudo apontou sete lições que podem ser seguidas por outros gestores de universidades:

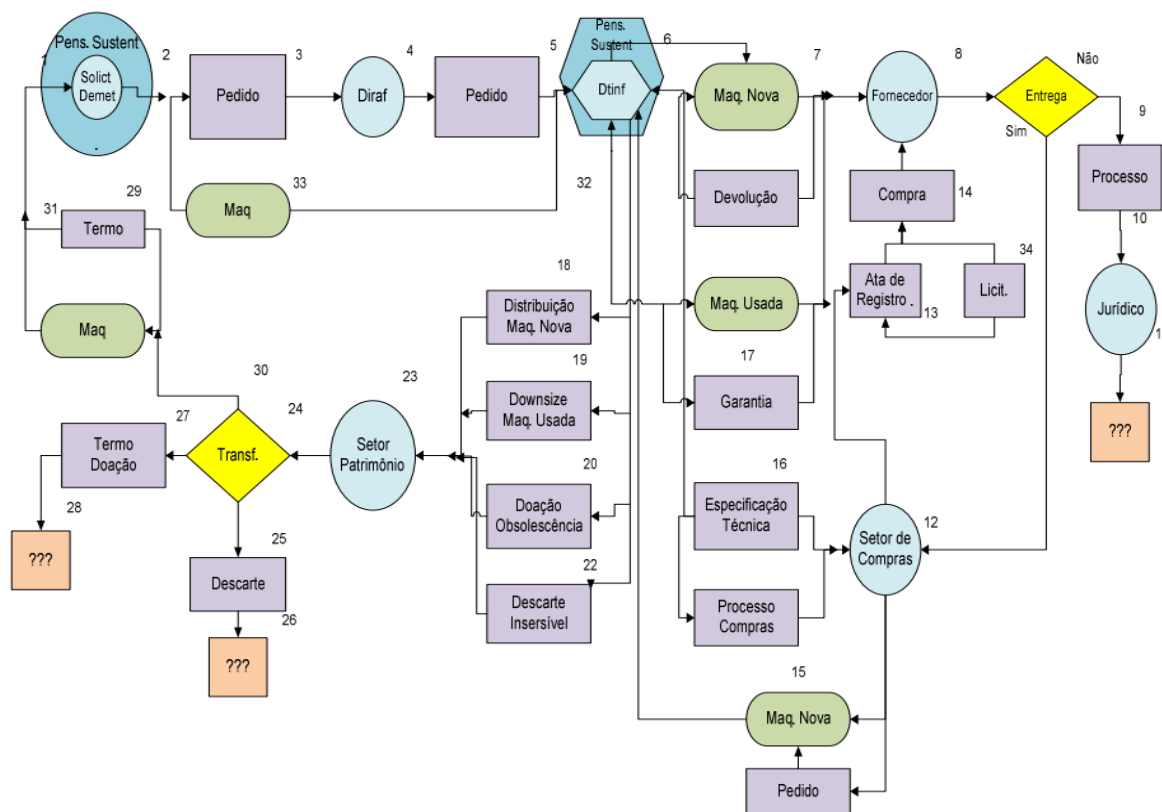
- a) Construir um time para trabalhar nesta área;
- b) Avaliar o escopo do problema: corrigir os problemas no alto nível (compra dos equipamentos), médio nível (reutilização) e baixo nível (reciclagem e descarte);
- c) Mapear o sistema de gerenciamento atual;
- d) Avaliar a existência de incentivos para a disposição correta de REEEs;
- e) Identificar parceiros adequados para a disposição correta de REEEs;
- f) Buscar soluções ótimas para a gestão (ex.: empresas que recebam o REEE de volta e doações);
- g) Criar um projeto piloto, estabelecer metas e prazos, buscar aliados.

Apesar de ser uma listagem generalista, esta apresenta um bom ponto de partida para o estabelecimento de um novo, ou a melhoria do existente, sistema de gestão de REEEs em universidades, podendo inclusive ser extrapolada para os demais tipos de resíduos.

Outro trabalho desenvolvido no Brasil que pode auxiliar nesse sentido foi a caracterização do ciclo de vida realizada por SANTOS (2010) para o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ). Tendo como foco avaliar o fluxo dos REEEs na instituição, foram obtidas três variáveis fundamentais para a tomada de decisão em um sistema de gerenciamento de REEEs: tempo de uso do equipamento, obsolescência (conforme o usuário), termino do ciclo de vida útil na instituição.

Ainda, como objetivo principal do trabalho em questão, foi desenvolvido um fluxograma otimizado de gerenciamento de REEEs, o qual está apresentado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma otimizado do ciclo de vida dos EEEs no CEFET/RJ



Fonte: (SANTOS, 2010)

Evidencia-se no fluxograma elaborado por Santos como o pensamento sustentável no gerenciamento de REEEs possui um papel particularmente importante no processo de compra, com o equipamento já sendo adquirido visando uma vida útil mais longa e materiais menos

danosos ao ambiente. Paralelamente, o equipamento não precisa ser descartado quando obsoleto, devendo ser priorizadas duas outras alternativas: a doação e a realocação do equipamento para outros setores de menor demanda computacional, prolongando sua vida útil, sempre que possível.

Dentro desse sentido, é importante avaliar o motivo que leva ao descarte dos EEEs. Odhiambo (2009) desenvolveu um estudo para uma série de universidades no Quênia focado no gestão de computadores nas instituições de ensino superior. Como resultado, obteve-se uma relação acerca dos motivos de descarte de computadores nessas instituições, apresentada na Tabela 6:

Tabela 6: Motivo do descarte de computadores em sete universidades africanas (n° de computadores)

Universidade	Dano físico	Vírus	Fim da vida útil	Mudança tecnológica	Sistema operacional	Total
Moi	48	68	202	36	18	372
Nairobi	43	71	312	60	31	517
Kenyatta	25	37	109	136	16	323
Jkuat	17	84	312	13	0	426
Egerton	42	26	38	34	14	154
Maseno	26	34	63	45	0	168
Mmsut	39	89	232	9	0	369
Total	240	409	1268	333	79	2329

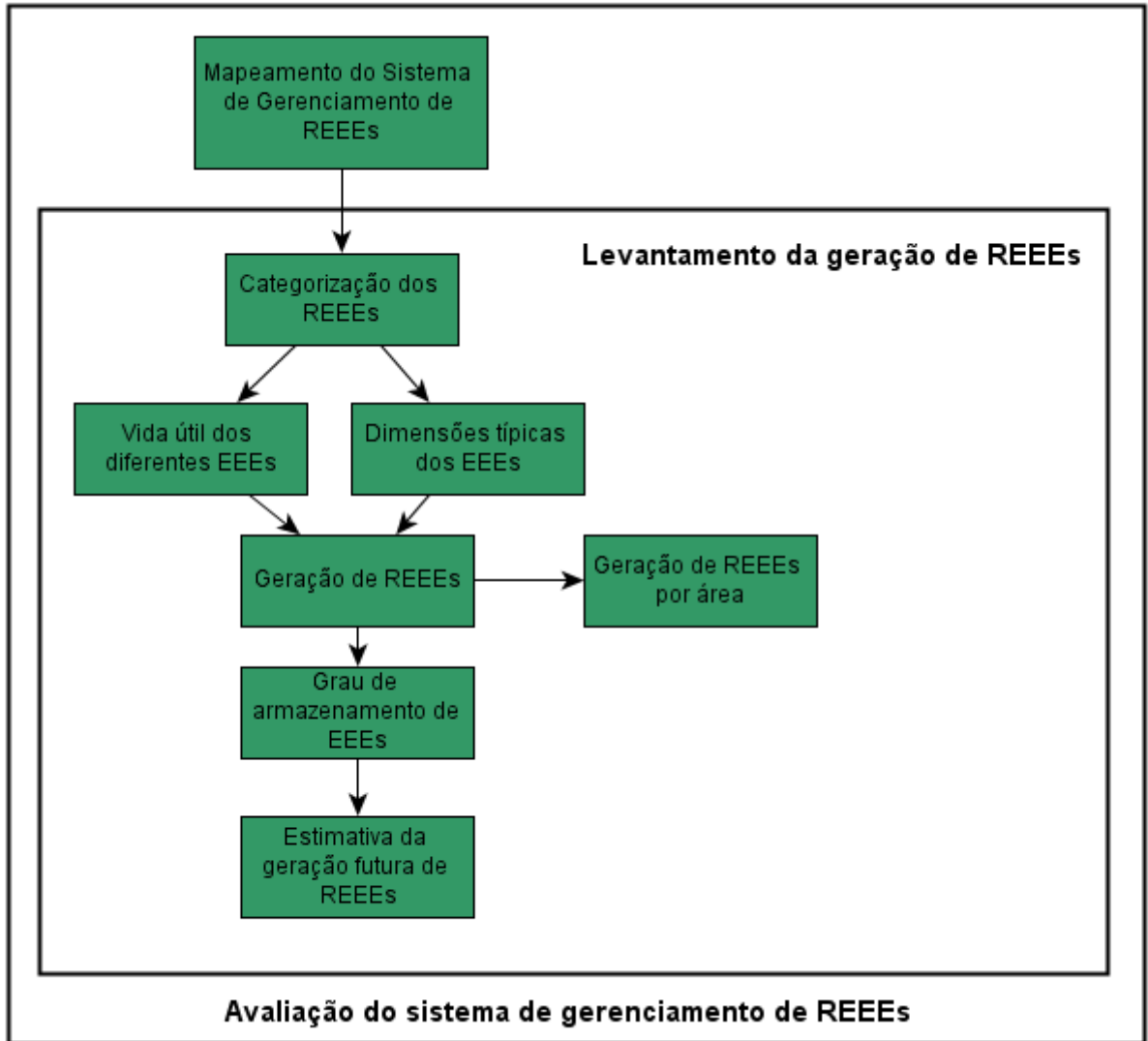
Fonte: Adaptados de Odhiambo (2009)

Apesar de ser difícil extrapolar os dados obtidos diretamente para a realidade brasileira, pode-se estimar que não apenas problemas de defasagem tecnológica implicam na substituição de computadores, mas também problemas decorrentes de softwares como sistemas operacionais desatualizados e vírus. Enquanto o primeiro é compreensível, tendo em vista que provavelmente está acompanhado de uma defasagem nos computadores, a não utilização de computadores devido a vírus surge como uma surpresa. Nesse caso, conforme o autor, os computadores deixam de ser utilizados devido a presença de vírus, não necessariamente descartados.

4 METODOLOGIA

Para atender aos diferentes objetivos propostos neste estudo, diversas etapas precisaram ser cumpridas, conforme apresentado na Figura 4. As metodologias adotadas para realização destas etapas estão detalhadas nos subcapítulos seguintes.

Figura 4: Etapas metodológicas para atendimento dos objetivos do estudo



4.1. MAPEAMENTO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE REEES DA UCS

A primeira etapa deste estudo consistiu no estudo e avaliação do sistema de gerenciamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos na instituição de ensino em questão. Isto foi possível por meio de reuniões e entrevistas junto aos departamentos envolvidos neste processo.

As investigações foram realizadas em cinco setores:

- Setor de Patrimônio;
- Programa de Gerenciamento Ambiental da Cidade Universitária (PROG);
- Gerência de Tecnologia da Informação e Comunicação (GTI);
- Setor de Infraestrutura;
- Hospital Geral.

O Setor de Patrimônio consiste no setor responsável pelo controle dos bens e equipamentos adquiridos na instituição. Desta forma, qualquer equipamento adquirido pela instituição, assim como aqueles aos quais é dado baixa (encaminhado para descarte), necessariamente passa por este setor.

O Programa de Gerenciamento Ambiental da Cidade Universitária (PROG), vinculado ao Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM), consiste no programa, dentre outras funções, responsável pelo gerenciamento dos resíduos da instituição, incluindo os REEEs. Através deste foi possível obter informações acerca de como ocorria o gerenciamento dos REEEs na instituição, incluindo armazenamento e destinação final.

Com o auxílio desse setor foram também realizadas visitas junto aos depósitos de resíduos da instituição, assim como acompanhamento dos descartes de REEEs. Os REEEs observados nessas visitas foram utilizados como base em análises posteriores, nas quais era necessário conhecer as características (tipos de REEEs e modelos) dos equipamentos da instituição.

Evidenciou-se na instituição que os EEEs com defeito ou considerados obsoletos são encaminhados para dois setores distintos para avaliação. No caso dos equipamentos de informática, estes seguem para a Gerência de Tecnologia da Informação e Comunicação (GTI). Neste setor foram realizadas entrevistas junto ao responsável com vistas à determinar os procedimentos de reuso e reparo de equipamentos de informática, permitindo a elaboração de parte do fluxograma de gerenciamento de REEEs na instituição. Ainda, este setor é o responsável pela gestão do SISACAD, utilizado neste trabalho, sendo estes dados, fornecidos pela GTI.

Já os EEEs convencionais são encaminhados ao setor de Infraestrutura, responsável dentre outras funções, pela avaliação da viabilidade técnica e econômica de reparo/reutilização dos equipamentos na instituição. Da mesma forma, foram realizadas entrevistas junto aos

responsáveis do setor, assim como visitas ao mesmo, com vistas à determinar o fluxo dos EEEs e REEEs na universidade.

Um último conjunto de visitas foram realizadas junto ao Hospital Geral da Instituição, uma vez que determinou-se que parte dos REEEs estavam sendo encaminhados à este local. Cabe ainda ressaltar que no decorrer dos dois anos desse estudo foram realizadas observações visuais acerca dos equipamentos utilizados em diversos blocos e setores, buscando assim identificar os tipos de equipamentos mais comumente utilizados.

Ao final do mapeamento, foi gerado um fluxograma de gerenciamento de REEEs da instituição, assim como realizada uma discussão acerca dos pontos positivos e negativos deste sistema.

4.2. LEVANTAMENTO DA GERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS REEES DA INSTITUIÇÃO

Um dos objetivos deste estudo é quantificar e detalhar a geração de REEEs na instituição. Esta avaliação foi realizada com duas metodologias distintas: uma avaliação preliminar sobre uma parcela dos REEEs armazenados, e uma análise sobre o total de EEEs da instituição, disponíveis no Sistema de Informações da Universidade

4.2.1. Avaliação preliminar dos REEEs recolhidos durante duas coletas

Foi desenvolvida uma avaliação preliminar acerca dos REEEs que estavam armazenados no principal depósito de REEEs da instituição, encaminhados para reciclagem no decorrer de duas coletas. Os depósitos contendo os resíduos coletados foram visitados e um relatório fotográfico foi elaborado catalogando os REEEs evidenciados neste local.

Para quantificação dos mesmos foram utilizados dados fornecidos pelo setor de patrimônio acerca das quantidades coletadas, assim como informações mássicas estimadas pelo Setor de Patrimônio e GTI para estes equipamentos. A análise envolveu 14.415 itens, totalizando 7.084 kg, aproximadamente 1,7 % do englobado na análise completa. Os resultados dessa análise preliminar estão apresentados no artigo “Evaluating a brazilian university WEEE generation and operational logistics”, o qual consta em anexo à este estudo.

4.2.2. Avaliação dos REEEs gerados na instituição

Uma segunda avaliação mais completa foi realizada partindo dos Equipamentos Eletroeletrônicos adquiridos pela instituição. Uma vez que a princípio todo EEE torna-se REEE em um dado momento, é possível correlacionar os dois. Esta opção deu-se também pelo fato de a instituição não contar com um sistema de controle de REEEs propriamente dito, o que foi evidenciado durante o diagnóstico realizado no item 4.1 e na avaliação preliminar do item 4.2.

Para tal foram utilizados os dados do sistema SISACAD da instituição. O SISACAD consiste no Sistema de Informação utilizado na instituição para processos como protocolos, ordens de serviços, baixas de documentos, etc. Desta forma, todo equipamento adquirido pela instituição está incluso neste sistema, recebendo uma identificação (número de patrimônio). A única exceção são alguns equipamentos adquiridos diretamente por pesquisadores, os quais não chegam a receber uma identificação para universidade, não estando inseridos no sistema. Pequenos equipamentos, como cabos de computadores, também não são cadastrados no SISACAD.

As informações do SISACAD foram obtidas junto ao Setor de GTI, sendo informado o código do equipamento, descrição do mesmo, local em que este se encontra, data da aquisição do equipamento, valor do equipamento, se o mesmo já recebeu baixa no sistema (descartado) e classificação.

O banco de informações utilizado totalizou 51.066 itens, com um peso estimado de 413.025 kg, compreendendo em sua maior parte o período de agosto de 1995 até novembro de 2013, totalizando pouco mais de 17 anos de dados. Destes, 5.104 itens foram desconsiderados por não serem efetivamente EEEs e 1.012 itens precisaram ser desconsiderados por problemas de catalogação na instituição. Como resultado, foram analisados 44.950 EEEs, um aproveitamento de 97,8 % da amostra real de EEEs.

Apesar de esse aproveitamento ser elevado, ressalta-se que os itens catalogados incorretamente consistiram basicamente em equipamentos de academia, utilizados no centro esportivo das instituições, e aparelhos médicos, utilizados principalmente no hospital e no ambulatório do campus, comprometendo a análise destes dois tipos de REEEs. Com vistas à dirimir este problema, os principais EEEs encontrados foram manualmente catalogados.

Uma vez que a base de informações trabalhava apenas com os equipamentos adquiridos, não contendo informações sobre a massa destes, foi necessário estimar o peso per capita destes EEEs. Para tal, utilizou-se como base o sistema de classificação da instituição, no qual os equipamentos adquiridos estão separados em 624 categoriais. Destas, 414 foram

consideradas, uma vez que as demais não consistiam em EEEs ou não existiam equipamentos cadastrados no sistema.

Para estas 414 classes foram buscados pesos médios. Visto que a grande maioria dos EEEs não possuíam valores na bibliografia e que era possível identificar os modelos de equipamentos adotados, optou-se por buscar informações de pesos de modelos de equipamentos similares. Quando disponíveis, buscou-se cinco modelos diferentes para se realizar a média, sempre levando em consideração os modelos utilizados na instituição. Este peso médio foi utilizado para estimar o peso de cada amostra.

A única exceção nesta metodologia foram computadores e monitores, os quais o diagnóstico preliminar já havia determinado consistirem no maior montante dos EEEs adquiridos. Neste caso, adotou-se valores da Tabela 7.

Tabela 7: Pesos utilizados para computadores e monitores

Item	Peso (kg)	Fonte
Computador	9,9	Eugster et al. (2007)
Monitor LCD	6,23	SWICO (2011)
Monitor CRT	14,1	Laffely (2007)

Como nem todo monitor apresentava informação sobre se a tecnologia era de tubos catódicos (CRT) ou de LCD, esta separação foi realizada por período. Pelo que foi observado nos dados coletados, a partir no início de 2007 a instituição começou a adquirir basicamente monitores de LCD, sendo então considerado que todos adquiridos após esta data eram de tecnologia LCD.

Os dados obtidos foram catalogados e analisados em software *Excel*, sendo posteriormente avaliados em relação à geração, características, origem e vida útil. Uma vez que o Brasil não conta com uma classificação oficial de REEEs, e a classificação adotada pela ABDI - Agência Nacional de Desenvolvimento Industrial (Linha Branca, Marrom, Verde e Azul) não é adequada para englobar a variedade de equipamentos encontrados, os EEEs e REEEs foram classificados conforme a Diretiva Europeia 2012/19/EU (UNIÃO EUROPEIA, 2012) em 10 categorias. Como não foram evidenciados distribuidores automáticos de posse da instituição, estes foram desconsiderados.

Uma expansão da classificação trazida na Diretiva Europeia 2012/19/EU foi elaborada tendo como base os principais tipos de REEEs encontrados na instituição. As subclasses

apresentadas consistem em equipamentos com características distintas e que preferencialmente representam uma fração representativa da amostra (acima de 10 %).

Para determinação da geração futura de REEEs, foi necessário estabelecer a vida útil dos diferentes equipamentos. Uma vez que a grande maioria dos equipamentos utilizados não dispunha desse tipo de informação na bibliografia, foram adotadas vidas-úteis médias para cada uma das classes avaliadas, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Vida útil adotada para diferentes classes

Categoria	Vida útil (anos)	Fonte
Grandes eletrodomésticos	11	NABH (2007)
Pequenos eletrodomésticos	7	UNU (2007)
Equip. de informática e telecomunicações	5	EPA (2008)
Equip. de consumo	13	EPA (2008)
Equip. de iluminação	8,6	ECOSPECIFIER (S.A.)
Ferramentas elétricas e eletrônicas	10	IBAPE/SP (2007)
Brinquedos e equip. de esporte e lazer	10	Adotado
Aparelhos médicos	10	IBAPE/SP (2007)
Instrumentos de monitoramento	10	IBAPE/SP (2007)

Para a definição do valor de vida útil, levou-se em consideração os equipamentos mais encontrados na classe. Por exemplo, para os grandes eletrodomésticos adotou-se a vida útil de geladeiras, enquanto para equipamentos de informática adotou-se como referência computadores de mesa e para equipamentos de consumo televisores. No caso de brinquedos e equipamentos de esporte e lazer, os principais itens encontrados foram kits de treinamento e ensino e equipamentos de esporte como esteiras e bicicletas ergométricas, tendo sido adotado uma vida útil de 10 anos.

Originalmente, este trabalho também previa a comparação destes resultados com a vida útil real do equipamento, determinando assim o grau de armazenamento. Infelizmente, verificou-se que menos de 3 % dos equipamentos possuíam informação sobre baixa deste no sistema. Uma vez que esta informação não condiz com a realidade, denotando problemas desta informação no sistema, optou-se por desconsiderar completamente esta análise. Uma descrição qualitativa acerca dos problemas de armazenamento evidenciados na instituição está apresentada no item “Resultados Complementares”.

Desenvolveu-se também uma avaliação da geração de REEEs por diferentes áreas, com enfoque nas áreas de ensino. Esta foi realizada a partir de informações acerca do bloco

onde os EEEs estavam alocados, sendo por isso a classificação adotada em relação aos centros de ensino da universidade. Foram adotadas 14 classes:

- Ciências Biológicas
- Ciências Exatas
- Ciências Humanas
- Ciências Jurídicas
- Ciências Sociais
- Ciências da Saúde
- Artes
- Administrativo
- TI e Salas de Informática
- Escola
- Biblioteca
- Serviços
- Outros

Ressalta-se aqui que nem todos os equipamentos adquiridos possuíam seu local informado no sistema de informações utilizado, sendo que apenas 40 % dos dados puderam ser aproveitados. Ainda, como um conjunto grande de dados estava incorretamente cadastrado como estando situados no bloco da reitoria, o mesmos precisaram ser descartados, resultando em somente 25,2 % dos dados sendo aproveitáveis. Para o cálculo dos valores per capita, foram utilizados dados repassados para a instituição, referentes ao ano de 2013.

Em contrapartida, verificou-se que considerando somente computadores, este valor sobe para 57 %. Visto este se tratar do principal resíduo da universidade, optou-se então por avaliar também a geração de REEEs de computadores em separado.

Com vistas à estimar o montante de materiais disponíveis para reciclagem na instituição, foi estimada o montante de materiais disponíveis para reciclagem em computadores e monitores, que compreendem aproximadamente 40 % da massa de EEEs da instituição. Para o cálculo foram utilizados dados de SWICO (2011) com a composição de computadores, monitores LCD e monitores CRT. Na Tabela 9 estão apresentados os valores adotados.

Tabela 9: Composição utilizada

Material	Porcentagem		
	Computador	CRT	LCD
Metais	82,3	14,7	42,8
Polímeros	5,7	19,9	23,9
Compósitos de metal-polímero	0,3	9,5	0
Cabos	3,1	2,6	0,4
Vidro	0	43,7	25,2
Placa de circuito impresso	8,3	9,1	7
Poluentes	0,3	0,1	0,3
Outros	0	0,5	0,5

Fonte: SWICO (2011)

Na Tabela 10 estão apresentados os valores adotados para composição das placas de circuito impresso, conforme Veit (2005).

Tabela 10: Composição de uma Placa de Circuito Impresso (PCI)

Material	Cobre	Estanho	Alumínio	Ferro	Chumbo	Zinco	Níquel	Ouro
% na PCI	21,19	3,17	1,79	1,31	1,2	0,17	0,17	0,0001

Fonte: Veit (2005)

4.2.3. Avaliação dos REEEs gerados no Hospital Geral

Com vistas à atender o objetivo de avaliar o hospital escola da instituição, foram realizadas visitas técnicas acompanhadas aos diversos setores do hospital e ao depósito de armazenamento de REEEs, acompanhadas de registro fotográfico, além de entrevistas junto aos responsáveis pela gestão de resíduos sólidos. Os resultados dessa análise resultaram no capítulo “Gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos em estabelecimentos de assistência à saúde”, do livro “Resíduos de Serviços de Saúde: um olhar interdisciplinar sobre o fenômeno”.

