



Guia de Desmontagem

Resíduos de Equipamentos
Eletroeletrônicos

Xavier, Lúcia Helena

Guia de desmontagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos / Lúcia Helena Xavier (org.).

_ Rio de Janeiro: CETEM / MCTIC, 2020.

42p.

1. Reciclagem. 2. Resíduos eletroeletrônicos.

I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título

1. Reciclagem (PE). I. Título

Como referenciar este trabalho:

XAVIER, L.H., OTTONI, M. S.O., GOMES, C. F., ARAUJO, R.A., BICOV, N., NOGUEIRA, M., ESPINOSA, D., TENÓRIO, J. *Guia de desmontagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos*. Rio de Janeiro: CETEM, 2020.

Equipe Técnica:

R3MINARE / CETEM

Lúcia Helena Xavier

Marianna Ottoni

Raíssa Araujo

Carlos Francisco Gomes

STI / USP

Marcos Nogueira

Neuci Bicov

LAREX/USP

Denise Espinosa

Jorge Tenório

Colaboradores:

Vertas

Instituto GEA

1

Apresentação

2

Resíduos Eletroeletrônicos e Sistemas de Logística Reversa

3

A Desmontagem dos Resíduos Eletroeletrônico

4

Considerações Finais

5

Equipe Técnica

6

Referências Bibliográficas

1

Apresentação

A gestão dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) representa um desafio aos gestores e tomadores de decisão. Isso se deve ao fato de serem resíduos que podem ser caracterizados como perigosos, em decorrência de sua composição com substâncias prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Por outro lado, tais resíduos contêm elementos com alto valor de mercado e difícil prospecção, como o ouro, prata, platina, entre outros, o que justifica, dessa forma, uma gestão especial dos REEE por meio de práticas estratégicas de destinação ambientalmente adequada com a recuperação de valor através da mineração urbana.

As técnicas de desmontagem manual não-destrutivas dos resíduos eletroeletrônicos são consideradas opções mais minuciosas e eficazes para a recuperação de valor dos resíduos, pois baseiam-se na segregação visual e na experiência do trabalhador. De forma a garantir o máximo grau de recuperação de valor possível dos REEE, as técnicas não-destrutivas de desmontagem configuram-se como as mais adequadas, de maneira a evitarem a mistura de materiais, potencializando a recuperação de materiais e contribuindo para a inclusão social preconizada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Por outro lado, a destruição desses resíduos a partir de técnicas destrutivas viria a gerar uma mistura de componentes e aumentar o grau de dificuldade de separação daqueles valiosos dos demais elementos com baixo valor de mercado na indústria.

Assim, o presente guia visa orientar empresas, cooperativas e associações de catadores, profissionais de educação ambiental, entre outros, quanto aos procedimentos básicos e adequados da desmontagem manual dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, abordando, em especial, os equipamentos de tecnologia da informação (TI) e de telecomunicações. Para tal, este manual foi dividido em seis partes:

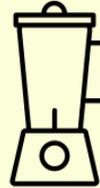
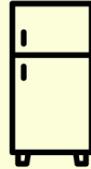
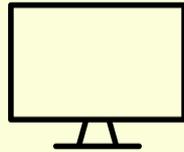
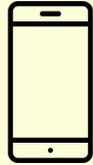
- i)** Apresentação do guia, com suas justificativas e objetivos;
- ii)** Abordagem teórica com conceitos básicos referentes aos REEE, bem como a regulamentação desses resíduos no Brasil;
- iii)** Procedimentos gerais de desmontagem dos REEE, apontando para os casos particulares dos resíduos de TI e telecomunicações, apresentação de técnicas para recuperação de matéria-prima secundária;
- iv)** Considerações finais, trazendo os desafios do segmento dos REEE no Brasil, além das contribuições deste guia e os próximos passos;
- v)** Apresentação da equipe técnica responsável pela elaboração deste guia, e
- vi)** Referências bibliográficas

2

Resíduos Eletroeletrônicos e Sistemas de Logística Reversa

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) são aqueles resultantes do consumo de produtos que demandam energia (corrente elétrica ou acumuladores – pilhas e baterias) para o seu funcionamento.



Em decorrência de suas particularidades, como sua composição multimaterial e de substâncias tanto nocivas quanto valiosas ao mercado, tal tipologia de resíduos é considerada especial, demandando um gerenciamento diferenciado.

Apesar da variedade de componentes, os REEE, em geral, são constituídos principalmente por metais ferrosos, alumínio, cobre e plásticos, e, em quantidades menores, porém não menos impactantes, por metais pesados (ARDI, 2016), substâncias altamente danosas à saúde humana e ao meio ambiente, quando descartados de forma inadequada.

Os equipamentos eletroeletrônicos possuem, ainda, elementos de alto valor agregado, como o ouro, a prata, o paládio, os chamados metais preciosos. Além desses, os REEE possuem na sua composição metais de menor valor agregado, como por exemplo: cobre, alumínio, etc; Além de metais com potencial de risco ambiental como: cromo, cádmio, mercúrio e chumbo.

