



# Gestão de Resíduos e Gestão Ambiental da Indústria Eletro-eletrônica

**Prof. Dr. Waldir A. Bizzo**

Colaboração Dra. Eliane M. Grigoletto

Faculdade de Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



**UNICAMP**

**POLUIÇÃO** → **alteração do estado natural do ambiente devido a ação do ser humano.**

- Destruição do ambiente natural
- Contaminação (ar, água, solo e subsolo)
- Crescimento populacional
- Concentração urbana

## **ORIGEM**

- Exploração dos recursos naturais não renováveis
- Destruição dos recursos naturais renováveis
- Capacidade limitada do ambiente

## AÇÕES DO HOMEM PERANTE A POLUIÇÃO AMBIENTAL

- **Dispersão de poluentes:**
  - Limitada pela capacidade natural do ambiente
- **Controle de poluição:**
  - Transformação ou segregação dos poluentes (a matéria é sempre conservada)
- **Prevenção da poluição:**
  - Não produção de poluentes ou resíduos

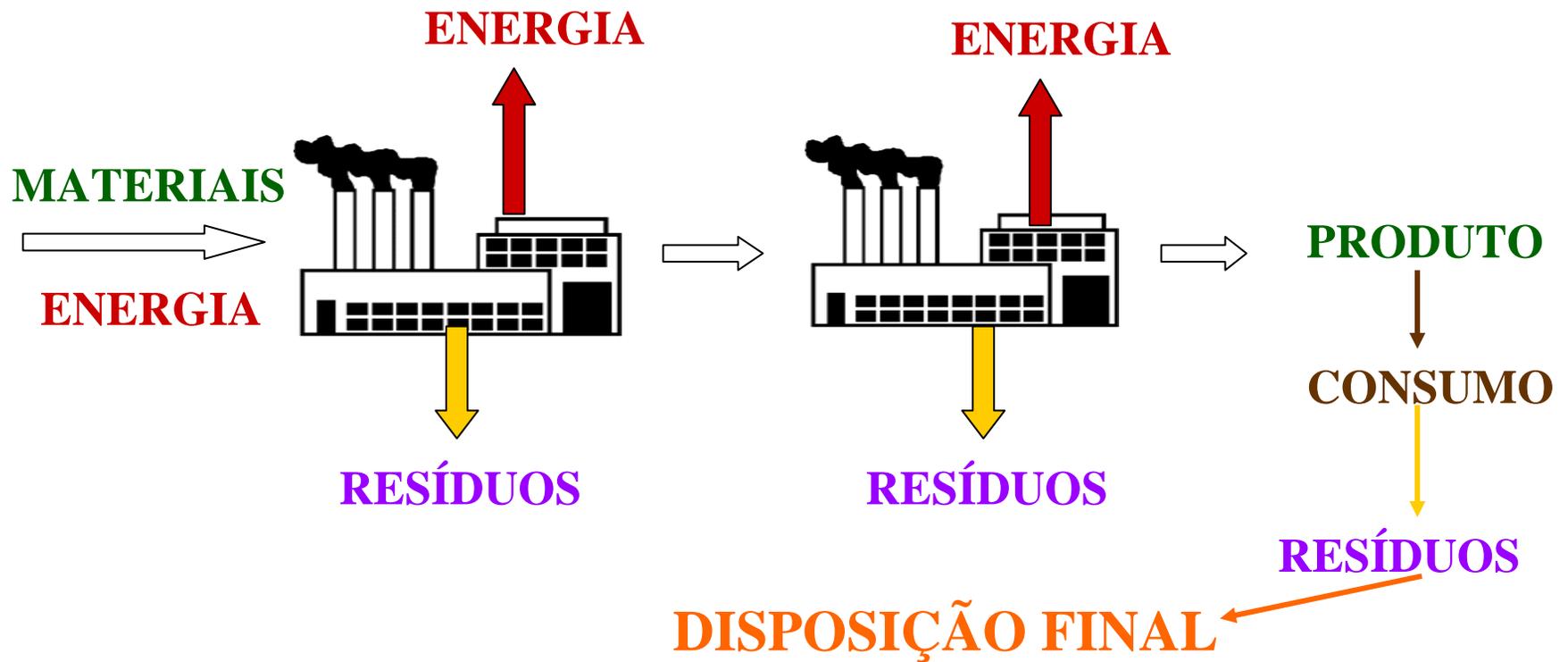
## **IMPACTOS AMBIENTAIS DE RESÍDUOS**

- **Contaminação tóxica:**
  - Recursos hídricos
  - Ar atmosférico
  - Solo
- **Aumento de índice de mortandade e doenças**
- **Destruição do ambiente natural**
  - Disposição de resíduos no solo
  - Redução dos recursos renováveis
  - Esgotamento dos recursos naturais