5 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos a partir deste trabalho. Estes seguem o modelo estabelecido pelo colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, consistindo em pelo menos dois artigos aprovados. Desta forma, os resultados encontram-se divididos em quatro subcapítulos, conforme explicado abaixo:

Primeiramente, encontra-se o artigo “Evaluating a brazilian university WEEE generation and operational logistics”, submetido ao 14º Simpósio Internacional de Gerenciamento de Resíduos e Aterros Sanitários (Sardínia 2013) e aprovado para poster e apresentação oral. Realizado à cada 2 anos em Sardinia, na Itália, este consiste em um dos principais simpósios internacionais na área de resíduos sólidos. Os resumos deste simpósio estão publicados no seu respectivo livro com ISBN 9788862650281, enquanto os periódicos estão disponíveis nos anais do congresso com o ISSN 2282-0027.

O segundo artigo submetido é intitulado “Avaliação da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) em uma universidade particular”, submetido à Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, editada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental (ABES). Este periódico está classificado com Qualis B1 pela CAPES para a área de Engenharias I, onde se enquadra este trabalho. O artigo em questão está em processo de análise, tendo sido submetido em 10 de novembro de 2014.

Após, encontra-se o capítulo “Gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos em estabelecimentos de assistência à saúde”, parte do livro “Resíduos de Serviços de Saúde: um olhar interdisciplinar sobre o fenômeno”. Este livro consiste em uma publicação em processo de finalização, formada por 49 autores de áreas como saúde e resíduos, a ser lançada pela editora EDUCS.

Por fim, no capítulo 5.4 estão apresentados os resultados que não foram até o momento publicados, ou que foram publicados apenas parcialmente.

5.1. EVALUATING A BRAZILIAN UNIVERSITY WEEE GENERATION AND OPERATIONAL LOGISTICS

T. PANIZZON*, V. E. SCHNEIDER*, G. A. REICHERT*

** Environmental Sanitation Institute, University of Caxias do Sul. Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil.*

SUMMARY: The University of Caxias do Sul (UCS) is a private educational institution located in Caxias do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil. It has more than 37,000 students, 80 undergraduate, and 13 postgraduate courses. This study evaluated WEEE generation in the UCS and, initially, in its hospital. This was performed by analyzing the data available in the institution information system about equipment discarding. Information technology (IT) and telecommunications equipment represent the majority of WEEE generated by the University (62.8%). This is due to the high amount of computers used in the institution, not only in IT laboratories, but also in secretary offices, research institutes, and some classrooms. In fact, cathode ray tube (CRT) monitors respond to 34.58% of the total WEEE, and computers to 12.63%. Other categories identified were: consumer equipment (18.9%), large household appliances (7.3%), small household appliances (3.7%), and, the most distinct ones, monitoring and control equipment (4.22%), and medical instruments (0.42%). About UCS' General Hospital WEEE, EEE donated by the State represent most biomedical equipment, requiring special bureaucratic procedures prior to discard. Also, preliminary information indicates that most waste is composed by IT equipment, just as observed in the University WEEE. Unfortunately, both institutions are hampered by the Brazilian WEEE laws indefiniteness. Until technical committees elaborate the upcoming WEEE laws, little can be done to improve WEEE management both in the university and in the hospital.

1. INTRODUCTION

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), or EEE waste, is one of the fastest growing pollution problems worldwide (KIDDEE et al., 2013). To put it into context, in 1994 it was estimated that approximately 20 million PCs became obsolete, while by 2004 this figure was to increase to over 100 million PCs (WIDMER et al., 2005). In Brazil, there is a lack of studies regarding WEEE, however, estimates indicate that the generation in 2012 was 712,700 t (FEAM, 2012).

Indeed, the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) management in Brazil is a recent subject, being the first law directly addressing to this subject, the National Solid Waste Policy, from 2010. It created Technical Committees, including the WEEE Committee, responsible for developing the WEEE logistics. However, until this date, such logistics have not yet been developed, and as a result, the laws for recycling and disposing of WEEE in Brazil are not very clear.

The University of Caxias do Sul (UCS) is a private educational institution located in Caxias do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil. It has more than 37,000 students, 80 undergraduate and 13 postgraduate courses. It also has a hospital, physics, chemical and biological laboratories, and many IT classrooms, resulting in a large variety of waste generated.

This study aims to evaluate the management of WEEEs inside UCS, and quantify the waste generated. Also, preliminary results about WEEE management in the university hospital, named General Hospital (GH), were also included in this paper.

2. METHODOLOGY

This study evaluated WEEE generation in the University of Caxias do Sul (UCS), during April 2013, when the first controlled university WEEE discarding happened. As a result, an evaluation of all stored equipment was made, allowing the institution to quantify the amount of WEEE generated during its existence. This was performed by analyzing the data available in the institution information system about the equipment discarding.

Since the only data available referred to the number of WEEE, the mass was estimated based on available data from similar equipment. In addition, due to lack of local legislation, the WEEE was further classified according to the Directive 2012/19/EU of the European Parliament.

The University of Caxias do Sul is managed by the University of Caxias do Sul Foundation (FUCS), which also manages a school, a broadcast station, and a public hospital, named General Hospital (GH). Since the GH does not belong directly to FUCS, its waste has a different management system, being not included in the data collected from the information system. This way, a similar analysis is currently being made for the General Hospital. This paper only includes the preliminary results about that waste.

Lastly, to completely understand the WEEE management system, a series of interviews was performed with key staff members, particularly from maintenance, IT, and office furniture and equipment sector, allowing evaluating the chain events that lead to the EEE discard.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 WEEE management in Brazil

Brazilian WEEE legislation relies on the National Solid Waste Policy, approved in 2010 (BRAZIL, 2010). According to Mazon, De Azevedo, Pereira, & Silveira (2012), this law significantly differs from European Union policies in that it is guided by the principle of shared responsibility, while the European Directive follows the principle of producer responsibility. Other aspects, however, are very similar, such as the hierarchy of priorities (first, non-generation of residues, followed by reduction, reuse, recycling, treatment and final environmentally correct disposal).

Another major difference in Brazilian Law is the legal obligation to create the reverse logistics committees, composed by public and private institutions, which are responsible for developing logistics for management of at least five waste classes: pesticides packages, batteries, tires, lubricant and oil packages, fluorescent lamps and WEEE. Until this date, the first four have been already established, since their management was already under operation even before the National Policy on Solid Waste.

On the other hand, the committees for fluorescent lamps and WEEE are still debating the best operational practices to adopt in Brazil. Although not required by law, the Brazilian government also created the committees for drugs and standard packages, which are also being debated. About the WEEE committee, it is coordinated by the Ministry of Development, Industry and Foreign Trade.

Since there is yet no definition on the WEEE logistics from the technical committee, at the moment Brazil lacks the legislative tools for municipalities to establish their reverse logistics for this waste. The National Solid Waste Policy does oblige the producers, sellers, resellers and costumers to correctly dispose their waste, but, under practical terms, while the committees discussions are taking place, the municipalities are unable to establish long-tern practices.

This situation, however, is expected to change next year, with the debates ending and the WEEE logistics approved. A new legislative evaluation will have to be performed after that to evaluate the new WEEE Brazilian law.

In terms of municipal and state laws, only a few ones where approved in Brazil. In Rio Grande do Sul State, where UCS is located, the law 12,533/2010 establishes the management of WEEE. It is however, problematic. Firstly, it is focused mostly on IT waste, TV sets and batteries, lacking the European Directive amplitude. Secondly, it conflicts with the National Solid Waste Policy in the sense that it does not operate under the “co-responsibility” principle, making only “EEE producers, imports or trades” responsible for WEEE disposal. And lastly, it establishes the way of disposal (collection points) instead of debating the best option through a committee.

As a result, this law became what is known in Brazil as “a law which does not stick”, which means that, although it has been approved, and so has legal power, the law is not obeyed by the population, and not even by the government itself. This kind of phenomenon is relatively common in Brazil, and is attributed to the approval of laws which are impractical due to social, cultural and/or economic reasons (SISCAR, 2012).

3.2 WEEE Management in the University of Caxias do Sul (UCS)

Until recently, all UCS’s bought EEE which required maintenance was sent to repair, and if it could not be repaired or was not worth being repaired, it was stored. Last year though, the institution changed its system in order to gain more control over its IT equipment. The flowchart in Figure 1 shows current WEEE management in UCS.

The University’s EEE management is divided into IT devices and other EEE. IT devices are sent to the Communication and Information Technology Management sector, where they evaluate the value of fixing it against buying a new one. If repair is evaluated as worthwhile, the equipment is repaired, and sent back to its sector. For safety reasons, prior to discard every computer has its hard drive destroyed.

Another common scenario is the equipment discard due to obsolescence. In this case, the IT equipment is sometimes relocated to another sector with lesser computational needs, generally the library, the hospital, some laboratory or in the classrooms (mostly for PowerPoint presentations).

Other electronic devices are sent to maintenance for repair. The main difference of these devices from the IT equipment is that computer and the like are fixed in the institution, while many other EEE are too complex for internal repair, and are then sent to an external company for repair. In addition, the relocation of non-IT equipment is unusual since those are generally discarded due to damage, rarely due to obsolescence. In both cases, IT and non-IT equipment, when repair is considered impossible or unfeasible, are stored as WEEE.

Until this date, the WEEE has been kept in a basement, but a new place is being designed. The main difficulty, however, comes from the lack of federal regulation. In Brazil, waste is classified into three categories according to the norm NBR 10.004/2004: I - Dangerous, IIA – Non-dangerous and non-inert and IIB – Non-dangerous and inert. Since there are severe

differences between these three management classes, especially in terms of transportation and storage, defining the class is peremptory. Unfortunately, the National Solid Waste Policy does not establish the waste class, and the responsible Technical Committees are still debating this issue. As a result, the institution cannot establish a long-term WEEE management, and has to wait for the upcoming changes in the national law.

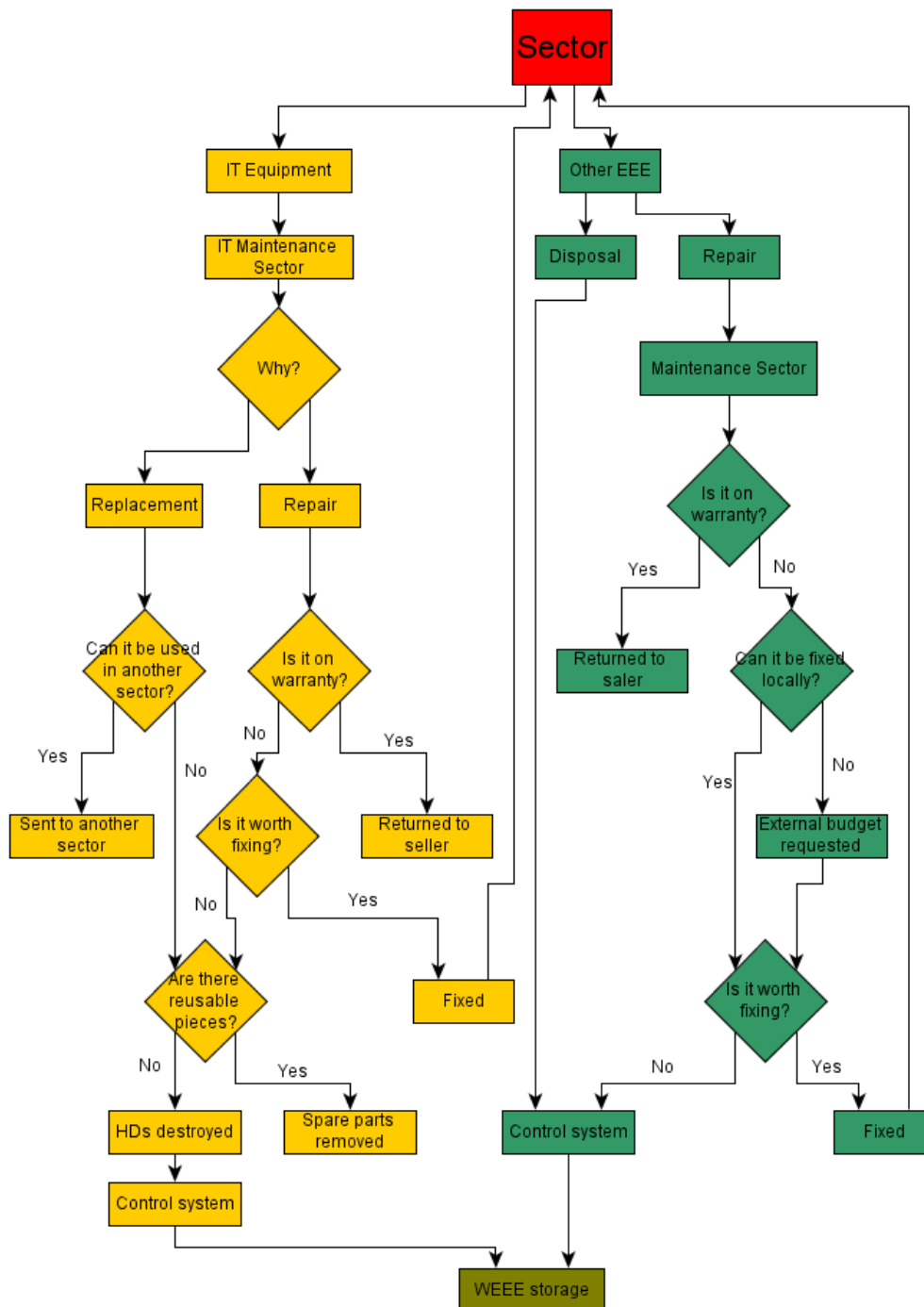


Figure 1:UCS WEEE management flowchart

3.2.1 WEEE Composition in Caxias do Sul University

Since the foundation of UCS in 1967, all WEEE generated has been stored for further destination, being periodically collected for recycling. In April 2013 happened the latest WEEE collection, performed by a private company responsible for components' sorting and route for recycling. This collection covered the WEEE generated from January 2012 to April 2013. Table 1 summarizes the results of this waste according to the EU Directive classification (European Parliament, 2012). The data was obtained through the university database.

Since the database only stored the amount of equipment stored, the mass was estimated with the help of maintenance and IT staff, and through known average mass values.

Table 1: WEEE collected in the UCS in April 2013.

n	Category*	Itens	Mass	
			kg	%
1	Large household appliances	30	514,5	7.26%
2	Small household appliances	11,759	265,3	3.74%
3	IT and telecommunications equipment	1,987	4,449,5	62.80%
4	Consumer equipment	279	1,349.3	19.05%
5	Lighting equipment	13	9,38	0.13%
6	Electrical and electronic tools	23	138,8	1.96%
7	Toys, leisure and sports equipment	0	0	0.00%
8	Medical devices	34	29,8	0.42%
9	Monitoring and control instruments	96	298,7	4.22%
10	Automatic dispensers	0	0	0.00%
-	Others	194	29,4	0.42%
Total		14,415	7,084.8	100

*According to the Directive 2012/19/EU of the European Parliament

As observed, and confirmed by staff reports, IT and telecommunications equipment represent the majority of WEEE generated by the university (62.8%). This is due to the high amount of computers used in the institution, not only in IT laboratories, but also in secretary offices, research institutes, and some classrooms. In fact, CRT Monitors are responsible for 34.58% of the total WEEE, and CPUs for 12.63%.

Also, it is known that laboratory and medical equipment is generally stored, even when newer equipment arrives. This tends to happen since they are usually bought through specific governmental research funds, so old equipment tends to be stored as a backup, since the lack of funds for maintenance and repair is common.

Another main category is Consumer Equipment (18.9%), mostly due to televisions and multimedia projectors, which used in the classrooms. This class also includes overhead projectors, which, together with CRT monitors, are the two most common pieces of equipment that are no longer purchased, meaning that they will likely have a drastic reduction in the WEEE proportion in the next few years.

Devices like fridges, microwave ovens and drinking fountains make up for the third largest

class, Large Household Appliances (7.3%). Those are different from the two other classes since this equipment is used in support areas and laboratories, not directly by the students and professors. The same can be said about Small Household Appliances (3.7%), composed mostly by typewriting machines and heaters.

Monitoring and Control Instruments and Medical Devices are two special classes. Although they represent only 4.6% of the generated WEEE, they consist of very distinct equipment generated in laboratories. This equipment is different from those generated in the domestic waste, meaning that they are harder to recycle. As a result, they might not be properly recycled in conventional facilities.

Under Monitoring and Control Instruments, the most common wastes are: microscopes, muffle, vacuum pump, destillator and heating mantle. The most significant ones, the microscopes, represent 61.9% of all the Monitoring and Control Instruments mass. This is due to its use in health and biology classes, resulting in a disproportional amount of WEEE when compared with other Monitoring and Control Instruments. Also, as reported earlier, equipment used directly by laboratories tend to be used for longer periods of time and, then, stored, meaning that these are not accounted for in this evaluation.

A similar phenomenon happens with Medical Devices (0.42%), which include sphygmomanometers, chirurgic vacuum, electrocautery, and coagulator. The small amount of devices in this category is due to WEEE from General Hospital being stored in another deposit, so this equipment refers only to that used in health classes and laboratories.

A small number of emergency lighting equipment was also found and represents most of the Lighting Equipment Class. The Other class refers to stored equipment that is not WEEE, like batteries, toner cartridges, and plastic/metal parts.

3.3 WEEE Management in the UCS General Hospital – preliminary results

In legal terms, the UCS General Hospital distinguishes itself from the rest of the institution because the university is responsible only for its management, whereas the resources and the infrastructure are public property. This results in serious difficulties in equipment discard/sale due to legal reasons.

That way, the EEE can be classified according to its ownership: State, UCS or GH itself. The State's EEE represents most of biomedical equipment and the hardest one to discard. As seen in Figure 1, some old computers are relocated to different sectors, including the GH. Most computers used by the GH are borrowed from UCS, and so return to it when no longer used. Because both institutions belong to the Foundation FUCS, this is a relatively simple process. Lastly, a small number of EEE is purchased with own capital, being those the only EEE which can be effectively discarded without a third party approval.

A collateral effect of this process is also the extensive equipment use. Just as seen with Monitoring and Control equipment in the UCS, the EEE in the GH is hardly discarded, but the main difference is that repair is a more common practice here, with discard only occurring when fixing is no longer a viable option. Also, since the hospital started operating in 1998, and most medical equipment has a life cycle of about 20-25 years, few medical devices have been discarded until now, although some of them are relevant, like an autoclave.

In general, preliminary information indicates that most waste is composed by IT equipment, just as seen in the university WEEE. A quantitative analysis is under development to confirm this information.

4. CONCLUSIONS

The analysis demonstrated that the university WEEE is composed mostly by IT equipment, followed by other similar EEE like television sets. There is, however, a significant portion composed by Monitoring and Control instruments and Medical devices. This is important due to their particular composition, since they differ from traditional WEEE, particularly because they are sensors.

The hospital's WEEE suffers from a similar fate. Preliminary analysis indicates a majority of IT equipment as WEEE, although medical devices require especial attention due to some components. In addition, WEEE discard in GH is legally complex since the EEE belongs to the State, being the UCS responsible only for the management of EEE, not owning it.

It is important to highlight that the WEEE generation is highly affected by products' life cycle. Although the technological evolution has brought amazing advances to society, it has also led to an increase of WEEE generated. That way, much of WEEE generated nowadays results not from malfunction but from technologic obsolescence. This is a particular feature of WEEE, and both UCS and GH will have to account for this aspect.

Lastly, both institutions are hampered by the WEEE law indefiniteness. Until technical committees elaborate the upcoming WEEE law, little can be done to improve WEEE management in both institutions. That way, a new system evaluation will be developed after that, and aiming to identifying the gaps in the current one.

AKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the University of Caxias do Sul.

REFERENCES

- ABNT - Technical Standards Brazilian Association (2004). Resíduos sólidos: classificação. 2.ed. Rio de Janeiro: ABNT.
- BRAZIL, Senate (2010). Law N°. 12.305, from August 2010. Establish the Solid Waste National Politic. Brasília: Senate Graphic. p. 18.
- EUROPEAN Parliament and of the Council (2012). Directive 2012/19/EU. Official Journal of the European Union. Vol. 55. Available at: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:FULL:EN:PDF>>
- FEAM - Minas Gerais State Environmental Foundation (2009). Diagnóstico da Geração Resíduos Eletroeletrônicos Estado de Minas Gerais Belo Horizonte. Belo Horizonte. Available at: <http://ewasteguide.info/files/Rocha_2009_pt.pdf>. Access in: 14 Aug. 2012.
- KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste management (New York, N.Y.)*. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.006
- MAZON, M. T.; DE AZEVEDO, A. M. M.; PEREIRA, N. M.; SILVEIRA, M. A. (2012). Does Environmental Regulation Foster the Diffusion of Collaborative Innovations? A Study on Electronics Waste Regulation on Brazil. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 52, 259–268. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.463
- SISCAR, C. P (2012). Pressupostos filosóficos para uma Antropologia jurídica. *Revista Jurídica*. V. 3. n. 1. Available at: <<http://www.faculdebataista.com.br/SEER/ojs-2.3.5/index.php/Dir/article/view/122/107>>.

UNIVERSIDADE de Caxias do Sul (2013). A Universidade Hoje. Available at: <http://www.ucs.br/site/institucional/a-ucs-hoje/>. Access in: 07 March 2013.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BÖNI, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 436–458. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.001

5.2. AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEES) EM UMA UNIVERSIDADE PARTICULAR

Evaluation of the waste electrical and electronic equipment (WEEE) generation in a private university

Palavras-chave: Instituição de ensino superior, logística reversa, REEE

Resumo

Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico (REEE) é um termo utilizado para abranger diversas formas de equipamentos elétricos e eletrônicos que não possuem mais valor para seus proprietários. Este trabalho propôs avaliar a geração de REEEs em uma instituição de ensino superior particular localizada no estado do Rio Grande do Sul. Para este trabalho foram utilizados dados de EEEs disponíveis no sistema de informações da universidade, o qual totalizava 51.066 itens, englobando aproximadamente 17 anos de dados. Verificou-se que o principal REEE gerado pela instituição são Equipamentos de informática e telecomunicações (48,2 %), seguido pelos Grandes eletrodomésticos (14,4 %), Instrumentos de Monitoramento (13,3 %), Ferramentas elétricas e eletrônicas (10,9 %) e Equipamentos de Consumo (9,8 %). Foram contabilizados 414 diferentes tipos de EEEs na instituição porém, observa-se que com exceção dos instrumentos de monitoramento, os dois principais EEEs de cada categoria contabilizam sozinhos mais de 50 % de suas respectivas categorias. Identificou-se que a maior parte dos REEEs (29,3 %) da instituição são gerados no bloco administrativo da universidade, seguido pelas salas de informática (17,3 %). Estes dois setores se caracterizam por utilizarem EEEs de rápida obsolescência, enquanto áreas como as Ciências Biológicas e parcialmente as Ciências Exatas, devido ao elevado número de equipamentos analíticos utilizados, possuem um ciclo de vida maior nos EEEs, reduzindo assim a geração de REEEs. Todas essas características resultam em uma grande complexidade na gestão de REEEs em unidades de ensino superior, em especial devido à grande variedade encontrada, sendo muitos deles de difícil reciclagem.

Abstract

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is a word used to refer to many electric and electronic equipment that are no longer valuable for its owners. This study evaluated the WEEE generation in a private higher education institution, located in Rio Grande do Sul state. In this study were used data from Electrical and Electronic Equipment (EEE) available in the university information system, which amounted 51.066 items during 17 years. The main WEEE generated by the institution was IT and telecommunications equipment (48.2 %), followed by Large household appliances (14.4 %), Monitoring and control instruments (13.3 %), Electrical and electronic tools (10.9 %) and Consumer equipment (9.8 %). Over 400 EEEs classes were identified in the institution although, except for Monitoring and control instruments, the two main EEEs in each class correspond by at least 50 % of its categories. In addition, it was noted that the majority of WEEE was generated by the university administration (29.3 %), followed by the computer classrooms (17.3 %). Those two areas feature low life EEEs, while other areas like Biology and Exact Sciences, due to the high number of analytics equipment used, have a longer life cycle EEEs, resulting in smaller WEEE generation. All these characteristic result in a great complexity in WEEE management in higher education institutions, mostly due the big diversity, increasing the recycling complexity.