Dessa forma, entende-se que a gestão dos REEE não somente é necessária de maneira a evitar contaminações e impactos ambientais, mas também como uma estratégia de recuperação desses elementos valiosos novamente à cadeia produtiva. Os metais preciosos correspondem a 80% do valor intrínseco do equipamento, entretanto não chegam a 1% do peso total (ABRACI, 2010 apud DE MORAES et al, 2014). A ideia de uso dos REEE como novas fontes para extração de minerais estratégicos, como ouro e prata, ganhou força no mercado produtivo nos últimos anos, e passou a ser denominada Mineração Urbana, uma forma mais sustentável de extrair matéria-prima. Conceitualmente, a mineração urbana é a recirculação ou reciclagem de produtos e materiais pós-consumo na forma de matéria-prima secundária, como forma de se minimizar os impactos ambientais, valorizar os resíduos, e criar e otimizar os benefícios econômicos em prol de um ambiente sustentável (XAVIER & LINS, 2018).

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Uma proposta de classificação dos REEE, adaptada de Xavier et al (2017), considera oito categorias:



Tal proposta de classificação de REEE considera as pilhas, baterias e as lâmpadas, além de destacar alguns componentes interessantes aos mercados do condicionamento, remanufatura, recuperação e reciclagem, como fios e cabos, muito valiosos pela significativa presença do cobre em sua composição. Os painéis fotovoltaicos também devem ser inseridos nessa categorização em breve, a partir do aumento do descarte desses produtos pós-consumo.

Lei de Crimes Ambientais n° 9.605/1998

Política Nacional de Resíduos Sólidos n° 12.305/10

Decreto n° 7.404/10 - Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos

Decreto n° 9.177/2017 - Regulamenta art. 33 da Lei n°12.305/10 e altera Decreto n° 9177/2017

Decreto n° 9.373/2018 - Bens móveis no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional

Acordo Setorial de Logística Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos

Decreto N° 10.240/2020 - Regulamenta a implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico

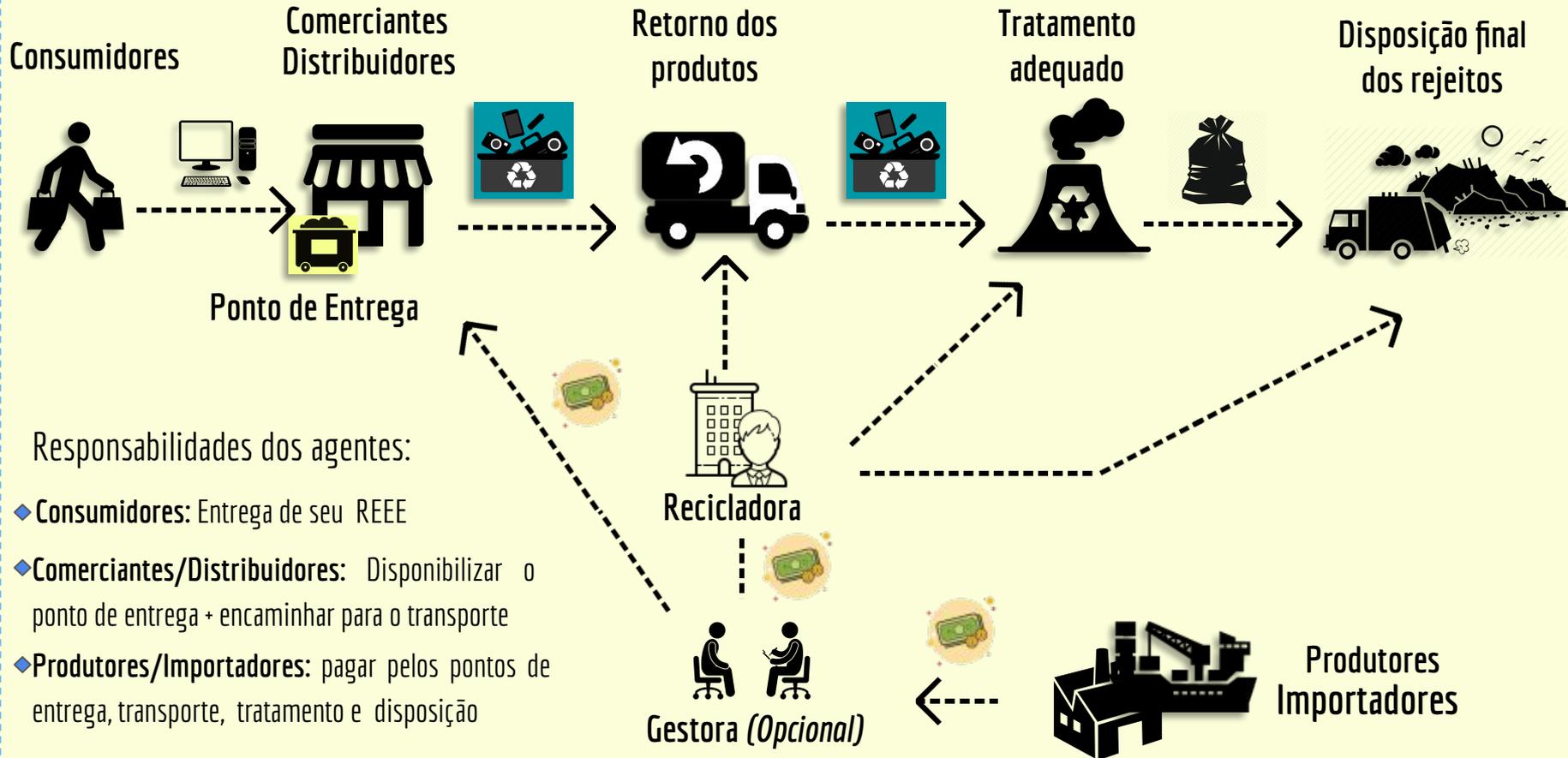
A partir do conceito de [responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida](#) estabelecido pela [PNRS](#), entende-se que, na logística reversa, cada agente possui responsabilidades específicas. Em linhas gerais, os consumidores são responsáveis por destinar os resíduos de forma adequada, segregando as categorias e dispendo em local adequado ou devolvendo ao comerciante; enquanto comerciantes, distribuidores, indústrias produtoras e importadores (cadeia direta) são responsáveis efetivamente pela implementação dos sistemas de logística reversa (SLR) ([Xavier et al., 2013](#)).

