



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DIRCT / GEREP / DECEN / COEME

ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA

PROJETO FINAL DE CURSO II

Marcus Vinicius Onuma Sakurai

**MODELO TÉCNICO E ECONÔMICO DE
REAPROVEITAMENTO DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO**

Proposta apresentada à disciplina de Projeto de Final de Curso II, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof.^a Cassia Maria Lie Ugaya, Dr.^a

CURITIBA

OUTUBRO - 2012

MARCUS VINICIUS ONUMA SAKURAI

MODELO TÉCNICO E ECONÔMICO DE REAPROVEITAMENTO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Monografia apresentada à disciplina Projeto Final II, do Curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial para aprovação.

Orientadora: Prof.^a Cassia Maria Lie Ugaya, Dr.^a

CURITIBA

2012

RESUMO

Em razão do desenvolvimento acelerado de novos produtos e tecnologias e da obsolescência programada dos bens de consumo, os produtos eletrônicos são descartados cada vez mais precocemente, o que gera a problemática da destinação adequada dos mesmos. Parte considerável de toda a sucata eletrônica é composta de placas de circuito impresso (PCI), que são, em grande parte, compostas de materiais economicamente atrativos, mas que são de difícil descarte por geralmente apresentarem materiais tóxicos e composição heterogênea. Eis que se deve considerar a hipótese de reciclagem das placas mencionadas. O presente trabalho preocupa-se em abordar os processos e técnicas de reciclagem, tais quais: mecânico, pirometalúrgico, hidrometalúrgico, biometalúrgico e eletrometalúrgico. Por fim, apresenta um modelo de viabilidade econômica que poderá ser empregado a uma técnica específica de reciclagem.

Palavras-chave: reaproveitamento, reciclagem, placas de circuito impresso, eletrônicos, meio ambiente, resíduo

ABSTRACT

Due to the accelerated development of new products and technologies and the planned obsolescence of consumer goods, electronic products are discarded increasingly earlier than expected, which creates the problem of proper disposal of the scrap. A considerable part of the whole electronic scrap is composed of printed circuit boards, which are largely composed of materials economically attractive, but that are difficult to discard because of the presence of toxic materials and heterogeneous composition. That is why the recycling of the printed circuit boards should be considered. This paper aims to present the processes and recycling techniques such as: mechanical, pyrometallurgical, hydrometallurgical, biometallurgical and electrometallurgical. Finally, it presents a general model for evaluating the economic performance of printed circuit board recycling technic.

Keywords: reuse, recycling, printed circuit board, electronics, environment, waste, electronic scrap

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de placa de circuito impresso	16
Figura 2 – Exemplificação de PCI multi-layer.....	17
Figura 3 – Esquema de algumas possibilidades de reciclagem de PCI	21
Figura 4 – Esquema genérico de modelo econômico e ambiental.....	36
Figura 5 – Exemplo de planta de reciclagem de PCI com processamento mecânico	43
Figura 6 – Exemplo de máquina de cominuição.....	43
Figura 7 – Exemplo de máquina de separação por corrente de Foucault	44
Figura 8 – Exemplo de granuladora	45
Figura 9 – Exemplo de mesa de separação (etapa final)	45
Figura 10 – Mapa de Curitiba e região metropolitana	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de diferentes PCI.....	19
Tabela 2 – Percentual de PCI no peso total do equipamento eletrônico.....	19
Tabela 3 – Comparação entre técnicas.....	28
Tabela 4 – Tabela comparativa entre os processos pirometalúrgico e hidrometalúrgico.....	31
Tabela 5 – Preço de resíduos de PCI	48
Tabela 6 – Custos com compra mensal de sucatas de PCI.....	49
Tabela 7 – Custos com transporte de resíduos de PCI.....	51
Tabela 8 – Preço do cobre(Cu) ao longo dos meses analisados	57
Tabela 9 – Preço de barracões para instalação da planta de reciclagem	60
Tabela 10 – Contingente necessário para administração da planta de reciclagem...	61
Tabela 11 – Cargos e salários.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

Ag: Prata

Al: Alumínio

Au: Ouro

B:

Be: Berílio

Bi: Bismuto

C: Custos totais

Ca: Cálcio

Cd: Cádmio

Cm: Custo de material

Cn: Custos dinâmicos

Co: Custo de capital

Cr: Cromo

CRT: Cathodic Ray Tube

Cs: Custo fixo por ano

Cu: Cobre

D: Capacidade de processamento da planta por hora

Dfc: Depreciação fixa do capital

Eci: Custos com instalações

Ew: Custo com mão-de-obra

Fe: Ferro

Ga: Gálio

H: Campo magnético

Hg: Mercúrio

ICMS: Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços

INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

LCD: Liquid Cristal Display

M: Intensidade de magnetização do material

Mg: Magnésio

NBR: Norma brasileira

NCM: Nomenclatura Comum no Mercosul

Ni: Níquel

P: Lucro

Pb: Chumbo

PCI: Placa de circuito impresso

Pd: Paládio

Pg: Lucro bruto

Pi: Custo com equipamentos

Pt: Platina

Sb: Antimônio

SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio à micro e pequena empresa

SENAI: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SENAT: Serviço Social do Transporte

SESC: Serviço Social do Comércio

SESI: Serviço Social da Indústria

SEST: Serviço Social do Transporte

Sh: Análise de rendimento

Sn: Estanho

Ta: Tântalo

Ti: Tempo efetivo de cada um dos custos

Vp: Valor do produto

X: Suscetibilidade magnética

Zn: Zinco

γ : Porcentagem de material de PCI que se quer recuperar

LISTA DE EQUAÇÕES

$B = \mu_0 (H+M)$ (Tesla)	Equação 1	26
$V_p = C_m + D_{fc} + E_{ci} + E_w + P_g$	Equação 2	39
$= C_{man} + C_m + FL + Co + P$	Equação 3	39
$C_s = \sum P_i/T_i$	Equação 4	40
$C_n = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_p + C_m + C_z$	Equação 5	40
$C = C_s + C_n$	Equação 6	40
$Sh = DayP - C$	Equação 7	40

SUMÁRIO

RESUMO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Apresentação do tema	12
1.2	Apresentação da oportunidade	14
1.3	Objetivo	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Sucatas e resíduos: propriedades e características	15
2.2	Placas de circuito impresso (PCI)	16
2.3	Cenários de reciclagem	20
2.4	Métodos de reciclagem	23
2.4.1	Processamento mecânico	23
2.4.2	Processo pirometalúrgico	28
2.4.3	Processo hidrometalúrgico	30
2.4.4	Processo biometalúrgicos	31
2.4.5	Processo eletrometalúrgico	32
2.5	Considerações acerca das técnicas de reaproveitamento	33
2.6	Cenário econômico	35
2.6.1	Coleta de resíduos	36
2.6.2	Processamento	38
2.6.3	Sistemas de supervisão e gerenciamento	39
2.6.4	Modelo de custo analítico de Marshall	39
3	APLICAÇÃO DO MODELO	41
3.1	Método de reciclagem para elaboração da planta piloto	42
3.2	Modelo econômico para elaboração da planta piloto	46
3.2.1	Coleta e transporte	47
3.2.2	Processo	51
3.2.3	Instalações	58
3.2.4	Administração e operação da planta	60
4	APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A – CRONOGRAMA	70
	APÊNDICE B – CÁLCULOS DOS CENÁRIOS	71
	APÊNDICE C – VARIAÇÃO NO PREÇO DO COBRE	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

Com a revolução industrial houve a transformação dos meios de produção e distribuição de bens, o que acabou por aumentar a capacidade produtiva das indústrias. Tal fato, somado aos avanços tecnológicos culminou num modelo industrial padrão, o qual se apresentou como uma sequencia linear de extração, produção e distribuição. Neste modelo não se questionava como e onde os resíduos resultantes do processo de fabricação e os produtos obsoletos seriam descartados.

Os resíduos configuram problema considerável, vez que requerem gerenciamento oneroso e complexo. Cada vez mais as áreas de deposição têm seus preços valorizados e surgem políticas que obrigam ao descarte apropriado dos resíduos, os quais, não raramente, apresentam materiais tóxicos passíveis de causar danos ambientais e à saúde humana.

A partir de meados do século XVIII, destruiu-se mais a natureza que em toda a história anterior. A humanidade herdou um acúmulo de 3,8 bilhões de anos de capital natural, contudo, em se mantendo os padrões atuais de uso e degradação, muito pouco há de restar no final do próximo século (HAWKEN, *et. al.*, 2009).

Atualmente, com a escassez dos estoques globais de capital natural há de se lançar mão de recursos que consigam retirar o máximo proveito de cada material retirado da natureza (HAWKEN, *et al.*, 2009). O conserto, a reutilização, o aperfeiçoamento, a refabricação e a reciclagem são algumas das maneiras de fazer com que materiais de boa qualidade continuem em circulação. Estas opções, muitas vezes, podem significar a redução dos preços dos produtos finais, vez que tais inovações transformam o resíduo em dinheiro.

Os produtos eletrônicos constituem alguns dos bens que são mais descartados precocemente em virtude do desenvolvimento acelerado de novas tecnologias e da avidez de aquisição de produtos mais novos em razão da obsolescência programada dos mesmos.

Estima-se que somente a União Européia produza aproximadamente entre 8,3 e 9,1 bilhões de toneladas de lixo eletrônico por ano e alcançará 12,3 bilhões de toneladas em 2020. (WILLIAMS, 2009)

Aproximadamente 30% de toda a sucata eletrônica é composta de placas de circuito impresso (VEIT et al., 2002), o que leva à necessidade de se considerar processos de reciclagem das mesmas, tendo em vista que são compostas de metais de grande valor econômico e os resíduos são de difícil descarte por possuírem materiais tóxicos.

Tendo em vista que o principal componente metálico das PCI é o cobre e que este possui valor economicamente atrativo, deve-se considerar a recuperação do mesmo através da reciclagem das sucatas de PCI.

O referido metal é excelente condutor de eletricidade e calor, sendo largamente utilizado por diversos setores industriais, tais como o da construção civil, telecomunicações, eletroeletrônica e transmissão de energia (BNDES, 2001).

O presente estudo preocupa-se em analisar os cenários técnico e econômico de reciclagem de produtos de natureza eletrônica, mais especificamente placas de circuito impresso, por, a princípio, apresentarem grande valor de comercialização e materiais de difícil descarte.

Não se tem a pretensão de esgotar o assunto em comento, mas de fornecer um panorama geral acerca das técnicas de reciclagem de placas de circuito impresso (PCI), para, por fim, apresentar um modelo genérico de viabilidade econômica, que poderá ser aplicado a quaisquer das técnicas abordadas.

Em um primeiro momento conceituar-se-á as PCI, que são os objetos que se pretende reciclar.

Posteriormente, serão analisados os principais processos de reciclagem de PCI, bem como as técnicas que os compõem.

Por fim, explanar-se-á acerca de um método de viabilidade econômica *lato sensu*, que poderá ser aplicado a quaisquer das técnicas de reciclagem previamente abordadas.

1.2 Apresentação da oportunidade

A obsolescência acelerada de produtos eletrônicos tem causado o aumento da geração de resíduos e contribuído enormemente para a escassez de matéria prima.

Considerando-se que os referidos produtos são comumente complexos e envolvem tecnologias e matérias primas nobres, tornam-se altamente qualificados à reciclagem, vez que se desfazer de todo valor agregado seria um grande desperdício em termos econômicos e uma leviandade em termos ambientais.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é fornecer um panorama geral sobre os cenários da reciclagem, abordar as principais técnicas e a apresentação de um modelo genérico que analisa a viabilidade econômica de um processo de reciclagem. O referido modelo poderá ser adequado a quaisquer das técnicas mencionadas no presente estudo, sendo que, para tanto, serão fornecidos diretrizes e dados que deverão ser considerados ao se idealizar uma planta piloto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sucatas e resíduos: propriedades e características

A legislação brasileira requer, para que haja a possibilidade de utilização de resíduos ou sucatas, a avaliação de periculosidade que deve seguir as NBR 10004 (ABNT, 2004), 10005 (ABNT, 2004), 10006 (ABNT, 2004) e 10007 (ABNT, 2004).

Um resíduo pode ser considerado perigoso de acordo com suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas que não raramente podem significar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente.

Os resíduos podem, ainda, apresentar características tais como:

- a) Inflamabilidade: apresentam risco considerável de inflamar sob determinadas condições ou são espontaneamente inflamáveis;
- b) Patogenicidade: é aquele cuja composição apresenta microorganismos ou toxinas aptos a causar doenças;
- c) Corrosividade: são ácidos ou bases que possuem a capacidade de corroer metais;
- d) Reatividade: estes resíduos apresentam instabilidade mesmo sob condições consideradas “normais”, podendo causar explosões, fumaças tóxicas, gases ou vapores quando em contato com água;
- e) Toxicidade: são resíduos que são nocivos à saúde ou até mesmo fatais quando ingeridos ou absorvidos. Podem, ainda, poluir rios e afluentes quando dispostos no solo sob a ação da lixiviação. De acordo com as NBR, os resíduos tóxicos podem ser classificados em:
 - Classe I: são os resíduos sólidos ou misturas de resíduos que apresentam risco à saúde pública e/ou apresentam efeito adverso sobre pessoas, animais e plantas, e ao meio ambiente.
 - Classe II: são resíduos não-inertes, que não se enquadram na classe I, mas também não são completamente inertes.

- Classe III: são os resíduos que submetidos ao teste de solubilização (NBR 10006) não tenham nenhum dos constituintes solubilizados em concentração superior aos padrões listados para o teste de solubilização da NBR 10004.

Ao se considerar a reciclagem, a providência inicial a ser tomada é a análise pormenorizada das características e propriedades dos resíduos a fim de se evitar danos ao meio ambiente e/ou eventual dano à saúde pública.

2.2 Placas de circuito impresso (PCI)

Uma evolução natural dos equipamentos eletrônicos fez com que componentes menores fossem desenvolvidos basicamente com o intuito de diminuir o tempo utilizado para repará-los e para facilitar a substituição dos mesmos.

As PCI fornecem estrutura física para montagem e alocação dos componentes eletrônicos, bem como, interconexão entre os mesmos (KHANDPUR, 2006).



Figura 1 – Exemplo de placa de circuito impresso
Fonte: Yang et al. (2011)

Existem inúmeras vantagens (KHANDPUR, 2006) em se considerar a utilização das PCI em detrimento de outros métodos de conexão com cabos. Dentre os benefícios, pode-se citar: tamanho reduzido e baixo peso do conjunto já montado; uma grande produção pode ser alcançada fazendo com que o valor unitário se torne reduzido; assegura um alto nível de repetição e oferece uniformidade das características elétricas de montagem; a localização das partes é fixa, o que simplifica a identificação e manutenção dos equipamentos elétricos e dos sistemas; o tempo de inspeção é reduzido, pois as PCI eliminam a probabilidade de erro; requer menos habilidade e conhecimento técnico, vez que a instalação não envolve cabos, diminuindo a possibilidade de curtos circuitos.