Keywords: Higher education institution, reverse logistics, e-waste

Introdução

Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico (REEE), também conhecido como “lixo eletrônico” ou e-waste na língua inglesa, é um termo genérico utilizado para abranger diversas formas de equipamentos elétricos e eletrônicos que não possuem mais valor para seus proprietários.

Os REEEs consistem em uma área de estudo recente no Brasil, havendo ainda uma carência de estudos desenvolvidos sobre o assunto. Estes se caracterizam por ser um conjunto de resíduos de rápido crescimento, aumentando na faixa de 3 a 5 % ao ano (MOHAN et al., 2008), reflexo do constante aumento no consumo de eletroeletrônicos e da redução do ciclo de vida destes, aumentando assim a velocidade de obsolescência desses equipamentos. Somente em 2012, foram gerados 48.894 kt de REEEs em todo o mundo (ONU, 2012).

Uma vez que os REEEs consistem em resíduos de baixíssimo potencial de degradabilidade, torna-se importante ainda pensar no acumulado de REEEs no decorrer dos

anos. Segundo, Widmer et al. (2005), estima-se que em todo o mundo, no ano de 1994 aproximadamente 20 milhões de computadores chegaram ao final de sua vida útil. Em 2004 esse valor aumentou para 100 milhões, sendo o acumulado de 1994 a 2003 de aproximadamente 500 milhões de computadores. Em termos materiais, isso significa em torno de 2.872.000 t de polímeros, 718.000 t de chumbo, 1.363 t de cádmio e 287 t de mercúrio, referentes apenas a computadores.

Deve-se entender, porém, que, tendo em vista o elevado número de EEEs no mercado, os REEEs acabam por ser uma classe complexa de resíduos, tanto que a Diretiva Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012) vê a necessidade de dividi-los em 10 classes distintas, as quais totalizam juntas mais de 100 itens. Essa grande variedade de elementos, somado ao rápido crescimento e às constantes mudanças tecnológicas, implicam em um grande desafio no processo de gestão e reciclagem destes resíduos, tanto por parte dos gestores públicos quanto privados.

De fato, a própria composição dos REEEs consiste em um desafio para sua reciclagem e disposição, tendo em vista que esses são resultados da combinação complexa de diversos materiais. Conforme Morf et al. (2007), observa-se que 66 % dos REEEs são compostos por elementos como ferro, alumínio, cobre e não-metais (alumínio, cobre e similares). Porém, também são encontrados polímeros, vidros, metais valiosos (ouro, prata e paládio) e até mesmo elementos tóxicos como chumbo, mercúrio, cádmio além de PBBs (bifenilas polibromadas) e PBDEs (éter difenil polibromados). Somente nas placas de circuito impresso, Veit (2005) encontrou 8 diferentes tipos de metais.

Essa preocupação torna-se evidente quando olhamos os índices de geração desse tipo de resíduo. Estima-se que em 2012 tenham sido gerados aproximadamente 712.700 t de REEEs no Brasil, o que representa em torno de 3,58 kg/hab.ano. De fato, estima-se que o Brasil chegará à marca de geração de 1.000.000 t de REEEs por ano em 2033.

Em estudo realizado por Chibunna et al. (2012) para a UKM - University Kebangsaan Malaysia, verificou-se que apenas 33,5 % dos 200 alunos entrevistados conheciam ou já tinham ouvido falar sobre REEEs. No caso dos funcionários esse número foi um pouco maior, 46 % dos 270 funcionários entrevistados, porém, ainda abaixo do desejável.

Da mesma forma, a própria necessidade de geração de determinados tipos REEEs em universidades pode ser questionada. Odhiambo (2009) desenvolveu um estudo para uma série de universidades no Quênia no qual constatou que 17 % dos eram inutilizados devido à presença de vírus, problema este de fácil resolução.

Dentro deste cenário, este trabalho propôs avaliar a geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEEs) em uma instituição de ensino superior particular localizada no estado do Rio Grande do Sul. Este estudo foi elaborado visando identificar a composição, origem e características dos REEEs da universidade, fornecendo assim ferramentas que venham à auxiliar na gestão deste tipo de resíduo em outras universidades.

Metodologia

Tendo em vista à baixa disponibilidade de dados acerca dos REEEs (resíduos de equipamentos eletroeletrônicos) gerados na instituição, para este trabalho optou-se por utilizar os dados de EEEs (equipamentos eletroeletrônicos) disponíveis no sistema de informações da universidade. Uma vez que à aquisição de equipamentos eletroeletrônicos está diretamente ligada à geração dos resíduos eletroeletrônicos, a análise do primeiro consiste em uma forma confiável de verificar as características dos REEEs posteriormente gerados.

O banco de informações utilizado totalizou 51.066 itens, o qual compreendeu em sua maior parte o período de agosto de 1995 até novembro de 2013, totalizando pouco mais de 17 anos de dados. Destes, 5.104 itens foram desconsiderados por não serem efetivamente EEEs e 1.012 itens precisaram ser desconsiderados por problemas de catalogação na instituição. Como resultado, foram analisados 44.950 EEEs, um aproveitamento de 97,8 % da amostra real de EEEs.

Apesar desse aproveitamento ser elevado, ressalta-se que os itens catalogados incorretamente consistiram basicamente em equipamentos de academia, utilizados no centro esportivo das instituição, e aparelhos médicos, utilizados principalmente no hospital e no ambulatório do campus, comprometendo a análise destes dois tipos de REEEs. Com vistas à dirimir este problema, os principais EEEs encontrados foram manualmente catalogados.

Os dados obtidos foram catalogados e analisados em programa *Excel*, sendo posteriormente avaliados em relação à geração, características, origem e vida útil. Uma vez que o Brasil não conta com uma classificação oficial de REEEs, e a classificação adotada pela ABDI – Agência Nacional de Desenvolvimento Industrial (Linha Branca, Marrom, Verde e Azul) – não é adequada para englobar a variedade de equipamentos encontrados, os EEEs e REEEs foram classificados conforme a Diretiva Europeia 2012/19/EU (UNIÃO EUROPEIA, 2012) em 10 categorias. Como não foram evidenciados distribuidores automáticos de posse da instituição, estes foram desconsiderados.

Para a análise das características dos REEEs gerados, em conjunto à avaliação dos dados planilhados foram realizadas entrevistas com os responsáveis pelos setores administrativos e de gerenciamento de resíduos da instituição e do hospital universitário, os quais se envolvem diretamente com a gestão de REEEs. Os resultados do cruzamento destas informações está sintetizado no subcapítulo “Tipos de REEEs gerados na instituição”.

Foi também estudada a origem dos REEEs da instituição, sendo utilizado como referência os diferentes prédios do campus. Estes foram agrupados em 13 diferentes categorias, sendo sete áreas do conhecimento (Ciências Biológicas, Ciências Exatas, Ciências Humanas, Ciências Jurídicas, Ciências da Saúde, Ciências Sociais e Artes), administrativo, tecnologia da informação e salas de informática, serviços (centros de convivência, zoológico, restaurante universitário, dentre outros), escola (referente à escola que de ensino médio que existe na instituição), biblioteca e hospital/ambulatório.

Para a análise da obsolescência dos EEEs, foi considerado uma vida útil média para cada categoria, tomando-se como base os principais EEEs verificados em cada categoria. Os valores adotados estão apresentados na Tabela 1.

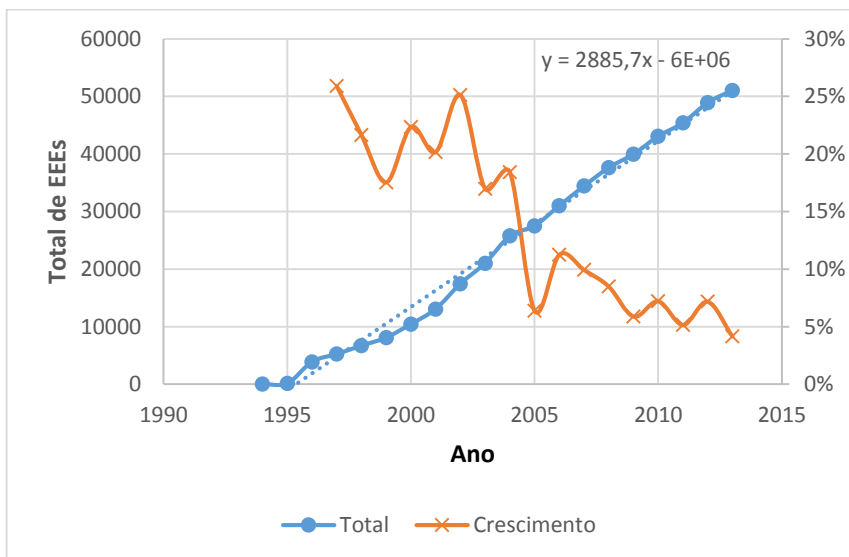
Tabela 1: Vida útil adotada para diferentes classes

Categoria	Vida útil (anos)	Fonte
Grandes eletrodomésticos	11	NABH (2007)
Pequenos eletrodomésticos	7	UNU (2007)
Equipamentos de informática e telecomunicações	5	EPA (2008)
Equipamentos de consumo	13	EPA (2008)
Equipamentos de iluminação	8,6	ECOSPECIFIER (S.A.)
Ferramentas elétricas e eletrônicas	10	IBAPE/SP (2007)
Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer	10	Adotado
Aparelhos médicos	10	IBAPE/SP (2007)
Instrumentos de monitoramento	10	IBAPE/SP (2007)

Resultados e Discussão

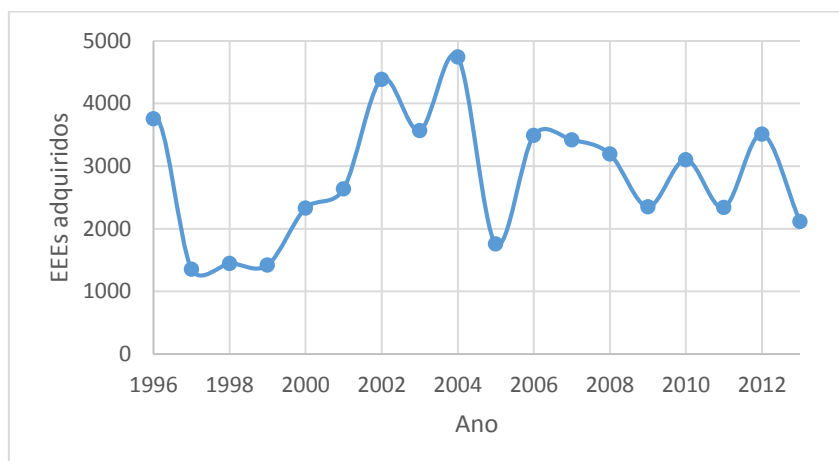
Na Figura 1 se observa o número total de EEEs adquiridos no período, bem como a taxa de crescimento na aquisição destes EEEs pela instituição.

Figura 1: Equipamentos eletroeletrônicos adquiridos (em unidades) e taxa de crescimento



Como pode ser observado na Figura 1, ocorre um incremento significativo de, em média, 2.885 equipamentos por ano. Analisando-se, porém, as taxas de crescimento do número de EEEs, identifica-se uma clara redução na velocidade de incremento, com valores que iniciam em 25,9 % a.a. em 1997 e decaem para 4,1 % a.a. em 2013. Esse comportamento pode ser observado de forma mais clara na Figura 2, a qual apresenta os equipamentos adquiridos pela instituição, por ano.

Figura 2: Equipamentos eletroeletrônicos adquiridos, por ano (em unidades)



Uma avaliação de ambas as figuras evidencia uma redução na quantidade de EEEs adquiridos anualmente com o passar do tempo. Os motivos desta redução são difíceis de determinar, porém, alterações na forma de reparo de EEEs e reaproveitamento de REEEs na universidade vem apresentando resultados positivos em termos de reinserir equipamentos a priori

estragados ou obsoletos, de volta à instituição. Ainda, mudanças das políticas institucionais, em especial à aquisição de novos equipamentos, podem ter contribuído para essa redução no incremento de EEEs.

Uma conclusão importante destes dados é a elevada variação na aquisição de EEEs verificada neste tipo de instituição, o que significa que a geração de REEEs também possui variações significativas com o tempo. Essa situação é agravada pelo fato que foram observados em diversos setores o acúmulo de REEEs, decorrente em muito de variações na entrada de recursos financeiros nos setores da universidade uma vez que as áreas de pesquisa dependem de verbas de pesquisa obtidas em editais, estando sujeitos à incertezas na continuidade das receitas. Como resultado, verificou-se ser comum que pesquisadores optem por acumular equipamentos antigos como “reserva” no caso de os equipamentos atuais estragarem.

Tipos de REEEs gerados na instituição

Na Tabela 2 estão sintetizados os tipos de REEEs encontrados na instituição.

Tabela 2: Composição dos EEEs avaliados, em itens e em massa

Categoria	Itens (%)	Massa (%)
Grandes eletrodomésticos	5,8	15,9
Pequenos eletrodomésticos	3,9	1,2
Equip. de informática e telecomunicações	58,8	44,4
Equip. de consumo	14,5	10,6
Equip. de iluminação	1,3	0,5
Ferramentas elétricas e eletrônicas	1,5	11,7
Brinquedos e equip. de esporte e lazer	1,4	0,7
Aparelhos médicos	1,7	0,8
Instrumentos de monitoramento	11,1	14,2
Total	100	100

Os dados da Tabela 2 denotam que certas categorias, apesar de geradas em pequena quantidade, contribuem de forma significativa para a massa total de REEEs gerados. Exemplo disso são os Grandes Eletrodomésticos, os quais representam apenas 5,8 % dos itens, mas correspondem à 15,9% da massa total de REEEs. De forma ainda mais evidente, as Ferramentas elétricas e eletrônicas que respondem por apenas 1,5 % dos itens são responsáveis por 10,9 % dos REEEs gerados.

Em termos gerais, o principal REEE gerado pela instituição são Equipamentos de informática e telecomunicações, o qual responde por quase metade (44,4 %) do resíduo gerado. O segundo mais gerado são os Grandes eletrodomésticos (15,9 %), seguido pelos Instrumentos de Monitoramento (14,2 %), pelas Ferramentas elétricas e eletrônicas (11,7 %) e Equipamentos de Consumo (10,6 %). Outras categorias também foram encontradas, porém de forma menos significativa: Aparelhos médicos (0,8 %), Pequenos eletroeletrônicos (1,2 %), Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer (0,7 %) e equipamentos de iluminação (0,5 %).

Cabe ressaltar que a baixa quantidade encontrada de certos equipamentos não significa que estes não sejam igualmente importantes. Exemplo disso são os Aparelhos médicos, os quais incluem equipamentos como autoclaves, incubadoras, monitores cardíacos e até aparelhos de raio X, os quais consistem em eletrônicos de elevada complexidade, e como consequência, apresentam maior dificuldade para serem reciclados.

Abaixo, estão discutidos os principais tipos de REEEs encontrados em cada uma das nove categorias analisadas:

1. **Grandes eletrodomésticos:** Compreendendo 15,9 % dos equipamentos da instituição, totalizou 64 toneladas, sendo composto principalmente por refrigeradores (38 %), aparelhos de ar condicionado (25 %), freezers (11 %), fogões (6 %) e estufas (6 %). Como o nome da categoria indica, a maior parte dos equipamentos dessa categoria possuem grandes dimensões (acima de 10 kg), com a única grande exceção sendo as estufas (5 kg em média no caso da instituição), as quais são consideradas Grandes Eletrodomésticos pela Diretiva Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012). Alguns equipamentos de porte excepcional identificados foram três câmaras frias (336 kg) e duas assadeiras espiral (230 kg).
2. **Pequenos eletrodomésticos:** Respondendo por apenas 1,2 % dos REEEs, os pequenos eletrodomésticos compõem uma classe pouco presente na instituição de ensino. O principal componente desta são ventiladores, os quais compreendem 68 % dos REEEs da categoria. Evidenciaram-se também 50 máquinas de costura, fruto dos cursos da área de moda e estilo, as quais somam 6,7 % da classe. Outros equipamentos encontrados foram aspiradores de pó (5,6 %), cafeteiras (4,3 %), batedeiras (3,7 %) e liquidificadores (3,6 %). Verificou-se ainda um número significativo de calculadoras e cronômetros (320 e 132, respectivamente), mas que em termos mássicos resultaram em baixa participação.

3. **Equipamentos de informática e telecomunicações:** Responsáveis por 44,4 % de toda a massa de equipamentos da instituição, os equipamentos de informática representam a principal parcela de EEEs, e por consequência REEEs, da instituição. Estima-se que 40 % destes sejam compostos por monitores e 40,4 % por computadores, resultando em 80,4 % da classe sendo composta por computadores de mesa. Como resultado, 40 % de todo REEE da universidade é composto por computadores, tornando esse o principal REEE encontrado na instituição. Além de computadores, também foram catalogados nessa classe transformadores (5,3 %), impressoras a laser (3,4 %), impressoras *off set* (2,8 %) e impressoras jato de tinta (1,2 %). Essa categoria apresentou um grande número de componentes leves com peso inferior a 1 % da amostra como telefones, teclados, placas de computadores, pentes de memória, fontes, hubs e adaptadores.
4. **Equipamentos de consumo:** Respondendo por 10,6 % dos EEEs, esta categoria é composta principalmente por equipamentos utilizados em salas de aula como televisores (47 %), caixas de som (12 %), retroprojetores (11 %), aparelho de vídeo cassete (5,6 %) e projetores multimídia (4,8 %). Importante ressaltar que dos apresentados acima, os únicos que permanecem em uso são as caixas de som (em quantidade reduzida) e projetores multimídia, já que os demais consistem em tecnologias defasadas. Nessa categoria ficam também evidenciados equipamentos utilizados pela rádio e TV da instituição como amplificador (3,8 %), gerador de efeitos (3,4 %) e mesa de som (1,3 %). Por tal motivo, essa categoria apresenta uma das maiores variedades de equipamentos, tendo sido identificados 71 diferentes tipos. Outros exemplos de EEEs encontrados são câmeras fotográficas, teclados musicais, lousas interativas, filmadoras, toca-discos, distribuidores de áudio e ampliadores fotográficos.
5. **Equipamentos de iluminação:** Representando apenas 0,5 % dos EEEs da instituição, os equipamentos de iluminação consistem no tipo de REEE menos comum na instituição. Essa categoria é composta basicamente por luzes de emergência (53,8 %), utilizadas nos corredores da universidade, e por equipamentos de iluminação empregados no canal de TV como canhões de luz (25,5 %), focos de luz (15,7 %) e em menor quantidade refletores (1,3 %) e *flashes* (0,7 %).
6. **Ferramentas elétricas e eletrônicas:** com 11,7 % da amostra mas apenas 1,5 % dos itens, a categoria de Ferramentas elétricas representa um desafio a parte na gestão dos REEEs

gerados na instituição. Uma vez que a instituição possui cursos e linhas de pesquisa nas áreas das engenharias, em especial mecânica, produção e polímeros, são adquiridos diversos equipamentos industriais de grande porte. Desta forma, essa categoria é composta por equipamentos como injetoras (41,3 %), extrusoras (15,8 %), máquinas com sistema CNC (8,7 %), calandras (4,5 %), frezadoras (4,5 %), recravadeiras (4,1 %), dentre outras. Em menor número, verificam-se aqui também algumas ferramentas de pequeno porte como furadeiras, parafusadeiras, lixadeiras, serras, equipamentos de solda e similares.

7. **Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer:** sendo o menor tipo de REEE gerado (0,7 %), essa classe é formada somente por conjuntos de ensino (51,1 %) e equipamentos utilizados em academia: esteiras ergométricas (19,5 %), bicicleta ergométrica (19,5 %), *precorstep* (5 %).
8. **Aparelhos médicos:** Formados por 969 itens, são compostos por equipamentos utilizados principalmente no hospital e no ambulatório do campus. Compõe uma fração pequena da amostra total (0,8 %), porém, com uma grande variedade de classes (62), além de uma elevada complexidade para reciclagem, visto sua composição distinta dos REEEs domésticos. Os principais equipamentos encontrados foram incubadoras (42,5 %), aparelhos de raio X (11,1 %), capelas de esterilização (5,6 %), monitores cardíacos (4,2 %), negatoscópio (2,9 %), dentre diversos outros como monitores fetais, termômetros digitais, aparelhos de ultrassom, nebulizadores, etc.
9. **Instrumentos de monitoramento:** Representando 14,2 % da massa de REEEs gerados na instituição, os instrumentos de monitoramento representam um dos maiores desafios na gestão de REEEs dentre as classes avaliadas, sendo gerados principalmente em laboratórios analíticos. Foram identificadas 98 classes de equipamentos, não havendo uma grande predominância de nenhum equipamento, diferente das demais classes analisadas. De fato, a soma dos cinco equipamentos mais utilizados totaliza somente 52 % da classe. Os principais equipamentos identificados foram estufas laboratoriais (13,1 %), microscópios (11,2 %), máquinas de ensaio (10,2 %), câmaras laboratoriais (9,9 %), autoclaves (7,2 %) e cromatógrafos (5,1 %). Porém, como mencionado, essa categoria apresenta uma grande variedade de componentes, tendo sido identificados também equipamentos como espectrofotômetros, destiladores, ionizadores, multímetros, calorímetros, chapas de aquecimentos, teodolitos, oxímetros, dentre outros. Como agravante, a maior parte destes

equipamentos possuem elevada complexidade e sensores distintos dos verificados em REEEs convencionais, dificultando seu processo de reciclagem.

A composição dos resíduos em relação às categorias em que foram classificados é apresentada na Tabela 3, onde são apresentadas as porcentagens dos cinco EEEs mais comuns (em massa).

Tabela 3: Principais EEEs em cada categoria

Categoria	Principais EEEs (%)					
	1°	2°	3°	4°	5°	Outros
Grandes eletrodomésticos	38	25	11	6	6	14
Pequenos eletrodomésticos	68	7	6	4	4	12
Equip. de informática e telecomunicações	40	40	5	3	3	8
Equip. de consumo	47	12	12	6	5	19
Equip. de iluminação	54	25	16	3	1	1
Ferramentas elétricas e eletrônicas	41	16	9	7	4	23
Brinquedos e equip. de esporte e lazer	51	24	19	5	0	0
Ap. médicos	43	11	6	4	3	34
Instrumentos de monitoramento	13	11	10	10	7	48
Total	42	26	8	5	4	16

Apesar de terem sido contabilizados 414 diferentes tipos de EEEs na instituição, observa-se que com exceção dos Instrumentos de Monitoramento, os dois principais EEEs de cada categoria contabilizam sozinhos mais de 50 % de suas respectivas categorias. No caso dos Equipamentos de informática e telecomunicações esse valor chega a 80 %. Embora isso denote certa homogeneidade nos principais EEEs, há ainda uma grande variedade de EEEs, como pode ser verificado na Tabela 4.

Tabela 4: Principais EEEs e Classes identificadas

Categoria	Classes identificadas	Principais EEEs (%)	
		1°	1° - 5°
Grandes eletrodomésticos	23	38	86
Pequenos eletrodomésticos	26	68	88
Equip. de informática e telecomunicações	74	40	92
Equip. de consumo	71	47	81
Equip. de iluminação	11	54	99
Ferramentas elétricas e eletrônicas	45	41	77
Brinquedos e equip. de esporte e lazer	5	51	100
Ap. médicos	61	43	66
Instrumentos de monitoramento	98	13	52
Total	414	42	84

Quatro das nove classes estudadas possuem mais de 50 itens, sendo os Instrumentos de monitoramento a mais crítica, com 97 diferentes classes de equipamentos. Mesmo os Equipamentos de Informática e Telecomunicações, nos quais 5 tipos de equipamentos respondem por 92 % dos REEEs gerados, foram identificados 74 tipos de EEES. Os Equipamentos de Consumo são outro exemplo desse tipo de situação, onde 66 categorias são responsáveis por apenas 19 % da massa de EEES. Da mesma forma, nos Aparelhos Médicos 57 classes respondem por apenas 16 % dos EEES.

Como resultado, apesar de haver uma predominância de alguns poucos tipos de REEEs na instituição, existe uma variedade muito grande de resíduos, os quais precisam ser adequadamente destinados. Visto que os sistemas de triagem e, principalmente, reciclagem são especializados em alguns tipos específicos de REEEs, isso representa um grande desafio na gestão desse tipo de resíduo.