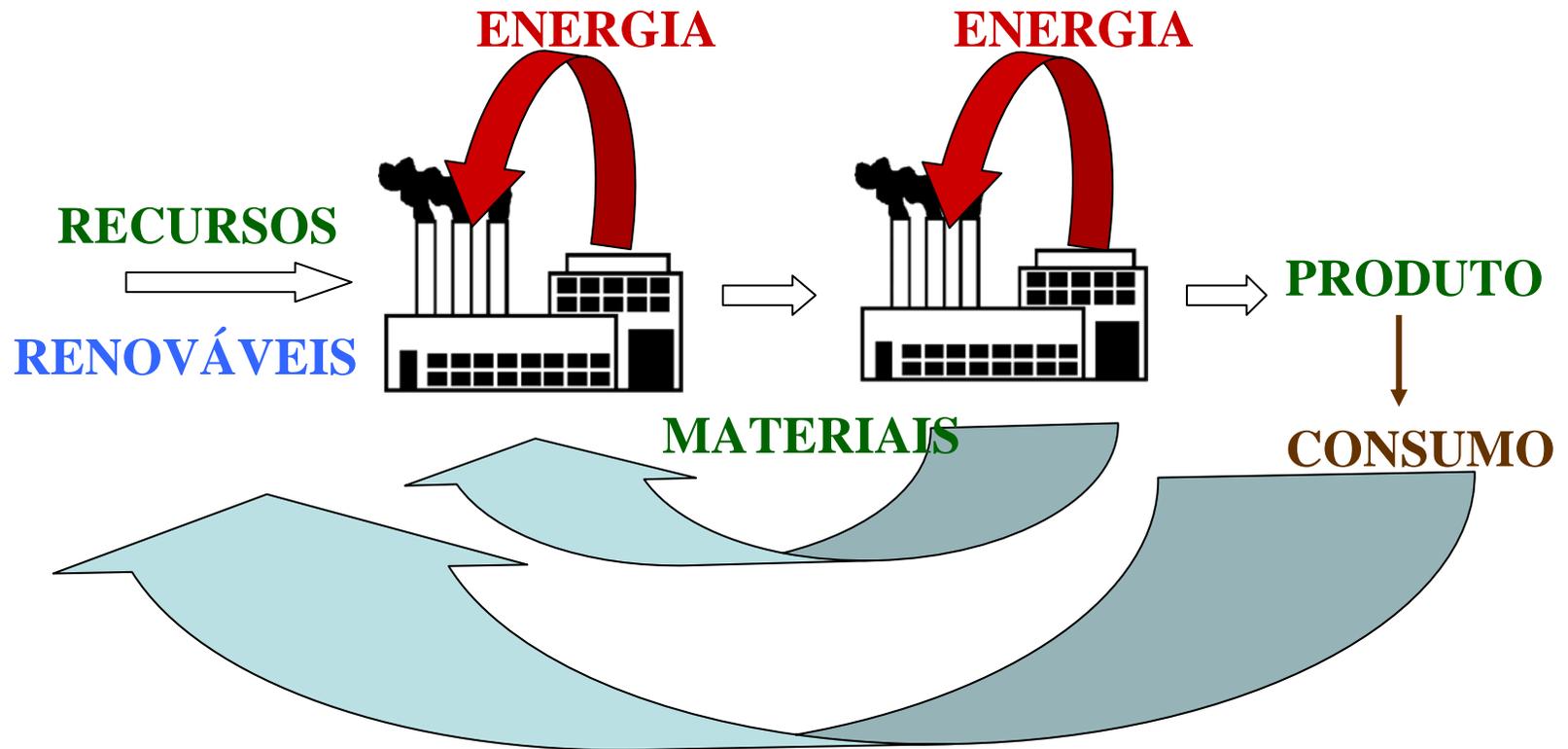
## IMPACTOS ECONOMICOS DE RESÍDUOS

- Custos de tratamento de saúde.
- Custos devido ao afastamento e aposentadorias precoces.
- Custos devido ao aumento da escassez dos recursos naturais.
- Custos devido à gestão e disposição de resíduos
- Remediação de áreas contaminadas
- Desperdício de recursos materiais e humanos