No que se refere à classificação das PCI (KHANDPUR, 2006), estas podem ser de três formas: *single-sided*, *double-sided* ou *multi-layer*.

As *single-sided* significam que a parte funcional está disponível em apenas um lado da placa. Estes tipos de placa são comumente usadas no caso de circuitos simples e nos quais os custos de produção devem ser mínimos.

As *double-sided* possuem circuitos em ambos os lados, portanto, obviamente, a densidade do componente e das linhas de condução são maiores que as do *single-sided*.

As *placas multi-layer* são usadas quando são necessárias mais de duas PCI. Estas possuem uma fina camada de separação que é conhecida como *prepreg*, formando, assim, a figura de um sanduíche conforme aponta a Figura 2.

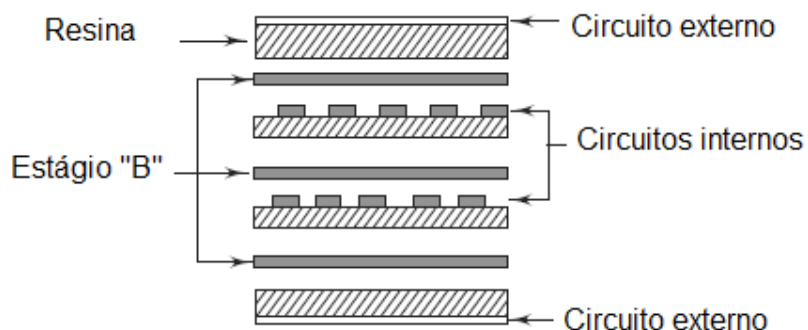


Figura 2 – Exemplificação de PCI multi-layer
Fonte: KHANDPUR, 2006

. Com relação às propriedades físicas, podem ser: rígidas, flexíveis ou uma combinação das duas.

Enquanto as PCI rígidas são feitas de vários materiais, as PCI flexíveis usam materiais obviamente flexíveis como o poliéster ou poliamida. As PCI mistas são estruturas tridimensionais que possuem partes flexíveis conectadas às placas rígidas.

Os materiais presente nas PCI (LI et al., 2004) podem ser categorizados em três grupos: orgânicos, metais e cerâmicos. Os materiais orgânicos são principalmente compostos de papéis e plásticos que dificultam a propagação de fogo. Nylon e poliuretano também são utilizados, porém em pequenas quantidades.

Já os metais que compõem as PCI são: comuns como o cobre (Cu), aço, alumínio (Al) e latão; raros como o tântalo (Ta) e gálio (Ga); nobres como o ouro (Au), prata (Ag) e paládio (Pd); perigosos como o cromo (Cr), chumbo (Pb), berílio (Be), cádmio (Cd), zinco (Zn), mercúrio (Hg) e níquel (Ni).

As cerâmicas presentes nas PCI são basicamente sílica e a alumina.

Nota-se que a composição das PCI e seus elementos específicos podem variar de uma para outra conforme idade e o tipo de placa. Contudo, os metais comumente utilizados podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1 – Composição de diferentes PCI

Materiais	% (a)	% (b)	% (c)	% (d)	% (e)	% (f)	% (g)
Metais (máx 40%) (a)							
Cu	20	26,8	10	15,6	22	17,85	23,47
Al	2	4,7	7	-	-	4,78	1,33
Pb	2	-	1,2	1,35	1,55	4,19	0,99
Zn	1	1,5	1,6	0,16	-	2,17	1,51
Ni	2	0,47	0,85	0,28	0,32	1,63	2,35
Fe	8	5,3	-	1,4	3,6	2	1,22
Sn	4	1	-	3,24	2,6	5,28	1,54
Sb	0,4	0,06	-	-	-	-	-
Au/ppm	1000	80	280	420	350	350	570
Pt/ppm	-	-	-	-	-	4,6	30
Ag/ppm	2000	3300	110	1240	-	1300	3301
Pd/ppm	50	-	-	10	-	250	294

a) Shuey et al. (2006) from Sum (1991) *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

b) Zhao et al. (2004) *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

c) Zhang and Forsberg (1997) *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

d) Kim et al. (2004) *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

e) Iji and Koyama (1997) *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

f) Kogan (2006) *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

g) ICP-OES Analyses of cellphone printed circuit boards with hot aqua regia digestion *Apud* Ogunniyi, I. O. (2009)

Fonte: OGUNNIYI, I.O. et al. (2009)

De acordo com a estimativa de A. Bernardes et al. (*apud* LI, 2004), aproximadamente 3% do peso de todo o resíduo eletrônico são PCI.

Na Tabela 2 podem ser encontradas o percentual que uma placa representa, em média, no peso total de um produto eletrônico:

Tabela 2 – Percentual de PCI no peso total do equipamento eletrônico

Equipamento eletrônico	Massa (%)
Computador desktop	8,41
Computador "laptop"	13,17
Monitor "CRT"	4,69
Monitor "LCD"	4,28
Impressoras a laser	2,52
Equipamentos industriais	3,2

Fonte: Adaptado de Disposal of Electric and Electronic Equipment (HISCHIER, 2007)

A problemática da destinação e tratamento dos resíduos de PCI constitui um problema sério em virtude da natureza tóxica de alguns de seus componentes. As substâncias nocivas encontradas nas placas em questão podem causar danos irreversíveis à saúde humana e ao meio ambiente. A exemplo, cita-se o chumbo que tem efeitos danosos nos seres humanos, plantas, animais e microrganismos (LI, 2004).

Por fim, tem-se que a presença de metais economicamente atrativos somada aos impactos ambientais que as PCI podem vir a causar quando descartadas indevidamente, contribuem significativamente para que leve em consideração o processo de reciclagem.

2.3 Cenários de reciclagem

Conforme já exposto, a composição das PCI é bastante variável, o que acaba por dificultar o processo de reciclagem, vez que cada material necessita de um processo diferente.

Os principais métodos utilizados para a reciclagem das referidas placas podem incluir processos mecânicos, químicos e térmicos. A Figura 3 apresenta um panorama geral dos possíveis cenários de reciclagem que poderão ser abordados de acordo com o material que se pretende recuperar.

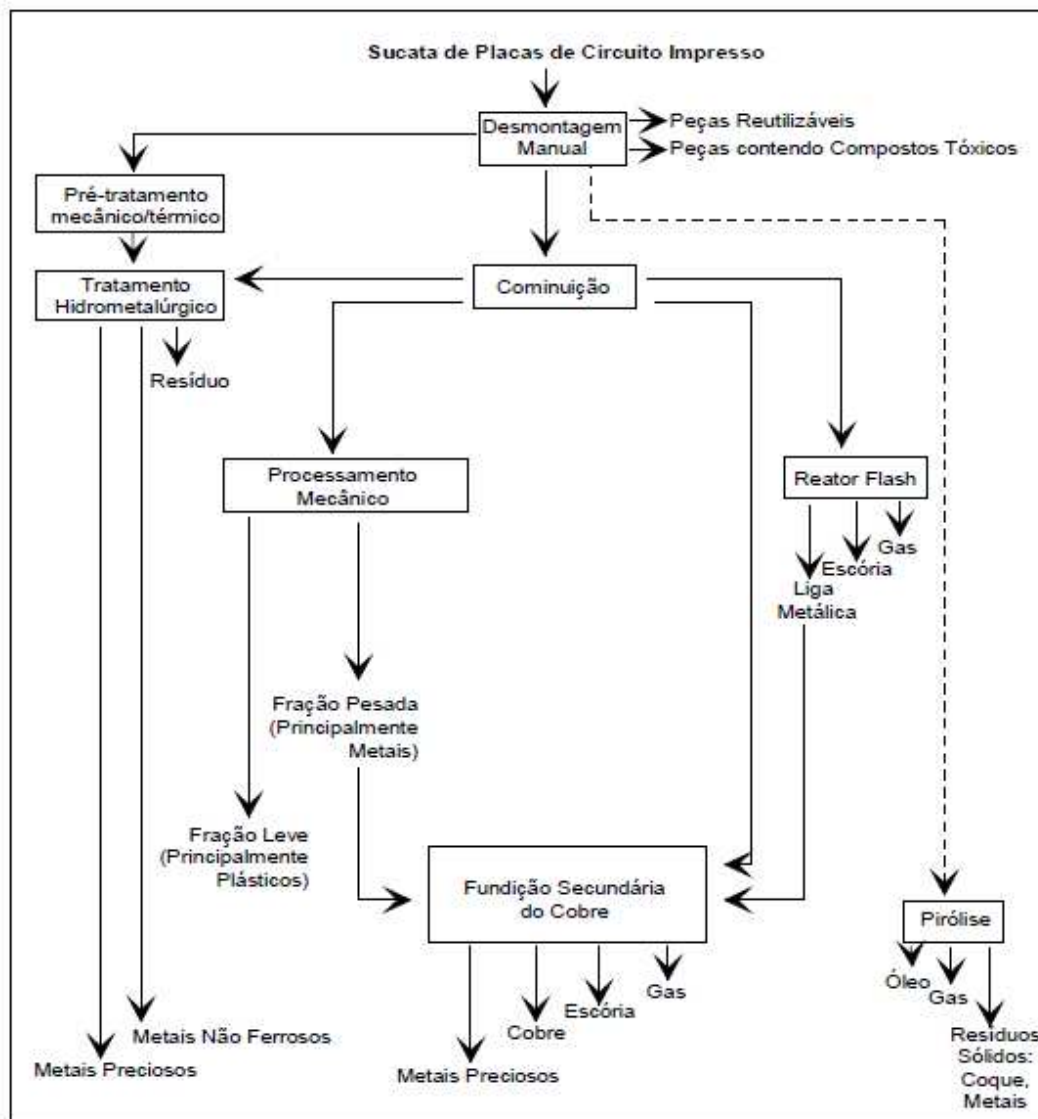


Figura 3 – Esquema de algumas possibilidades de reciclagem de PCI

Fonte: VEIT,2001, *apud* BERNARDES et al., 1997

Os principais processos atuais de reciclagem são (VEIT, 2001): pirometalurgia, eletrometalurgia, hidrometalurgia e processos mecânicos tais quais a cominuição, separação gravimétrica, classificação e separação a base de propriedades elétricas.

Os principais problemas (LI et al., 2004) associados à reciclagem de PCI são devidos a estrutura complexa e a composição heterogênea, dentre estes destacam-se:

- a) Grande dificuldade em se obter o detalhamento dos materiais que compõem as PCI, tendo em vista que são os blocos elétricos mais complexos;
- b) A maioria dos métodos de reciclagem podem recuperar apenas 28% do peso total das placas. Mais de 70% não pode ser eficientemente reciclada e recuperada e têm de ser incineradas ou aterradas;
- c) A implementação de um processo automatizado de separação dos componentes da placa torna-se inviável em razão da heterogeneidade das estruturas e de projetos muitas vezes obsoletos;
- d) A quantidade mínima de materiais como o tântalo (Ta) torna a recuperação extremamente difícil. Embora as empresas de reciclagem atualmente compreendam o valor da recuperação de metais preciosos, estas não possuem métodos de recuperação consideradas eficientes. De acordo com uma estimativa aproximada, uma tonelada de PCI gera aproximadamente 284g de ouro (Au) (BROUGHTON, 1996).

O processo de reciclagem de PCI geralmente inclui três estágios: pré-tratamento, separação e agrupamento e, por fim, a aplicação dos processos reciclagem propriamente ditos.

Abordar-se-ão de forma sucinta os procedimentos que antecedem os processos de reciclagem, tendo em vista que estes são largamente difundidos e carecem de complexidade.

Os procedimentos que antecedem a reciclagem são basicamente os a seguir listados (LI, 2004):

- 1) Análise da composição: uma vez concluída a amostragem das placas usando método de moagem ou por centrifugação, obtém-se um pó homogêneo com partículas menores que 500 μm . Este, por sua vez, será enviado para análise espectroscópica para determinar a quantidade de metais que compõem as PCI;

- 2) Desmontagem: o objetivo do processo de desmontagem é a remoção das partes reutilizáveis e o isolamento dos componentes nocivos. Atualmente a técnica mais comum é a manual, contudo, esta apresenta custos elevados. Existem diversas pesquisas em progresso (LI, 2004) em diferentes países, para desenvolvimento de um método automático ou semiautomático de desmontagem;
- 3) Incineração: é comumente utilizada para reduzir o peso do resíduo e homogeneizá-lo. Considerando que as PCI contém materiais orgânicos como plástico, papelão e papel, com a incineração há uma redução de aproximadamente 30% do peso total.

Muito embora os processos mecânicos de reciclagem como a cominuição, classificação e separação sejam geralmente utilizados como formas de pré-tratamento, por questões didáticas e de ordem, serão abordados no capítulo que aborda os métodos de reciclagem.

2.4 Métodos de reciclagem

Terminadas as etapas de seleção e pré-tratamento, consideram-se os métodos de reciclagem propriamente ditos, que serão escolhidos com base no resultado fornecido pela análise espectroscópica previamente realizada.

2.4.1 Processamento mecânico

Os processos mecânicos de separação de materiais são comumente considerados como parte do pré-tratamento dos processos de reciclagem.

Este processo envolve diversas técnicas, tendo como principais as de cominuição, classificação, separação gravimétrica, separação magnética e separação com base nas propriedades elétricas.

Em termos gerais, o processo mecânico possibilita a recuperação de aproximadamente 80% dos metais presentes nas PCI. Ademais, em comparação

com os processos metalúrgicos, o processo mecânico é relativamente de baixo custo em termos de investimento e custo operacional. Contudo, as frações de metais obtidas dos processos mecânicos ainda possuem misturas de vários metais, não apresentando elementos puros (YU, 2009).

2.4.1.1 Cominuição

A cominuição consiste na redução do tamanho ou moagem dos materiais utilizando máquinas apropriadas ou moinhos de martelos que reduzem os materiais por mecanismos de pressão, impacto, abrasão ou corte (RON, et. al, 1995).

Na cominuição de resíduos eletrônicos são comumente utilizados as seguintes máquinas (RON, et. al, 1995):

- a) Moinho de martelos: a redução é obtida por martelos que são ligados a um eixo. O material é destruído pelos martelos e pela colisão com a parede do moinho.
- b) Moinho de corte: a redução é obtida por corte dos materiais utilizando discos acoplados em dois eixos que giram em direção opostas. Geralmente, existe uma peneira no fundo do equipamento. Estes moinhos são especialmente adequados para reduzir materiais elásticos.
- c) Fragilização criogênica: é um processo para reduzir materiais pelo congelamento a uma temperatura muito baixa com a ajuda de nitrogênio líquido. O aumento da fragilidade do material aumenta a eficiência do moinho na separação dos materiais.