Localização dos REEEs gerados

Uma análise da geração de REEEs por local foi realizada, separando em sete áreas do conhecimento, além de setores de apoio como Administrativo, Salas de Informática e Biblioteca. Com vistas à facilitar a interpretação dos dados, na Figura 3 e na Figura 4 os REEEs gerados nos blocos das Ciências Humanas, Artes e na Biblioteca foram agrupados na categoria “Outros”, uma vez que respondiam por menos de 1 % da amostra cada.

Ressalta-se aqui que nem todos os equipamentos adquiridos possuíam seu local informado no sistema de informações utilizado, sendo que apenas 40 % dos dados puderam ser aproveitados. Ainda, como um conjunto grande de dados estava incorretamente cadastrado como estando situados no bloco da reitoria, o mesmos precisaram ser descartados, resultando em somente 25,2 % dos dados sendo aproveitáveis.

Em contrapartida, se for considerado somente computadores, tem-se um valor de 57 % dos mesmos contendo a informação de local instalado. Desta forma, visto este se tratar do principal resíduo da universidade, optou-se por avaliar a geração de REEEs de computadores em separado.

Visando facilitar a interpretação dos dados, os locais foram classificados em 13 categorias conforme as principais finalidades dos blocos analisados. Os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Origem dos REEEs gerados na instituição

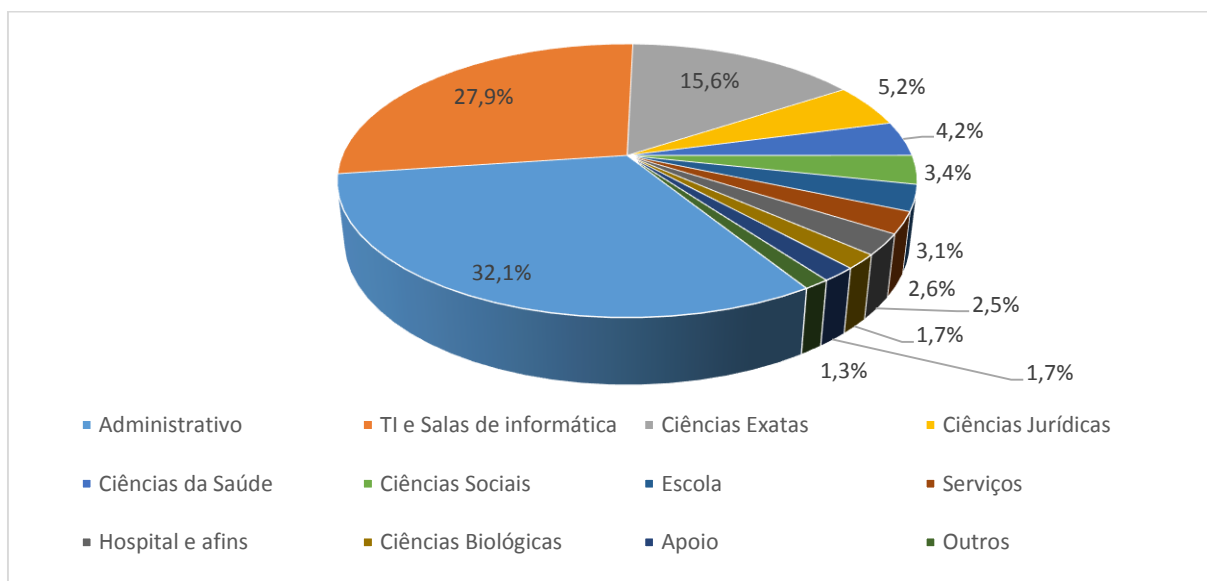
Local	%
Administrativo	27,9%
TI e Salas de informática	19,3%
Ciências da Saúde	14,5%
Ciências Exatas	14,4%
Ciências Biológicas	7,0%
Ciências Jurídicas	3,3%
Serviços	3,2%
Escola	2,4%
Ciências Sociais	2,1%
Hospital e ambulatório	1,9%
Outros	4,0%

Como pode ser observado, a maior parte dos REEEs (27,9 %) da instituição são gerados no bloco administrativo da universidade. Estes são constituídos principalmente por monitores e computadores, mas também são evidenciados outros equipamentos como projetores multimídia, caixas de som, impressoras e similares. Levando em conta os dados disponíveis, as salas de informática aparecem como segundo maior geradora de REEEs (19,3 %), devido ao número elevado de computadores utilizados.

Após, aparece os blocos das Ciências da Saúde, com 14,5 % do REEE gerado, composto em sua maioria por equipamentos médicos. Em seguida, está o bloco das Ciências Exatas (14,4 %), os quais demandam um volume grande de computadores, além de diversos equipamentos analíticos. Os blocos das Ciências Biológicas responderam por 7,0 % da amostra, havendo neste a predominância de equipamentos laboratoriais. Outras áreas responderam por menos de 5 % dos REEEs gerados cada.

No que diz respeito apenas aos computadores, conforme observado na Figura 4, o setor administrativo constitui o principal gerador, com 32,1 % dos computadores, seguido pelas salas de informática, com 27,9 %, e pelos blocos das Ciências Exatas, com 15,6 % e de Ciências Jurídicas, com 5,2 %.

Figura 4: Origem dos computadores gerados na instituição



Uma observação interessante relativa a esses dados diz respeito à importância do setor administrativo na geração de REEEs da universidade, excedendo inclusive o próprio setor de TI e as salas de informática, até mesmo na utilização de computadores. Isso serve para denotar a importância que esse setor possui na geração de REEEs, merecendo então procedimentos a parte no processo de gestão de REEEs. Ainda, os REEEs gerados no setor administrativo possuem características similares aos REEEs residenciais, sendo sua maioria classificado nas classes 1 a 4, conforme a Diretiva Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012).

Por outro lado, determinados cursos se caracterizam por gerar REEEs muito especializados. É o caso dos cursos da área da saúde, os quais utilizam muitos equipamentos médicos, e da área biológica, onde existe uma demanda grande por equipamentos laboratoriais. As Ciências Exatas consistem em um meio termo, em especial devido ao fato de considerarem uma gama muito diversificada de cursos, gerando assim uma grande variedade de REEEs, que vão desde ferramentais, até equipamentos de laboratórios e computadores.

As áreas jurídicas e sociais demandam poucos recursos informatizados em sua maioria, utilizando apenas os equipamentos usuais de sala de aula (computador e projetor multimídia), resultando então em uma menor participação na geração de REEEs da instituição. Demais setores tiveram uma participação pequena na geração de REEEs.

Importante ressaltar que os dados referentes ao hospital universitário dizem respeito apenas à equipamentos da universidade encaminhados ao hospital e não a todos os utilizados no mesmo, e por este motivo respondem por uma fração tão baixa da geração de REEEs (2,5 %). Isso deve-se ao fato de o hospital e a universidade possuírem equipamentos próprios,

ocorrendo em certos casos doação e/ou empréstimo de equipamentos ao hospital por parte da universidade.

Obsolescência dos REEEs gerados:

Foi ainda avaliada a obsolescência dos equipamentos, conforme apresentado na Tabela 1. Uma vez que uma análise considerando todos os EEEs seria de difícil interpretação visto os diferentes períodos de aquisição e obsolescência dos equipamentos, optou-se por utilizar somente os equipamentos adquiridos a partir de 2010 para a realização das análises. A Tabela 5 apresenta a fração destes equipamentos que se tornam obsoletos a cada ano.

Em uma amostra tão restrita ficam evidentes as diferentes vidas úteis estimadas para cada tipo de equipamento. No caso dos equipamentos de informática, tendo em vista a rápida evolução tecnológica deste tipo de equipamento, estes se tornam obsoletos muito rapidamente. Não por acaso, esse consiste no principal REEE da instituição.

A única outra categoria de REEE com uma vida útil semelhante são os Pequenos eletrodomésticos. Demais categorias possuem vidas úteis longas, na faixa de 10 anos.

Períodos tão grandes entre a aquisição e a obsolescência do equipamento representam uma dificuldade impar na gestão de REEEs uma vez que após tanto tempo é perfeitamente possível que nem o funcionário responsável pela compra do EEE na instituição e nem o vendedor responsável pela venda deste trabalhem mais nas suas respectivas empresas. Em casos mais extremos, isso pode inclusive significar que a fabricante do produto não existe mais ou que deixou de atuar no país. Essas questões representam dificuldades no processo de logística reversa de REEEs.

Tal questão é especialmente problemática no caso dos Aparelhos médicos e Instrumentos de monitoramento, visto que estes apresentam uma vida útil longa e sua maior complexidade dificulta o descarte e a reciclagem destes REEEs.

Tabela 5: % de obsolescência prevista para os equipamentos adquiridos a partir de 2010 (estimado).

Categoria	Obsolescência dos REEEs adquiridos a partir de 2010 (%)											
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Grandes eletrodomésticos	-	-	-	-	-	-	27,5	18,7	37,5	16,3	-	-
Pequenos eletrodomésticos	-	-	62,4	12,0	18,5	7,1	-	-	-	-	-	-
Equip. de informática	27,3	14,5	35,8	22,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Equip. de consumo	-	-	-	-	-	-	-	-	21,1	20,7	33,8	24,3
Equip. de iluminação	-	-	-	-	0,6	75,6	20	3,9	-	-	-	-
Ferramentas elétricas e eletrôn.	-	-	-	-	-	48,9	28,7	19,6	2,8	-	-	-
Brinq. e equip. de esporte e lazer	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
Aparelhos médicos	-	-	-	-	-	32,3	17,9	12,5	37,3	-	-	-
Instrumentos de monitoramento	-	-	-	-	-	21,3	12,5	47,4	18,7	-	-	-

Apesar de menos evidente, é possível observar estes mesmos fenômenos na Tabela 6, a qual considera toda a amostra de REEEs. Grande parte dos equipamentos já se torna obsoleto até o período de 2020, porém, três tipos de REEEs tiveram mais de 15 % dos seus produtos adquiridos entre 2010 e 2014, tornando-se obsoletos somente após este período.

Tabela 6: % de obsolescência prevista dos equipamentos analisados, considerando toda amostra (estimado).

Categoria	Período de obsolescência (Período/%)						
	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-25	26-30
Grandes eletrodomésticos	-	0,2	26,1	27,3	27,1	19,4	-
Pequenos eletrodomésticos	-	8,1	32,8	39,1	19,2	0,7	-
Equip. de informática	0,1	11,0	35,8	29,2	23,9	-	-
Equip. de consumo	-	-	11,2	39,9	34,6	9,5	4,8
Equip. de iluminação	-	0,2	37,9	56,0	2,3	3,6	-
Ferramentas elétricas e eletrônicas	-	5,3	31,4	29,2	30,6	3,6	-
Brinquedos e equip. de esporte e lazer	-	-	15,3	56,7	25,5	2,5	-
Aparelhos médicos	-	-	36,7	16,6	25,5	21,3	-
Instrumentos de monitoramento	0,1	0,3	22,9	33,3	27,1	16,4	-

Uma análise semelhante pode ser realizada para as diferentes áreas de ensino e serviços da universidade, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Obsolescência dos equipamentos analisados, por área.

Área	Período de obsolescência (%)						
	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-25	26-30
Ciências Biológicas	0,2	0,4	4,7	4,7	13,7	75,5	0,8
Ciências da Saúde	0,4	1,8	16,4	38,8	34,1	8,1	0,2
Ciências Exatas	0,1	0,6	13,4	14,7	44,9	25,4	1,0
Ciências Humanas	-	-	2,2	34,2	43,3	-	20,3
Ciências Sociais	-	0,4	-	1,9	74,9	4,5	18,2
Ciências Jurídicas	-	1,2	4,3	34,0	58,2	1,9	0,3
Artes	-	-	1,6	20,1	54,6	19,1	4,6
Administrativo	1,4	1,7	13,5	24,0	44,1	13,0	2,2
Hospital e afins	-	0,4	42,4	20,7	25,1	9,8	1,6
TI e Salas de informática	-	0,7	6,7	23,7	67,1	1,7	0,1
Escola	-	1,3	8,7	11,6	49,3	28,3	0,8
Biblioteca	-	-	7,9	6,2	50,3	2,0	33,6
Diversos	0,3	2,1	18,7	28,5	35,6	14,8	-
Serviços	-	3,1	13,0	38,2	28,7	16,1	1,0

Os dados da Tabela 7 são importantes pois refletem a relação entre as diferentes composições dos REEEs gerados nestas áreas. As Ciências Biológicas, as quais possuem grandes investimentos em equipamentos laboratoriais, acabam por ter um concentração grande de equipamentos descartados somente após o ano de 2020 (76,3 %). Esse mesmo comportamento pode ser evidenciado nas Ciências Exatas, onde 26,4 % dos equipamentos são descartados após este período. Áreas que possuem a maioria dos seus REEEs decorrentes de computadores como o setor de Tecnologia da Informação (TI) e as Ciências Sociais apresentam uma rápida obsolescência de seus EEEs, com a maior parte já estando obsoletos antes de 2020.

O problema deste tipo de análise, como mencionado acima, é que não leva em consideração variações na compra de EEEs. Neste caso, isso se reflete nas Ciências da Saúde, as quais utilizam basicamente Aparelhos Médicos, que possuem uma vida útil estimada de 10 anos. Porém, isso não é verificado na Tabela 7 pois mais de 50 % dos equipamentos utilizados na área foram adquiridos antes de 2005. De fato, apenas 28 % dos EEEs desta área foram adquiridos após 2010.

Considerações Finais

O estudo realizado evidenciou diversas dificuldades no que tange a gestão de REEEs em uma universidade. A maior talvez, diga respeito justamente à grande diversidade de equipamentos utilizados neste tipo de instituição, visto que estão envolvidos laboratórios de

ensino e pesquisa, além de atividades administrativas, e até mesmo áreas da saúde como hospital, laboratórios de análise, farmácia escola e ambulatórios.

Apesar disso, em termos mássicos, os principais REEEs gerados são os computadores, utilizados nos laboratórios de informática, salas de aula e principalmente nas áreas administrativas. Porém, mesmo dentro de subclasses, como os equipamentos de Tecnologia da Informação, se evidenciou uma diversidade grande de REEEs gerados.

Outra dificuldade identificada foi a presença de REEEs de grande porte, como máquinas industriais, além de REEEs de equipamentos de saúde e laboratoriais. Em todos esses casos os equipamentos apresentam sensores e características muito particulares, diferindo consideravelmente dos REEEs convencionalmente encontrados em residências.

Uma análise das diferentes áreas de ensino também demonstrou como diferentes setores da universidade geram REEEs com características muito distintas. As áreas biológicas e da saúde demandam equipamentos laboratoriais e médicos, enquanto áreas humanas, sociais e jurídicas se caracterizam por necessitarem basicamente de computadores e equipamentos de sala de aula, como projetores. De forma intermediária, as Ciências Exatas apresentaram tanto REEEs laboratoriais quanto equipamentos de informática e de sala de aula.

Essa variedade se reflete na velocidade de obsolescências destes equipamentos, com destaque aos equipamentos hospitalares, laboratoriais e de consumo, em contrapartida aos equipamentos de informática. Como resultado, os EEEs utilizados na área da saúde, biológicas e parcialmente nas exatas, apresentam uma vida útil muito inferior aos das áreas humanas, sociais e jurídicas, além daqueles utilizados pelo setor administrativo, em sua maioria.

Outra questão que merece destaque é o acúmulo de equipamentos, via de regra, em laboratórios e setores de manutenção quando não ocorrem levantamentos periódicos da localização e useabilidade destes equipamentos (*housekeeping*). O controle patrimonial neste contexto é fundamental para que se possa não apenas fazer a gestão destes resíduos como programar a compra e reposição de equipamentos (computadores por exemplo).

De fato, evidenciou-se um elevado acúmulo de equipamentos especialmente em laboratórios, ocasionado em muito pelo fato destes serem adquiridos com verbas de projetos, usualmente muito concorridas. Como resultado observa-se que muitas vezes os pesquisadores optam por manter os equipamentos antigos armazenados por questões de segurança, para o caso dos equipamentos novos estraguem, visto que nem sempre há recursos disponíveis para fazer os reparos e adquirir peças de reposição.

Todas essas características resultam em uma grande complexidade na gestão de REEEs em unidades de ensino superior, em especial quando consideramos os estabelecidos na

Lei 12.305 (BRASIL, 2010), com os conceitos de logística reversa e corresponsabilidade. Com uma variedade tão grande de REEEs, a correta inserção destes resíduos na cadeia de reciclagem, com a recuperação de seus componentes, mostra-se um desafio à parte. Desenvolver e aplicar mecanismos de gestão que permitam identificar, prever e destinar corretamente os REEEs consiste em um desafio a ser vencido por estas instituições.

Referências

CHIBUNNA, J. B. et al. The Challenges of E-waste Management Among Institutions: A Case Study of UKM. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 59, p. 644–649, out. 2012.

ECOSPECIFIER. Are you in Line with the Future of Lighting? Sem ano. Disponível em: <<http://www.ecospecifier.com.au/media/7230/Ballasts%20-%20High%20Performance%20Comparisons.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2014.

EPA. AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS. Electronics Waste Mangement in the United States – Approach 1. 2008. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/conserva/materials/ecycling/docs/app-1.pdf>>. Acesso em: 27. out. 2014.

IBAPE/SP. INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. Estudos de Vidas Úteis para Máquinas e Equipamentos. 2007. Disponível em: <http://www.ibape-sp.org.br/arquivos/estudo_de_vidas_uteis.apresentacao.pdf>. Acesso em: 27 out. 2014.

MOHAN, M.P.R., GARG, I., KUMAR, G. Regulating e-waste: a review of the international and national legal framework on e-waste. In: Johri, R. (Ed.), *E-Waste. Implication, Regulations, and Management in India and Current Global Best Practices*. 2008.

MORF, L. S.; TREMP, J.; GLOOR, R. et al. Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste--actual levels in Switzerland. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 27, n. 10, p. 1306-16, jan 2007.

NAHB. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONSTRUTORES DE RESIDÊNCIAS. Study of Life Expectancy of Home Components. 2007. Disponível em: <http://www.nahb.org/fileUpload_details.aspx?contentID=99359>. Acesso em: 05 jun. 2014.

ODHIAMBO, B. D. Generation of e-waste in public universities: the need for sound environmental management of obsolete computers in Kenya. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 29, n. 10, p. 2788–90, out. 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. StEP E-waste WorldMap. 20XX. Disponível em: <<http://www.step-initiative.org/index.php/WorldMap.html>>. Acesso em: 17 abril. 2014.

PARLAMENTO EUROPEU. Diretiva 2012/19/EU. Relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e eletrônicos (REEE). Reformulação. *Jornal Oficial da União Europeia*.

2012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=PT>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

UNU. UNIVERSIDADE DAS NAÇÕES UNIDAS. Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Final Report. p. 347, 2007. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_rep_unu.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.

VEIT, H. M. Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de materiais. Tese de doutorado. 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6530>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

WIDMER, R. et al. Global perspectives on e-waste. Environmental Impact Assessment Review, v. 25, n. 5, p. 436–458, jul. 2005. Disponível em: <http://ewasteguide.info/files/Widmer_2005_EIAR.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

5.3. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS EM ESTABELECIMENTOS DE ASSISTÊNCIA À SAÚDE

Tiago Panizzon

Geraldo Antônio Reichert

Vania Elisabete Schneider

Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico (REEE), também chamado de “lixo eletrônico” ou *e-waste*, é um termo genérico utilizado para abranger diversas formas de equipamentos elétricos e eletrônicos, que não possuem mais valor para seus proprietários. Estima-se que, durante 2012, foram gerados aproximadamente 712.700 t de REEEs no Brasil, tendo uma taxa de crescimento na geração de 1,6% ao ano. Neste ritmo, o Brasil chegará à marca de 1.000.000t de REEEs gerados por ano em 2033. (FEAM, 2012).

Não existe, até o momento, uma definição padrão sobre o que consiste um REEE no Brasil, tendo em vista que a PNRS (Lei Federal 12.305), apesar de tratar dos REEEs, no âmbito da logística reversa, não define a sua composição e classificação.

Em termos práticos, porém, a indústria e o comércio trabalham, em sua maioria, com a classificação trazida pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (Abdi), que considera equipamento eletroeletrônico “todo o produto cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou campos magnéticos para funcionar.” (ABDI, 2013). A entidade, por sua vez, os classifica em linha branca, marrom, azul e verde, conforme apresentado abaixo:

- *linha marrom*: televisor tubo/monitor, televisor plasma/LCD/monitor, DVD/VHS, produtos de áudio;
- *linha verde*: desktops, notebooks, impressoras, aparelhos celulares;
- *linha branca*: geladeiras, refrigeradores e congeladores, fogões, lava-roupas, ar-condicionado;
- *linha azul*: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos e furadeiras.

Essa categorização representa em torno de 95% dos REEEs gerados em residências, os quais consistem em equipamentos domésticos como geladeiras, ferro de passar, aspirador de pó, equipamentos de informática e pequenos equipamentos, como câmeras fotográficas. (WIDMER et al., 2005).

Porém, enquanto a classificação da Abdi é suficiente para trazer os principais equipamentos eletroeletrônicos utilizados em residências, ela falha no momento em que é

preciso incluir outros equipamentos encontrados em pequenas quantidades, mas de elevada complexidade, como é o caso dos eletroeletrônicos utilizados em hospitais.

Por tal motivo, a classificação mais utilizada mundialmente é a trazida pela Diretiva Europeia 2012/19/UE (PARLAMENTO EUROPEU, 2012), que trabalha com 10 categorias, citando diretamente mais de 100 tipos de REEEs:

Quadro 1 – Categorias de eletroeletrônicos segundo a Diretiva Europeia 2012/19/UE

Categoria	Componentes
Grandes eletrodomésticos	Refrigerador, máquinas de lavar, micro-ondas, ar-condicionado, etc.
Pequenos eletrodomésticos	Aspirador de pó, sanduicheira, ferro de passar, máquina de café, relógios, etc.
Equipamentos de informática e telecomunicações	Desktop, celulares, telefones de mesa, impressoras, servidores, aparelho de fax, etc.
Equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos	Câmera fotográfica, câmera de vídeo, instrumentos musicais, amplificadores de áudio, etc.;
Equipamentos de iluminação	Luminárias, reatores, lâmpadas (com exceção das filamentosas), etc.
Ferramentas elétricas e eletrônicas	Serra, furadeira, parafusadeira, máquina de costura, lixadeira, cortador de grama, etc. Essa classificação não inclui ferramentas industriais
Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer	Trens e carros elétricos, <i>videogames</i> , equipamentos eletrônicos para corredores, ciclistas, mergulhadores, etc.
Aparelhos médicos	Equipamentos de radioterapia, diálise, etc. Não estão incluídos produtos implantados e/ou infectados
Instrumentos de monitoramento e controle	Termostato, detector de fumaça, controlador de temperatura, etc.
Distribuidores automáticos	Caixas eletrônicos, máquinas de refrigerante, etc.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Parlamento Europeu (2012).

É importante destacar que, em grandes estabelecimentos de saúde, serão evidenciados REEEs em praticamente todas as categorias, com exceção da categoria 10 (distribuidores automáticos), visto que muito poucos estabelecimentos contam com esse tipo de equipamento.

Porém, o grande diferencial diz respeito às categorias 8 e 9, que tratam de equipamentos utilizados no tratamento da saúde, também chamados equipamentos eletromédicos, e de ensaios laboratoriais, ambos empregados em estabelecimentos de saúde. Esses equipamentos representam um desafio à parte na gestão de REEEs, visto que as empresas de reciclagem, via de regra, não recebem este tipo de material.

1.1 Características e reciclagem

Uma das grandes dificuldades da reciclagem dos REEEs deve-se a sua composição. Conforme *Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology* (EMPA, 2012), este tipo de resíduo é composto por diversos elementos, dentre eles metais ferrosos, alumínio, chumbo, plástico, vidros, e até mesmo materiais mais valiosos, como ouro, prata e paládio. A Tabela apresenta uma síntese da composição destes resíduos.