Os SLR consistem em modelos estruturados para cada classe de materiais e produtos pós-consumo, com vistas a possibilitar a coleta, acondicionamento, transporte, processamento e destinação ambientalmente adequados, como as opções de reuso, reparo, recondicionamento, remanufatura, manufatura reversa e reciclagem (Xavier et al., 2017).

Prolongar a vida útil de produtos é a primeira alternativa a se considerar segundo o conceito de [Economia Circular](#) (URBINATI et al, 2017). As demais alternativas, inclusive a reciclagem, consistem em técnicas que exigem maior ou menor grau de desmontagem dos produtos com vistas ao reaproveitamento de peças, partes e componentes. A reciclagem, por sua vez, exige a desmontagem ou destruição dos produtos com o objetivo de reaproveitamento de materiais por meio de técnicas de mineração urbana - um conceito que vem ganhando força a partir da última década.

Após o descarte, na logística primária, o transporte é feito com o produto íntegro. No entanto, para as etapas subsequentes, a desmontagem contribui para a eficiência logística e otimização de rotas para a destinação, na logística secundária.

O Sistema de Logística Reversa - PNRS



Responsabilidades dos agentes:

- ◆ **Consumidores:** Entrega de seu REEE
- ◆ **Comerciantes/Distribuidores:** Disponibilizar o ponto de entrega + encaminhar para o transporte
- ◆ **Produtores/Importadores:** pagar pelos pontos de entrega, transporte, tratamento e disposição