2.4.1.2 Classificação

O processo de classificação consiste na separação dos materiais de acordo com o tamanho das partículas. Neste caso são comumente utilizadas peneiras em cascata e a separação de mais de duas classes de resíduos pode ser obtida. Na prática são utilizadas peneiras em forma de tambor ou peneiras vibratórias. Este processo separa os resíduos somente pelo seu tamanho ignorando a qualidade e identidade dos materiais (HAYES, 1993).

2.4.1.3 Separação gravimétrica

Este processo se dá pela separação de materiais mais densos dos menos densos e é baseado no fato de que todo material tem uma densidade específica (LI, 2004).

Inúmeros métodos são empregados para separar os materiais mais leves dos mais pesados e ocorrem de forma a considerar o comportamento de cada partícula quando submetida a outras forças. Deste modo, os fatores que irão influenciar no processo não é apenas o peso, mas também a forma e tamanho, posto que, partículas grandes são mais afetadas que as pequenas quando submetidas a um fluxo de um fluido qualquer (CUI, 2002).

Dentre os principais métodos de separação gravimétrica podem ser citados (VEIT, 2001):

- a) Líquidos densos: esta técnica é usada para separar partículas sólidas de acordo com a diferença de densidade. No processo é utilizado líquido com valor de densidade entre os valores dos dois componentes que se pretende separar. Desta maneira, as partículas mais pesadas decantam enquanto as mais leves flutuam na superfície.
- b) Suspensões: esta técnica utiliza os mesmos princípios da separação por líquidos densos. Contudo, em vez de submergir as partículas em um líquido de densidade específica, são utilizadas polpas que são criadas à partir da mistura de água e sólidos finamente cominuídos. Quanto mais partículas sólidas forem adicionadas, maior será a densidade da polpa. Usualmente este método é associado à utilização de separadores dinâmicos que utilizam a força centrífuga a fim de acelerar o processo de separação.
- c) Separadores estáticos: estes equipamentos são constituídos de recipientes de diversas formas, dentro dos quais são introduzidos a alimentação e o meio denso. Diferencia-se dos demais pois o produto flutuado é extraído por transbordo (quando o material transborda ele é separado) ou através de pás raspadoras.
- d) Separadores dinâmicos: este tipo de equipamento envolve enormes forças centrífugas e permitem o tratamento de particulado mais fino e densidade

de cortes maiores, sendo que o tamanho mínimo de partícula a ser beneficiada é de 0,5 mm. Dentre os equipamentos mais utilizados estão: ciclones, separador Vorsyl, separador Turpinson, separador Dyna-Whirlpool, separador Tri-Flo e ciclones autógenos.

2.4.1.4 Separação com base nas propriedades magnéticas

A separação magnética pode ser usada para separar partículas magnéticas de não magnéticas (LI, 2004).

Equipamentos de separação magnética, em particular os tambores de separação de baixa intensidade, são largamente empregados na separação de metais ferromagnéticos de metais não ferrosos e de outros resíduos não magnéticos (CUI, 2002).

Todos os materiais são afetados de alguma forma pela presença de um campo magnético, estes podem ser divididos em duas grandes categorias (VEIT, 2001):

- a) Diamagnéticos: estes são repelidos por um campo magnético e se movem para as posições de mais baixa intensidade do campo.
- b) Paramagnéticos: são atraídos pelo campo magnético e se movem para posições de mais alta intensidade do campo.

Ferro, ferri e antiferromagnetismo serão tidos como casos especiais de paramagnetismo.

A magnitude de interação de um material com um campo magnético pode ser descrita em termos de suscetibilidade magnética X , onde X é igual a M/H , sendo que M é a intensidade de magnetização do material e H o campo magnético. A intensidade do campo (B) dentro de um material que é submetido a um campo magnético é dado pela expressão:

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (\text{Tesla}) \quad \text{Equação 1}$$

Os materiais diamagnéticos tem valor negativo muito pequeno de X , já os materiais paramagnéticos tem uma pequena suscetibilidade magnética positiva e, por fim, os materiais ferromagnéticos tem valor significativo, porém este é variável.

As propriedades magnéticas de um material dependem tanto da estrutura eletrônica dos elementos quanto do arranjo dos átomos no sólido (VEIT, 2001).

Na última década houve muitos avanços no projeto e na operação de separadores de alta intensidade, principalmente como resultado da introdução de novas tecnologias capazes de fornecer campos de alta intensidade e gradiente (CUI, 2003).

2.4.1.5 Separação com base em propriedades elétricas

Com relação à separação com base em propriedades elétricas, são feitas utilizando as forças que atuam nas partículas carregadas ou polarizadas em um campo elétrico, o que resulta em movimentos diferentes das partículas no campo e a consequente seleção (HAYES, 1993).

A capacidade de separação depende da diferença de polaridade e da quantidade de carga adquirida pelas partículas a serem separadas.

Três tipos de técnicas são comumente empregadas (YU, 2009):

- a) Separação com correntes de Foucault: é utilizada para separar metais não ferrosos de não metais. Comumente empregada para recuperar alumínio (Al), que representa aproximadamente 5% do peso dos resíduos de PCI;
- b) Separação eletrostática corona: separa metais de não metais. Esta técnica recupera eficientemente metais e plásticos dos resíduos da PCI, principalmente partículas mínimas com o tamanho entre 0,1 a 5 mm;
- c) Separação triboelétrica: essa técnica permite separar partículas plásticas dependendo da diferença das propriedades elétricas. Para separação de resíduos plásticos, pesquisas têm demonstrado diversas vantagens na utilização das técnicas em comento, a exemplo: desconsideração das formas das partículas, baixo consumo de energia e um alto rendimento (CUI, 2003).

Tabela 3 – Comparação entre técnicas

Processo	Critério de separação	Materiais separados	Tamanho de partícula ideal para o processo
Separação com correntes de Foucault	Condutividade elétrica e densidade	Metais não ferrosos de não-metais	>5mm
Separação eletrostática corona	Condutividade elétrica	Metais de não-metais	0,1 - 5mm (10mm para partículas laminares)
Separação triboelétrica	Constante dielétrica	Separação das resinas	<5 (10) mm

Fonte: CUI, 2002

2.4.2 Processo pirometalúrgico

Este processo tradicional vem sendo utilizado há aproximadamente duas décadas, e é, provavelmente, o método mais maduro de separação de metais contidos nos resíduos eletrônicos (YU, 2009).

O processo de pirometalurgia engloba técnicas como incineração, sinterização, escorificação, pirólise, fusão, derretimento, reações em fases gasosas sob altas temperaturas, dentre outras (SUN, 2010).

Duas outras aplicações do processo pirometalúrgico são a incineração em fornos rotatórios e incineração seguida por derretimento com *oxyfuel*. O segundo processo é considerado superior sob o ponto de vista ambiental, pois, além de liberar gases não tóxicos, gera três produtos comercializáveis: uma mistura contendo chumbo (Pb), zinco (Zn) e estanho (Sn), um resíduo ambientalmente correto e uma liga de cobre (Cu), níquel (Ni) e estanho (Sn) (LI, 2004).

O processamento pirometalúrgico tem como vantagens os fatos de que aceita qualquer tipo de sucata eletrônica, não requer pré-tratamento e ter poucas etapas (VEIT, 2001).

A técnica de pirólise é a degradação energética da fração orgânica dos resíduos na ausência de oxigênio a fim de produzir carvão, óleo e gases

combustíveis, gerando como produto um resíduo sólido do qual podem ser extraídos metais e outros materiais sólidos (WILLIAMS, 2010).

Segundo Hall e Williams (2006) a pirólise é uma técnica de reciclagem energética que é largamente estudada como um método de reciclagem de polímeros sintéticos, inclusive polímeros que são misturados com fibra de vidro.

No processo em comento são utilizadas temperaturas relativamente baixas, geralmente entre 400-700°C. Os óleos gerados na pirólise têm sido investigados com o intuito de serem usados diretamente como combustíveis ou na produção de combustíveis refinados.

O consumo acelerado de combustíveis fósseis e os problemas ambientais têm contribuído para a busca de fontes de combustíveis alternativos. Deste modo, a pirólise apresenta-se como uma forma consideravelmente viável (QUAN, 2010).

Este método oferece uma solução com grande potencial na separação de metais, materiais cerâmicos (principalmente fibra de vidro) e na decomposição de produtos plásticos como óleos e ceras.

O estudo conduzido por Hall e Williams (2006), no qual foi utilizado um reator de leito fixo a 800°C, demonstrou que os produtos da pirólise dos resíduos de PCI são bastante quebradiços e as fibras de vidro, frações metálicas podem ser facilmente separadas e, os componentes eletrônicos, facilmente removidos do restante dos sedimentos. As cinzas dos resíduos deste processo consistem basicamente de cobre (Cu), cálcio (Ca), ferro (Fe), níquel (Ni), zinco (Zn) e alumínio (Al). Possuem, ainda, baixas concentrações de metais valiosos como o gálio (Ga), bismuto (Bi), prata (Ag) e ouro (Au).

A técnica de incineração é o procedimento mais comum para separar os materiais plásticos e outros materiais orgânicos presentes nos concentrados de metais (SUM, 1991). Assim, após trituração das PCI, estas são levadas a um forno no qual são removidos materiais plásticos, gerando um resíduo metálico.

2.4.3 Processo hidrometalúrgico

Separação hidrometalúrgica dos metais consiste em uma série de lixiviação ácida ou cáustica dos materiais sólidos com uma gama de reagentes e posterior separação dos metais dos materiais já lixiviados.

O método mais comum de técnica hidrometalúrgica para separação de metais é a lixiviação ácida e a com haletos (YU, 2009). Para que esta técnica seja empregada, um pré-tratamento mecânico é usualmente requerido para facilitar a eficiência da extração, pois os elementos metálicos são cobertos ou encapsulados por vários materiais plásticos ou cerâmicos (SUN, 2010).

O processo hidrometalúrgico envolve técnicas de: cementação, extração por solvente, adsorção em carbono ativo, troca de íons, dentre outras.

O processo referenciado é basicamente utilizado na reciclagem de frações de metais ferrosos em que a extração do metal é rentável. A técnica a ser utilizada depende do substrato, que pode ser de cerâmica, vidro ou polímero. Quando o substrato for não metálico, os metais serão recuperados dos substratos pelo processo de lixiviação na solução resultante. Já para substratos metálicos o processo eletroquímico é utilizado para recuperar metais. O metal puro já recuperado pode ser vendido sem que sofra processos posteriores. O remanescente substrato não metálico, porém, ainda precisa ser energeticamente tratado antes de ser reutilizado ou descartado (LI, 2004).

O processo hidrometalúrgico direto de metais preciosos raramente alcança uma completa extração de todo o conteúdo, de modo que, o substrato frequentemente deve sofrer outro processo de fundição de níquel ou cobre (VEIT, 2001).

As principais vantagens deste método são as baixas emissões de gás e consideráveis benefícios econômicos. Contudo, as principais desvantagens são o alto consumo de soluções químicas, a poluição de água e a complexa cadeia de processos (SUN, 2010).

Efetuando-se um comparativo (YANG, 2011) entre as vantagens e desvantagens dos processos pirometalúrgico e hidrometalúrgico, tem-se que:

Tabela 4 – Tabela comparativa entre os processos pirometalúrgico e hidrometalúrgico.

	Pirometalúrgico	Hidrometalúrgico
Vantagens	Recupera cobre e metais preciosos com eficiência.	É um processo mais extaao, mais previsível e mais facilmente controlado.
Desvantagens	Este processo de alta temperatura causa sérios problemas ambientais, especialmente poluição atmosférica.	Necessidade de pré-tratamento mecânico, utilização de soluções químicas que causam poluição das águas e complexa cadeia de processos.

Fonte: YANG, 2011

2.4.4 Processo biometalúrgicos

O processo biometalúrgico consiste em utilizar microorganismos para se recuperar materiais das sucatas. Muitos consideram esta tecnologia como sendo uma das mais promissoras dentre os processos metalúrgicos, pois em alguns casos houve a solubilização total do material a ser recuperado (YU, 2009).

Pode-se citar como vantagens o fato de que é simples, de baixo custo e de fácil operação, porém, em contrapartida, as principais desvantagens são o longo período em que o resíduo necessita ficar exposto à solução e a obrigatoriedade do material que se quer recuperar estar exposto superficialmente (VEIT, 2001)

Em estudo realizado por Sum (1991), 97% do ouro contido no resíduo foi recuperado utilizando-se uma solução contendo uma cultura de bactéria (YTL-2) e Fe^{+3} .

Para que este processo torne-se ainda mais economicamente rentável, há a necessidade de estudos aprofundados e melhorias. Para tanto, novos tipos de microorganismos têm de ser testados para analisar a aplicação na indústria da reciclagem (YU, 2009).

2.4.5 Processo eletrometalúrgico

A eletrometalurgia (POPOV, et al., 2002) lida com os aspectos da técnica de eletrodeposição dos metais. Os processos eletrometalúrgicos podem ser classificados em quatro principais grupos:

- a) Eletroobtenção: é a extração dos metais pela eletrodeposição de soluções aquosas ou derretimento de seus sais. Em larga escala, a eletrodeposição de sais derretidos é utilizada para extração de elementos eletronegativos que não podem ser eletrodepositados por soluções aquosas como o alumínio (Al), magnésio (Mg), bem como cobre puro (Cu), zinco (Zn) e cádmio (Cd).
- b) Eletrorrefino: é a purificação de metais pela eletrólise. O metal impuro é dissolvido anodicamente e o metal puro é depositado catodicamente, enquanto as impurezas são deixadas como resíduo anódico ou íons na solução. Muitos metais são eletrorrefinados, como o cobre (Cu), devido a aplicação condutiva e os metais preciosos devido aos seus custos.

Note-se que plantas eletrolíticas para produção de metais são grandes consumidoras de energia elétrica. No eletrorrefino e na eletroobtenção o principal requisito é a produção de metais puros e compactos. Isto é obtido através de correntes de baixa tensão.

- c) Galvanoplastia: pode ser definida como um tratamento que modifica a superfície do metal e, ocasionalmente, de um não-metal, sem modificar a propriedade básicas dos materiais, visando melhorar a aparência de uma superfície, para aumentar a resistência a corrosão e abrasão, etc.
- d) Eletrodeposição: é a produção de itens pelo processo de eletrodeposição.