Tabela 1 – Composição dos REEEs

Material	Grandes aparelhos domésticos	Pequenos aparelhos domésticos	Equipamentos de TI e telecomunicações
Metal ferroso	43	29	36
Alumínio	14	9,3	5
Cobre	12	17	4
Chumbo	1,6	0,57	0,29
Cádmio	0,0014	0,0068	0,018
Mercúrio	0,000038	0,000018	0,00007
Ouro	0,00000067	0,00000061	0,00024
Prata	0,0000077	0,000007	0,0012
Paládio	0,0000003	0,00000024	0,00006
Índio	0	0	0,0005
Plásticos bromados	0,29	0,75	18
Outros plásticos	19	37	12
Vidro de chumbo	0	0	19
Outros vidros	0,017	0,16	0,3
Outros	10	6,9	5,7
TOTAL	100	100	100

Fonte: Adaptada de EMPA (2012)

Um aspecto que fica evidente, nos dados apresentados, é que alguns poucos componentes, como metais ferrosos e plásticos, compõem a maior parte dos REEEs. Em contrapartida, os dados da Tabela também demonstram uma dificuldade em relação à reciclagem de REEEs, devido à elevada diversidade de elementos que os compõem, o que acaba por dificultar, em muito, sua triagem e reciclagem.

Em certos tipos de equipamentos médicos e de monitoramento, essa situação é ainda mais evidente. Um bom exemplo é o caso dos aparelhos de raios X, em que a maior parte é formada pela estrutura metálica de suporte do sistema, de fácil reciclagem. Contudo, o conjunto emissor de raio X é formado por diversos componentes (chumbo, vidro, tungstênio, cobre,

dentre outros), o que torna a sua reciclagem complexa.

Como agravante, muitos dos componentes encontrados em REEEs representam risco à saúde humana e ao meio ambiente. Exemplo disso é o chumbo (afeta o sistema nervoso), mercúrio (causa danos ao cérebro e aos rins), cádmio (causa danos aos pulmões e rins) e cromo. Paralelamente, há ainda as PBBs (bifenilas polibromadas) e PBDEs (éter difenil polibromados), utilizados como retardantes de chamas, os quais atuam como disruptores endócrinos, causando desequilíbrios ao sistema hormonal de humanos e animais.

A separação desses componentes, tanto os tóxicos quanto os não tóxicos, vem se mostrando uma tarefa complexa. No Brasil, a maior parte da separação de REEEs é feita de forma manual, através da desmontagem do equipamento e separação dos componentes. Em países desenvolvidos, a manufatura reversa de REEEs é, em sua maioria, realizada por meio do processo de moagem dos resíduos e da separação de seus diversos componentes de forma automatizada.

É importante destacar que, em ambos os casos, é necessário primeiro separar determinados componentes de maior risco. Exemplo disso é o tetrafluoretano encontrado em *freezers* e geladeiras, o qual precisa primeiramente ser extraído para após possibilitar a reciclagem da carcaça metálica; ou os tubos de raios catódicos encontrados em monitores e televisores CRTs (os chamados televisores de tubo catódicos). O conjunto emissor, no caso do exemplo dos raios X, consiste em outro exemplo de componente que agrega risco ao REEE, precisando ser removido e reciclado em separado.

Outra grande dificuldade na reciclagem de REEEs diz respeito às placas de circuito impresso. Responsáveis por fixar e conectar os componentes eletrônicos, estas placas se destacam pela grande complexidade em termos de composição de materiais e de conexão entre eles. Estas representam em torno de 8% de todo REEE doméstico (WRAP, 2009) e 3% da massa total de REEEs. (DALRYMPLE et al., 2007).

Em geral, as placas de circuito impresso são compostas de plástico e cobre, porém outros elementos de alto valor de mercado, tais como ouro e prata, podem ser recuperados. A recuperação, contudo, é complexa, demandando processos como moagem, separação magnética, separação por tamanho e/ou por densidade ou, mesmo, através de lixiviação química, sendo a tecnologia dominada por poucas empresas no mundo.

Na realidade, a composição das placas varia inclusive entre diferentes equipamentos e, em menor grau, entre diferentes fabricantes. A Tabela apresenta um exemplo de composição de placa de circuito impresso de computadores contendo oito metais distintos; porém, dependendo da placa, esse número pode ser ainda maior.

Tabela 2 – Concentração de diferentes metais em placas de circuito impresso (PCI)

Elemento	% na média na PCI
Alumínio	1,79
Chumbo	1,2
Zinco	0,17
Níquel	0,17
Ferro	1,31
Estanho	3,17
Cobre	21,19
Ouro	10 ppm

Fonte: Veit (2005).

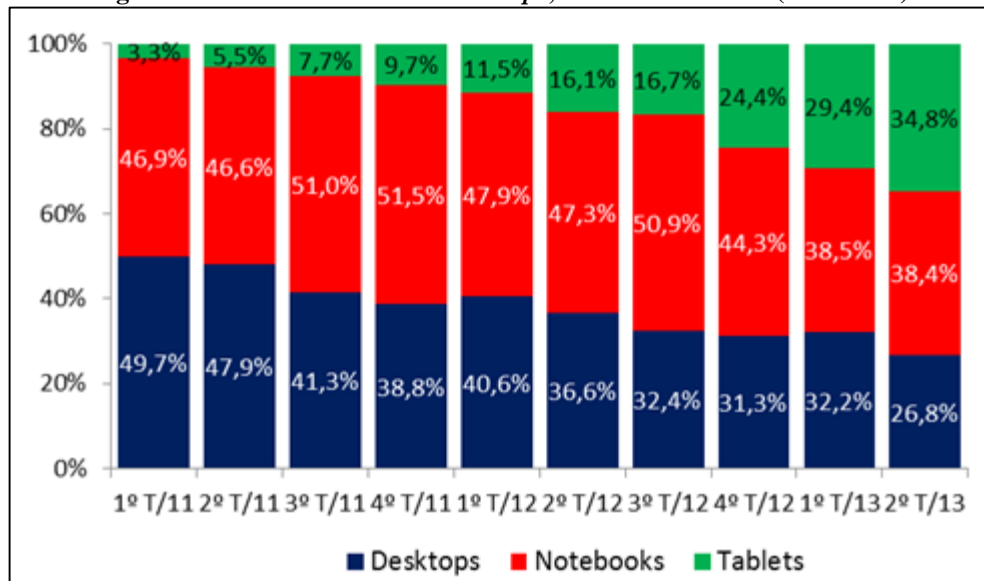
Além da heterogeneidade, outra importante característica dos REEEs é a rápida variação da sua composição com o passar do tempo. Como este tipo de resíduo é reflexo das evoluções tecnológicas, mudanças nas tecnologias adotadas implicam necessariamente mudanças nas características dos REEEs. Isso significa que os resíduos que vemos hoje podem variar significativamente daqueles vistos a daqui 5 ou 10 anos.

Um exemplo evidente disso é a indústria de televisores, na qual, em menos de uma década, tivemos a substituição do televisor de tubo catódico pelo LCD convencional e pelo plasma, os quais por sua vez foram substituídos pelo LCD com luz de LED, e que nos próximos anos deverá ser substituído por outras tecnologias como OLED (diodo orgânico emissor de luz) e QLED (diodo quântico emissor de luz), já adotados em celulares e *tablets*.

Da mesma forma, os computadores de mesa, os quais representavam a maior parte do resíduo de informática, vem sendo substituídos por notebooks, *tablets* e *smartphones*, sendo que os dois últimos sequer existiam há uma década. Essa evolução pode ser claramente observada na Figura . Toda essa rapidez nas alterações das características dos resíduos dificulta em muito o planejamento da gestão de REEEs em longo prazo, uma vez que toda a cadeia produtiva (coleta, triagem e reciclagem) precisa se adaptar, sendo um dos grandes desafios à gestão de REEEs.

No caso de REEEs de aparelhos médicos e de ensaios laboratoriais, essa variação pode ser sentida ainda com mais intensidade, uma vez que os equipamentos utilizados possuem vida útil longa. De fato, uma análise do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2007) aponta que a maior parte dos equipamentos hospitalares possui vida útil na faixa de 10 anos, podendo chegar a 25, no caso dos aparelhos de raios X.

Figura 1 – Fatia de mercado de desktops, notebooks e tablets (2011-2013)



Fonte: Abine (2013).

Dessa forma, é muito comum que, na hora de substituir o equipamento, a tecnologia utilizada no aparelho antigo já tenha inclusive sido abandonada. Tendo em vista o baixo número de equipamentos que são vendidos nesse período, corre-se o risco de não haver uma cadeia de reciclagem formada, uma vez que não há justificativa econômica para a implantação de um sistema desses.

1.2 Situação legal

Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ficou instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Dessa forma, indústrias e revendedores tornam-se os grandes responsáveis por recolher seus produtos, no final da vida útil, e destiná-los corretamente, preferencialmente para reciclagem.

Porém, isso não significa dizer que, por exemplo, a indústria deve coletar individualmente cada produto vendido. A forma como isso deve ser executado está aberta a discussões, podendo ser desde a implantação de ecopontos até campanhas periódicas de coleta, desde que os custos sejam arcados pela indústria e comércio, e não pelos consumidores e pelo Poder Público.

Esse processo de entrega do resíduo pelo cidadão e seu encaminhando de volta à indústria é chamado de logística reversa. A definição de como esse processo ocorrerá é um procedimento que envolve discussões entre indústria, comércio, Poder Público e cidadãos, uma vez que busca um modelo que seja bom para todas as partes.

Com a aprovação da PNRS, ficou instituída a necessidade de regulamentação de cinco sistemas de logística reversa, a saber: pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; e produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Posteriormente, foram ainda instituídas a necessidade de logística reversa para embalagens em geral e medicamentos.

Neste momento, o Brasil encontra-se ainda no aguardo da aprovação de uma legislação específica, a partir do Grupo Técnico Temático 004 (GTT - 004), responsável por definir a logística reversa dos REEEs. Torna-se importante ressaltar, porém, que apesar de ainda não definido o processo de logística reversa permanece a responsabilidade da cadeia de produção e comercialização (indústria e vendedores) de recolher os REEEs.

Na realidade, a logística reversa, que vem sendo discutida refere-se muito mais aos REEEs comuns, como é o caso das linhas verde, marrom, branca e azul, do que daqueles específicos de instituições de saúde, como oxímetros, ventiladores pulmonares, monitores cardíacos, negatoscópios, etc. Esses equipamentos possuem, em sua composição, sensores complexos que não podem ser reciclados pelos meios convencionais disponíveis no mercado. Por esse motivo, para o descarte desse tipo de resíduo, deve ser contatado o fabricante, que, legalmente, é responsável pela sua correta destinação.

Cabe ainda destacar que alguns estados e municípios brasileiros possuem legislações próprias acerca dos REEEs, como é o caso do Rio Grande do Sul (2010), Paraná (2008) e de São Paulo (2009). Porém, recomenda-se cautela na leitura dessas leis, uma vez que muitas são anteriores à PNRS, havendo elementos contraditórios.

1.3 REEEs em instituições de saúde – estudo de caso em um hospital de ensino

Com o objetivo de contextualizar a problemática da geração de REEEs na assistência à saúde, foram feitos levantamentos em um hospital público de ensino localizado no município de Caxias do Sul (RS). Nesse estudo, foram avaliadas as dificuldades e os problemas na gestão de REEEs, tendo sido observadas várias possibilidades de melhoria nesse sentido.

Por meio dos dados obtidos no estudo, evidenciou-se que a maior parte dos REEEs era composta por resíduos de informática, especialmente computadores e monitores, incluindo ainda outros equipamentos como geladeiras, ar-condicionado, telefones e balanças. Outros REEEs utilizados na assistência foram também identificados, a exemplo de incubadoras, autoclave, bombas de infusão, ventiladores pulmonares e focos cirúrgicos. A Figura, Figura ,

Figura e Figura apresentam alguns dos REEEs encontrados durante o desenvolvimento do estudo.

Cabe destacar que o setor de manutenção do hospital estima uma vida útil média de 20 anos para os equipamentos médicos utilizados, o dobro do recomendado pelo Ibage. A utilização de equipamentos eletroeletrônicos por um período superior ao recomendável traz consigo um conjunto de problemas de confiabilidade e custo de manutenção; porém, uma vez que tal prática é considerada comum, este aspecto já era esperado. Questões financeiras costumam ser o principal motivo para a ocorrência desse incremento no tempo de utilização.

Ainda, devido a essa elevada vida útil dos equipamentos no hospital analisado, muitos tipos de aparelhos comprados não haviam até o momento sido descartados. Desta forma, prevê-se para os próximos anos um significativo aumento na variedade de descarte de REEEs.

Figura 2 – Computadores e monitores descartados



Figura 3 – Autoclave descartada



Figura 4 – Incubadora descartada



Figura 5 – REEEs biomédicos diversos



Fonte: Elaboradas pelos autores.

A principal dificuldade encontrada para a gestão de REEEs, no hospital analisado, diz respeito à responsabilidade pelos resíduos gerados. Por tratar-se de um hospital público,

administrado por uma universidade, para funcionar como hospital de ensino, a maior parte dos equipamentos adquiridos e utilizados no hospital são oriundos de verbas públicas. Neste sentido, a gestão dos resíduos varia conforme as situações abaixo:

- *equipamentos de domínio do estado ou do município*: muitos dos REEEs adquiridos pelo hospital em estudo são fornecidos pelo estado/município, ou adquiridos com recursos oriundos destes. Assim, estes equipamentos não são propriedade do hospital, sendo necessário solicitar permissão ao estado, para poder fazer o descarte desses equipamentos;
- *equipamentos de domínio da universidade gestora do hospital*: muitos dos equipamentos de informática, em especial CPUs e monitores utilizados no hospital, são de propriedade da instituição gestora (universidade). Devido às baixas exigências computacionais do hospital, muitos dos computadores considerados obsoletos, para fins universitários, podem atender as demandas deste, havendo então transferência de uma instituição para outra;
- *equipamentos de domínio do hospital*: um pequeno número de equipamentos é de propriedade do hospital, não havendo maiores problemas para a gestão dos mesmos, além do atendimento à PNRS.

Um efeito colateral dessa multiplicidade de situações relativas à propriedade e, portanto, à responsabilidade quanto à gestão destes resíduos, diz respeito à destinação que é possível dar aos REEEs. Em geral, os equipamentos eletrônicos seguem pelo menos uma de três possibilidades antes de serem considerados REEEs: reparo, doação, e/ou desmontagem/aproveitamento de peças. Essa dificuldade em relação a quem é responsável pelo equipamento representa um grande problema na execução dessas opções, em especial à doação, criando entraves na implantação de soluções que tragam benefícios não só ambientais, mas também econômicos e sociais. Estas dificuldades resultam também em acúmulo de resíduos, os quais são estocados em condições nem sempre ideais de armazenamento.

Outro aspecto que merece destaque diz respeito a que muitos dos equipamentos utilizados em estabelecimentos de saúde têm contato com pacientes portadores de doenças infectocontagiosas, havendo então o risco de transmissão dessas através do equipamento, em especial naqueles utilizados em pacientes em isolamento. Sendo assim, é fundamental a limpeza e desinfecção destes antes de, inclusive, serem encaminhados para a manutenção. Um processo de desinfecção mal-realizado colocaria em risco a saúde destes funcionários e de qualquer pessoa que possa vir a ter contato com o equipamento, durante o transporte ou após reparo/desmontagem/doação.

Ressalte-se ainda o risco apresentado por alguns equipamentos quando não armazenados e acondicionados de forma segura. Cita-se o exemplo do acidente ocorrido em Goiânia, com o céσιο-137, considerado o maior acidente radiológico do mundo, resultando em quatro mortes oficiais (GOIÁS, 2012), e tendo como causa a incorreta disposição de uma cápsula de um equipamento de radioterapia contendo material radioativo, em um depósito de sucatas.

Todas essas questões representam detalhes do gerenciamento de REEEs não encontrados em instituições de outros ramos, trazendo desafios únicos a serem vencidos no gerenciamento e na destinação de REEEs em instituições de assistência à saúde. As informações trazidas neste capítulo representam apenas o início de um assunto novo, que somente começou a ser seriamente debatido após a aprovação da PNRS, e deve ganhar maiores ares a partir da aprovação da logística reversa. Cabe, porém, aos gestores de hospitais e instituições de assistência à saúde em geral buscar formas de gerenciar esse novo tipo de resíduo, sem comprometer a qualidade do importante serviço ofertado.

REFERÊNCIAS

ABDI. Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. 2013. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br>>. Acesso em: 30 jun. 2014.

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Tablets puxam recorde de vendas na área de informática no 1º Semestre**. 2013. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com31.htm>>. Acesso em: 03 dez. 2013.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010b. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>> Acesso em: 10 nov. 2012.

DALRYMPLE, I. et al. **An integrated approach to electronic waste (WEEE) recycling**. Circuit World, Vol. 33, No 2, pp 52–58. 2007.

EMPA. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology. **e-Waste material composition**. 20XX. Disponível em: <http://ewasteguide.info/material_composition>. Acesso em: 6 ago. 2012.

FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais. **Diagnóstico da Geração Resíduos Eletroeletrônicos Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 2009. Disponível em: <http://ewasteguide.info/files/Rocha_2009_pt.pdf>.

GOIÁS. Césio-137, 25 anos. **Uma História para Lembrar e Prevenir**. 2012. Disponível em: <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/links/arq_463_RevistaCesio25anos.pdf>. Acesso em: 31 jun. 2014.

IBAPE. Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Estudo de vidas úteis de máquinas e equipamentos**. São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.ibape-sp.org.br/arquivos/estudo_de_vidas_uteis.apresentacao.pdf>. Acesso em: 31 jun. 2014.

PARANÁ. **Lei Estadual nº 15.851, de 10 de junho de 2008**. Dispõe que as empresas produtoras, distribuidoras e que comercializam equipamentos de informática, instaladas no Estado do Paraná, ficam obrigadas a criar e manter o Programa de Recolhimento, Reciclagem ou Destruição de Equipamentos de Informática, sem causar poluição ambiental, conforme específica. 2008. Disponível em: <<http://www.legislacao.pr.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

PARLAMENTO EUROPEU. Diretiva 2012/19/EU. **Relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e eletrônicos (REEE)**. Reformulação. Jornal Oficial da União Europeia. 2012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual nº 13.533, de 28 de outubro de 2010**. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, o gerenciamento e a destinação final de lixo tecnológico e dá outras providências. 2010. Disponível em: <<http://www.bdlaw.com/assets/htmldocuments/Rio%20Grande%20do%20Sul%20Law%2013533%20of%202010.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2013.

SÃO PAULO. **Lei Estadual nº 13.576, de 6 de julho de 2009**. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. 2009. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

VEIT, H. M. **Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de materiais. Tese de doutorado. 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6530>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

WRAP. Waste & Resources Action Programme Project MDD009 ‘Compositional analysis of kerbside collected small WEEE’ Final Report. 2009.

5.4. RESULTADOS COMPLEMENTARES

Neste capítulo estão apresentados resultados obtidos a partir deste trabalho os quais não foram até o momento publicados, ou que foram publicados apenas parcialmente.

5.4.1. Mapeamento do sistema de gerenciamento de REEEs da UCS

Por auxílio de entrevistas realizadas junto a funcionários da instituição, foi possível mapear o fluxo dos EEEs na instituição, apresentado na Figura 5, e seu processo até tornar-se REEE. Até recentemente, todo EEE que fosse considerado obsoleto ou que não fosse economicamente viável de reparar, era encaminhado para depósito. A partir de 2012, porém, houve uma mudança na gestão de EEEs, em especial os equipamentos de Tecnologia da Informação (TI) como computadores, monitores, impressoras, teclados e afins.

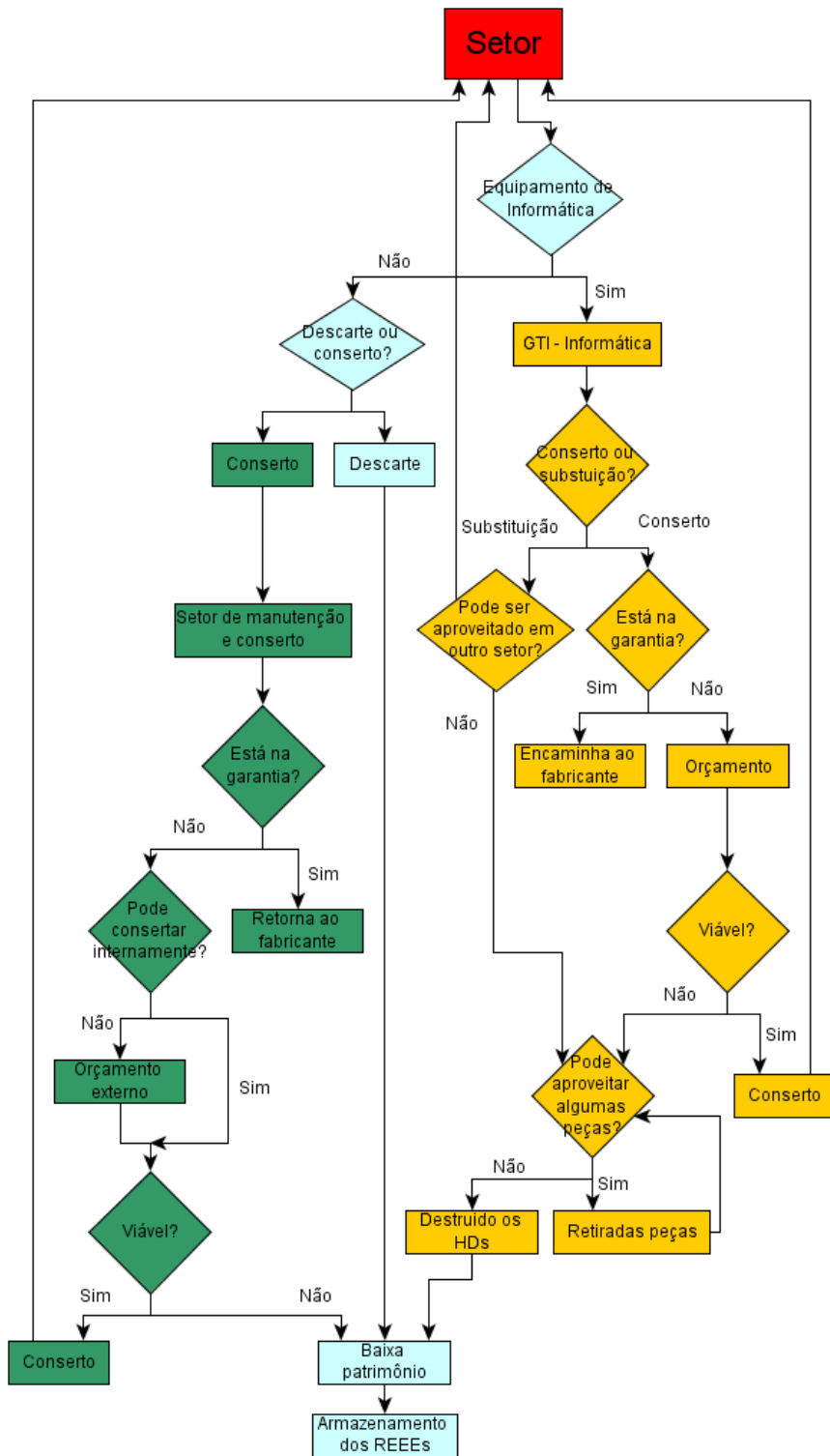
Até 2012, os serviços de TI na instituição eram, em sua maioria, terceirizados, não havendo muito controle sobre esses. A partir desse ano, porém, foi criado o setor de Gerência de Tecnologia da Informação e Comunicação (GTI), o qual ficou responsável pelo conserto, triagem e reparo de Equipamentos de Informática. Tendo em vista que esses consistem no principal REEE gerado na instituição em termos de quantidade, essa alteração teve um papel significativo na gestão desses resíduos.

Desta forma, atualmente o gerenciamento de REEEs é dividido em equipamentos de TI, gerenciados pela GTI, e demais equipamentos eletroeletrônicos, gerenciados pelo Setor de Manutenção. No que diz respeito aos equipamentos de TI, após solicitado pelo usuário (professor, funcionário, bolsista), estes são encaminhados à GTI, onde é feita uma avaliação acerca do custo de reparo desses.

Cabe aqui destacar que, tendo em vista a rápida obsolescência destes equipamentos, em certos casos a inviabilidade ocorre não somente pelo custo, mas pela própria indisponibilidade ou raridade das peças necessárias. Se for possível executar o reparo, esse é realizado, e o mesmo é devolvido ao setor, caso contrário, esse segue para triagem.

A triagem consiste na remoção de componentes que possam ser aproveitados em outros equipamentos. Isso é particularmente significativo para computadores, nos quais é possível aproveitar componentes como memória RAM, disco rígido (HD) e placa de vídeo. Após removidas as peças, o restante segue para armazenamento na instituição como REEE. Por questões de segurança, após o descarte todos os HDs são destruídos, evitando assim o acesso, das informações ali contidas, por terceiros.