## PRODUÇÃO E CONSUMO CONVENCIONAIS



## PRODUÇÃO LIMPA E CONSUMO RESPONSÁVEL



## HISTÓRICO DAS AÇÕES DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

Período 1970 - 1990

- **Água:** devido à visível degradação dos rios nos centros urbanos e próximo à estes
- **Ar:** impacto direto na saúde da população
- **Indústrias-alvo:**
  - Química e petroquímica (potencial perigoso)
  - Agroindústria canavieira (vinhoto)
  - Siderurgia (pólo de Cubatão)

## HISTÓRICO DAS AÇÕES DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

### Período pós 1990

- Resíduos sólidos: impacto devido a destinação em lixões e projetos de instalação de incineradores
- Resíduos industriais: descoberta e identificação de diversos sites contaminados (brown fields)
- Coincide com o início do grande crescimento da indústria eletroeletrônica

## **GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA ELETRO-ELETRÔNICA**

- **Preocupação relativamente recente no setor EE**

Características operacionais da produção de EEs:

- Produção de placas de circuito impresso
- Produção de componentes
- Montagem dos componentes nas placas
- Montagem do produto final
- Acabamento e embalagem

## GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA ELETRO-ELETRÔNICA

- Produção de resíduos e poluentes:
  - Tratamento e acabamento superficial
  - Soldagem de componentes
  - Resíduos de manufatura com plásticos e metais
  - Embalagens
- Gestão ambiental no site de produção da indústria EE é relativamente simples, em comparação com outros setores industriais
- Foco de pressões ambientais na indústria EE deixa de ser **a gestão ambiental** do site de produção e passa a ser a **gestão ambiental do produto**

## MATERIAIS DIVERSOS QUE COMPÕEM UM PRODUTO ELETRÔNICO

Tabela 1 – Composição física de um computador e índice de materiais recicláveis

Material	% Em Relação ao Peso Total	% Reciclável	Localização
Alumínio	14,172	80	Circuito integrado, solda, bateria
Chumbo	6,298	5	Semicondutor
Ferro	20,471	80	Estrutura , encaixes
Estanho	1,007	70	Circuito integrado
Cobre	6,928	90	Condutivo
Bário	0,031	0	Válvula eletrônica
Níquel	0,850	80	Estrutura, encaixes
Zinco	2,204	60	Bateria
Berílio	0,015	0	Condutivo térmico, conectores
Ouro	0,016	98	Conexão, condutivo
Manganês	0,031	0	Estrutura, encaixes
Prata	0,018	98	Condutivo
Cromo	0,006	0	Decoração, proteção contra corrosão
Cádmio	0,009	0	Bateria, chip, semicondutor, estabilizadores
Mercúrio	0,002	0	Bateria, ligamentos, termostatos, sensores
Sílica	24,880	0	Vidro

Fonte: Microelectronics and Computer Technology Corporation, 2000.

## MATERIAIS DIVERSOS QUE COMPÕEM UM PRODUTO ELETRÔNICO

**Tabela 2 - Materiais presentes nos computadores**

Plásticos	40%
Metais	37%
Dispositivos eletrônicos	5%
Borracha	1%
Outros	17%
Materiais recuperáveis	94%