A eletrometalurgia consiste em um processo que utiliza redução eletrolítica de íons em uma solução aquosa. Alguns autores a denominam como o processo que emprega a eletricidade para obtenção de metal (ANDRADE JÚNIOR, 2010).

Os processos eletroquímicos aplicados à reciclagem de sucata eletrônica são geralmente voltados à recuperação de metais puros. Nos processos de eletrorrefino, são usualmente utilizadas soluções de eletrólitos aquosos ou sais fundidos (VEIT, 2001).

Se os metais forem oriundos dos processos de hidrometalurgia, estes podem ser eletrodepositados diretamente das soluções aquosas sobre o cátodo. Os ânodos de cobre impuros contendo metais preciosos oriundos da pirometalurgia são purificados fazendo-se uma dissolução anódica de cobre, que então é depositado como cobre puro no cátodo. Os metais preciosos são concentrados no lodo anódico que serão tratados hidrometalurgicamente ou eletroliticamente para recuperação do ouro (Au), prata (Ag), paládio (Pd), ou platina (SUM, 1991).

As desvantagens da eletrólise com sais fundidos são: alto consumo energético, necessidade de pré-classificação dos resíduos, necessidade de controle rigoroso das emissões de fluoretos e cloretos, além da limitação na escolha dos materiais utilizados na construção do sistema de eletrólise em virtude da alta temperatura e da natureza corrosiva dos eletrólitos e de seus vapores (VEIT, 2001)

Pode-se citar como vantagens do processo eletrometalúrgico (SUM, 1991):

- Poucas etapas;
- É aplicável em todos os tipos de sucata que contém camadas superficiais de metais preciosos sobre um substrato de metal base;
- Pode-se dissolver todos os metais simultaneamente ou seletivamente;
- O eletrólito pode ser reciclado.

2.5 Considerações acerca das técnicas de reaproveitamento

Conforme exposto, existem inúmeros métodos para se reaproveitar uma placa de circuito impresso (PCI). Contudo, para que se considere viável o processo de

reciclagem, há que se levar em conta, principalmente, questões econômicas e técnicas, o que acaba por limitar os métodos aplicáveis (WEILAND, 2011).

Segundo Wanderley M. John, “a aplicação do resíduo não deve ser feita em torno de idéias pré-concebidas, mas em função das características do resíduo. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as características físico-químicas com menor impacto ambiental dentro de um nicho de mercado específico e no qual o produto reciclado tem boas condições de competição com o produto convencional” (JOHN, 2011).

Quando se fala em reaproveitamento e reciclagem de componentes de PCI, deve-se levar em conta as seguintes possíveis etapas:

- a) Limpeza dos componentes;
- b) Inspeção e classificação das partes;

Uma vez ultrapassadas tais considerações, deverão ser consideradas as seguintes opções:

- a) Simples reaproveitamento dos componentes (são utilizados em outros eletrônicos ou como peça de reposição);
- b) Recondicionamento (manutenção do componente estragado e posterior reutilização em outro equipamento);
- c) Desmantelamento e reciclagem dos materiais.

Outro ponto fundamental do processo de reutilização dos resíduos diz respeito à técnica a ser aplicada sobre o método escolhido, para tanto, deverão ser intimamente estudadas as características físicas, químicas, mineralógica e microestruturais dos resíduos que serão reaproveitados.

2.6 Cenário econômico

Nos estudos que antecedem a criação do processo de reciclagem, faz-se imprescindível considerar as variáveis que o tornarão economicamente viável ou não.

Embora a maioria das pesquisas realizadas neste âmbito considerem principalmente questões técnicas e ambientais, mostra-se não menos importante a análise dos fatores econômicos que permearão todo o processo e que, também, contribuirão para a adoção ou não da reciclagem.

Deste modo, o presente trabalho buscou, ainda que genericamente, tratar das questões que influenciarão no desenvolvimento de um modelo economicamente atraente.

O escopo do presente estudo é, então, fornecer um panorama geral das possibilidades, problemáticas e questões que deverão ser consideradas em quaisquer dos processos previamente mencionados.

Para este trabalho será utilizado o modelo desenvolvido por Dahmus (2008), o qual compreende o estudo econômico e ambiental de processos de reciclagem de eletrônicos. Para tanto, Dahmus analisou três funções principais que constituem a reciclagem: a coleta de resíduos, o processamento e o gerenciamento do sistema.

Cada uma destas funções foi analisada separadamente e utilizando diversas técnicas, incluindo modelos logísticos para avaliar a coleta, modelos de ciclo de vida para analisar o processamento e modelos de análise de custos para analisar o processo e o gerenciamento do mesmo.

A análise econômica dos processos de reciclagem está intimamente relacionada às questões ambientais tendo em vista que deverão ser observados custos com a implantação das exigências determinadas por leis e normas ambientais. Ademais, nota-se que o não cumprimento das referidas exigências implicaria inviabilização do projeto ou aplicação de multas severas.

A Figura 4 mostra um esquema de modelo genérico para análise econômica e ambiental. Para casos existentes e mais específicos, possivelmente, menores quantidades de dados serão necessárias (DAHMUS, 2008).

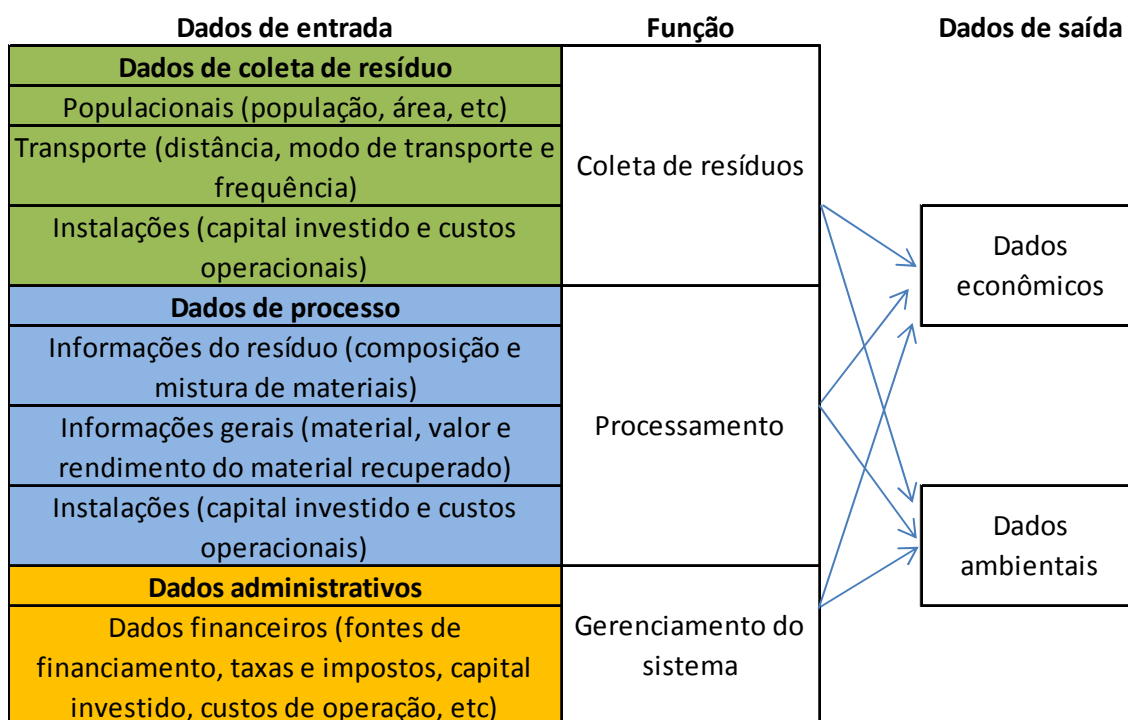


Figura 4 – Esquema genérico de modelo econômico e ambiental

Fonte: Dahmus, 2008

2.6.1 Coleta de resíduos

A coleta está associada ao ciclo de vida dos resíduos, interesses de vários setores, veículos, distâncias e locais para esta finalidade. O transporte do resíduo envolve o local onde o produto foi primeiramente descartado (normalmente casas e empresas) até o local de coleta. Do local de coleta, o resíduo vai para um local de distribuição de onde, posteriormente, segue para os locais de processamento. O desenvolvimento do modelo de coleta envolveu três aspectos do processo de coleta: transporte, coleta em massa e custos operacionais.

2.6.1.1 Transporte

Para modelar o primeiro passo é necessário utilizar modelos de distribuição populacional para que se tenha uma ideia de como os resíduos chegarão aos centros de coleta e distribuição. Normalmente estes modelos são utilizados para representar um local ou cidade, embora locais com menos densidade demográfica possam ser representados.

Uma vez feita a análise populacional, deve-se calcular distâncias médias entre a população e os centros de coleta. Para tanto utilizam-se distâncias retilíneas e multiplica-se por fatores que representem algumas restrições para o transporte.

Sendo assim, com os resíduos nos locais de coleta e distribuição, há que se calcular o transporte até o local de processamento, que é feito da mesma forma com que o transporte até os locais de coleta foram efetuados. Com estes dois dados calculados previamente, tem-se a distância total percorrida. Os dados de entrada serão complementares caso o transporte ou a empresa utilizada nestes dois passos sejam diferentes.

2.6.1.2 Coleta em massa

Complementarmente ao cálculo de distâncias, o cálculo da quantidade de resíduos deve ser feita, pois, entre os resíduos coletados somente uma parte é interessante para um determinado processo. A estimativa da quantidade de resíduos de interesse pode ser feita utilizando-se informações como saturação dos produtos, avaliação do seu ciclo de vida, sensibilização da população a respeito da reciclagem, entre outras. Embora este levantamento seja complexo, há bastantes estudos empíricos na literatura que colaboram com o desenvolvimento do estudo (DAHMUS, 2008).

2.6.1.3 Custos operacionais

Os custos operacionais compreendem custos de capital, equipamentos, instalações e infraestrutura, mão-de-obra, energia, entre outros. Um fator importante é verificar se o local é estritamente dedicado à reciclagem dos resíduos de interesse,

pois, dependendo do resíduo, os custos com equipamentos podem variar substancialmente. Quando estes locais englobam outras funções, o seu custo é amortizado.

2.6.2 Processamento

Durante o processamento os resíduos coletados são desmantelados em componentes e materiais comercializáveis. Os custos com o processo são similares àqueles descritos no item 2.6.1.3 como instalações, equipamentos, outros custos com infraestrutura, custos de mão-de-obra, energia, dentre outros.

A magnitude e distribuição destes custos, novamente, dependem do contexto geográfico, visto que se deve estimar custos com instalações, mão-de-obra e outras informações financeiras que podem variar de local para local.

Os custos com instalações, equipamento e mão-de-obra também podem variar significativamente dependendo do tipo de material que se pretende separar. Para instalações mais automatizadas o custo de capital com equipamentos pode representar um custo considerável; por sua vez, para instalações menos automatizadas, que dependem mais de trabalho manual, o custo com mão-de-obra será maior.

Se a capacidade do modelo de processamento compreender vários cenários de reciclagem, permitir-se-á testar diferentes abordagens que influenciarão na tomada de decisões relativas ao processo mais adequado.

As instalações de processamento também podem originar renda da venda de componentes reutilizáveis e dos materiais reciclados. A mistura de componentes e materiais recuperados, bem como o valor oriundo da venda destes materiais, depende muito do tipo de resíduo recebido e das instalações de reciclagem, considerando que estas têm como objetivo classificar e separar os resíduos e materiais reciclados.

2.6.3 Sistemas de supervisão e gerenciamento

No sistema de gerenciamento do modelo consideram-se as custas de gerenciamento e supervisão de todo o sistema de processamento. Estes custos são basicamente administrativos, e, por tal motivo, dependem muito do ônus com os empregados que exercerão as funções e os mecanismos de supervisão que serão instalados no local. Geralmente os referidos valores podem ser estimados utilizando-se uma planilha simples de custos na qual as despesas salariais e outras relativas a este sistema são os custos dominantes.

2.6.4 Modelo de custo analítico de Marshall

O modelo desenvolvido por Niu, et al. (2007), que procurou reciclar sucatas de PCI pelo método mecânico em uma planta específica chinesa, foi baseado no Modelo de Custo Analítico de Marshall para verificar a eficiência e praticabilidade econômica do processo adotado.

De acordo com os princípios econômicos de valor de commodities de Marshall, tem-se:

$$\begin{aligned} V_p &= C_m + D_{fc} + E_{ci} + E_w + P_g && \text{Equação 2} \\ &= C_{man} + C_m + FL + C_o + P && \text{Equação 3} \end{aligned}$$

Em que V_p é o valor do produto, C_m é o custo de material, D_{fc} representa a depreciação fixa do capital, E_{ci} representa as despesas de instalação, E_w é despesa de mão-de-obra, P_g é o lucro bruto, C_{man} é o custo homem/hora, FL a depreciação dos custos fixos e a amortização do terreno, C_o o custo do capital e P o lucro.

Baseado na Equação 2 mencionada, o custo de todo o processo contém custos variáveis e fixos.

Segundo Antônio Cezar Bornia (2009), custos fixos são aqueles que não variam com o volume de produção no curto prazo e, os custos variáveis, são aqueles que crescem com o aumento da produção.

Os custos fixos incluem custos com equipamento, terreno e instalações, enquanto os custos variáveis consistem em custos de materiais, consumo de energia, custos com mão-de-obra e custos de manutenção.

Os custos fixos, conforme mencionado, incluem custos com equipamento, terreno e instalações, porém, devido à depreciação os seus custos devem ser convertidos. Se convencionarmos P_0 para o custo do terreno, P_1 para o custo das instalações, P_i ($i=2 \sim n$) denotando os custos com equipamento e T_i ($i=1 \sim n$) para o tempo efetivo de cada um dos custos, o custo fixo por ano (C_s) pode ser calculado como:

$$C_s = \sum P_i/T_i \quad \text{Equação 4}$$

Para os custos dinâmicos (C_n) tem-se:

$$C_n = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_p + C_m + C_z \quad \text{Equação 5}$$

Onde C_1 , C_2 , C_3 e C_4 são custos dos recursos, C_5 é o custo de mão-de-obra, $C_p+C_m+C_z$ são os custos de manutenção.

Sendo assim, obtém-se o custo total como sendo:

$$C = C_s + C_n \quad \text{Equação 6}$$

Finalmente, pode-se fazer uma análise de rendimento (Sh) utilizando-se a fórmula:

$$Sh = D\alpha\gamma P - C \quad \text{Equação 7}$$

Onde D é a capacidade de processamento da planta por hora, a porcentagem de material que se quer recuperar das PCI é γ , sendo que a capacidade de processar as PCI que contém $\gamma\%$ de cobre é α , o valor do material que se quer recuperar é P e C são os custos totais.