Figura 5: Fluxograma do gerenciamento de REEEs na UCS



Existe porém outra possibilidade. No caso de equipamentos substituídos devido à obsolescência, ao invés de seguirem para descarte são realocados para outros setores com menores demandas computacionais. As situações mais comuns nesse caso são o

encaminhamento de computadores e seus componentes para a biblioteca, para o hospital, para salas de aula ou para alguns laboratórios que possam utilizar computadores de menor desempenho.

Tendo em vista que a universidade possui algumas áreas com elevada demanda computacional, em especial laboratórios de pesquisa e ensino que atuam com modelagem computacional ou CAD 3D, certos computadores são considerados obsoletos mesmo possuindo uma capacidade computacional elevada. Dessa forma, o encaminhamento de equipamentos, apesar de menos comum, às vezes ocorre para outros locais que não os quatro supracitados.

Seguindo o orientado pelo fluxograma da Figura 5, tem-se os REEEs que não são de TI. Nesse caso, quando o equipamento apresenta problemas, esse é encaminhado ao Setor de Manutenção, onde sofre um processo semelhante aos Equipamentos de TI. Esses são avaliados para verificar a viabilidade de serem consertados e, caso isso não seja possível, são removidas as peças que podem ser aproveitadas em outros equipamentos.

A diferença nesse caso é que, tendo em vista que este setor acaba lidando com uma variedade maior de equipamentos, em muitos casos o departamento não possui conhecimento técnico para efetuar o reparo dos equipamentos. Nesses casos, os mesmos são encaminhados para empresas terceirizadas para realizar o reparo. Pode ocorrer ainda que esse tipo de equipamento seja realocado para outros setores, porém, visto que estes EEEs tornam-se obsoletos tão rapidamente quanto os de TI, é mais comum que estes percam sua utilidade devido ao mau funcionamento.

Para ambos os casos, EEEs de Tecnologia da Informação ou convencionais, após considerado que o equipamento não pode ser realocado para outro setor, não possui viabilidade econômica para reparo e nem possui mais peças que possam ser removidas, esse é dado baixa no sistema e encaminhado para depósito, passando a ser responsabilidade do Setor de Patrimônio.

Até final de 2014, quando da conclusão deste levantamento, os REEEs eram armazenados em diversos depósitos espalhados pela instituição, sendo o principal deles situado no subsolo de um dos blocos de salas de aula. Outros dois importantes depósitos evidenciados, apesar de em menor escala, localizam-se em dois ginásios da universidade.

Dentre as possibilidade de encaminhamento dos EEEs está o Hospital Geral (HG). Isso deve-se ao fato de tanto o Hospital Geral quando a Universidade de Caxias do Sul fazerem parte da Fundação Universidade de Caxias do Sul. Ressalta-se que o HG possui sua própria metodologia de gerenciamento de REEEs, tendo sido evidenciados principalmente computadores da UCS no depósito deste.

Figura 6: Depósito no subsolo de um dos blocos de aula



Data: 27/03/2013

Figura 7: Depósito no subsolo de um dos blocos de aula



Data: 23/05/2013

Figura 8: Depósito secundário na Vila Olímpica



Data: 17/07/2013

Figura 9: Depósito Hospital Geral



Data: 10/05/2013

Porém, ambos os depósitos, tanto da UCS quanto do HG, podem ser considerados precários. Em nenhum dos casos é destinado um espaço preparado para receber REEEs, sendo em geral utilizadas locais parcialmente adaptados para tal, como pode ser evidenciado nas Figura 6 e Figura 7, o qual sequer possui piso. Outro local de depósito pode ser evidenciado na Figura 8, estando este localizado na Vila Olímpica. No caso do HG, evidenciado na Figura 9, como depósito utiliza-se um prédio abandonado durante sua construção, não estando em condições adequadas para este fim.

No caso da UCS, existe proposta de implantação de um novo depósito de resíduos perigosos, o qual englobaria junto os REEEs, unificando a gestão de resíduos perigosos. Tal empreendimento, porém, até o momento não foi implantado.

5.4.2. Avaliação do sistema de gerenciamento de REEEs

O sistema de gerenciamento avaliado apresenta pontos positivos e negativos. Em termos positivos, uma alternativa analisada que merece ser replicadas em outras instituições é o processo de reparo e reutilização de equipamentos em outros setores.

Sendo realizada principalmente para os equipamentos de informática, os quais correspondem à aproximadamente metade dos EEEs da instituição, a triagem de equipamentos permite verificar se os mesmos podem ser aproveitados em outros setores ou se as peças podem ser aproveitadas em outros equipamentos. Como resultado, é possível reduzir os gastos com aquisição de novos equipamentos, além de minimizar o impacto ambiental da sua produção e descarte.

Esse procedimento, porém, possui limitações. Quando considera-se EEEs em geral, identifica-se uma variedade muito grande na instituição, tendo sido levantados 414 tipos de EEEs, sem considerar variações de modelos e marcas. Isso significa que não é viável armazenar peças de reposição para todos os tipos de equipamentos, sendo necessário se estabelecer os equipamentos mais utilizados na instituição para tal.

No caso dos EEEs de informática, existe uma maior homogeneidade, porém, questões como a rápida obsolescência, com o crescimento exponencial da capacidade de processamento deste, e mudanças nos tipos de conexões limitam em muito o seu aproveitamento. Por isso torna-se importante que a universidade tenha cadastradas as demandas computacionais de diferentes setores, permitindo remanejar equipamentos de locais com maior demanda computacional para as menos exigentes. Por outro lado, diversos problemas foram

evidenciados, tanto em termos de armazenamento dos REEEs quanto de destinação e disponibilidade de informações.

Os problemas de armazenamento de REEEs na universidade estão relacionados à recente problemática deste tipo de resíduo e à elevada vida útil dos EEEs (quando comparados com outros tipos de resíduos), o que implica na necessidade de um planejamento à longo prazo. Uma das grandes deficiências que se observou durante este estudo foi a carência de um sistema de controle dos REEEs gerados.

O SISACAD, sistema de informações utilizado na UCS, foi projetado para trabalhar com a gestão de EEEs e não de REEEs. Como resultado, existe um rígido controle na instituição acerca dos equipamentos adquiridos, mas nenhuma informação referente ao que é descartado.

Em tese, todo EEE deveria ter sua posição atual na universidade cadastrada no sistema e, quando descartado, ter baixa no sistema. Em termos práticos, porém, esse procedimento não se efetiva. Verificou-se que somente 25,2 % dos EEEs possuíam informações acerca da sua localização. Da mesma forma, o montante de equipamentos com informação de baixa no sistema não condiz com o observado nos descartes da instituição, denotando problemas também neste sentido. Ressalta-se porém que a instituição vem realizando um recadastramento de todos os equipamentos iniciado durante o ano de 2014 justamente com o objetivo de suprir essas falhas.

Outro reflexo da não inserção das informações acerca dos REEEs no SISACAD é a ausência de um tratamento diferenciado para diferentes tipos de REEEs. Enquanto os resíduos gerados nas categorias 1 a 4 (grandes e pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática e de consumo) podem, em sua maioria, serem reciclados de forma convencional, as demais categorias, em especial os aparelhos médicos e instrumentos de monitoramento, apresentam elementos que demandam um tratamento diferenciado, sendo necessário o envolvimento do fabricante neste processo.

Desta forma, o fato de ter sido constatado que estes equipamentos são coletados em conjunto aos demais levanta preocupações sobre a efetividade da sua reciclagem. Uma vez que não existe um procedimento para que estes equipamentos sejam destinados de forma diferenciada, ou mesmo de contato ao fabricante para verificar como se deve proceder para tal, a alternativa torna-se a destinação dos diversos REEEs misturados. Como agravante, uma vez que certos equipamentos possuem vida útil elevada (aproximadamente 10 anos), não há garantias de que a empresa responsável pela venda do equipamento ainda está em operação.

Em termos práticos, evidenciou-se também que certos equipamentos tendem à exceder a vida útil prevista devido à sua acumulação, especialmente nos setores que trabalham com

pesquisa, onde se verificou que em muitos laboratórios os pesquisadores optavam por guardar equipamentos obsoletos mesmo após sua substituição. Isto pode ser atribuído principalmente à duas situações:

1. Dificuldade de obter novas verbas de pesquisa: Como os recursos para realização de pesquisa são usualmente obtidos através de editais públicos, nem sempre os pesquisadores conseguem verbas para substituição de seus equipamentos. Desta forma, estes preferem manter equipamentos antigos guardados para o caso dos equipamentos modernos apresentarem defeito;
2. Editais nem sempre preveem verbas para manutenção: Outra justificativa apresentada foi a ausência de recursos financeiros nos editais para a reposição de peças e reparos de equipamentos. Impossibilitados de realizar o conserto, muitos pesquisadores acabam precisando recorrer à equipamentos antigos que estejam funcionais;

Enquanto nenhum desses problemas pode ser atribuído diretamente à instituição, sendo uma característica do sistema de pesquisa brasileiro, os resultados são visíveis. Enquanto 13,3 % dos EEEs da instituição são instrumentos de monitoramento, nas duas coletas analisadas estes correspondiam à somente 4,2 %. Apesar desta situação de acúmulo não se resumir apenas aos instrumentos de monitoramento, visto os elevados custos e sua maior utilização em pesquisas, é nessa categoria que esse efeito é mais perceptível.

Porém, como pode ser observado na Figura 6 à Figura 9, o acúmulo de REEEs estende-se também a outras categoriais, incluindo aos equipamentos de informática e telecomunicações, o que resultou nos diversos depósitos de REEEs anteriormente citados. Uma vez que estes depósitos ocupam áreas que poderiam estar sendo utilizadas para outros fins, a principal justificativa verificada entre os gestores para a destinação destes REEEs foi justamente a necessidade de liberação de espaço físico para outros fins. Ou seja, a gestão de REEEs vem ocorrendo de forma corretiva, e não preventiva.

Um maior controle na aquisição dos EEEs e seus processos até tornarem-se REEEs, além de procedimentos adequados para acúmulo e destinação destes é necessário para que ocorra o correto gerenciamento deste tipo de resíduo na instituição, assegurando que estes possam atingir elevados valores de recuperação de materiais na sua reciclagem.

5.4.3. Classificação dos REEEs gerados na universidade

Devido à elevada variedade de REEEs identificados na universidade, evidencia-se a necessidade de uma classificação à parte como forma de facilidade seu gerenciamento. Nesse

sentido propõe-se que seja seguido a classificação trazida pela Diretiva Europeia 2012/19/EU (PARLAMENTO EUROPEU, 2012), porém, subdividida com os principais REEEs encontrados em cada categoria. Na Tabela 12 apresenta-se a classificação proposta.

Tabela 12: Classificação proposta para os REEEs de universidades

Nº	Categoria	Subcategoria
1	Grandes eletrodomésticos	
1.1		Geladeiras e freezers
1.2		Ap. de ar condicionado
1.3		Estufas
1.4		Outros grandes eletrodomésticos
2	Pequenos eletrodomésticos	
2.1		Ventiladores
2.2		Outros pequenos eletrodomésticos
3	Equip. de informática e telecomunicações	
3.1		Computadores de mesa
3.2		Monitores
3.3		Outros equip. de informática e telecom.
4	Equip. de consumo	
4.1		Televisores
4.2		Projetores e retroprojetores
4.3		Equip. profissionais de áudio e vídeo
		Outros equip. de consumo
5	Equip. de iluminação	
5.1		Equip. de iluminação convencionais
5.2		Equip. de iluminação profissionais
6	Ferramentas elétricas e eletrônicas	
6.1		Ferramentas industriais de grande porte
6.2		Ferramentas elétricas convencionais
7	Brinquedos e equip. de esporte e lazer	
7.1		Brinquedos
7.2		Equipamentos esportivos
8	Aparelhos médicos	
8.1		Aparelhos médicos de grande porte
8.2		Aparelhos médicos de pequeno porte
9	Instrumentos de monitoramento	
9.1		Instr. analíticos de grande porte
9.2		Instr. analíticos de pequeno porte
9.3		Instr. de aquecimento de grande porte
9.4		Instr. de aquecimento de pequeno porte
9.5		Microscópios de pequeno porte
9.6		Outros instrumentos de grande porte
9.7		Outros instrumentos de pequeno porte
10	Distribuidores automáticos	

Sugere-se neste trabalho que as 10 classes da Diretiva Europeia 2012/19/EU sejam por sua vez subdivididas em outras 23 no caso de REEEs de universidades. As classes propostas tomaram como base os resultados dessa pesquisa, incluindo os principais REEEs encontrados assim como aqueles com características muito distintas para ser incluídas em uma mesma classe, como é o caso das “ferramentas industriais de grande porte”, dos “equipamentos de iluminação profissionais” e dos “equipamentos esportivos”. Para o caso dos instrumentos de monitoramento, foram elaboradas 7 subcategorias baseando-se no porte e tipo dos equipamentos.

5.4.4. Geração per capita de REEEs

Para estimar os dados de geração per capita de REEEs foram utilizados como base o número de estudantes no campus central da instituição durante o primeiro semestre de 2013, o qual era de 17.802 alunos. Esta informação foi repassada diretamente pela instituição.

Tendo em vista a variabilidade da aquisição de EEEs, como demonstrado no artigo “Avaliação da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) em uma universidade particular”, o qual consta nesta dissertação, optou-se por considerar o período de janeiro de 2010 à novembro de 2013 para a elaboração dos indicadores de geração per capita. Como resultado, obteve-se uma média de 1.912,2 kg/mês de EEEs adquiridos na instituição.

Obteve-se então que cada aluno da instituição gera em média 1,02 kg/ano de REEE, o que resulta em 4,08 à 5,1 kg/aluno no decorrer do curso, tendo em vista que os cursos da universidade possuem entre 4 e 5 anos, sua maioria.

A geração per capita anual pode ser comparada com os valores de FEAM (2009) para o Brasil, de 3,4 kg/hab.ano, ou com os resultados estimados pela ONU (2012) através do programa *Step (Solving the e-waste problem)*, o qual estima para o Brasil uma geração de 7,06 kg/hab.ano. Desta forma, a geração per capita da universidade equivale entre 14 % e 30 % da geração per capita média de REEEs no Brasil.

Também foi realizada uma avaliação para diferentes áreas de ensino da universidade, conforme apresentado na Tabela 13. Nela, está apresentada a geração per capita considerando todos os REEEs, levando em conta somente os computadores de mesa e um terceiro cenário onde se considera um computador moderno completo.

Este terceiro cenário foi inserido como referência para que futuros gestores acerca da quantidade de REEEs de informática gerados durante a implantação de um curso destas áreas.

Neste item estão considerados junto com o computador, monitor LCD, mouse e teclado, conforme EMPA apresentado na Tabela 14.

Tabela 13: Geração de REEEs per capita, por área do conhecimento

Área	Alunos	Geração per capita média (kg/ano)		
		Todos REEEs	Computadores	Computador completo
Ciências Biológicas	445	14,58	0,83	1,3
Ciências da Saúde	2.955	0,87*	0,25*	0,39*
Ciências Exatas	4.776	2,11	0,68	1,07
Ciências Humanas	1.781	0,08	0,03	0,05
Ciências Jurídicas	931	1,43	0,84	1,32
Ciências Sociais	5.626	0,39	0,17	0,26
Instituição de Ensino	16.514	1,02	0,55	0,86

* Não considera os equipamentos utilizados no Hospital Geral

Tabela 14: Massas consideradas para o “Computador completo”

Item	Massa (kg)	Fonte
Computador	9,9	Eugster et al. (2007)
Monitor LCD	6,23	SWICO (2011)
Mouse	0,05	EMPA (s.d.)
Teclado	1	EMPA (s.d.)
Total	17,18	-

Na Tabela 13 não estão apresentados os valores para os cursos da área de Artes (arquitetura e urbanismo, design, música, etc.). A sua não inserção deve-se ao fato de a maior parte destes cursos não estarem localizados no Campus Central, área de abrangência deste estudo. Como resultado, apenas o curso de música ocorre periodicamente na região de estudo, sendo que por tal motivo o indicador não refletiria adequadamente a realidade, sendo optado por removê-lo.

Dentre as demais áreas, a principal geradora de REEEs são as ciências biológicas, com uma média de 14,58 kg/ano.aluno. Esse valor elevado deve-se ao fato desta possuir expressiva pesquisa laboratorial, o que resulta em uma necessidade elevada de REEEs de Instrumentos de Monitoramento. Essa característica fica evidente na baixa quantidade de REEEs que são computadores (0,83 kg/ano.aluno), somente 5,7 % de todos os REEEs.

As ciências exatas apresentaram a segunda maior geração de REEEs, com 2,11 kg/aluno.ano. Este valor resulta da grande variedade de áreas englobadas, incluindo em muitos casos pesquisa e equipamentos de grande porte. Desta forma, os computadores consistem em

32,2 % dos REEEs gerados, uma vez que nesta são encontradas salas de aula e laboratórios que utilizam computadores (desenhos e softwares de modelagem).

O terceiro maior gerador per capita é a área de ciências jurídicas, com 1,43 kg/aluno.ano, neste caso 59 % dos REEEs gerados correspondem à computadores. Estima-se que aproximadamente 92 % dos REEEs adquiridos para essa área seriam computadores (considerando monitor e periféricos).

As ciências da saúde resultaram em uma geração per capita de 0,87 kg/aluno.ano. Tal resultado, porém, considera apenas os REEEs oriundos dos blocos que atuam com saúde, não levando em conta os REEEs gerados no hospital escola do curso. Como resultado, este valor representa apenas uma parcela dos REEEs gerados.

Tanto as ciências sociais quanto as humanas apresentaram geração inferior à 1 kg/aluno.ano (0,08 e 0,39 kg/aluno.ano, respectivamente). Para ambos os casos, os computadores representam aproximadamente 40 % dos REEEs gerados.

5.4.5. Materiais disponíveis nos REEEs de computadores na universidade

Devido à elevada variedade de equipamentos evidenciados na universidade (414 diferentes tipos), dos quais muitos não possuem informações disponíveis na bibliografia acerca da sua composição, não seria possível estimar todos os materiais disponíveis nos REEEs da instituição. É possível, porém, avaliar o montante de materiais disponíveis para reciclagem em computadores e monitores, os quais compreendem à aproximadamente 40 % de todo o REEE gerado na UCS. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Materiais disponíveis

Material	Massa (kg)			
	Computador	CRT	LCD	Total
Metais	60.937	6.479	12.499	79.915
Polímeros	4.220	8.771	6.980	19.971
Compósitos de metal-polímero	222	4.187	-	4.409
Cabos	2.295	1.146	117	3.558
Vidro	-	19.261	7.359	26.621
Placa de circuito impresso	6.145	4.011	2.044	12.201
Poluentes	222	44	88	354
Outros	-	220	146	366

Nos 17 anos considerados neste estudo, foram adquiridos 7.355 computadores e 7.479 monitores, dos quais 3.126 eram CRTs e 4.353 LCDs. Como resultado, obteve-se um total de

147 t de EEEs. Destes, aproximadamente 80 t são de metais, a maioria oriunda da carcaça metálica dos computadores, e 20 t de polímeros diversos. Verificou-se também um volume elevado de vidro (26 t), porém, enquanto às 7 t oriundas do LCD consistem em vidro convencional, as 19 t estimadas para os monitores de CRT referem-se em sua maioria à vidro com chumbo, utilizado neste tipo de tecnologia.

Cabos totalizaram 3,6 t, enquanto que compósitos metal-polímero somaram 4,4 t. Matsuto *et. al.* (2004) relata que em empresas de reciclagem de REEEs, aproximadamente 60 % do peso dos cabos pode ser recuperado como cobre, o que representa neste caso 2.134 t.

Percebe-se também um volume elevado de placas de circuito impresso, as quais totalizaram 12,2 t de material. Para estimar os materiais contidos nas PCI, foi utilizado estudo de Veit (2005).

Tabela 16: Concentração de diferentes metais em placas de circuito impresso (PCI)

Material	% na PCI (Veit, 2005)	Massa (kg)			
		Computador	CRT	LCD	Total
Cobre	21,19	1.302,2	849,9	433,2	2.585,3
Estanho	3,17	194,8	127,1	64,8	386,8
Alumínio	1,79	110,0	71,8	36,6	218,4
Ferro	1,31	80,5	52,5	26,8	159,8
Chumbo	1,2	73,7	48,1	24,5	146,4
Zinco	0,17	10,4	6,8	3,5	20,7
Níquel	0,17	10,4	6,8	3,5	20,7
Ouro	0,0001	0,061	0,04	0,02	0,122

Somente das PCI é possível extrair 2,58 t de cobre, sendo ainda encontrado 386 kg de estanho, 218 kg de alumínio, 160 kg de ferro e 146 kg de chumbo. Apesar do volume elevado de materiais, o montante de ouro estimado é de somente 122 g. Somando-se as 2,58 t de cobre disponível nas PCIs com as verificadas nos cabos, estima-se um total de 4,72 t de cobre que podem ser recuperadas em computadores da universidade.

6 CONCLUSÕES

O estudo verificou diversas dificuldades no que tange a gestão de REEEs em uma universidade. A maior talvez, diz respeito justamente à grande diversidade de equipamentos utilizados neste tipo de instituição, visto que além das atividades didáticas, estão envolvidos laboratórios de ensino e pesquisa, atividades administrativas, e até mesmo áreas da saúde como hospital, laboratórios de análise, farmácia escola e ambulatórios.

Apesar disso, verificou-se que os principais REEEs gerados são os computadores, utilizados nos laboratórios de informática, salas de aula e principalmente nas áreas administrativas. Porém, mesmo dentro de subclasses, como os equipamentos de Tecnologia da Informação, se evidenciou uma diversidade grande de REEEs gerados.

Essa elevada variedade levou à proposição de uma nova classificação de REEEs para institutos de ensino superior, considerando os principais REEEs evidenciados. Verificou-se especialmente a necessidade de separar equipamentos de porte distinto, de uso profissional e com características de reciclagem distintas, como é o caso de geladeiras e aparelhos de ar condicionado.

Outra dificuldade identificada foi a presença de REEEs de grande porte, como máquinas industriais, além de REEEs de equipamentos de saúde e laboratoriais. Em todos esses casos os equipamentos apresentam sensores e características muito particulares, diferindo consideravelmente dos REEEs convencionalmente encontrados em residências.

Uma análise das diferentes áreas de ensino também demonstrou como diferentes setores da universidade geram REEEs com características muito distintas. As áreas biológicas e da saúde demandam equipamentos laboratoriais e médicos, enquanto áreas humanas, sociais e jurídicas se caracterizam por necessitarem basicamente de computadores e equipamentos de sala de aula, como projetores. De forma intermediária, as ciências exatas apresentaram tanto REEEs laboratoriais quanto equipamentos de informática e de sala de aula.

Essa variedade se reflete na velocidade de obsolescências destes equipamentos, com destaque aos equipamentos hospitalares, laboratoriais e de consumo, em contrapartida aos equipamentos de informática. Como resultado, os EEEs utilizados na área da saúde, biológicas e parcialmente nas exatas, apresentam uma vida útil muito inferior aos das áreas humanas, sociais e jurídicas, além daqueles utilizados pelo setor administrativo, em sua maioria.

Essa característica foi evidenciada também nos indicadores gerados acerca da geração per capita de REEEs em diferentes áreas de ensino. As ciências biológicas resultaram em um valor elevado, fruto do elevado foco em pesquisa laboratorial evidenciado dessa área. Cursos

com menor montante de experimentos como as ciências sociais e humanas resultaram em gerações per capita inferiores. A geração da universidade, como um todo, está entre 14 % e 30 % da geração estimada nacional.

Apesar de não ter sido possível estimar o potencial de reciclagem de todos os REEEs, uma avaliação verificou que somente considerando computadores e monitores a universidade adquiriu no decorrer dos 17 anos de estudo aproximadamente 80 t de metais e 20 t de polímeros, além de 4,72 t de cobre, demonstrando o forte potencial de reciclagem de materiais destas instituições. Paralelamente, as 19 t de vidro de chumbo estimadas também servem de alerta acerca do volume de resíduos perigosos presente nos REEEs.

Outra questão que merece destaque é o acúmulo de equipamentos, via de regra, em laboratórios e setores de manutenção quando não ocorrem levantamentos periódicos da localização e usos destes equipamentos (*housekeeping*). O controle patrimonial neste contexto é fundamental para que se possa não apenas fazer a gestão destes resíduos como programar a compra e reposição de equipamentos (computadores por exemplo).