*Fonte: Geodis Logistics*

## MATERIAIS DIVERSOS QUE COMPÕEM UM PRODUTO ELETRÔNICO

**Tabela 3 – Materiais de computadores que serão descartados até 2004\*, previsão em 2000.**

Plástico	2 milhões
Chumbo	600 mil
Cádmio	mil
Cromo	600
Mercúrio	200

**\* Previsão em toneladas**

*Fonte: Microelectronics and Computer Technology Corporation, 2000.*

## DESCARTE DE EE COMO RESÍDUO PERIGOSO

**Tabela 4 – Resultados físico-químico do lixiviado de placas de circuito impresso de computadores descartados**

Determinação	Resultado (mg/l) (a)	Limites (mg/l) (a)
Arsênio	N.D.	5,0
Cádmio	22,0	0,5
Chumbo	133	5,0
Bário	1,5	100
Cromo Total	0,05	5,0
Selênio	N.D.	1,0
Prata	0,02	5,0
Mercúrio	N.D.	0,1
Fluoreto	N.D.	150



*Observações:* (a) – valores indicados nos Anexos G,H,I e J da NBR 10004  
ND = Não Detectado aos limites expressos.

**Fonte:** Andrade, R., Caracterização e Classificação de Placas de Circuito Impresso de Computadores como Resíduo Sólido, Unicamp, dissertação de Mestrado, 2002

## POTENCIAL DE RECICLAGEM DOS EEs

Tabela 5 - Análise química de placas de circuito impresso descartadas

Elemento	XT (mg/kg)	486 (mg/kg)	Pentium (mg/kg)	Amostra total (mg/kg)
Ag	642	283	340	317
Au	218	633	366	142
Cd	2.375	2.283	1.033	1183
Cu	37.817	37.017	24.000	42.283
Fe	568	19.500	34.433	30.783
K	233	680	90	180
Mn	337	3.543	4.377	81
Na	317	413	1.350	4.833
Ni	12.717	16.608	21.230	4.142
Zn	2.558	1.992	2.167	1.825
Pb	51.083	22.750	42.000	25.000
*Si	22	47	60	-

## POTENCIAL DE RECICLAGEM DOS EEs

Tabela 5 - continuação

Elemento	XT (mg/kg)	486 (mg/kg)	Pentium (mg/kg)	Amostra total (mg/kg)
As	37	46	20	11
Ca	7.730	1.264	1.197	1.696
Sb	301	142	315	505
Se	7	20	9	21
Sn	11.915	68.274	64.313	47.863

**Fonte:** Andrade, R., Caracterização e Classificação de Placas de Circuito Impresso de Computadores como Resíduo Sólido, Unicamp, dissertação de Mestrado, 2002

## POTENCIAL DE RECICLAGEM DOS EEs

Tabela 6 - Porcentagem de metal encontrado em média nos minérios e nas placas de circuito impresso (ref. 1).