As considerações já mencionadas, de caráter pouco mais específico, que foram aplicadas ao modelo desenvolvido por Niu, et al.(2007), poderão ser de

grande utilidade no decorrer do desenvolvimento de um modelo econômico de reciclagem, que deverá suscitar, ao menos, algumas das questões já referidas.

3 APLICAÇÃO DO MODELO

Tecidas as considerações de natureza teórica que buscaram embasar o modelo apresentado, far-se-á, num segundo momento, a aplicação do mesmo. Para tanto, mostra-se necessário apresentar as justificativas que culminaram na escolha do método de reciclagem, bem como do modelo econômico cuja efetividade será demonstrada durante a elaboração de um projeto de planta piloto.

Dada à vasta quantidade de informações que poderiam subsidiar o presente estudo, limitar-se-á, a fim de melhor delimitar o tema, à análise das variantes mais relevantes, quais sejam: o método de reciclagem, maquinário, o transporte, a infraestrutura e mão-de-obra necessária para operação e administração da planta.

Para fundamentação de custos de processo (capacidade de produção, máquinas utilizadas, material de entrada e saída, entre outros) foi utilizado o material da empresa ELDAN Recycling, única empresa que se dispôs a disponibilizar dados a respeito do processo e seus custos. Dados referentes ao processo de reciclagem da empresa, como área necessária, níveis de tratamento do resíduo, material das PCI, foram baseados nos dados do relatório fornecido pela organização ECOINVENT (Hischier, 2007).

A planta piloto que se obteve após estudos e obtenção de dados apresenta as seguintes características que, posteriormente, serão justificadas:

- Método de reciclagem mecânico a fim de se recuperar, principalmente, o cobre (Cu);
- Capacidade de processamento variável de 0,8t/h a 7t/h de acordo com o cenário analisado. Para esta análise, a capacidade será sempre a máxima permitida a fim de se otimizar o processo;
- Galpão com 5000m²;
- Planta situada no bairro Cidade Industrial de Curitiba.

Conforme o Modelo de Custo Analítico de Marshal, alguns dos custos presentes neste modelo serão considerados fixos e outros variáveis.

A fim de se obter uma análise econômica mais detalhada, foram analisados vários cenários, considerando-se o maior valor, o menor e o médio de alguns dos itens analisados para que, então, se chegasse a uma conclusão quanto ao cenário ideal de processamento.

O cálculo destes cenários foi feito utilizando-se princípios básicos de análise de custos.

Primeiramente calculou-se alguns dos custos referentes à coleta, transporte, ao processo, instalações e administração da planta para, então, subtrair-se do que seria o produto do processo apresentado. O produto do processo referente a este modelo são os metais com algumas impurezas. Para obtenção de metais puros, o produto necessita de um processo posterior. A venda deste produto ao final deste processo posterior foi considerada a receita do processo.

Os custos de processamento e o valor referente ao processo posterior ao mecânico foram considerados variantes do cálculo de viabilidade. Desta forma, os cenários apresentados buscaram aferir um valor para estas variantes.

3.1 Método de reciclagem para elaboração da planta piloto

O método de reciclagem adotado para elaboração da planta piloto foi o mecânico, pois, conforme já mencionado no item 2.4.1, é o que apresenta um baixo custo operacional quando comparado aos demais métodos e o qual permite a recuperação de até 80% dos metais presentes nas PCI.

Como base para este projeto, a empresa ELDAN Recycling forneceu informações referentes ao maquinário necessário para uma planta de reciclagem de PCI com o método de reciclagem mecânico.

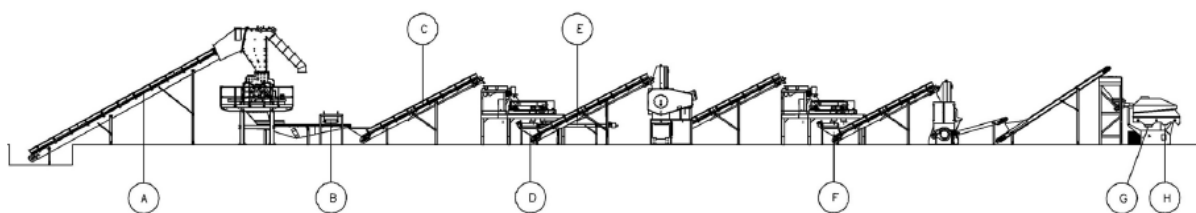


Figura 5 – Exemplo de planta de reciclagem de PCI com processamento mecânico
Fonte: Catálogo ELDAN Recycling

A sequência de processos será a seguinte:

1. Pré-tratamento das PCI (retirada dos componentes tóxicos e reutilizáveis);
2. Cominuição: nesta etapa a linha de reciclagem será alimentada com o material de entrada, que neste caso são as PCI. As placas serão quebradas a fim de se obter pedaços menores;



Figura 6 – Exemplo de máquina de cominuição
Fonte: Catálogo ELDAN Recycling (2004)

3. Separação por corrente de Foucault: após ser quebrada em pedaços menores, algumas frações de material orgânico/plástico já serão separadas da fração metálica;



Figura 7 – Exemplo de máquina de separação por corrente de Foucault
Fonte: Catálogo ELDAN Recycling

4. Cominuição: nesta etapa a placa será triturada em pedaços com aproximadamente 12mm;
5. Separação por corrente de Foucault: a fração metálica será separada da maior parte da fração plástica/orgânica restante;
6. Granulador: a fração de material restante, até esta etapa, é mais uma vez triturada;



Figura 8 – Exemplo de granuladora
Fonte: Catálogo ELDAN Recycling

7. Mesa de separação: após a granulação do material, há uma separação final do material restante.



Figura 9 – Exemplo de mesa de separação (etapa final)
Fonte: Catálogo ELDAN Recycling

Conforme o material apresentado pela empresa ELDAN Recycling, há várias capacidades de plantas de reciclagem, variando entre 0,8 a 7 toneladas de entrada de material por hora.

Devido a esta grande variação, optou-se por analisar as diferentes possibilidades de acordo com a quantidade de entrada de material por hora.

Escolhidos os equipamentos necessários para a planta piloto de reciclagem, sua capacidade, assim como a técnica a ser utilizada, pôde-se dar continuidade à aplicação do modelo com a feitura da análise econômica.

3.2 Modelo econômico para elaboração da planta piloto

Superada a escolha do método de reciclagem, optou-se por fundamentar a elaboração da planta piloto no modelo desenvolvido por Dahmus (2008), o qual terá como objetivo avaliar a viabilidade econômica do processo de reaproveitamento de PCI.

Para simplificação dos cálculos, todos os custos e também as receitas deste modelo foram aplicados para o prazo de um mês. Os custos dos diversos fatores analisados variam de acordo com a capacidade de produção, quantidades ou volumes de material processado, entre outros. A variação destes custos, nesta análise econômica, foi denominada de “cenário”. Nestes cenários, compostos pela combinação dos custos apresentados, visa-se obter-se um que seja o mais próximo a de um projeto real.

Dentre os critérios de avaliação abordados, estão os dados de coleta de resíduo, de processo e de administração da planta.

3.2.1 Coleta e transporte

Para que os custos de coleta e transporte fossem apurados de maneira mais eficaz, foram feitas as seguintes considerações:

- As PCI são adquiridas de um sucateiro e, sendo assim, fica subentendido que os custos com coleta (carrinheiros, catadores de lixo, etc) estejam embutidos no valor da sucata.
- O valor de transporte será estimado de acordo com as considerações feitas a respeito do local da planta até o sucateiro.
- Os valores de instalações e custos referentes ao sistema de transporte estão embutidos no valor do frete e, sendo assim, não calculados efetivamente, pois abrangeriam muitas variantes que fugiriam ao escopo do projeto.

Feitas tais considerações, importante se faz entender como são compostos os preços de transporte de mercadorias e produtos.

Segundo Newton de Castro (2003), a composição do valor do transporte envolve muitas variantes que podem influenciar no seu valor final, sendo as principais, o tipo de carga, modalidade de transporte, a quantidade e volume total, assim como a distância percorrida.

Outro fator, não menos importante, é o referente à estrutura local de transporte e à demanda.

O tipo de carga terá influência no valor final do transporte devido ao valor agregado, periculosidade e fragilidade. Quanto mais elevados forem estes valores em suas respectivas escalas, maior será o custo final do transporte. O mesmo pode se aplicar à modalidade de transporte, pois quanto mais complicada a logística para carga chegar ao destino final, maior terá que ser a tarifa aplicada ao transporte. Entre as modalidades mais utilizadas no Brasil está a de transporte rodoviário (Castro, 2003).

Em relação à quantidade, volume e distância percorrida, pode-se dizer que quanto maior forem melhor poderá ser a negociação final do valor de transporte.

A procura por estes serviços, assim como a quantidade de empresas os ofertando também fará com que os preços oscilem devido às leis de oferta e procura do mercado local.

3.2.1.1 Preço de placas de PCI

Atualmente Curitiba possui um sistema de coleta seletiva no qual encaminha materiais recicláveis para os recicladores de acordo com cada material. Contudo, tal sistema não se aplica à sucata eletrônica, pois, como já mencionado, a reciclagem de eletrônicos é muito pouco difundida no país.

Sendo assim, o maior volume de coleta deste tipo de material fica a cargo de carrinheiros e catadores informais, o que, de certa forma, prejudica a formação final dos preços de PCI, já que não há um mercado ou órgão regulador formal.

O método adotado para obtenção dos preços das PCI consistiu em coletar dados diretamente com os sucateiros, assim como através de pesquisas pela internet. Os valores obtidos se encontram na tabela a seguir (a fim de preservar o nome das empresas em sigilo, adotaram-se nomes fictícios):

Tabela 5 – Preço de resíduos de PCI

Empresa:	Preço (R\$):	Cotação no dia:
Empresa A	2,10	04/06/2012
Empresa B	3,20	04/06/2012
Empresa C	1,50	05/06/2012
Empresa D	3,00	05/06/2012
Empresa E	2,25	05/06/2012
Preço médio:	2,25	

Para a análise dos cenários econômicos, os valores utilizados para os cálculos dos custos com a compra de resíduos de PCI foram os seguintes:

- Melhor cenário: R\$1,50;

- Cenário intermediário: R\$2,25;
- Pior cenário: 3,20.

Sendo assim, os custos mensais referentes à compra de PCI, seriam:

Tabela 6 – Custos com compra mensal de sucatas de PCI

Capacidade	Quantidade mensal (Kg)	Melhor cenário (R\$):	Cenário intermediário (R\$):	Pior cenário (R\$):
0,8t/h	128000	192000	288000	384000
1,5t/h	240000	360000	540000	720000
7t/h	1120000	1680000	2520000	3360000

3.2.1.2 Transporte

Vistos alguns dos fatores influenciadores na composição do valor de transporte, o presente projeto optou por estabelecer uma planta piloto na cidade de Curitiba devido a maior facilidade de obtenção de dados e, ainda, pela modalidade de transporte rodoviário, visto que a distância a ser percorrida não justificaria meios mais complexos.

Conforme anteriormente citado, optou-se, também, pela terceirização deste serviço, pois, a análise pormenorizada implicaria fugir ao escopo do presente estudo.

Para a composição final do valor de transporte, foram fornecidos os seguintes dados para as empresas prestadoras de serviço, sendo que alguns destes foram tomados como considerações de projeto:

- Preço médio do quilo de PCI: R\$2,30 (conforme pesquisa de preços);
- Transporte realizado do fornecedor de PCI até a planta de reciclagem;
- Material transportado em “caminhões-caçamba” (caminhão com caçamba basculante);
- Material não frágil para transporte;

Feitas tais considerações obteve-se os seguintes dados:

Tabela 7 – Custos com transporte de resíduos de PCI (mensal)

Empresa:	Preço (R\$):	Cotação no dia:
Empresa A	15000	20/06/2012
Empresa B	13000	20/06/2012
Empresa C	14500	21/06/2012

O custo para transporte considerado foi composto pela média dos valores apresentados, que resultou em R\$13,75 mil.

3.2.2 Processo

Conforme mencionado, o método de reciclagem contemplado no projeto será o de processamento mecânico. Para que o referido método se apresente o mais verossímil possível, é necessária a simulação de uma linha de produção com capacidade de reciclagem definida conforme as considerações feitas a seguir:

- Linha de reciclagem totalmente mecanizada;
- Custos com manutenção inclusos no preço das máquinas;
- Vida útil das máquinas de 20 anos;
- Um turno de 8h diárias e 20 dias úteis no mês;
- Capacidade de processamento variável a fim de se obter vários cenários.

3.2.2.1 Maquinário

Segundo informações fornecidas pela empresa escandinava *ELDAN RECYCLING*, especializada em fabricação e fornecimento de equipamentos para reciclagem de diversos componentes eletrônicos, o maquinário necessário para se obter uma linha de processamento mecânico completa seria o seguinte:

- Primeira trituradora que realizará a etapa de cominuição;
- Separador de sucata por corrente de Foucault que realizará a primeira etapa de separação de materiais metálicos da parte de resinas.
- Alimentador da segunda trituradora que realizará a segunda etapa de cominuição;
- Segundo separador por corrente de Foucault;
- Granulador: nesta etapa será realizada a última cominuição;
- Mesa de separação.

Frise-se que não foi possível a obtenção dos valores dos equipamentos separadamente tendo em vista a negativa das empresas sob a justificativa de serem valores de “ordem comercial”. No entanto, a empresa *ELDAN Recycling* enviou um material contendo o preço das linhas de reciclagem situadas em Faaborg (Dinamarca), as quais incluem no valor o maquinário, a montagem, a manutenção durante todo o tempo de vida útil (20 anos) e todos os testes preliminares necessários.

Os valores são os seguintes:

- Linha para capacidade de até 0,8t/hora: 550.000 euros;
- Linha para capacidade de até 1,5t/hora: 1.290.000 euros;
- Linha para capacidade entre 5 e 7t/hora: 3.300.000 euros.

Considerando tais valores e os utilizando como base de cálculo, obteve-se três tratativas quanto à capacidade de processamento.

Devido ao valor da linha de reciclagem estar em Euro, faz-se necessária a conversão deste valor para a moeda brasileira para que sejam feitos outros cálculos referentes à viabilidade de processo.

Em consulta efetuada no sítio da Receita Federal do Brasil (consulta em 02/08/2012), calculou-se a importação da linha de reciclagem inteira da seguinte maneira:

- Consulta ao código NCM (nomenclatura comum no Mercosul) no qual os equipamentos se encaixam para cálculo do imposto incidente;
- Alíquota ICMS (imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação) foi considerada nula, pois não se tratam de equipamentos que serão comercializados no país;

Com estes dados chegou-se aos seguintes valores:

- Linha para capacidade de até 0,8t/hora: R\$1,45 milhão;
- Linha para capacidade de até 1,5t/hora: R\$3,4 milhões;
- Linha para capacidade entre 5 e 7t/hora: R\$8,7 milhões.