De fato, evidenciou-se um elevado acúmulo de equipamentos especialmente em laboratórios, ocasionado em muito pelo fato destes serem adquiridos com verbas de projetos, as quais nem sempre são adquiridas pelos pesquisadores. Como resultado observa-se que muitas vezes os pesquisadores optam por manter os equipamentos antigos armazenados por questões de segurança, para o caso dos equipamentos novos estraguem, visto que nem sempre há recursos disponíveis para fazer os reparos e adquirir peças de reposição.

Todas essas características resultam em uma grande complexidade na gestão de REEEs em unidades de ensino superior, em especial tendo em vista o estabelecidos na Lei 12.305 (BRASIL, 2010), com a logística reversa. Com uma variedade tão grande de REEEs, a correta inserção destes resíduos na cadeia de reciclagem, com a recuperação de seus componentes, mostra-se um desafio à parte. Desenvolver e aplicar mecanismos de gestão que permitam identificar, prever e destinar corretamente os REEEs consiste em um desafio a ser vencido por estas instituições.

O gerenciamento destes equipamentos vem se mostrando um desafio na instituição avaliada. Uma alternativa identificada foi separar a gestão de REEEs de Tecnologia da Informação dos demais, visto que o primeiro responde por aproximadamente 40 % do REEE da instituição. Essa segregação também permitiu uma melhor relocação de equipamentos de informática, em especial computadores e monitores, em setores da universidade com menores demandas computacionais como a biblioteca e o Hospital Geral. Tal eficiência na realocação

não é verificada nos demais tipos de EEEs da instituição, onde a realocação entre setor é pouco comum.

No que diz respeito ao Hospital Geral, apesar de não ter sido possível desenvolver um estudo aprofundado da composição dos REEEs deste devido à problemas no sistema de informações, este trabalho permitiu a elaboração de um capítulo de livro específico acerca da gestão deste tipo de resíduos em hospitais. Foram evidenciadas diversas dificuldades não encontradas em outros tipos de instituições, com destaque à dificuldade de descartar e doar os REEEs devido ao fatos destes não serem efetivamente propriedade do hospital, e aos cuidados que precisam ser tomados devido aos patógenos encontrados neste ambiente.

7 RECOMENDAÇÕES

De forma à complementar os resultados obtidos neste trabalho, diversos estudos poderiam ser desenvolvidos por trabalhos futuros. Abaixo estão apresentadas as principais recomendações verificadas neste sentido.

Primeiramente, este estudo foi restrito à somente uma universidade. Como resultado, os resultados aqui obtidos não representam necessariamente as características de todas as instituições de ensino superior do país. Por isso recomenda-se que este estudo seja ampliado para um contingente maior de universidades, assegurando que os resultados obtidos possam ser adotados com maior segurança por uma variedade maior de instituições de ensino.

Uma das limitações encontradas neste trabalho diz respeito à necessidade de trabalhar com dados teóricos acerca da massa dos resíduos. Considerando as limitações desta metodologia, um estudo específico que envolvesse a pesagem e catalogação de REEEs traria resultados ainda mais confiáveis, podendo ser utilizada para validar a metodologia adotada neste trabalho.

Este estudo possuiu como foco a identificação das características dos equipamentos utilizados e REEEs gerados na universidade. Entende-se que um dos grandes interesses por parte do mercado diz respeito ao potencial de reciclagem destes REEEs. Por tal motivo, evidencia-se grandes benefícios caso futuros trabalhos sejam desenvolvidos focando-se na quantificação dos materiais que poderiam ser recuperados a partir de REEEs em universidades.

Ainda, com as variações tecnológicas verificadas neste trabalho, torna-se importante que estudos deste tipo sejam realizados com maior frequência, permitindo que os dados obtidos sejam atualizados, em especial aos novos tipos de tecnologias adotadas neste tipo de instituição.

Da mesma forma, recomenda-se um trabalho semelhante em outras instituições de ensino, como escolas de nível fundamental e médio, escolas de nível técnico, além de outros setores como indústrias, empresas de serviços, prefeituras e afins.

Durante o estudo para o Hospital Geral, por questões técnicas, não foi possível adotar a mesma metodologia utilizada na avaliação dos REEEs da universidade, determinando detalhadamente os REEEs gerados. Tendo em vista que os resultados obtidos apontam para uma elevada complexidade nos REEEs gerados, considera-se de grande importância que sejam realizados estudos mais detalhados acerca das características desses REEEs e do real potencial de transmissão de patógenos por estes resíduos.

8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 113p. 2012. Disponível em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20%20Panorama2012.pdf>>. Acesso em: 18 abril. 2014.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Tox Profiles - 3 Health Effects**. p. 47-317. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7-c3.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

BASEL CONVENTION COORDINATING CENTER FOR ASIA AND THE PACIFIC. **The report on current status and development of national and international technology on e-waste recycling**. S. d. Disponível em: <<http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan050304.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2014

BONHOMME, G.; CASTRO, F.; CLARKE, A. **Final Report: E-Waste Initiative at University of São Paulo**. MIT Sloan School of Management. 2008. Disponível em: <<http://mitsloan.mit.edu/actionlearning/media/documents/s-lab-projects/USP-report.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **SNIS 2010 - Aplicativo Série Histórica 2010**. 2010a. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/Arquivos_SNIS/3_BANCO%20DE%20DADOS/Serie_Historica/InstalaSNIS_2010.zip>. Acesso em: 13 ago. 2012.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 2010c. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 10 nov. 2012.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p. 1–21, 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso em: 10 nov. 2012.

CHIBUNNA, J. B. *et al.* The Challenges of E-waste Management Among Institutions: A Case Study of UKM. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 59, p. 644–649, out. 2012.

DANISH MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. **List of Undesirable Substances 2009**. 2011. Disponível em: <<http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2011/05/978-87-92708-95-3.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

DEFRA. Department for Environmental Food and Rural Affairs. **Trial to establish waste electrical and electronic equipment (WEEE) protocols**. 2007. Disponível em: <<http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/producer/electrical/documents/weee-protocol-report-070412.pdf>>. Acesso em: 15 abril 2014.

EMPA. SWISS FEDERAL LABORATORIES FOR MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. **e-Waste material composition**. 20XX. Disponível em: <http://ewasteguide.info/material_composition>. Acesso em: 6 ago. 2012.

EUGSTER, M., HISCHIER, R., DUAN, H. Key environmental impacts of the Chinese EEE industry – a life cycle assessment study. China. 2007. Disponível em: <http://ewasteguide.info/files/Eugster_2007_Empa.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2014.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico da Geração Resíduos Eletroeletrônicos Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 2009. Disponível em: <http://ewasteguide.info/files/Rocha_2009_pt.pdf>.

FRANCO, R. G. F. **Protocolo de referência para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos domésticos para o município de Belo Horizonte**. Trabalho de Conclusão de curso (Especialização). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008. 162 f.

HORNE, R. E.; GERTSAKIS, J. **A Literature Review on the Environmental and Health Impacts of Waste Electrical and Electronic Equipment**. Melbourne, 2006. Disponível em: <<http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/weee-literature-review-jun06/weee-literature-review-jun06.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2012.

MATO GROSSO. LEI 8.876, de 16 de maio de 2008. Dispõe sobre a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final do lixo tecnológico no Estado de Mato Grosso, e estabelece outras providências. 2008. Disponível em: <<http://www.al.mt.gov.br/v2008/Raiz%20Estrutura/Leis/admin/ssl/18876.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MATSUTO, T.; JUNG, C. H.; TANAKA N. Material and Heavy metal Balance in a recycling facility for home electrical appliances. **Waste Management**, v. 24, n. 5, p. 425-436, 2004.

MCPHERSON, A.; THORPE, B.; BLACK, A. **Brominated Flame Retardants in Dust on Computers : The case for Safer Chemicals and Better Computer Design**. New York, 2004. Disponível em: <http://www.cleanproduction.org/library/bfr_report_pages1-43.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2012.

MOHAN, M.P.R., GARG, I., KUMAR, G. Regulating e-waste: a review of the international and national legal framework on e-waste. In: Johri, R. (Ed.), *E-Waste. Implication, Regulations, and Management in India and Current Global Best Practices*. 2008.

MORF, L. S.; TREMP, J.; GLOOR, R. *et al.* Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste--actual levels in Switzerland. **Waste management**, v. 27, n. 10, p. 1306-16, jan 2007.

ODHIAMBO, B. D. Generation of e-waste in public universities: the need for sound environmental management of obsolete computers in Kenya. **Waste management**, v. 29, n. 10, p. 2788–90, out. 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **StEP E-waste WorldMap**. 20XX. Disponível em: <<http://www.step-initiative.org/index.php/WorldMap.html>>. Acesso em: 17 abril. 2014.

PARANÁ. Lei 15.851, de 10 de junho de 2008. Dispõe que as empresas produtoras, distribuidoras e que comercializam equipamentos de informática, instaladas no Estado do Parná, ficam obrigadas a criar e manter o Programa de Recolhimento, Reciclagem ou Destruição de Equipamentos de Informática, sem causar poluição ambiental, conforme específica. 2008. Disponível em: <<http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=9158&totalRegistros=1>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

PARLAMENTO EUROPEU. Diretiva 2012/19/EU. Relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e eletrônicos (REEE). Reformulação. Jornal Oficial da União Europeia. 2012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=PT>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

PERÚ. MINISTERIO DEL MEIO AMBIENTE. DECRETO SUPREMO N° 001-2012-MINAM. Reglamento Nacional para la gestión y manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. 44 p. 2012. Disponível em: <<http://blogcdam.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/01/REGLAMENTO-RAEE-X5.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Lei n° 13.533, de 28 de outubro de 2010. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, o gerenciamento e a destinação final de lixo tecnológico e dá outras providências. 2010. Disponível em: <<http://www.bdlaw.com/assets/htmldocuments/Rio%20Grande%20do%20Sul%20Law%2013533%20of%202010.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2013.

SANTOS, A. R. S. Caracterização do ciclo de uso de recursos de tecnologia da informação em instituições de ensino superior no contexto da administração pública. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Sucknow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2010.

SÃO PAULO (Estado). LEI N° 13.576, de 6 de julho de 2009. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. 2009. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13576-06.07.2009.html>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

SÃO PAULO (Município). PROJETO DE LEI 01-0031/2009 do Vereador Quito Formiga (PR). Dispõe sobre a instituição do programa de coleta seletiva contínua de lixo tecnológico, denominado ECOPONTO DIGITAL e dá outras providências. 2009c. Disponível em: <<http://camaramunicipalsp.qaplaweb.com.br/iah/fulltext/projeto/PL0031-2009.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). PROJETO DE LEI 01-0335/2009 do Vereador Penna. Dispõe sobre a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final de lixo tecnológico no Município de São Paulo e dá outras providências. 2009b, p. 6–7. Disponível em: <<http://camaramunicipalsp.qaplaweb.com.br/iah/fulltext/projeto/PL0335-2009.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). PROJETO DE LEI 01-0616/2009 do Vereador Floriano Pesaro. Institui normas, prazos e procedimentos para gerenciamento, coleta, reutilização, reciclagem e destinação final do lixo tecnológico e dá outras providências. 2009a, p. 2–4. Disponível em: <<http://camaramunicipalsp.qaplaweb.com.br/iah/fulltext/projeto/PL0616-2009.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2013

SWICO RECYCLING. 2011 Activity Report. 2011. Disponível em: <<http://www.swicorecycling.ch/downloads/dokumente/swicotb2011webenpdf.pdf/1271>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

UNIVERSIDADE DAS NAÇÕES UNIDAS. **Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. Final Report. p. 347, 2007. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_rep_unu.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.

VEIT, H. M. **Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso**. 2005. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgia e de materiais.. 2005.

WIDMER, R. *et al.* Global perspectives on e-waste. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 25, n. 5, p. 436–458, jul. 2005.

ZOETEMAN, B. C. J.; KRIKKE, H. R.; VENSELAAR, J. Handling WEEE waste flows: on the effectiveness of producer responsibility in a globalizing world. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 47, n. 5-8, p. 415–436, out. 2009.

**ANEXO 1: MASSAS E CLASSES ADOTADAS PARA OS DIFERENTES EEES DA
INSTITUIÇÃO**

Classe 1: Grandes eletrodomésticos

Equipamento	Massa (kg)
Amassadeira Espiral	229,50
Amassadeira para Massa	66,33
Ar Condicionado	36,08
Bebedouros	6,31
Câmara Fria	336,67
Circulador de Ar	2,78
Despopaladeira	23,00
Enceradeiras	35,80
Estufas e Aquecedores	5,00
Fogões	31,14
Fornos/ Forno de Microondas	13,40
Freezer	67,50
Fritador	4,12
Lavadores de Equipamentos	30,00
Lavadoura de Roupas	44,62
Máquina de Gelo	53,00
Máquina de Lavar Louça	36,33
Máquina de Moer Carnes	14,00
Máquina de Picotar Espaguetes	9,14
Refrigeradores	64,80
Secadora de Roupas	37,88
Seladoras	1,64
Triturador de Alimentos	47,50

Classe 2: Pequenos eletrodomésticos

Equipamento	Massa (kg)
Aspirador de Pó	5,92
Babá Eletrônica	0,93
Batedeiras	4,10
Cafeteira	3,05
Calculadoras	0,19
Carregador de Bateria	0,49
Chapa para Cabelos	0,36
Cronômetros Digital/ Analógico	0,13
Descascador de Batatas	0,77
Desidratadores	2,80
Extrator de Sucos	5,72
Ferro de Passar Roupas	1,03
Liquidificador/ Processador	2,33
Máquina de Costura	6,54
Minuteiro	0,25
MIX	0,66
Multiprocessador	1,88
Portão Eletrônico	5,00
Purificador de Ar	5,13
Relógios	0,23
Secador de Cabelo	0,84
Secador de Cabelo e Mãos	0,84
Timers	0,24
Trituradora de Papel	6,68
Vaporeto	8,24
Ventiladores	4,42

Classe 3: Equipamentos de informática e telecomunicações

Equipamento	Massa (kg)	Equipamento	Massa (kg)
Acess Point	1,05	Mesa Digitalizadora	0,58
Adaptador de Fone/Internet	0,10	Microchip Explorer 16 Starter	0,10
Adaptador Power Over	0,05	Microcomputadores - CPU	9,90
Alarmes	1,07	Microcomputadores - Notebook	3,50
Aparelhos de Radionavegação	0,16	Microcomputadores - Servidor	9,90
ATA Linksys mod. PAP-2T	0,66	Modem	0,40
Autenticadoras	3,00	Monitores de Vídeo	14,10
Catraca Eletrônica	33,00	Mouses	0,05
CD Rom - CD RW	0,73	Outros Equipamentos	0,36
Central Telefônica	3,10	Pach Panel	1,14
Chave Morce	1,60	Palm Top	0,26
Chaveador de Impressão	0,58	Pen Drive	0,05
Coletor de Dados	0,47	Pente de Memória	0,04
Controlador Lógico Programado	0,27	Placa de Aquisição de Dados	0,50
Controlador Univ. de Processos	0,15	Placa de Vídeo	0,98
Conversores	0,68	Placa Mãe - Motherboard	1,08
Disco rígido	0,23	Placas de Computador	1,08
Distribuidor de Pares	0,46	Plotter	50,12
Emulador	0,14	Registradora	5,80
Encadernadora	9,96	Relógio Ponto	3,74
Fax-Simile	3,12	Roteador	0,40
Fontes	1,29	Rotulador/Etiquetador	0,29
GPS	0,19	Scanner	6,92
Gravadores e Leitores Cartões	0,02	Sistema de Edição	9,90
HD Externo	0,23	Switch	2,03
Hub Linkbuilder	0,05	Teclado de Computador	1,00
Impressora de Cupon Fiscal	2,49	Telefones	0,54
Impressora Jato de Tinta	5,20	Terminal de Consultas	2,45
Impressora Laser	12,94	Testador Univ. de Computador	0,29
Impressora para Cheques	3,70	Transceivers	0,02
Impressoras Matriciais	8,60	Transformador/Estabil./Nobreak	7,82
Impressoras Off Set	740,00	Unidade de Back-Up	1,57
Leitora e Copiadora	13,18	Unidade de Controle de Câmera	6,80
Leitores ópticos	0,18	Unidade de Fita - Fita DAT	1,76
Máquina de Escrever Eletrônica	4,40	Web Cam	0,19
Máquina de Escrever Elétrica	13,18	Winchester	0,30
Máquina de Xerox	4,40	Zip Drive	2,24

Classe 4: Equipamentos de consumo

Equipamento	Massa (kg)	Equipamento	Massa (kg)
Amplificador Fotográfico	9,10	Mesa de Som - Mixer	9,40
Amplificador	9,74	Metrônomo	0,35
Aparelhos de Som	1,84	Microfones	0,33
Apresentador Visual	1,00	Mini Disc	1,36
Câmera de vigilância	3,32	Modulador AM/FM	1,63
Caixas de Som	10,14	Módulos de Potência	2,56
Câmera Fotográfica	0,54	Patches	1,12
Camera objetiva	0,37	Pianos	12,35
CD Player	1,84	Placar Eletrônico	5,00
Compressor de Áudio	4,50	Processador de Efeitos	2,75
Comutador de Vídeo	0,42	Processadores	5,37
Controlador de Edição	14,00	Projektor de Slides	2,53
Controles-remoto	0,13	Projektor de Vídeo	2,32
Crossover	1,75	Rádio Amador	0,82
Datashow - Projektor Multimídia	2,32	Rádio Gravador com CD	1,84
Decodificador	0,70	Rádio Relógio	0,45
Dimmerbox	15,33	Rádios	1,84
Direct Box	0,48	Receiver	7,23
Distribuidor de áudio	2,88	Reprodutores	1,40
Distribuidor de Vídeo	0,69	Retroprojetores	8,27
Divisores Óticos	0,50	Sonofletores	0,73
DVD	2,28	Tape Deck	4,72
Episcópios	3,50	Teclado Musical	8,62
Equalizador	3,88	Teleprompter	3,48
Equipamentos Cinematográficos	5,00	Televisores	24,06
Filmadoras/ Microcâmeras	0,25	Toca-Disco	6,55
Fone de Ouvido	0,20	Tocha	1,25
Fotocélula	0,12	Transcoder	0,41
Gerador de Áudio	59,40	Transmissores	3,68
Gerador de Caracteres e Efeitos	2,75	Vectroscópio	6,00
Gravadores	1,84	Vídeo Cassete	5,00
Impressora Braille	7,80	Vídeo Printer	2,60
Intercomunicadores	1,04	Vídeo Tape	5,10
Interface	0,40	Vídeos em Geral	2,60
Lousa Interativa	18,75	Visores	0,50
Mesa de Iluminação	2,31		

Classe 5: Equipamentos de iluminação

Equipamento	Massa (kg)
Abajour/ Luminárias de Mesa	1,00
Caneta Laser	0,03
Canhão de Lançamento	37,50
Flash	0,38
Foco de Luz	10,50
Iluminador de LED	0,30
Lanterna	0,22
Laser	0,05
Luz de Emergência	4,30
Refletores/ Luminárias	0,89
Sinalizadores	0,33

Classe 6: Ferramentas elétricas e eletrônicas

Equipamento	Massa (kg)	Equipamento	Massa (kg)
Betoneira	168,00	Máquina de Moer Vidro	300,00
Bobinadeira	80,00	Máquina Manual	6,47
Britadeira	13,70	Máquinas com Sistema CNC	2.100,00
Calandra	856,67	Martelo Rompedor	4,30
Compressores de Ar	28,60	Motores CC Lavill	10,00
Dobradeira	51,00	Motoserra	4,89
Equipamentos de Solda	2,35	Parafusadeira	0,89
Esmeril	7,94	Pistola de Metalização	1,73
Espigadeira	400,00	Pistola p/ Pintura	1,60
Extrusora	450,00	Politriz	3,05
Ferramentas	2,83	Prensas	49,17
Frezadora	180,00	Recravadeira	1.000,00
Furadeiras	1,90	Retíficas/ Micro-retíficas	1,16
Guinchos	95,25	Roçadeira	4,65
Injetoras	5.000,00	Secador de Ar Estéril	100,00
Lixadeira	3,18	Serra Fita	18,26
Magnetizador de Corte	55,00	Serra Tico-Tico	2,60
Máquina de Cortar Grama	4,65	Soprador Térmico	0,89
Máquina de Emplastificar	7,03	Talha Elétrica	49,50
Máquina de Gravação de Chapas	145,00	Torno Mecânico e Vidro	10,53
Máquina de Impressão	2,40	Torquímetro	1,58
Máquina de Lavar Carro	13,84	Tupia	5,29

Classe 7: Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer

Equipamento	Massa (kg)
Bicicleta ergométrica	28,00
Esteira ergométrica	36,40
Infravermelho com pedestal	4,00
Kits de Treinamento de Ensino	2,50
Precorstep	34,52

Classe 8: Aparelhos médicos

Equipamento	Massa (kg)	Equipamento	Massa (kg)
Adipometro científico	0,18	Incubadoras	33,00
Aparelho de Pressão	0,25	Macropipetador marca Brand	0,20
Aparelho de Raio X	190,00	Marcapasso Externo	0,37
Aparelho Millikam	2,50	Megatoscópio	1,42
Aparelho p/Anestesia Veterinária	8,25	Microaspirador	1,94
Aspirador cirurgico	4,43	Mixalloy	2,26
Bisturi eletrônico microprocessado	4,34	Monitor Cardíaco	4,75
Bomba Peristáltica	4,83	Monitor de Diabetes/Colesterol	0,06
Bombas de Infusão	2,80	Monitor de frequencia cardíaca	0,11
Câmara Asséptica	41,00	Monitor de vídeo	4,70
Campímetro	22,00	Monitor Fetal	33,20
Capacímetro	0,33	Nebulizadores	0,92
Capela de Esterilização	190,00	Negatoscópio	1,52
Centrimicro	15,00	Oftalmoscópio	0,50
Ceratometro	17,00	Otoscopo	0,33
Cinto transmissor	0,19	Phmetro Portátil	1,07
Coagulometro	2,98	Plicometro de dobras cutaneas	0,64
Condicionador para Célula de Carga	0,20	Programador/Testador	0,07
Contador de Células	12,38	Projeter de Optotipos	4,75
Contador de Colônias	3,25	Pulverizador Costal	5,02
Controladores em Geral	0,57	Quimógrafo	7,00
Desfibrilador/ Cardioversor	1,87	Reometro	44,50
Detector Fetal	0,55	Rotor Angulo Fixo	12,17
Eletrocardiógrafo	3,23	Simuladores	10,00
Eletrocautério-Bisturi Eletron	4,34	Tacocardiografia	68,20
Endoscópio	0,28	Termocompensador Digimed	2,48
Espirometro	0,30	Termometro	0,35
Estação Total	5,40	Transluminador	4,83
Estabilizador de tensão	7,59	Ultrassom	1,75
Esterilizador	1,13	Variador Monofásico	2,56
Estimulador	1,60		

Classe 9: Instrumentos de monitoramento

Equipamento	Massa (kg)	Equipamento	Massa (kg)
Agitadores de Laboratório	3,36	Desumidificador	17,38
Amperímetros	0,46	Dispositivo para Moldes	300,00
Analizadores	7,00	Durômetro	65,00
Anemometro	0,45	Espectofotometro	12,50
Aparelho Amostra Metalográfica	2,00	Estação Metereológica	4,00
Aparelho de Eletroforese	2,00	Estereomicroscópio	4,31
Aparelho Milli-Q	14,50	Estereoscópios	7,78
Aparelhos Medição/Comparação	0,50	Estufas de Laboratórios	41,00
Autoclave	103,40	Evaporadores	30,00
Balanças	3,62	Extratores	14,00
Banho Termostático	7,60	Fotômetro	8,25
Banho-Maria	7,60	Fotopolimerizador	0,35
Bateria de Extração	12,00	Frequencímetro	0,05
Bloco Digestor	12,00	Fusímetros	2,50
Bomba de Vácuo	16,96	Galvanometro	0,44
Bomba para Aerodispesóides	5,00	Gerador de Funções	3,14
Calorímetros	33,50	Higrometro	0,20
Câmara para Germinação	80,00	Homimetro	2,00
Câmaras de Laboratório	166,60	Homogeinizador	4,00
Capela Exaustão	25,00	Infra-Vermelho	3,35
Centrífuga	16,98	Interface p/Aquis.Tratam. Autom	0,50
Chapa de Aquecimento	2,50	Inversor de Frequência	18,40
Compu Espectro	15,00	Lavador de Pipetas	9,00
Conduvímetero	1,07	Luxímetro	0,29
Controlador Flow	4,70	Magnetizador/ Desmagnetizador	2,90
Cororímetros	2,73	Manta de Aquecimento	2,64
Cromatógrafo	61,00	Máquina de Ensaio	750,00
Curvímetero	0,08	Medidores	0,66
Decibelímetro	0,30	Megometro	0,52
Deionizador	10,48	Metroscópio	0,50
Destilador	7,38	Microscópios e Telescópios	8,82

Classe 9: Instrumentos de monitoramento (continuação)


Equipamento	Massa (kg)	Equipamento	Massa (kg)
Microtomos	25,30	Evaporador Rotativo	24,33
Misturador	65,00	Rugosímetro	0,27
Módulo Registrador Gráfico	1,50	Sonda de Penetração	0,25
Moinhos em Geral	66,50	Sonda de Submersão	0,25
Multímetros	0,38	Tacômetro	0,13
Osciloscópio	2,02	Teodolitos	4,50
Oxímetro	0,33	Termobloco	3,68
Painel de Controle	2,00	Termociclador	9,32
Peagametros/ PHmetro	1,07	Termo-higrômetro	0,16
Pirômetro	0,16	Termoreator	4,13
Placa Calefatora	2,50	Termostato	0,23
Ponte de Resistência	4,25	Turbidímetro	2,28
Potenciostato	2,10	Umídímetro	4,50
Quadros de Comando	13,62	Vaporizador	5,75
Refratômetro	0,23	Variable Flow	4,70
Registrador Gráfico	1,30	Viscosímetro	12,87
Reguladores	86,50	Voltímetro	0,46
Reolstato	0,83	Watímetro	1,16

ANEXO 2: COMPROVANTES DE SUBMISSÃO DE ARTIGOS E PERIÓDICOS



RESERVED AREA

Show entries Search:

Session	Author	Keyword	Title	Download
C12 - WEEE: Life Cycle Assessment and Reversal Logistics	T. Panizzon, V.E. Schneider, G.A. Reichert	WEEE, medical WEEE, university waste management	Evaluating a Brazilian university WEEE generation and operational logistics	

Showing 1 to 1 of 1 entries (filtered from 597 total entries)
[First](#)
[Previous](#)
[1](#)
[Next](#)
[Last](#)

EUROWASTE SRL - via Beato Pellegrino, 23 - 35137 Padova - Italy - Tel. +39 0498726986 - Fax +39 0498726987 - info@eurowaste.it - P.IVA 03331010284 - Capitale Sociale 10.500,00 Euro



Tiago Panizzon <tpanizzon@gmail.com>

[ESA] Agradecimento pela Submissão

1 mensagem

Equipe Editorial <suporte.aplicacao@scielo.org>

10 de novembro de 2014 09:27

Responder a: "Sr. Tiago Panizzon" <tpanizzo@ucs.br>

Para: "Sr. Tiago Panizzon" <tpanizzo@ucs.br>

Prezado(a) Sr. Tiago Panizzon,

Acusamos o recebimento da submissão do seu manuscrito "AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEEs) EM UMA UNIVERSIDADE PARTICULAR" para Engenharia Sanitária e Ambiental.