Procedimentos Logísticos

Recebimento



Armazenamento



Segregação de materiais



Venda



Segregação de Equipamentos



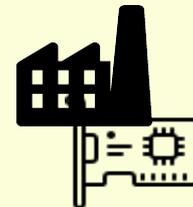
DESMONTAGEM



Armazenamento



Destinação final



Trituração



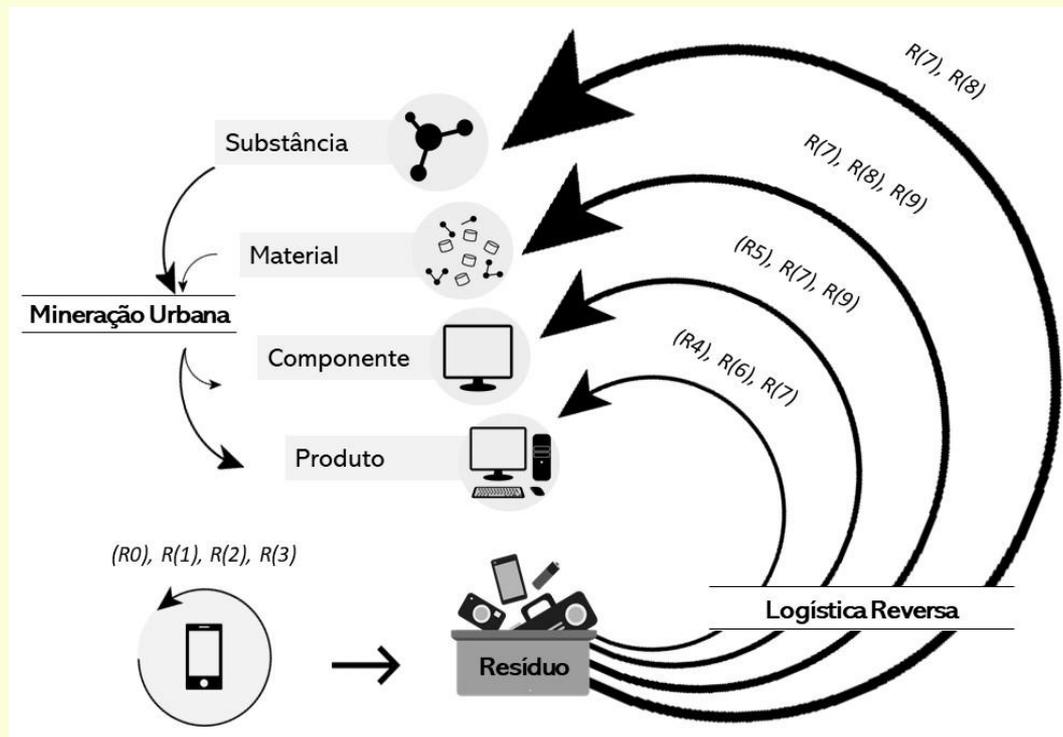
Segregação de materiais



Destinação final

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

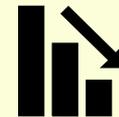
16



FONTE: OTTONI ET AL., 2020



R0: RECUSAR



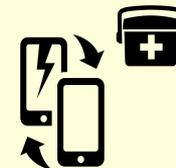
R1: REDUZIR



R2: REUTILIZAR



R3: REPARAR



R4: RECONDICIONAR



R5: REMANUFATURAR



R6: REPROPOR



R7: RECICLAR



R8: RECUPERAR
(ENERGIA)



R9: REMINAR

16

3

A Desmontagem dos Resíduos Eletroeletrônicos

Por que desmontar o REEE?

Em decorrência da composição heterogênea (multimaterial) de cada REEE, entende-se o potencial de agregação de valor aos separar as diferentes partes desses resíduos. A desmontagem é pensada para separar as partes com possibilidade de aproveitamento, com o intuito da comercialização, além de facilitar a destinação correta de cada tipologia de material para um futuro reaproveitamento/reciclagem.

Tipos de desmontagem

A desmontagem com a finalidade de compactação de carga e destinação ambientalmente adequada podem ser:

- a) *Destrutiva*: sem considerar a preservação de peças e componentes, ou necessidade de segregação de materiais;
- b) *Não-destrutiva*: considera procedimento inverso da montagem visando preservar materiais e componentes.

Custo da desmontagem

É difícil estimar o custo da desmontagem de um equipamento em razão dos diferentes materiais. Além disso, para a composição do custo, deve-se considerar o transporte do produto pós-consumo, a mão-de-obra e armazenagem.

Regulamentação da desmontagem

Não há uma regulamentação específica sobre a desmontagem de REEE. No entanto, as normas de segurança do trabalho devem ser observadas, bem como as sanções decorrentes da logística inadequada ao longo da destinação ([Lei de Crimes Ambientais – Artigo nº 56](#)).

Como descartar os REEE?

Conforme o [Acordo Setorial](#), os equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo devem ser descartados pelo consumidor sempre desligados e sem os dados pessoais. No caso de pilhas, baterias e lâmpadas, descartar separadamente.

Em caso de contratação do serviço de destinação, pode-se haver conjuntamente o serviço de destruição de dados ou acordo de restrição da utilização do REEE.

4.1. Critérios para a desmontagem não-destrutiva

A metodologia de desmontagem não-destrutiva de REEE adotada pelo CETEM utilizou-se de alguns critérios:

- **Categoria do REEE**
- **Ambiente de desmontagem**
- **Ferramentas**
- **Condições para o trabalhador**

4.1.1. Categoria do REEE

Os produtos pós-consumo devem ser segregados por categorias, visando a otimização do processo de desmontagem, visto que cada categoria, por conta de suas particularidades, demanda métodos e ferramentas diferenciados.

Assim, em decorrência do maior valor agregado e maior disponibilidade no mercado, as categorias consideradas neste guia são referentes às tipologias de:

- **Monitores (CRT e LCD)**
- **Informática e Telecomunicações (gabinetes e impressoras)**
- **Fios e Cabos**

4.1.2. Ambiente de Desmontagem

Certos critérios capazes de conferir segurança ao trabalhador e melhorar sua performance devem ser considerados durante a preparação do local de desmontagem. O ambiente de desmontagem deve ser fechado por conta de intempéries e deve contar com a avaliação dos seguintes parâmetros:

- **Iluminação adequada**
- **Ventilação apropriada**
- **Mesa alongada para desmontagem (coberta com folhas de EVA ou outros isolantes)**

Assim, é preciso que se tenha um ambiente arejado, visto que algumas partes dos equipamentos ao serem desmontadas e/ou danificadas/quebradas podem vir a liberar gases tóxicos ou maus odores, além da necessidade de uma boa iluminação, pois algumas peças apresentam tamanhos muito reduzidos, bem como cores escurecidas, as quais na ausência de uma claridade adequada são capazes de comprometer o produto final da desmontagem.

A estocagem dos materiais pré-desmontagem deve ser feita com certos cuidados, visando evitar a mistura de materiais com potencial tóxico, contato com água, quebra de equipamento delicados e risco de queda. Caso o equipamento venha com pilhas é necessário a retirada prévia.