Importante esclarecer que através de pesquisas, até o presente momento, para este tipo de atividade, ainda não há qualquer incentivo fiscal, tanto na importação de equipamentos quanto para produtos industrializados.

Constatou-se, também, que há apenas alguns projetos, como o projeto de Lei número 2909/11 (consulta no dia 25/07/2012), que prevê incentivos fiscais para indústrias de reciclagem, porém alguns destes projetos chegam a caducar devido a sua demora de aprovação no Congresso.

Para o cálculo de viabilidade econômica, as considerações foram as seguintes:

- Desconsiderou-se a depreciação do maquinário, pois faltam dados de mercado sobre tais equipamentos no Brasil;
- Diluição do valor investido durante toda a vida útil dos equipamentos, sendo, então, este valor considerado um custo fixo mensal:
 - 20 anos x 12 meses = 240 meses;
 - Linha para capacidade de até 0,8t/h: R\$1,45 milhão / 240 = R\$6,04 mil mensais de custo fixo;
 - Linha para capacidade de até 1,5t/h: R\$3,4 milhões / 240 = R\$14 mil mensais de custo fixo;
 - Linha para capacidade de até 7t/h: R\$8,7 milhões / 240 = R\$36,25 mil mensais de custo fixo;

3.2.2.2 Processamento

Tendo em vista os inúmeros fatores que podem influenciar no custo final da etapa de processamento, tomar-se-á o referido processo como uma variável quando aplicada ao modelo econômico. Tal variante compreenderá:

- Equipamentos utilizados para manuseio dos materiais;
- Manutenção;
- Custo de hora da máquina;
- Energia consumida;
- Tempo de processamento;
- Taxa de aproveitamento do material;
- Outros.

Visto alguns aspectos que podem alterar o valor do processo, será feita a análise de todos os outros custos para, no fim, apurar-se um valor para o qual a planta de reciclagem seria viável.

3.2.2.3 Produto do processo

Conforme visto anteriormente, o processo mecânico consegue recuperar sozinho aproximadamente 80% dos metais presentes nas PCI. Por sua vasta complexidade e pela grande quantidade de materiais em sua composição, considerou-se que as PCI, para efeito de estudo econômico, são compostas apenas por cobre (Cu) em sua fração metálica, pois é o principal componente.

O cobre, por suas propriedades condutoras de eletricidade e calor, é amplamente utilizado pelas indústrias de construção civil, de telecomunicações, eletroeletrônica, transmissão e difusão de energia.

Consoante estudo divulgado pelo BNDES, as principais reservas de cobre estão localizadas no Chile (24,6%) e nos Estados Unidos (13,9%). O Brasil representa somente 1,8% do total mundial.

O consumo mundial de cobre refinado cresceu à taxa média de 4% somente no período de 1996/2000, atingindo 14,1 milhões de toneladas em 1999.

No que tange ao cenário brasileiro, a produção está restrita à Caraíba Metais S.A., localizada no município de Camaçari – BA. No ano de 2000 a empresa produziu 187 mil toneladas de cobre refinado, quantia esta muito aquém das 309,3 mil toneladas consumidas no país naquele mesmo ano. Já a Mineração Caraíba S.A., localizada no município de Jaguarari – BA é a única produtora de cobre concentrado e produziu 31,9 toneladas de cobre contido.

Ressalta-se, ainda, que as reservas de cobre da Mineração Caraíba já estiveram próximas à exaustão.

Deste modo, verifica-se que o país não é auto-suficiente na produção do cobre, necessitando de constantes importações para satisfazer a demanda do referido metal.

As considerações tecidas acima contribuem para a ênfase da necessidade de se considerar o mercado de recuperação do cobre secundário originário da sucata, pois, este representa cerca de 26% do consumo total de cobre obtido no ano de 2000 (BNDES, 2001). Tendo em vista que as placas de PCI possuem o referido metal como principal componente, justifica-se a relevância em se adotar uma planta piloto de reciclagem que vise à obtenção do cobre.

Conforme a Tabela 1, considerou-se, então, que a fração metálica representa 25% da sua massa total. Apresentada esta premissa, a fração metálica recuperada do processo mecânico é de:

- 25,6t/mês para a planta com capacidade de processamento de 0,8t/h;
- 48t/mês para a planta com capacidade de processamento de 1,5t/h;
- 224t/mês para a planta com capacidade de processamento de 7t/h.

Conforme já mencionado previamente, a obtenção do metal puro requer um processo posterior ao mecânico. Na modelo, visa-se, também, à obtenção de um valor aproximado para o referido processo subsequente a fim de melhor embasar a análise de viabilidade. Este valor também será considerado e englobado no custo de processamento total. Sendo assim, o custo de processamento será composto por dois valores.

Para o processo posterior ao mecânico, considerou-se que, ao final do mesmo, o produto corresponderá a 90% do material de entrada, ou seja:

- 23,04t/mês para a planta com capacidade de processamento de 0,8t/h;
- 43,2t/mês para a planta com capacidade de processamento de 1,5t/h;
- 201,6t/mês para a planta com capacidade de processamento de 7t/h.

Considerou-se, também, que o preço de venda do cobre (Cu) recuperado obedece ao preço de mercado do cobre (Cu) extraído da natureza. Os valores encontrados foram retirados do acompanhamento mensal do preço do cobre através

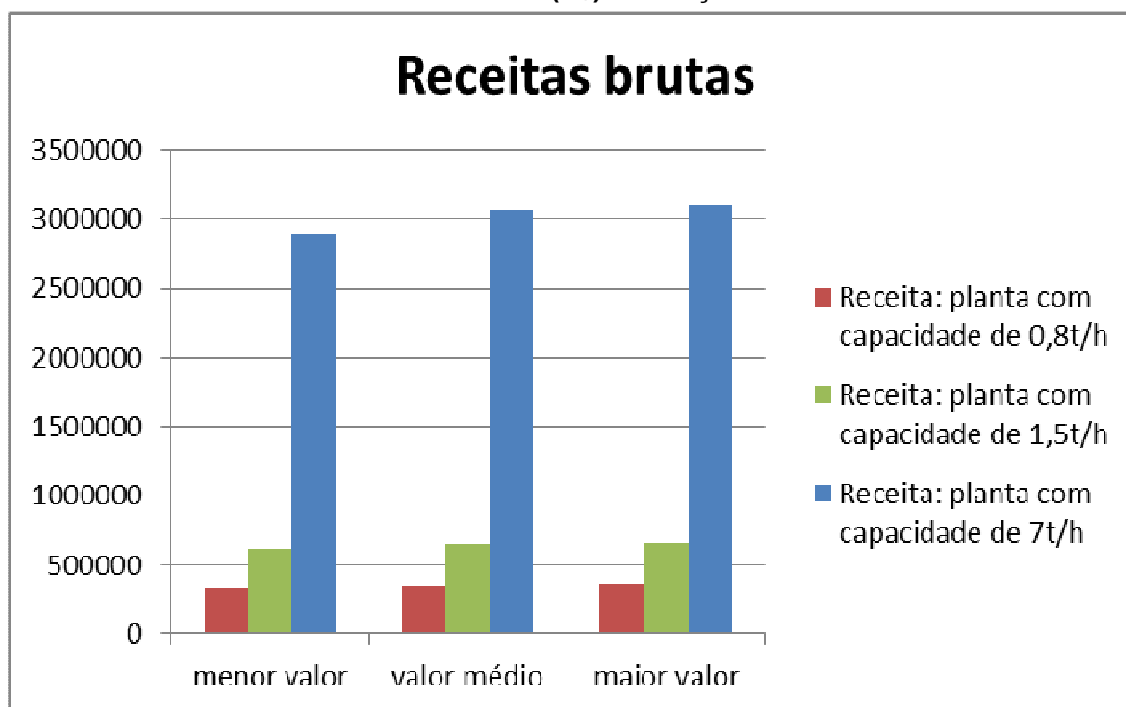
do endereço eletrônico de uma empresa do setor de exploração de metais não ferrosos (APÊNDICE C). Os preços ao longo dos meses foram os seguintes:

Tabela 8 – Preço do cobre(Cu) ao longo dos meses analisados

Resumo de preços (R\$/Kg):	
Menor valor:	14,4
valor médio:	15,21
Maior valor:	15,39

Para os valores apresentados, as receitas brutas encontradas foram:

Gráfico 1 – Receita (R\$) vs. Preço do cobre



Ao final da análise econômica, todos os custos gerados pela planta de reciclagem serão subtraídos da receita referente à venda deste material processado.

3.2.3 Instalações

A localização da planta de reciclagem deve seguir o plano de zoneamento da cidade na qual será implantada. Para o presente estudo, a cidade escolhida foi a de Curitiba, cujo plano de zoneamento, conforme a LEI Nº 1875/1960, adota as seguintes diretrizes:

- A cidade de Curitiba é dividida em zonas e cabe à prefeitura julgar a melhor utilização para cada uma delas de acordo com alguns fatores como topografia, infraestrutura, localização, entre outras;
- As zonas podem ser classificadas como:
 - a) Zonas centrais: centro tradicional da cidade, é caracterizada pela grande concentração de atividades e funções urbanas de caráter setorial.
 - b) Zonas residenciais: áreas predominantemente residenciais.
 - c) Zonas de uso misto: compreendem áreas de ocupação mista, com média densidade habitacional, caracterizadas como apoio às zonas industriais e de serviços localizadas na Cidade Industrial de Curitiba.
 - d) Zonas industriais: são aquelas destinadas à implantação de atividades industriais de grande porte, localizadas em sua maioria na Cidade Industrial de Curitiba.
 - e) Zonas de serviços: compreendem áreas ao longo de rodovias ou grandes eixos viários, destinadas à implantação de atividades comerciais e de serviços que, por seu porte ou natureza, exijam confinamento em áreas próprias ou sejam geradoras de tráfego pesado ou intenso.
 - f) Zonas de transição: compreendem áreas limítrofes à zoneamentos conflitantes, onde se pretende amenizar os impactos de uso e ocupação do solo
 - g) Zonas especiais: compreendem os grandes espaços físicos cuja ordenação de uso e ocupação do solo se caracteriza pela existência ou

previsão de edificações, equipamentos e instalações destinadas a grandes usos institucionais.

- h) Zona de contenção: compreende área periférica do território municipal, limítima à municípios vizinhos, onde se pretende a garantia de preservação e manutenção de suas características naturais com o estabelecimento de parâmetros de uso e ocupação do solo compatíveis com a proteção ambiental.
- i) Áreas de proteção ambiental: como o próprio nome sugere, compreende a área.
- j) Setores especiais: são todos os demais setores que não se encaixam nas zonas descritas acima.

Analisadas tais regulamentações, concluiu-se que a localização mais adequada para instalação da planta de reciclagem seria a Cidade Industrial de Curitiba.

Segundo Kellenberger et al. (2007) , são necessários 5000m² para instalação de uma planta de reciclagem mecânica. Essa área incluiria, inclusive, a área de armazenagem dos produtos a serem reciclados e os já reciclados. Destes 5000m² de área, considera-se que 75% seja referente a área de produção, 10% referente a ruas internas e áreas de estacionamento, 10% referente a área administrativa e os outros 5% para áreas desocupadas ou reservadas a normas regulamentadoras de segurança ou ambientais.

Com base nestes dados e estimativas, realizou-se uma pesquisa em duas imobiliárias especializadas em aluguel de estabelecimentos comerciais, as quais repassaram os seguintes valores:

Tabela 9 – Preço de barracões para instalação da planta de reciclagem

Bairro	Área	Valor (R\$)	Imobiliária	Data da consulta
Cidade Industrial	4500	67500	Favretto Imóveis LTDA	03/04/2012
Cidade Industrial	4340	79430	Favretto Imóveis LTDA	03/04/2012
Cidade Industrial	5800	90000	Favretto Imóveis LTDA	03/04/2012
Cidade Industrial	3413	55000	Connes Imóveis Empresariais LTDA	04/04/2012
Cidade Industrial	8205	125000	Connes Imóveis Empresariais LTDA	04/04/2012
Cidade Industrial	3420	55000	Connes Imóveis Empresariais LTDA	04/04/2012
	Média da área	Média de valor		
	4946,3	78655		

Fonte: Imobiliárias

Para melhor estimativa de valores de mercado, foram realizadas mais de uma consulta para que os valores finais fossem compostos por uma média dos valores apresentados.

Ao final da consulta, para uma análise dos cenários, o valor considerado foi o valor médio de R\$79 mil.

Ainda, segundo Kellenberger et al. (2007), os custos quanto a alguns outros fatores como o água, energia, saneamento e impostos, devem ser considerados juntos aos custos de processamento, pois estes variam consideravelmente de acordo com o volume de processamento da planta.

3.2.4 Administração e operação da planta

A operação da planta dependerá diretamente da sua capacidade de processamento que, para esta aplicação, poderá ser de 0,8t/h a 7t/h.

A tabela abaixo apresenta o contingente necessário para a administração das plantas apresentadas pela empresa ELDAN Recycling:

Tabela 10 – Contingente necessário para administração da planta de reciclagem

Capacidade de processamento	cargos administrativos	cargos operacionais
Até 0,8t/h	3	5
Até 1,5t/h	3	7
De 5 a 7t/h	4	10

Os cargos administrativos se dividem entre o setor de recursos humanos, gerência e supervisão. Já os cargos operacionais, dividem-se entre operação de máquinas e limpeza do local de trabalho.

Para apuração dos salários dos respectivos cargos, utilizou-se uma pesquisa junto a duas empresas de recursos humanos. Ao final desta pesquisa, os valores encontrados foram os seguintes:

Tabela 11 – Cargos e salários

Cargo	Salário
Gerência	5000
Recursos humanos	4000
Supervisão	3500
Operacional	1500

Fonte: Empresas de RH

Sendo assim, a princípio, o custo fixo mensal referente às verbas salariais seria de:

- R\$20 mil para planta com capacidade de 0,8t/h;
- R\$23 mil para planta com capacidade de 1,5t/h;
- R\$27,5 mil para planta com capacidade de 7t/h.

A fim de que a viabilidade econômica da planta se apresente com maior precisão, mostra-se necessária, ainda, a análise dos principais encargos sociais incidentes sobre os salários da mão-de-obra empregada, vez que aqueles oneram consideravelmente o empregador.

Muito embora alguns dos encargos possuam percentuais fixos dispostos em regulamentação própria, a maioria só pode ser estimada a partir de dados concretos como dias trabalhados, taxas de acidente de trabalho, dentre outros.