O sistema de avaliação é double blind review , onde não revela o nome do autor para o avaliador nem o nome do avaliador para o autor, adotado pelo Conselho Editorial para garantir a avaliação independente realizada por consultores ad hoc.

Os números anteriores da revista podem ser acessados pelo site:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-4152&lng=pt&nrm=iso

Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://submission.scielo.br/index.php/esa/author/submission/142636>

Login: tpanizzon

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este e-mail. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Equipe Editorial
Engenharia Sanitária e Ambiental

Equipe Editorial
Engenharia Sanitária e Ambiental

Engenharia Sanitária e Ambiental
<http://submission.scielo.br/index.php/esa>

--
Enviado via UCSMail.

**ANEXO 3: REGISTRO DOS ANAIS DO 14TH INTERNATIONAL WASTE
MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM**

IWWG - International Waste Working Group

sardinia_2013

14th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT
AND LANDFILL SYMPOSIUM

Forte Village _ S. Margherita di Pula (CA) _ Italy
30 September _ 4 October 2013

SYMPOSIUM PROCEEDINGS

Organising Secretariat

EUROWASTE Srl
via Beato Pellegrino 23 · 35137 Padova (IT)
tel +39 049 8726986 · fax +39 049 8726987
✉ info@euowaste.it

www.sardiniasymposium.it

ISBN 9788862650281
ISSN 2282-0027

**ANEXO 4: ARTIGO “EVALUATING A BRAZILIAN UNIVERSITY WASTE
GENERATION AND OPERATIONAL LOGISTICS”, EM SEU FORMATO
ORIGINAL**

EVALUATING A BRAZILIAN UNIVERSITY WEEE GENERATION AND OPERATIONAL LOGISTICS

T. PANIZZON, V.E. SCHNEIDER AND G.A. REICHERT

Environmental Sanitation Institute, University of Caxias do Sul. Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil

SUMMARY: The University of Caxias do Sul (UCS) is a private educational institution located in Caxias do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil. It has more than 37,000 students, 80 undergraduate, and 13 postgraduate courses. This study evaluated WEEE generation in the UCS and, initially, in its hospital. This was performed by analyzing the data available in the institution information system about equipment discarding. Information technology (IT) and telecommunications equipment represent the majority of WEEE generated by the University (62.8%). This is due to the high amount of computers used in the institution, not only in IT laboratories, but also in secretary offices, research institutes, and some classrooms. In fact, cathode ray tube (CRT) monitors respond to 34.58% of the total WEEE, and computers to 12.63%. Other categories identified were: consumer equipment (18.9%), large household appliances (7.3%), small household appliances (3.7%), and, the most distinct ones, monitoring and control equipment (4.22%), and medical instruments (0.42%). About UCS' General Hospital WEEE, EEE donated by the State represent most biomedical equipment, requiring special bureaucratic procedures prior to discard. Also, preliminary information indicates that most waste is composed by IT equipment, just as observed in the University WEEE. Unfortunately, both institutions are hampered by the Brazilian WEEE laws indefiniteness. Until technical committees elaborate the upcoming WEEE laws, little can be done to improve WEEE management both in the university and in the hospital.

1. INTRODUCTION

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), or EEE waste, is one of the fastest growing pollution problems worldwide (KIDDEE et al., 2013). To put it into context, in 1994 it was estimated that approximately 20 million PCs became obsolete, while by 2004 this figure was to increase to over 100 million PCs (WIDMER et al., 2005). In Brazil, there is a lack of studies regarding WEEE, however, estimates indicate that the generation in 2012 was 712,700 t (FEAM, 2012).

Indeed, the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) management in Brazil is a recent subject, being the first law directly addressing to this subject, the National Solid Waste Policy, from 2010. It created Technical Committees, including the WEEE Committee, responsible for developing the WEEE logistics. However, until this date, such logistics have not

yet been developed, and as a result, the laws for recycling and disposing of WEEE in Brazil are not very clear.

The University of Caxias do Sul (UCS) is a private educational institution located in Caxias do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil. It has more than 37,000 students, 80 undergraduate and 13 postgraduate courses. It also has a hospital, physics, chemical and biological laboratories, and many IT classrooms, resulting in a large variety of waste generated.

This study aims to evaluate the management of WEEEs inside UCS, and quantify the waste generated. Also, preliminary results about WEEE management in the university hospital, named General Hospital (GH), were also included in this paper.

2. METHODOLOGY

This study evaluated WEEE generation in the University of Caxias do Sul (UCS), during April 2013, when the first controlled university WEEE discarding happened. As a result, an evaluation of all stored equipment was made, allowing the institution to quantify the amount of WEEE generated during its existence. This was performed by analyzing the data available in the institution information system about the equipment discarding.

Since the only data available referred to the number of WEEE, the mass was estimated based on available data from similar equipment. In addition, due to lack of local legislation, the WEEE was further classified according to the Directive 2012/19/EU of the European Parliament.

The University of Caxias do Sul is managed by the University of Caxias do Sul Foundation (FUCS), which also manages a school, a broadcast station, and a public hospital, named General Hospital (GH). Since the GH does not belong directly to FUCS, its waste has a different management system, being not included in the data collected from the information system. This way, a similar analysis is currently being made for the General Hospital. This paper only includes the preliminary results about that waste.

Lastly, to completely understand the WEEE management system, a series of interviews was performed with key staff members, particularly from maintenance, IT, and office furniture and equipment sector, allowing evaluating the chain events that lead to the EEE discard.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 WEEE management in Brazil

Brazilian WEEE legislation relies on the National Solid Waste Policy, approved in 2010 (BRAZIL, 2010). According to Mazon, De Azevedo, Pereira, & Silveira (2012), this law significantly differs from European Union policies in that it is guided by the principle of shared responsibility, while the European Directive follows the principle of producer responsibility. Other aspects, however, are very similar, such as the hierarchy of priorities (first, non-generation of residues, followed by reduction, reuse, recycling, treatment and final environmentally correct disposal).

Another major difference in Brazilian Law is the legal obligation to create the reverse logistics committees, composed by public and private institutions, which are responsible for developing logistics for management of at least six waste classes: pesticides packages, batteries, tires, lubricant and oil packages, fluorescent lamps and WEEE. Until this date, the first four have been already established, since their management was already under operation even before the National Policy on Solid Waste.

On the other hand, the committees for fluorescent lamps and WEEE are still debating the best

operational practices to adopt in Brazil. Although not required by law, the Brazilian government also created the committees for drugs and standard packages, which are also being debated. About the WEEE committee, it is coordinated by the Ministry of Development, Industry and Foreign Trade.

Since there is yet no definition on the WEEE logistics from the technical committee, at the moment Brazil lacks the legislative tools for municipalities to establish their reverse logistics for this waste. The National Solid Waste Policy does oblige the producers, sellers, resellers and costumers to correctly dispose their waste, but, under practical terms, while the committees discussions are taking place, the municipalities are unable to establish long-term practices.

This situation, however, is expected to change next year, with the debates ending and the WEEE logistics approved. A new legislative evaluation will have to be performed after that to evaluate the new WEEE Brazilian law.

In terms of municipal and state laws, only a few ones where approved in Brazil. In Rio Grande do Sul State, where UCS is located, the law 12,533/2010 establishes the management of WEEE. It is however, problematic. Firstly, it is focused mostly on IT waste, TV sets and batteries, lacking the European Directive amplitude. Secondly, it conflicts with the National Solid Waste Policy in the sense that it does not operate under the “co-responsibility” principle, making only “EEE producers, imports or trades” responsible for WEEE disposal. And lastly, it establishes the way of disposal (collection points) instead of debating the best option through a committee.

As a result, this law became what is known in Brazil as “a law which does not stick”, which means that, although it has been approved, and so has legal power, the law is not obeyed by the population, and not even by the government itself. This kind of phenomenon is relatively common in Brazil, and is attributed to the approval of laws which are impractical due to social, cultural and/or economic reasons (SISCAR, 2012).

3.2 WEEE Management in the University of Caxias do Sul (UCS)

Until recently, all UCS’s bought EEE which required maintenance was sent to repair, and if it could not be repaired or was not worth being repaired, it was stored. Last year though, the institution changed its system in order to gain more control over its IT equipment. The flowchart in Figure 1 shows current WEEE management in UCS.

The University’s EEE management is divided into IT devices and other EEE. IT devices are sent to the Communication and Information Technology Management sector, where they evaluate the value of fixing it against buying a new one. If repair is evaluated as worthwhile, the equipment is repaired, and sent back to its sector. For safety reasons, prior to discard every computer has its hard drive destroyed.

Another common scenario is the equipment discard due to obsolescence. In this case, the IT equipment is sometimes relocated to another sector with lesser computational needs, generally the library, the hospital, some laboratory or in the classrooms (mostly for PowerPoint presentations).

Other electronic devices are sent to maintenance for repair. The main difference of these devices from the IT equipment is that computer and the like are fixed in the institution, while many other EEE are too complex for internal repair, and are then sent to an external company for repair. In addition, the relocation of non-IT equipment is unusual since those are generally discarded due to damage, rarely due to obsolescence. In both cases, IT and non-IT equipment, when repair is considered impossible or unfeasible, are stored as WEEE.

Until this date, the WEEE has been kept in a basement, but a new place is being designed. The main difficulty, however, comes from the lack of federal regulation. In Brazil, waste is classified into three categories according to the norm NBR 10.004/2004: I - Dangerous, IIA – Non-

dangerous and non-inert and IIB – Non-dangerous and inert. Since there are severe differences between these three management classes, especially in terms of transportation and storage, defining the class is peremptory. Unfortunately, the National Solid Waste Policy does not establish the waste class, and the responsible Technical Committees are still debating this issue. As a result, the institution cannot establish a long-term WEEE management, and has to wait for the upcoming changes in the national law.

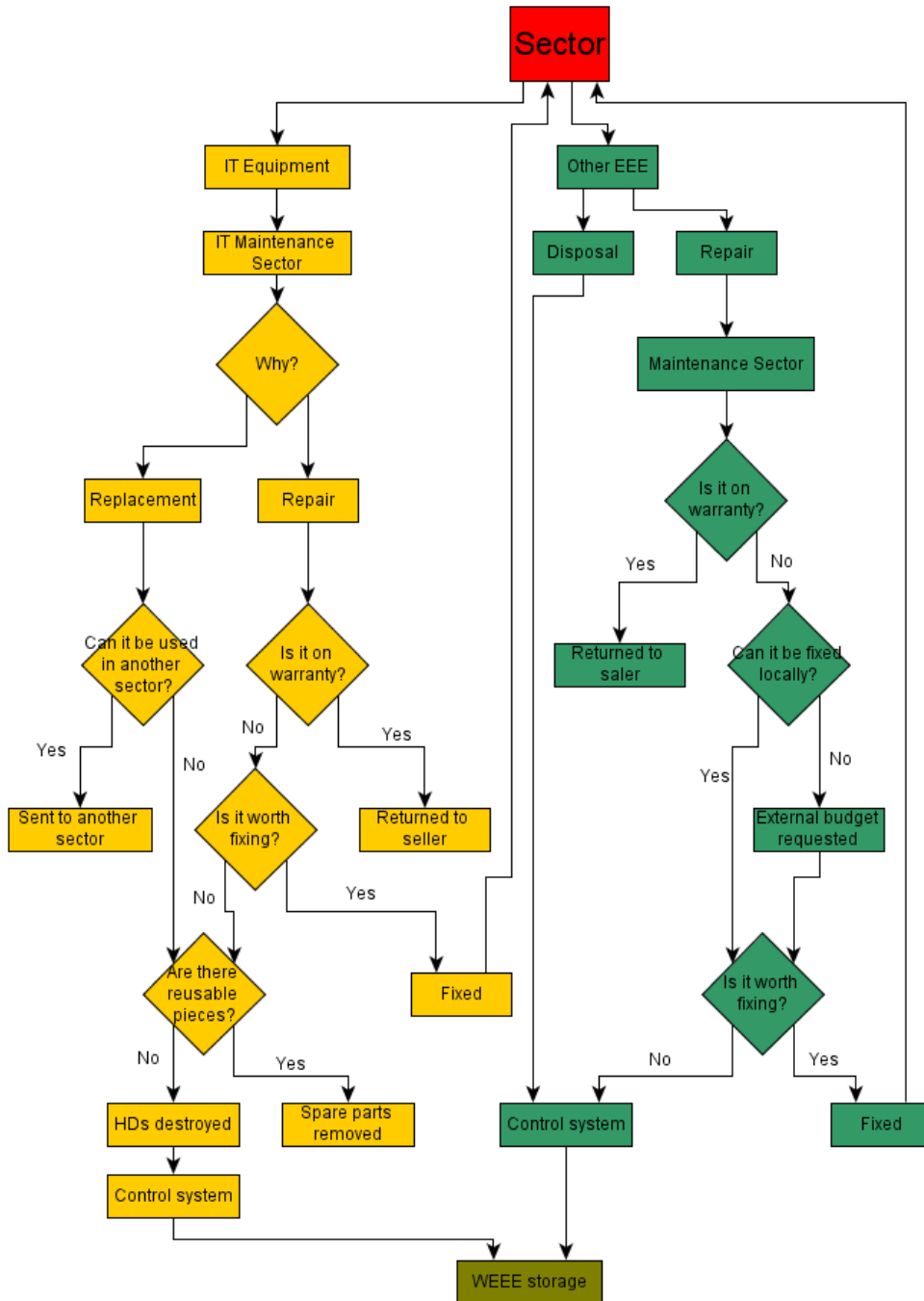


Figure 1:UCS WEEE management flowchart

3.2.1 WEEE Composition in Caxias do Sul University

Since the foundation of UCS in 1967, all WEEE generated has been stored for further destination, being periodically collected for recycling. In April 2013 happened the latest WEEE collection, performed by a private company responsible for components' sorting and route for recycling. This collection covered the WEEE generated from January 2012 to April 2013. Table 1 summarizes the results of this waste according to the EU Directive classification (European Parliament, 2012). The data was obtained through the university database.

Since the database only stored the amount of equipment stored, the mass was estimated with the help of maintenance and IT staff, and through known average mass values.

Table 1: WEEE collected in the UCS in April 2013.

<i>n</i>	<i>Category*</i>	<i>Itens</i>	<i>Mass</i>	
			<i>kg</i>	<i>%</i>
1	Large household appliances	30	514,5	7.26%
2	Small household appliances	11,759	265,3	3.74%
3	IT and telecommunications equipment	1,987	4,449,5	62.80%
4	Consumer equipment	279	1,349.3	19.05%
5	Lighting equipment	13	9,38	0.13%
6	Electrical and electronic tools	23	138,8	1.96%
7	Toys, leisure and sports equipment	0	0	0.00%
8	Medical devices	34	29,8	0.42%
9	Monitoring and control instruments	96	298,7	4.22%
10	Automatic dispensers	0	0	0.00%
-	Others	194	29,4	0.42%
Total		14,415	7,084.8	100

*According to the Directive 2012/19/EU of the European Parliament

As observed, and confirmed by staff reports, IT and telecommunications equipment represent the majority of WEEE generated by the university (62.8%). This is due to the high amount of computers used in the institution, not only in IT laboratories, but also in secretary offices, research institutes, and some classrooms. In fact, CRT Monitors are responsible for 34.58% of the total WEEE, and CPUs for 12.63%.

Also, it is known that laboratory and medical equipment is generally stored, even when newer equipment arrives. This tends to happen since they are usually bought through specific governmental research funds, so old equipment tends to be stored as a backup, since the lack of funds for maintenance and repair is common.

Another main category is Consumer Equipment (18.9%), mostly due to televisions and multimedia projectors, which used in the classrooms. This class also includes overhead projectors, which, together with CRT monitors, are the two most common pieces of equipment that are no longer purchased, meaning that they will likely have a drastic reduction in the WEEE proportion in the next few years.

Devices like fridges, microwave ovens and drinking fountains make up for the third largest class, Large Household Appliances (7.3%). Those are different from the two other classes since this equipment is used in support areas and laboratories, not directly by the students and

professors. The same can be said about Small Household Appliances (3.7%), composed mostly by typewriting machines and heaters.

Monitoring and Control Instruments and Medical Devices are two special classes. Although they represent only 4.6% of the generated WEEE, they consist of very distinct equipment generated in laboratories. This equipment is different from those generated in the domestic waste, meaning that they are harder to recycle. As a result, they might not be properly recycled in conventional facilities.

Under Monitoring and Control Instruments, the most common wastes are: microscopes, muffle, vacuum pump, distillator and heating mantle. The most significant ones, the microscopes, represent 61.9% of all the Monitoring and Control Instruments mass. This is due to its use in health and biology classes, resulting in a disproportional amount of WEEE when compared with other Monitoring and Control Instruments. Also, as reported earlier, equipment used directly by laboratories tend to be used for longer periods of time and, then, stored, meaning that these are not accounted for in this evaluation.

A similar phenomenon happens with Medical Devices (0.42%), which include sphygmomanometers, chirurgic vacuum, electrocautery, and coagulator. The small amount of devices in this category is due to WEEE from General Hospital being stored in another deposit, so this equipment refers only to that used in health classes and laboratories.

A small number of emergency lighting equipment was also found and represents most of the Lighting Equipment Class. The Other class refers to stored equipment that is not WEEE, like batteries, toner cartridges, and plastic/metal parts.

3.3 WEEE Management in the UCS General Hospital – preliminary results

In legal terms, the UCS General Hospital distinguishes itself from the rest of the institution because the university is responsible only for its management, whereas the resources and the infrastructure are public property. This results in serious difficulties in equipment discard/sale due to legal reasons.

That way, the EEE can be classified according to its ownership: State, UCS or GH itself. The State's EEE represents most of biomedical equipment and the hardest one to discard. As seen in Figure 1, some old computers are relocated to different sectors, including the GH. Most computers used by the GH are borrowed from UCS, and so return to it when no longer used. Because both institutions belong to the Foundation FUCS, this is a relatively simple process. Lastly, a small number of EEE is purchased with own capital, being those the only EEE which can be effectively discarded without a third party approval.

A collateral effect of this process is also the extensive equipment use. Just as seen with Monitoring and Control equipment in the UCS, the EEE in the GH is hardly discarded, but the main difference is that repair is a more common practice here, with discard only occurring when fixing is no longer a viable option. Also, since the hospital started operating in 1998, and most medical equipment has a life cycle of about 20-25 years, few medical devices have been discarded until now, although some of them are relevant, like an autoclave.

In general, preliminary information indicates that most waste is composed by IT equipment, just as seen in the university WEEE. A quantitative analysis is under development to confirm this information.

4. CONCLUSIONS

The analysis demonstrated that the university WEEE is composed mostly by IT equipment, followed by other similar EEE like television sets. There is, however, a significant portion composed by Monitoring and Control instruments and Medical devices. This is important due to their particular composition, since they differ from traditional WEEE, particularly because they are sensors.

The hospital's WEEE suffers from a similar fate. Preliminary analysis indicates a majority of IT equipment as WEEE, although medical devices require especial attention due to some components. In addition, WEEE discard in GH is legally complex since the EEE belongs to the State, being the UCS responsible only for the management of EEE, not owning it.

It is important to highlight that the WEEE generation is highly affected by products' life cycle. Although the technological evolution has brought amazing advances to society, it has also led to an increase of WEEE generated. That way, much of WEEE generated nowadays results not from malfunction but from technologic obsolescence. This is a particular feature of WEEE, and both UCS and GH will have to account for this aspect.

Lastly, both institutions are hampered by the WEEE law indefiniteness. Until technical committees elaborate the upcoming WEEE law, little can be done to improve WEEE management in both institutions. That way, a new system evaluation will be developed after that, and aiming to identifying the gaps in the current one.

AKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the University of Caxias do Sul.

REFERENCES

- ABNT - Technical Standards Brazilian Association (2004). Resíduos sólidos: classificação. 2.ed. Rio de Janeiro: ABNT.
- BRAZIL, Senate (2010). Law N°. 12.305, from August 2010. Establish the Solid Waste National Politic. Brasília: Senate Graphic. p. 18.
- EUROPEAN Parliament and of the Council (2012). Directive 2012/19/EU. Official Journal of the European Union. Vol. 55. Available at: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:FULL:EN:PDF>>
- FEAM - Minas Gerais State Environmental Foundation (2009). Diagnóstico da Geração Resíduos Eletroeletrônicos Estado de Minas Gerais Belo Horizonte. Belo Horizonte. Available at: <http://ewasteguide.info/files/Rocha_2009_pt.pdf>. Access in: 14 Aug. 2012.
- KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste management (New York, N.Y.)*. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.006
- MAZON, M. T.; DE AZEVEDO, A. M. M.; PEREIRA, N. M.; SILVEIRA, M. A. (2012). Does Environmental Regulation Foster the Diffusion of Collaborative Innovations? A Study on Electronics Waste Regulation on Brazil. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 52, 259–268. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.463
- SISCAR, C. P (2012). Pressupostos filosóficos para uma Antropologia jurídica. *Revista Jurídica*. V. 3. n. 1. Available at: <<http://www.faculdadebatista.com.br/SEER/ojs-2.3.5/index.php/Dir/article/view/122/107>>.

- UNIVERSIDADE de Caxias do Sul (2013). A Universidade Hoje. Available at: <http://www.ucs.br/site/institucional/a-ucs-hoje/>. Access in: 07 March 2013.
- WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BÖNI, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 436–458. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.001