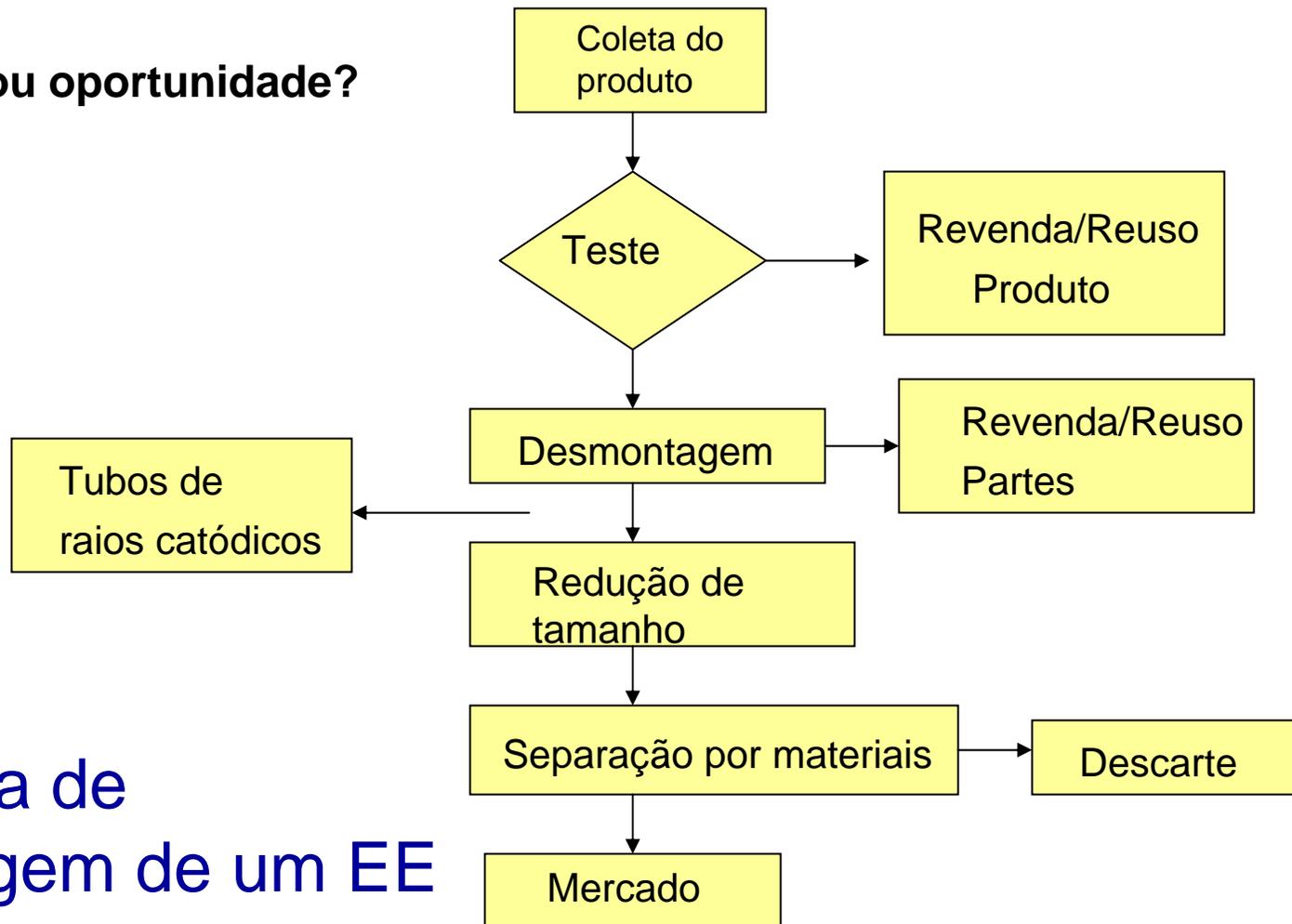
elemento	% no minério	% fração metálica de PCIs	% fração total de PCIs
Cobre	0,5 – 3,0	3,53	1,19
Zinco	1,7 – 6,4	0,21	0,08
Estanho	0,2 – 0,85	4,8	2,14
Chumbo	0,3 – 7,5	3,5	1,46
Ferro	30 – 60	2,13	1,57
Níquel	0,7 – 2,0	1,37	0,55

## DESAFIOS PARA A GESTÃO AMBIENTAL DOS EEs

- Rápida obsolescência
  - Tempo médio de vida de PCs passou de 4,5 anos em 1992 para 2 anos em 2006, USA (ref. 2).
  - Resíduos tecnológicos chegam a compor 8% dos resíduos domiciliares em países desenvolvidos, Suíça (ref. 3).



**Desafio ou oportunidade?**



**Sistema de  
reciclagem de um EE**  
(ref.2)

## Gestão de Resíduos e Gestão Ambiental da Indústria Eletro-eletrônica

**Tabela 7 – Análise de fluxo de materiais dos sistemas de take-back e reciclagem da Suíça (ref. 4).**

<b>Fração</b>	<b>Quantidade em toneladas</b>	<b>(%)</b>
Baterias	204	0,3
Capacitores	120	0,2
Outros materiais perigosos	233	0,3
Metais	45.869	61,2
Misturas de metal -plástico	8776	11,7
Plásticos	9133	12,2
Cabos	1105	1,5
Telas(CRT e LCD)	6862	9,2
PWB	1204	1,6
Outros materiais	1450	1,9
Total	74.957	100,0

## POSSE X USO

**Tabela 8 – Sistema atual de venda e arrendamento de EEE no Japão para clientes empresariais (ref. 5).**

Tipo de equipamento	Posse do produto	Aluguel do produto	Número total de produtos em uso (milhões)
Desktop PC	22%	20%	27
Display CRT	26%	18%	19
Laptop PC	18%	16%	27
Copiadoras	28%	72%	4,8
Impressoras	14%	9%	38

## GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA

- Diretivas legais determinam metas para recolhimento, reuso, reciclagem e recuperação de materiais de resíduos EE
- Impõem substituição de substâncias perigosas (Pb, Hg, Cd, Cr<sup>6+</sup>, bromados)
- Fabricantes deverão ter sistema de retorno e gestão dos produtos no final de vida

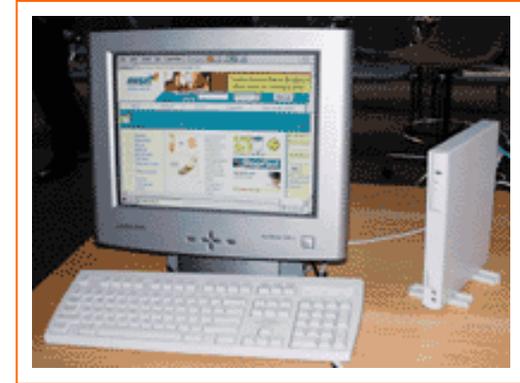
## **DESAFIOS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS EM PAÍSES EMERGENTES (Brasil, China, Índia)**

- Desenvolvimento social não acompanha o crescimento econômico
- Falta de tradição e descrença nos sistemas legais e institucionais
- Forte presença da economia informal
- Relutância do consumidor em pagar mais para custear a gestão de resíduos: devido às razões culturais e de distribuição de renda
- Prefeituras e governos mal dão conta de fazer boa gestão dos resíduos municipais e da limpeza urbana

## CASO BRASILEIRO DA GESTÃO DE RESÍDUOS

- Falta de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos
- Resistência dos fabricantes em assumir a gestão de resíduos de seus produtos no final de vida
- Pouca utilização dos conceitos de Eco-design na concepção dos produtos
- Poucos exemplos de articulação voluntária do setor produtivo para recuperação ou reciclagem de insumos.

## INOVAÇÃO DE PRODUTOS



- **Inovação é impulsionada por:**
  - Mercado
  - Custos
  - Competitividade
- Questões ambientais é o fator menos relevante para motivar inovação

## REQUISITOS IMPORTANTES PARA O ECODESIGN

- **Na utilização de recursos naturais**
  - Materiais renováveis
  - Melhor eficiência na utilização de minerais
- **Na fabricação**
  - Eficiência material e energética
  - Preservação da saúde (materiais não tóxicos)
  - Prevenção e minimização de resíduos

## REQUISITOS IMPORTANTES PARA O ECODESIGN

- **Na utilização**
  - Eficiência energética e material
  - Baixo impacto ambiental
  - Vida estendida: não obsolescência forçada
- **Na disposição final**
  - Reciclabilidade
  - Disposição final “amigável”

## RECICLABILIDADE

- Facilidade de desmontagem
- Minimização de tipos de junções
- Identificação de materiais (polímeros)
- Minimização de variedade de materiais
- Minimização de compósitos
- Projeto modular (reutilização de partes)
- Venda do serviço ao invés do produto:
  - USO X POSSE

## • Referências

- 1) Veit, H. M. Emprego do Processamento Mecânico na Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito Impresso. Porto Alegre, 2001, Tese (Mestrado) Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 2) Kang, H.Y, Schoenung, J.M., Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options, *Resources, Conservation and Recycling*, 45 (2005) 368–400.
- 3) R.Widmer et al., Global perspectives on e-waste, *Environmental Impact Assessment Review* 25 (2005) 436–458.
- 4) R. Hischer et al., Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE), *Environmental Impact Assessment Review* 25 (2005) 525–539.
- 5) T. Tasaki et al. A quantitative method to evaluate the level of material use in lease/reuse systems of electrical and electronic equipment, *Journal of Cleaner Production* 14 (2006) 1519-1528.
- 6) Andrade, R., Caracterização e Classificação de Placas de Circuito Impresso de Computadores como Resíduo Sólido, Unicamp, dissertação de Mestrado, 2002

**Muito obrigado!**

# Gestão de Resíduos e Gestão Ambiental da Indústria Eletro-eletrônica

**Prof. Dr. Waldir A. Bizzo**

Colaboração Dra. Eliane M. Grigoletto

**bizzo @fem.unicamp.br**



**UNICAMP**