Há divergência doutrinária sobre a conceituação dos encargos sociais, contudo, não cabe tecer maiores considerações sobre o tema, sendo que no presente adotou-se a interpretação realizada pelo Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE) e por pesquisadores da Universidade de Campinas (Unicamp), que conclui que o peso dos encargos sociais é de 25,1 % sobre a remuneração total do trabalhador (DIEESE, 2011).

Importante explicar que a remuneração recebida pelo empregado é composta de duas partes, sendo que a primeira é referente ao salário médio mensal recebido pelo trabalhador enquanto empregado (salário efetivamente registrado na carteira de trabalho somado aos percentuais de décimo terceiro e adicional de 1/3 de férias) e que equivale a 11,11% do salário contratual mensal. Tal porcentagem é utilizada como base de cálculo para os encargos sociais vertidos ao Governo. A segunda parte é composta pelo Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) – 8% sobre o salário contratual, décimo terceiro salário e adicional de 1/3 de férias, e pelo percentual relativo às verbas indenizatórias quando há rescisão sem justa causa.

Deste modo, tem-se que a diferença entre o que a empresa efetivamente desembolsa e a remuneração total recebida diretamente pelo empregado resulta no montante destinado aos encargos sociais incidentes sobre a folha de pagamento.

Conforme dados fornecidos pelo DIEESE, os encargos e suas respectivas porcentagens são:

Tabela 12 – Encargos Sociais

Tipo de Encargo	Porcentagem sobre a folha média mensal
INSS	20%
Seguro contra acidente de trabalho	2%
Salário educação	2,5%
INCRA	0,2%
SESI, SESC, SEST	1,5%
SENAI, SENAC, SENAT	1%
SEBRAE	0,6%
Total	27,8%

Com base nos dados acima mencionados, os valores referentes à mão-de-obra devem englobar a remuneração dos empregados propriamente dita e os encargos sociais devidos. Sendo assim, os valores totais são:

- R\$25.560,00 para planta com capacidade de 0,8t/h;
- R\$29.394,00 para planta com capacidade de 1,5t/h;
- R\$35.145,00 mil para planta com capacidade de 7t/h.

Analisados os custos referentes à administração da planta, pôde-se realizar a conclusão da análise de custos dos cenários.

4 APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS

Uma vez caracterizados os custos e receitas do referido modelo, apurou-se quais seriam os valores a que se deve chegar para que o processo de reciclagem não resulte em prejuízo (os valores variáveis, tais como o preço da sucata de PCI e preço do cobre (Cu), foram considerados e podem ser consultados no APÊNDICE B).

Os melhores cenários são aqueles em que o preço das PCI é o menor e o preço do cobre (Cu), o maior possível, deste modo tem-se:

Tabela 13 – Resumo dos cenários

Resumo		
Capacidade de processamento	Valor destinado ao processamento (R\$)	Quantidade de PCI necessária por mês (Kg)
0,8t/h	67,8 mil	128000
1,5t/h	378,1 mil	240000
7t/h	2,8 milhões	1120000

Conforme se denota dos cálculos dos cenários, há várias situações em que somente os itens avaliados já apresentam prejuízo. Nas hipóteses acima referidas, os valores que se poderia destinar ao custo de processamento (sem obtenção de lucros) seriam os de R\$67,8 mil, R\$378,1 mil e R\$2,8 milhões para as plantas com capacidade de processamento de 0,8t/h, 1,5t/h e 7t/h respectivamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente estudo foca-se na apresentação de um modelo econômico genérico que pode ser aplicado às técnicas de reciclagem de PCI.

Primeiramente, explanou-se acerca das características dos resíduos eletrônicos, bem como das especificidades das PCI.

Fez-se necessária, ainda, a abordagem das técnicas e processos de reciclagem a fim de fornecer subsídios para melhor compreensão do tema.

Por fim, apresentou-se um modelo econômico passível de ser aplicado às técnicas de reciclagem mencionadas, o qual poderá fornecer, na eventualidade de aplicação do mesmo, dados acerca da viabilidade econômica do processo em questão.

Foram consideradas variáveis tais como: custas com transporte, instalações, manutenção, entre outras despesas que, comumente, deverão ser computadas na hipótese de se pretender averiguar se um determinado processo de reciclagem é economicamente viável.

Ao final da aplicação do modelo, notou-se a grande dificuldade em se obter informações a respeito da reciclagem de eletrônicos no país, sejam elas técnicas ou econômicas. Um dos principais motivos é o grande atraso que o Brasil sofre quando comparado a países desenvolvidos que se utilizam desta prática.

Segundo a Gerência Setorial de Mineração e Metalurgia do BNDES, a taxa de aproveitamento do cobre (Cu), quando extraído da natureza, é entre 0,7% e 2,5%, ou seja, a cada 1t de minério extraído, a massa aproveitada de cobre é de 7 a 25kg. Sendo assim, somente este fato justificaria a reciclagem de placas de PCI, visto que, em sua composição o cobre (Cu), encontra-se mais concentrado do que quando extraído do seu minério.

Verificou-se, também, que quanto maior a capacidade de processamento da planta, menos ela sofrerá com a variação nos preços das sucatas e com o preço de venda do cobre (Cu). Por outro lado, há uma diferença de investimentos de aproximadamente seis vezes o valor da planta com menor capacidade.

Inobstante a grande dificuldade em obtenção de informações para a realização do presente estudo, pôde-se desenvolver um modelo de aplicação que, embora hipotético, seria economicamente viável desde que levadas em consideração as informações apresentadas.

Frisa-se, novamente, que quanto maior for o volume de material processado, mais atrativa se mostrará a adoção da reciclagem de PCI. Para tanto, mostra-se indispensável a fomentação de políticas públicas que visem ao desenvolvimento e aplicação da prática de reciclagem de produtos eletrônicos. Dentre as medidas que poderiam colaborar para a questão, pode-se citar: a regularização das atividades de coleta e preços de sucatas eletrônicas e oferecimento de incentivos tributários às empresas que viabilizem e/ou exerçam a atividade em comento.

Por fim, demonstrou-se que o desenvolvimento de uma planta de reciclagem de PCI pode se mostrar economicamente viável, a depender da capacidade de processamento, do metal a que se procura recuperar e das variantes relativas ao processo propriamente dito. Muito embora a prática não seja amplamente divulgada no Brasil, nota-se que poderá trazer benefícios não só de ordem econômica, mas, principalmente nas searas ambiental e social, vez que amenizará a problemática da deposição da sucata, da toxidade dos materiais aterrados, da escassez de matéria prima e, ainda, gerará empregos formais e informais, diretos e indiretos.

Isto posto, considera-se que o objetivo do presente trabalho foi atingido, vez que foram constatados os possíveis benefícios econômicos, ambientais e sociais que a reciclagem de PCI pode gerar, e, ainda, confirmou-se a aplicabilidade do processo mecânico de reciclagem a uma planta piloto hipotética.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE JUNIOR, Derci A. **Estudo do Reaproveitamento dos Resíduos Tecnológicos**, 2010. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAABpqkAl/estudo-aproveitamento-dos-residuos-tecnologico>. Acesso em: 08 maio de 2011.

BORNIA, Antonio C. **Análise Gerencial de Custos: Aplicação em empresas modernas**. São Paulo: Atlas, 2009.

BROUGHTON A. C. **Circuit Board Recycling Increases, 1996**. Recycling Today. Disponível em: <http://www.recyclingtoday.com>. Acesso em: 08 maio de 2011.

CASTRO, Newton **Formação de Preços no Transporte de Cargas**. Rio de Janeiro: PPE, 2003.

CUI, Jirang; FORSSBERG, Eric **Mechanical Recycling of Waste Electric and Electronic Equipment: a review, 2002**. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/jhazmat>. Acesso em: 05 maio de 2011.

DAHMUS, Jeffrey B. et al. **Modeling the Economic and Environmental Performance of Recycling Systems, 2008**. Disponível em: <http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/ISEE.2008.4562896>. Acesso em: 06 maio de 2011.

DIEESE: **Encargos sociais e desoneração da folha de pagamentos – revisitando uma antiga polêmica**. Disponível em: <http://www.dieese.org.br/notatecnica/notatec101Desoneracao.pdf>. Acesso em: 20 setembro de 2012.

HALL, William J.; WILLIAMS Paul T. **Separation and Recovery of Materials from Scrap Printed Circuit Boards, 2006**. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/resconrec>. Acesso em: 08 maio de 2011.

HAWKEN, Paul et al. **Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial**. São Paulo: Cultrix; Amana-Key, 2009.

HAYES, P.C. **Process Principles in Minerals and Materials Production**. Hayes Publishing CO. p 29. Brisbane, Australia, 1993.

HINO, Takanori et al. **Techniques to separate metal from waste printed circuit boards from discarded personal computers**. Londres: Springer, 2009.

HISCHIER, Roland; GALLEN, Empa St. **Disposal of Electric and Electronic Equipment, 2007**. Disponível em: <http://www.ecoinvent.ch/>. Acesso em: 10 maio 2011.

JOHN, Vanderley M. et al. **Sobre a necessidade de metodologia de pesquisa e desenvolvimento para reciclagem**. Disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/necessidade%20metodologia_john%20et%20al.PDF. Acesso em: 20 março 2011.

KELLEMBERGER, D. et al. **Life Cycle Inventories of Building Products. Final report ecoinvent data v2.0 No. 07. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Empa – TSI**. Acesso em: 20 junho de 2012.

KHANDPUR, R. S. **Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, Assembly and Testing**. McGraw-Hill 2006.

LI, Jianzhi et al. **Printed Circuit Board Recycling: A State-of-the-Art Survey, 2004**. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org.ez48.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 29 abril de 2011.

NIU, Qiang et al. **The Recycle Model of Printed Circuit Board and its Economy, 2007**. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org.ez48.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 29 abril de 2011.

OGUNNIYI, I.O. et al. **Chemical composition and liberation characterization of printed circuit board comminution fines for beneficiation investigations, 2009**. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/wasman>. Acesso em: 05 maio de 2011.

POPOV, Konstantin I. et al. **Fundamental Aspects of Electrometallurgy**. Nova Iorque: Plenum Publishers, 2002.

QUAN, Cui et al. **Characterization of Products Recycling from PCB waste, 2010**. Disponível em <http://www.sciencedirect.com.ez48.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 29 abril de 2011.

RON, Ad; PENEV, Kiril **Disassembly and Recycling of Electronic Consumer Products Overview, 1995.** Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/jhazmat>. Acesso em: 04 maio de 2011.

SUM, Elaine Y. L. **The Recovery of Metals from Electronic Scrap.** JOM, 1991.

SUN, Jing et al. **An Exploration Study of Electronic Waste Treatment: Microwave-induced Pyrolysis, 2010.** Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org.ez48.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 03 maio de 2011.

VEIT, Hugo M. **Emprego do Processamento Mecânico na Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito Impresso, 2001.** Disponível em: www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3432. Acesso em: 07 maio de 2011.

VEIT, Hugo M. et al. **Using Mechanical Processing in Recycling Printed Wiring Boards, 2002.** Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/gw447g34l7358386/>. Acesso em: 05 maio de 2011.

WEILAND, Fernand J. **Remanufacturing Automotive Mechatronics & Electronics: Not a threat but an opportunity.** Disponível em: http://www.apra-europe.org/dateien/News/ebook_FJWeiland_Remanufacturing_Automotive_Mechatronics_and_Electronics.pdf. Acesso em: 21 março 2011.

WILLIAMS, Paul T. **Valorization of Printed Circuit Boards from Waste Electrical and Electronic Equipment by Pyrolysis, 2010.** Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/gw447g34l7358386/>. Acesso em: 05 maio de 2011.

YANG, Haiyu et al. **Leaching Copper from Shredded Particles of Waste Printed Circuit Boards, 2011.** Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/jhazmat>. Acesso em: 04 maio de 2011.

YU, Jingley et al. **Review and Prospects of Recycling Methods for Waste Printed Circuit Boards, 2009.** Disponível em <http://www.sciencedirect.com.ez48.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 28 abril de 2011.

APÊNDICE A – CRONOGRAMA

Atividades	Quinzena																								
	J1	J2	F1	F2	M1	M2	A1	A2	M1	M2	J1	J2	J1	J2	A1	A2	S1	S2	O1	O2	N1	N2	D1	D2	
Definição do tema e Proposta			x																						
Revisão Bibliográfica				x	x	x	x	x																	
Entrega da proposta para revisão						x																			
Entrega da proposta final							x																		
Pesquisa e estudo aprofundado						x	x																		
Desenvolvimento de modelo de avaliação								x	x	x															
Revisão do projeto											x														
Entrega da monografia parcial												x													
Defesa do projeto													x												
Projeto Final 2																									
Entrega da versão final da monografia parcial e cronograma atualizado																x									
Coleta de dados acerca da reciclagem de PCI																x	x								
Teste do modelo																	x	x	x						
Revisão do projeto																			x						
Entrega da monografia																					x				
Preparação para Defesa																			x	x					
Defesa																					x				
Entrega da versão final da monografia																						x			

APÊNDICE B – CÁLCULOS DOS CENÁRIOS

Cenário 1 (capacidade de processamento de 0,8t/h):		Cenário 2 (capacidade de processamento de 0,8t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	192000	Sucata	288000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	6040	Maquinário	6040
Mão-de-obra	25560	Mão-de-obra	25560
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	292350	Total (R\$):	388350
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	23040	Cobre recuperado	23040
Total(R\$):	331776	Total(R\$):	331776
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	39426	Valor(R\$):	-56574
Cenário 3 (capacidade de processamento de 0,8t/h):		Cenário 4 (capacidade de processamento de 0,8t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	384000	Sucata	192000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	6040	Maquinário	6040
Mão-de-obra	25560	Mão-de-obra	25560
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	484350	Total (R\$):	292350
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	23040	Cobre recuperado	23040
Total(R\$):	331776	Total(R\$):	350438,4
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	-152574	Valor(R\$):	58088,4

Cenário 5 (capacidade de processamento de 0,8t/h):		Cenário 6 (capacidade de processamento de 0,8t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	288000	Sucata	384000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	6040	Maquinário	6040
Mão-de-obra	25560	Mão-de-obra	25560
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	388350	Total (R\$):	484350
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	23040	Cobre recuperado	23040
Total(R\$):	350438,4	Total(R\$):	350438,4
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	-37911,6	Valor(R\$):	-133911,6
Cenário 7 (capacidade de processamento de 0,8t/h):		Cenário 8 (capacidade de processamento de 0,8t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	192000	Sucata	288000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	6040	Maquinário	6040
Mão-de-obra	25560	Mão-de-obra	25560
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	292350	Total (R\$):	388350
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	23040	Cobre recuperado	23040
Total(R\$):	354585,6	Total(R\$):	354585,6
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	62235,6	Valor(R\$):	-33764,4