4.1.3. Ferramentas

Cada tipo de equipamento demanda certas ferramentas para o seu desmonte. Assim, as ferramentas sugeridas para o procedimento de desmontagem de REEE são as seguintes:



- Chaves de fenda de tamanhos variados (parafusos)
- Alicates universal (corte de fios e cabos)
- Chaves philips
- Estilete
- Balança

4.1.4. Segurança do trabalhador

Para que o trabalho seja executado sob condições de segurança, é necessário que o operador se utilize dos equipamentos de proteção (EPIs) necessários.



Neste caso, é recomendada a presença de óculos de proteção e de um par luvas.

- **Uso de EPI (Luvas antiderrapantes, óculos de proteção, máscara descartável)**
- **Calça comprida**
- **Sapatos fechados**

Para a desmontagem dos REEE, deve-se estabelecer a disposição do espaço para a recepção e acondicionamento dos produtos pós-consumo, acomodação das estações de trabalho (*workstations*) e ferramentas, além de um espaço próprio para a alocação dos diferentes materiais obtidos durante a desmontagem.

Os produtos pós-consumo devem ser acomodados por categorias, de modo a otimizar o processo de desmontagem. Equipamentos similares requerem as mesmas ferramentas e mesmos procedimentos.

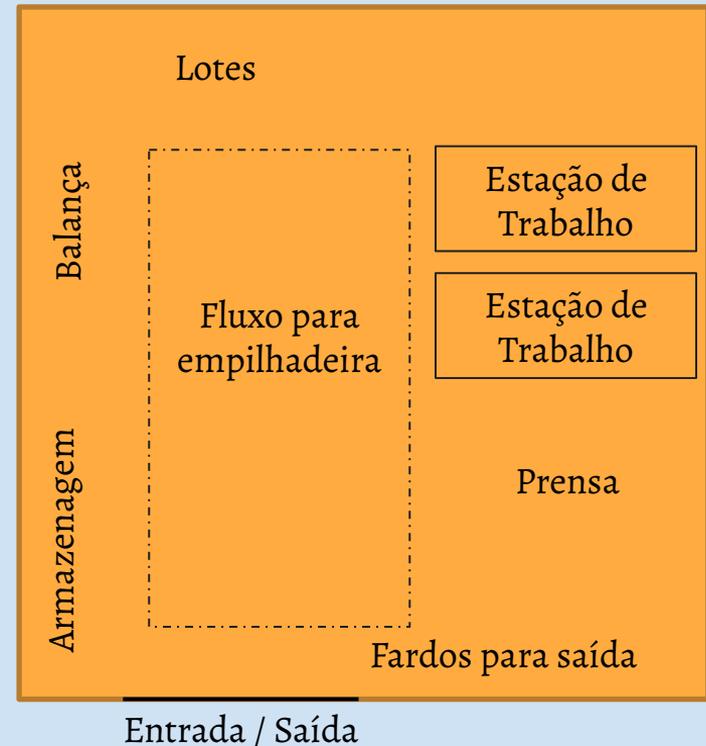
Para a montagem da estação de trabalho, deve-se disponibilizar as ferramentas conforme as categorias de produtos a serem desmontados.

Importante observar que as áreas devem ser sempre cobertas, com piso impermeabilizado e ventilação.

Para a desmontagem, devem ser considerados inicialmente os seguintes parâmetros:

- Disposição do espaço
- Disposição dos produtos pós-consumo
- Montagem da estação de trabalho
- Movimentação de pessoas, equipamentos e materiais

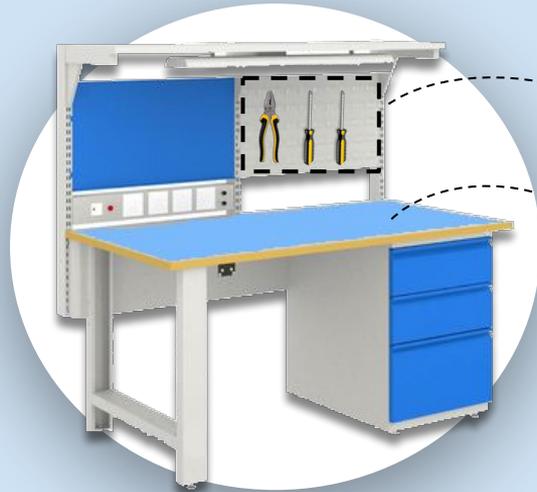
Sugestão de layout para ambiente de desmontagem de REEE.



Preparação da Workstation de Desmontagem

A workstation de desmontagem deve contar com uma mesa de comprimento alongado, recoberta por finas placas de EVA (Espuma vinílica acetinada) justapostas, coladas sobre o tampo da mesa por meio de uma fita dupla face e utilizadas com a finalidade de evitar a origem de danos na superfície e proteção de eventuais cargas eletrostáticas. A workstation deve ter uma altura adequada ao trabalhador a fim de evitar problemas de postura a longo prazo.