Cenário 9 (capacidade de processamento de 0,8t/h):		Cenário 10 (capacidade de processamento de 1,5t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	384000	Sucata	192000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	6040	Maquinário	14000
Mão-de-obra	25560	Mão-de-obra	29394
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	484350	Total (R\$):	304144
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	23040	Cobre recuperado	43200
Total(R\$):	354585,6	Total(R\$):	622080
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	-129764,4	Valor(R\$):	317936
Cenário 11 (capacidade de processamento de 1,5t/h):		Cenário 12 (capacidade de processamento de 1,5t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	288000	Sucata	384000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	14000	Maquinário	14000
Mão-de-obra	29394	Mão-de-obra	29394
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	400144	Total (R\$):	496144
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	43200	Cobre recuperado	43200
Total(R\$):	622080	Total(R\$):	622080
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	221936	Valor(R\$):	125936

Cenário 13 (capacidade de processamento de 1,5t/h):		Cenário 14 (capacidade de processamento de 1,5t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	192000	Sucata	288000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	14000	Maquinário	14000
Mão-de-obra	29394	Mão-de-obra	29394
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	304144	Total (R\$):	400144
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	43200	Cobre recuperado	43200
Total(R\$):	657072	Total(R\$):	657072
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	352928	Valor(R\$):	256928
Cenário 15 (capacidade de processamento de 1,5t/h):		Cenário 16 (capacidade de processamento de 1,5t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	384000	Sucata	192000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	14000	Maquinário	14000
Mão-de-obra	29394	Mão-de-obra	29394
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	496144	Total (R\$):	304144
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	43200	Cobre recuperado	43200
Total(R\$):	657072	Total(R\$):	664848
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	160928	Valor(R\$):	360704

Cenário 17 (capacidade de processamento de 1,5t/h):		Cenário 18 (capacidade de processamento de 1,5t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	288000	Sucata	384000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	14000	Maquinário	14000
Mão-de-obra	29394	Mão-de-obra	29394
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	400144	Total (R\$):	496144
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	43200	Cobre recuperado	43200
Total(R\$):	664848	Total(R\$):	664848
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	264704	Valor(R\$):	168704
Cenário 19 (capacidade de processamento de 7t/h):		Cenário 20 (capacidade de processamento de 7t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	192000	Sucata	288000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	36250	Maquinário	36250
Mão-de-obra	35145	Mão-de-obra	35145
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	332145	Total (R\$):	428145
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	201600	Cobre recuperado	201600
Total(R\$):	2903040	Total(R\$):	2903040
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	2570895	Valor(R\$):	2474895

Cenário 21 (capacidade de processamento de 7t/h):		Cenário 22 (capacidade de processamento de 7t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	384000	Sucata	192000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	36250	Maquinário	36250
Mão-de-obra	35145	Mão-de-obra	35145
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	524145	Total (R\$):	332145
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	201600	Cobre recuperado	201600
Total(R\$):	2903040	Total(R\$):	3066336
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	2378895	Valor(R\$):	2734191
Cenário 23 (capacidade de processamento de 7t/h):		Cenário 24 (capacidade de processamento de 7t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	288000	Sucata	384000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	36250	Maquinário	36250
Mão-de-obra	35145	Mão-de-obra	35145
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	428145	Total (R\$):	524145
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	201600	Cobre recuperado	201600
Total(R\$):	3066336	Total(R\$):	3066336
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	2638191	Valor(R\$):	2542191

Cenário 25 (capacidade de processamento de 7t/h):		Cenário 26 (capacidade de processamento de 7t/h):	
Custos mensais:		Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):	Item:	Valor (R\$):
Sucata	192000	Sucata	288000
Transporte	13750	Transporte	13750
Maquinário	36250	Maquinário	36250
Mão-de-obra	35145	Mão-de-obra	35145
Aluguel	55000	Aluguel	55000
Total (R\$):	332145	Total (R\$):	428145
Receitas:		Receitas:	
Item:	Massa (kg)	Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	201600	Cobre recuperado	201600
Total(R\$):	3102624	Total(R\$):	3102624
Valor do processo de tratamento posterior:		Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	2770479	Valor(R\$):	2674479

Cenário 27 (capacidade de processamento de 7t/h):	
Custos mensais:	
Item:	Valor (R\$):
Sucata	384000
Transporte	13750
Maquinário	36250
Mão-de-obra	35145
Aluguel	55000
Total (R\$):	524145
Receitas:	
Item:	Massa (kg)
Cobre recuperado	201600
Total(R\$):	3102624
Valor do processo de tratamento posterior:	
Valor (R\$):	2578479

APÊNDICE C – VARIAÇÃO NO PREÇO DO COBRE

jan/12	DOLAR PTAX	COBRE		fev/12	DOLAR PTAX	COBRE	
dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg	dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg
2	Feriado	Feriado	Feriado	30	1,7436	8399	14,64
3	1,8683	7661	14,31	31	1,7509	8485,5	14,86
4	1,8457	7652	14,12	1	1,7391	8351,5	14,52
5	1,8272	7471	13,65	2	1,7376	8339	14,49
6	1,8371	7515	13,81	3	1,7326	8320	14,42
MS 01	1,8446	7574,8	13,97	ms 05	1,7408	8379	14,59
9	1,8449	7503	13,84	6	1,7223	8463	14,58
10	1,8442	7641	14,09	7	1,7249	8335,5	14,38
11	1,8042	7689,5	13,87	8	1,7261	8586	14,82
12	1,8048	7946	14,34	9	1,7195	8520,5	14,65
13	1,7874	7965,5	14,24	10	1,7225	8591	14,8
MS 02	1,8171	7749	14,08	ms 06	1,7231	8499,2	14,64
16	1,7853	8021	14,32	13	1,726	8512	14,69
17	1,7836	8185	14,6	14	1,7169	8405	14,43
18	1,776	8156	14,49	15	1,7173	8395,5	14,42
19	1,7791	8350,5	14,86	16	1,7158	8209,5	14,09
20	1,7648	8230,5	14,53	17	1,7326	8370	14,5
MS 03	1,7778	8188,6	14,56	ms 07	1,7217	8378,4	14,43
23	1,767	8333	14,72	20	feriado	8232	14,11
24	1,7528	8267	14,49	21	feriado	8324	14,26
25	1,7649	8271	14,6	22	1,7136	8391	14,38
26	1,7632	8560	15,09	23	1,7076	8408	14,36
27	1,7389	8610	14,97	24	1,7098	8441	14,43
MS 04	1,7574	8408,2	14,78	ms 08	1,7103	8359,2	14,31
30	1,7436	8399	14,64	27	1,7098	8436	14,42
31	1,7509	8485,5	14,86	28	1,7088	8658	14,79
MS 05	1,7473	8442,3	14,75	29	1,7024	8585	14,62
MM 01	1,7921	8043,5	14,4	ms 09	1,707	8559,7	14,61
				mm 02	1,7203	8422,5	14,48

Legenda:

ms= média semanal

mm= média mensal

us\$/ton = preço por tonelada em dólar

r\$/kg = preço por kilo em real

mar/12	DOLAR PTAX	COBRE		abr/12	DOLAR PTAX	COBRE	
dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg	dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg
27	1,7098	8436	14,42	2	1,8221	8480	15,45
28	1,7088	8658	14,79	3	1,8314	8575,5	15,71
29	1,7024	8585	14,62	4	1,8256	8451,5	15,43
1	1,7092	8570	14,65	5	1,8316	8365,5	15,32
2	1,7152	8575	14,71	6	1,8301	0	0
MS 09	1,7091	8564,8	14,64	MS 14	1,8282	8468,1	15,48
5	1,7245	8502	14,66	9	0	0	0
6	1,7314	8335,5	14,43	10	1,826	8256	15,08
7	1,7556	8261	14,5	11	1,8317	8115	14,86
8	1,7556	8390	14,73	12	1,8303	8185	14,98
9	1,7697	8390,5	14,85	13	1,827	8165,5	14,92
MS 10	1,7474	8375,8	14,63	MS 15	1,8288	8180,4	14,96
12	1,7767	8401,1	14,93	16	1,8364	8054	14,79
13	1,8157	8530	15,49	17	1,8373	8100,5	14,88
14	1,8102	8468	15,33	18	1,8454	8085	14,92
15	1,8006	8490,5	15,29	19	1,8694	8045,5	15,04
16	1,8018	8620,5	15,53	20	1,8867	8120,5	15,32
MS 11	1,801	8502	15,31	MS 16	1,855	8081,1	14,99
19	1,8018	8575	15,45	23	1,8786	8125	15,26
20	1,809	8437	15,26	24	1,8864	8194	15,46
21	1,8259	8470,5	15,47	25	1,878	8285,5	15,56
22	1,8267	8320	15,2	26	1,8807	8356	15,72
23	1,825	8400,5	15,33	27	1,8871	8443,5	15,93
MS 12	1,8177	8440,6	15,34	MS 17	1,8822	8280,8	15,59
26	1,8194	8485	15,44	30	1,8852	8529,5	16,08
27	1,8143	8512	15,44	MS 18	1,8852	8529,5	16,08
28	1,8135	8480,5	15,38	MM 04	1,8514	8259,6	15,3
29	1,8223	8360	15,23				
30	1,8334	8480	15,55				
MS 13	1,8206	8463,5	15,41				
MM 03	1,789	8457	15,13				

Legenda:

ms= média semanal

mm= média mensal

us\$/ton = preço por tonelada em dólar

r\$/kg = preço por kilo em real

abr/12	DOLAR PTAX	COBRE		jun/12	DOLAR PTAX	COBRE	
dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg	dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg
2	1,8221	8480	15,45	28	2,0032	7740	15,5
3	1,8314	8575,5	15,71	29	1,9778	7685,5	15,2
4	1,8256	8451,5	15,43	30	1,9944	7545	15,05
5	1,8316	8365,5	15,32	31	2,0078	7517	15,09
6	1,8301	0	0	1	2,0223	7364	14,89
MS 14	1,8282	8468,1	15,48	MS 22	2,0011	7570,3	15,15
9	0	0	0	4	2,035	0	0
10	1,826	8256	15,08	5	2,041	0	0
11	1,8317	8115	14,86	6	2,0266	7459,5	15,12
12	1,8303	8185	14,98	7	FERIADO	7480,5	15,16
13	1,827	8165,5	14,92	8	2,0183	7251,5	14,64
MS 15	1,8288	8180,4	14,96	MS 23	2,0302	7397,2	14,97
16	1,8364	8054	14,79	11	2,0353	7396	15,05
17	1,8373	8100,5	14,88	12	2,0348	7384	15,02
18	1,8454	8085	14,92	13	2,0564	7397,5	15,21
19	1,8694	8045,5	15,04	14	2,0604	7376,5	15,2
20	1,8867	8120,5	15,32	15	2,0691	7521	15,56
MS 16	1,855	8081,1	14,99	MS 24	2,0512	7415	15,21
23	1,8786	8125	15,26	18	2,0443	7475,5	15,28
24	1,8864	8194	15,46	19	2,0634	7505	15,49
25	1,878	8285,5	15,56	20	2,044	7555	15,44
26	1,8807	8356	15,72	21	2,0293	7426	15,07
27	1,8871	8443,5	15,93	22	2,0363	7320	14,91
MS 17	1,8822	8280,8	15,59	MS 25	2,0435	7456,3	15,24
30	1,8852	8529,5	16,08	25	2,0555	7342,5	15,09
MS 18	1,8852	8529,5	16,08	26	2,0718	7347	15,22
MM 04	1,8514	8259,6	15,3	27	2,0743	7354	15,25
				28	2,0764	7421	15,41
				29	2,0904	7604,5	15,9
				MS 26	2,0737	7413,8	15,37
				MM 06	2,0492	7420,1	15,21

Legenda:

ms= média semanal

mm= média mensal

us\$/ton = preço por tonelada em dólar

r\$/kg = preço por kilo em real

jul/12	DOLAR PTAX	COBRE		ago/12	DOLAR PTAX	COBRE	
dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg	dia	\$/r\$	us\$/ton	r\$/kg
2	2,0213	7647,5	15,46	30	2,0173	7520	15,17
3	1,9893	7777	15,47	31	2,0313	7581	15,4
4	1,9888	7695	15,3	1	2,0499	7500	15,37
5	2,0201	7761,5	15,68	2	2,0432	7386,5	15,09
6	2,0292	7600	15,42	3	2,0475	7327	15
MS 27	2,0097	7696,2	15,47	MS 31	2,0378	7462,9	15,21
9	2,0359	7520,5	15,31	6	2,0313	7400	15,03
10	2,0312	7556	15,35	7	2,0279	7567	15,35
11	2,0332	7525,5	15,3	8	2,0281	7525,5	15,26
12	2,031	7510	15,25	9	2,0273	7495,5	15,2
13	2,0471	7689	15,74	10	2,0182	7430,5	15
MS 28	2,0357	7560,2	15,39	MS 32	2,0266	7483,7	15,17
16	2,0338	7636	15,53	13	2,0175	7426,5	14,98
17	2,038	7671	15,63	14	2,0266	7407	15,01
18	2,0349	7596	15,46	15	2,0258	7386	14,96
19	2,0258	7765	15,73	16	2,0234	7386	14,94
20	2,0239	7625	15,43	17	2,0214	7496	15,15
MS 29	2,0313	7658,6	15,56	MS 33	2,0229	7420,3	15,01
23	2,0227	7387	14,94	20	2,0182	7433	15
24	2,0412	7396	15,1	21	2,0209	7510	15,18
25	2,0418	7441	15,19	22	2,0173	7571,5	15,27
26	2,0403	7510,5	15,32	23	2,021	7667,5	15,5
27	2,0255	7555	15,3	24	2,0241	7600,5	15,38
MS 30	2,0343	7457,9	15,17	MS 34	2,0203	7556,5	15,27
30	2,0173	7520	15,17	27	2,0293	FERIADO	FERIADO
31	2,0313	7581	15,4	28	2,0241	7606	15,4
MS 31	2,0243	7550,5	15,28	29	2,0433	7524,5	15,37
MM 07	2,0274	7589,3	15,39	30	2,0509	7611	15,61
				31	2,0513	7576,5	15,54
				MS 35	2,0398	7579,5	15,48
				MM 08	2,0299	7492,5	15,21

Legenda:

ms= média semanal

mm= média mensal

us\$/ton = preço por tonelada em dólar

r\$/kg = preço por kilo em real

Resumo de preços (R\$):	
Menor valor:	14,4
valor médio:	15,21
Maior valor:	15,39

Fonte: <http://www.grupotecsel.com.br/cotacoes.asp>