Esquema da Workstation de Desmontagem



REEE

Ferramentas

Bancada coberta
com EVA



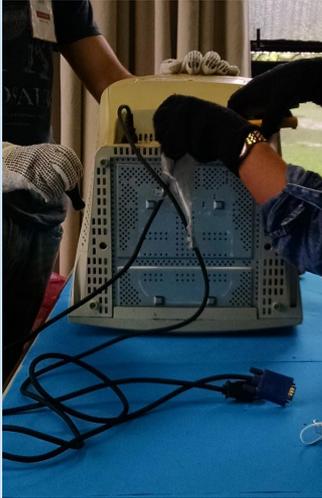
O processo de desmontagem

Os equipamentos devem ser dispostos e separados em grupos segundo sua classificação (eletrodomésticos, eletroeletrônicos, TI, monitores), a fim de facilitar o trabalho do operador durante a desmontagem, e garantir um grau de recuperação de valor máximo.

Os equipamentos devem ser segregados com auxílio das ferramentas, para a obtenção de grupos de materiais (plástico, metal, vidro, borracha) e componentes (fios e cabos, placas de circuito impresso, fonte, YOKE) que tenham valor de mercado. Assim, ao desmontar os equipamentos, os materiais e componentes são pesados separadamente.

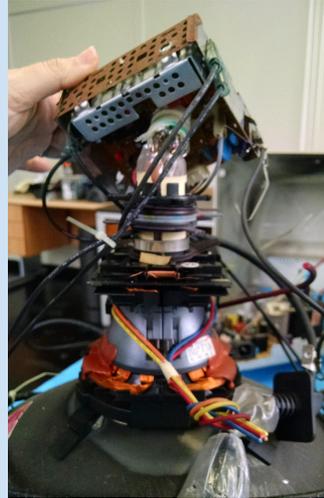
O grau de separação dos materiais/componentes requer o conhecimento das necessidades do comprador. Por exemplo, alguns compradores dos materiais ou componentes podem exigir um grau maior ou menor de segregação em função das destinações pretendidas, evitando assim perda de tempo de trabalho.

Desmontagem de Monitores CRT

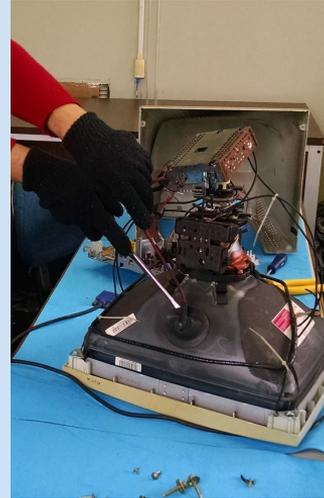


Iniciar o procedimento com a retirada dos cabos e da base.

Não quebre o vidro da tela.



É importante se atentar para a quebra da lâmpada durante a separação das partes.



Com o auxílio de uma chave de fenda retire a proteção de borracha para a perda do vácuo.

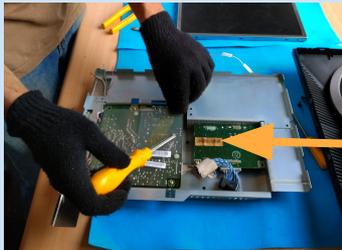
Cuidado para não perfurar o tubo CRT atrás da tela.



As partes principais são as placas, fios, carcaça plástica, metais, yoke (cobre) e a tela junto ao tubo CRT.

A tela com o tubo deve ser destinada como resíduo perigoso.

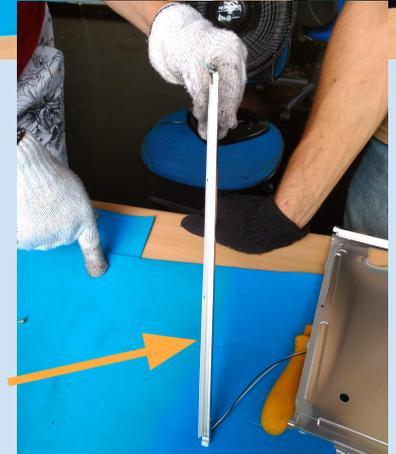
Desmontagem de Monitores LCD



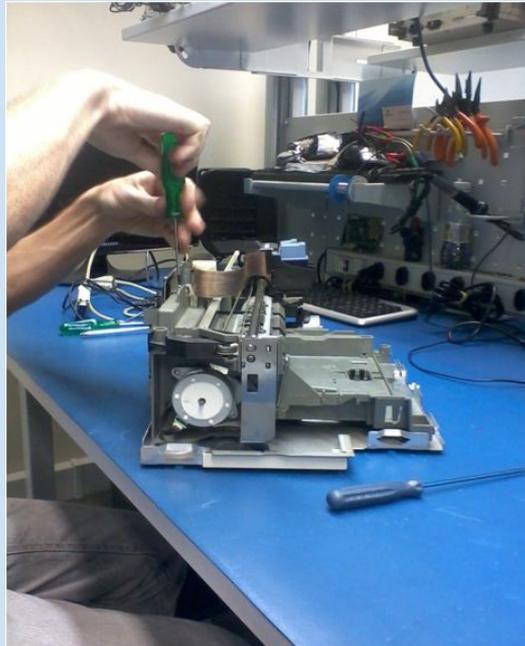
Placa de
circuito
impresso e
processador



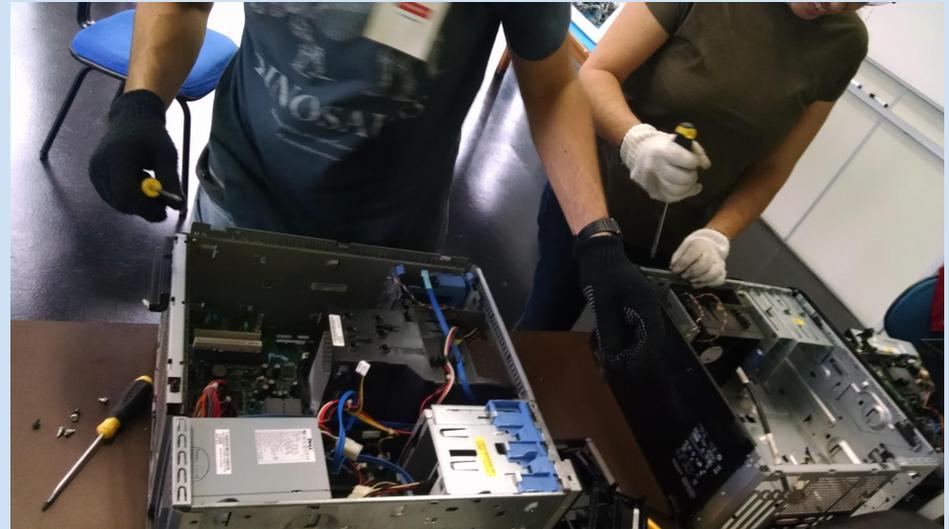
Lâmpada



Desmontagem de Impressoras



Desmontagem de Gabinetes



Em equipamentos onde há armazenamento de dados pessoais como desktop, celulares, pen drives, HD externo, terminais de processamento de dados de cartões de crédito (“maquininha de cartão”), notebooks, laptops, tablets, Ipods, Kindle, entre outros, pode ser necessária a destruição das peças responsáveis pelo armazenamento de dados, como por exemplo HD, cartão de memória e memórias.

Este procedimento se faz de extrema importância para a proteção de dados pessoais e profissionais dos usuários, podendo evitar acesso e uso indevido das informações.



Útil para negociar valores de compra de materiais, lucro obtido e tempo necessário com a desmontagem, a utilização de planilhas de controle para realizar orçamentos e calcular o tempo a ser reservado para um lote de equipamentos é essencial para as finanças de uma organização do segmento.

Para isto, é necessário saber a composição de cada equipamento (plástico, metal, vidro, etc), se há comprador para cada material ou causará custo com a destinação, valor de venda/custo de cada material (sempre atualizados), além de uma estimativa de tempo necessário para a desmontagem com base em práticas reais.

Modelo de Planilha



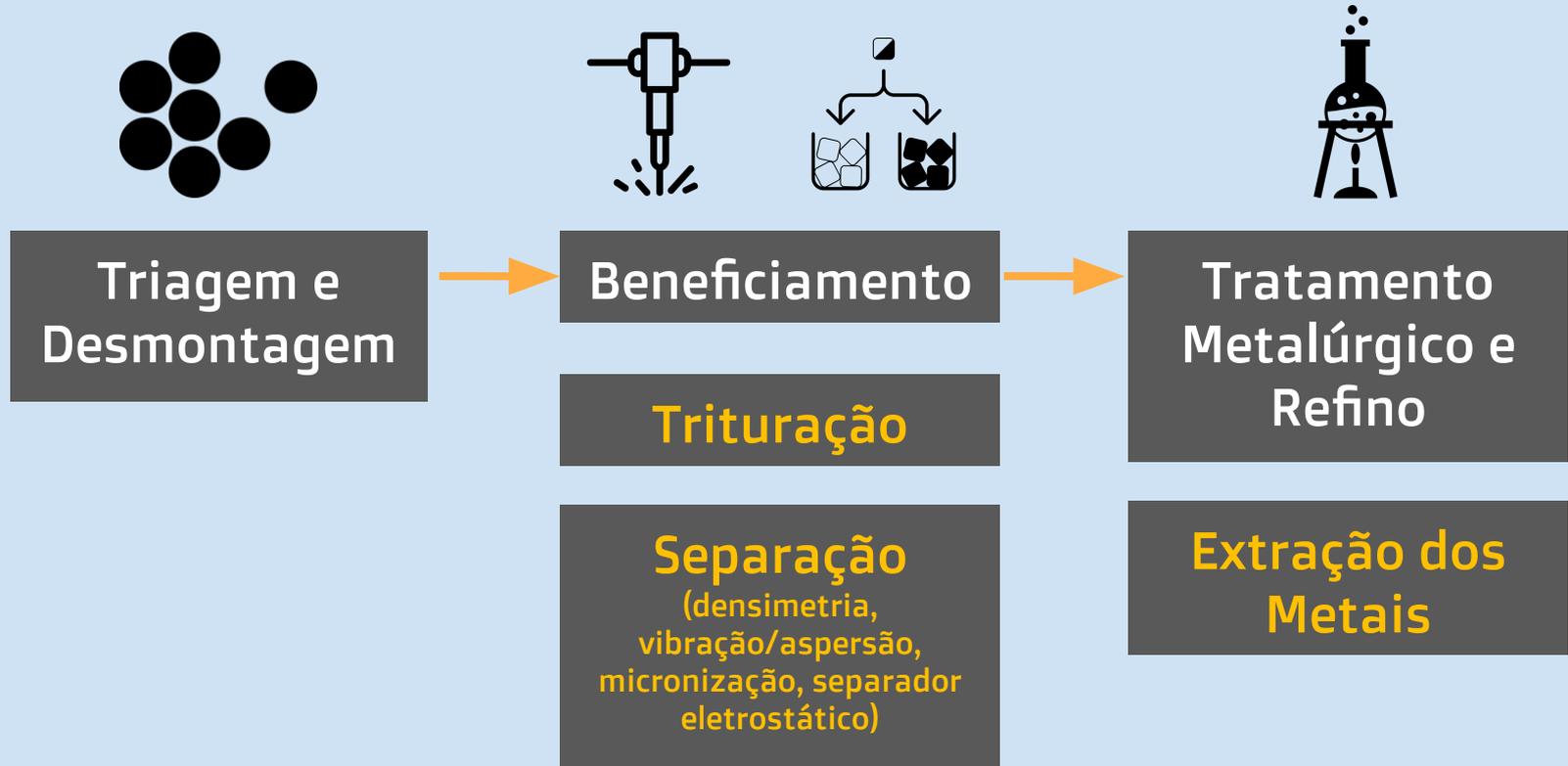
As etapas pós-desmontagem objetivam a recuperação do valor contido nos resíduos.

No caso dos REEE, tais materiais passam pela desmontagem, seguida pelo beneficiamento, e, por fim, pelo refino.

A questão da estocagem dos materiais pós-desmontagem é crucial para a garantia da qualidade de tais equipamentos, evitando que esses materiais sejam danificados antes de seu processamento.

No beneficiamento, os materiais são processados por trituração e separação, podendo esta ser magnética, por densidade, por cargas elétricas, etc. Esta etapa tem por finalidade segregar o produto final da desmontagem, concentrando as substâncias de interesse. Desse modo, tem grande importância na viabilidade econômica do processo de tratamento dos REEEs.

Após o beneficiamento, os materiais resultantes passam pela etapa de refino, responsável pela extração propriamente dita dos metais e polímeros de interesse.



4

Considerações Finais

Em comparação com as opções destrutivas, como a moagem, o desmonte manual de REEE, apesar de requerer um maior tempo de processamento, agrega consideravelmente mais valor aos resíduos, pois evita a mistura de materiais diferentes por facilitar o seu tratamento.

Entretanto, todas as técnicas de desmontagem requerem que um volume considerável e contínuo de REEE cheguem para processamento ao fim de sua vida útil por meio dos sistemas de logística reversa.



**Lúcia Helena
Xavier**

Pesquisadora Titular
CETEM



**Marianna
Ottoni**

Gerente de Projetos
R3MINARE



**Raíssa André
de Araujo**

Bolsista PIBIC
CETEM



**Carlos Francisco
Gomes**

Estagiário CETEM

5

Equipe Técnica - USP



**Marcos
Nogueira**

Técnico em
Manutenção
Eletrônica STI-USP



**Neuci
Bicov**

Consultora técnica
na área de meio
ambiente e resíduos



**Denise
Espinosa**

Professora
Associada da USP



**Jorge
Tenório**

Professor Titular da
USP

ARDI, R. Waste Electrical And Electronic Equipment Waste Electrical And Electronic Equipment (Weee) Management Systems (Weee) Management Systems In The Developed And The Developing Countries: In The Developed And The Developing Countries: A Comparative Structural A Comparative Structural Structural Study. Tese de Doutorado, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering and Process Engineering, Universität Duisburg-Essen. Alemanha, 2016.

XAVIER, L. H. e LINS, F. A. F. (2018): Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. *Brasil Mineral*, v. 379, p. 22-26

XAVIER, Lúcia Helena; CORRÊA, Henrique Luiz. *Sistemas de Logística Reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis*. São Paulo: Atlas, 2013.

Xavier, L.H., Lins, F.A.F., Nascimento, H.F.F., Bellan, I. O., Ribeiro, F., Caldas, M.B., Silva, L.O.S., Zomer, B., Araujo, R.A., Filho, O.O.D., Reinol, P.C., Fagundes, R.L., Gusmão, A.C.F., (2017). Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Cetem.

Urbinati A., Chiaroni D, & Chiesa V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models, *Journal of Cleaner Production*, 168, 487-498. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.047>.

Otoni, M.S.O., Dias, P., Xavier, L.H., 2020. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. Approved to be published in *Journal of Cleaner Production*.



CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

UNIDADE DE PESQUISA VINCULADA AO
MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

USP



INSTITUTO
GEA



Gerenciamento e Transformação
de Resíduos Tecnológicos

SITE: www.cetem.gov.br/reminare
E-MAIL: r3minare@cetem.gov.br
TEL: +55 21 3865-7336