

**PHD 3513**  
**Ecoeficiência**  
**na Indústria**  
**Aula 4**

**Professora: Amarilis Lucia  
Casteli Figueiredo Gallardo**

**PHA**

**1º semestre 2019**

---

# Fluxos de matéria e energia nos processos industriais

Prevenção à poluição (PP ou P2)  
Produção mais limpa (P+L)

**Fluxos de matéria e  
energia nos processos  
industriais**

**Orientações para o  
Seminário**

# Fluxos de matéria e energia nos processos industriais

Da aula passada a ecologia industrial pauta-se...

- i) visão sistêmica das interações entre sistemas industriais e o meio;
- ii) estudo do fluxo e transformação da matéria e energia;**
- iii) abordagem multidisciplinar;
- iv) reorientação do processo industrial;
- v) mudanças dos processos lineares de produção para processos cíclicos;
- vi) eficiência industrial; e
- vii) promoção de sinergias

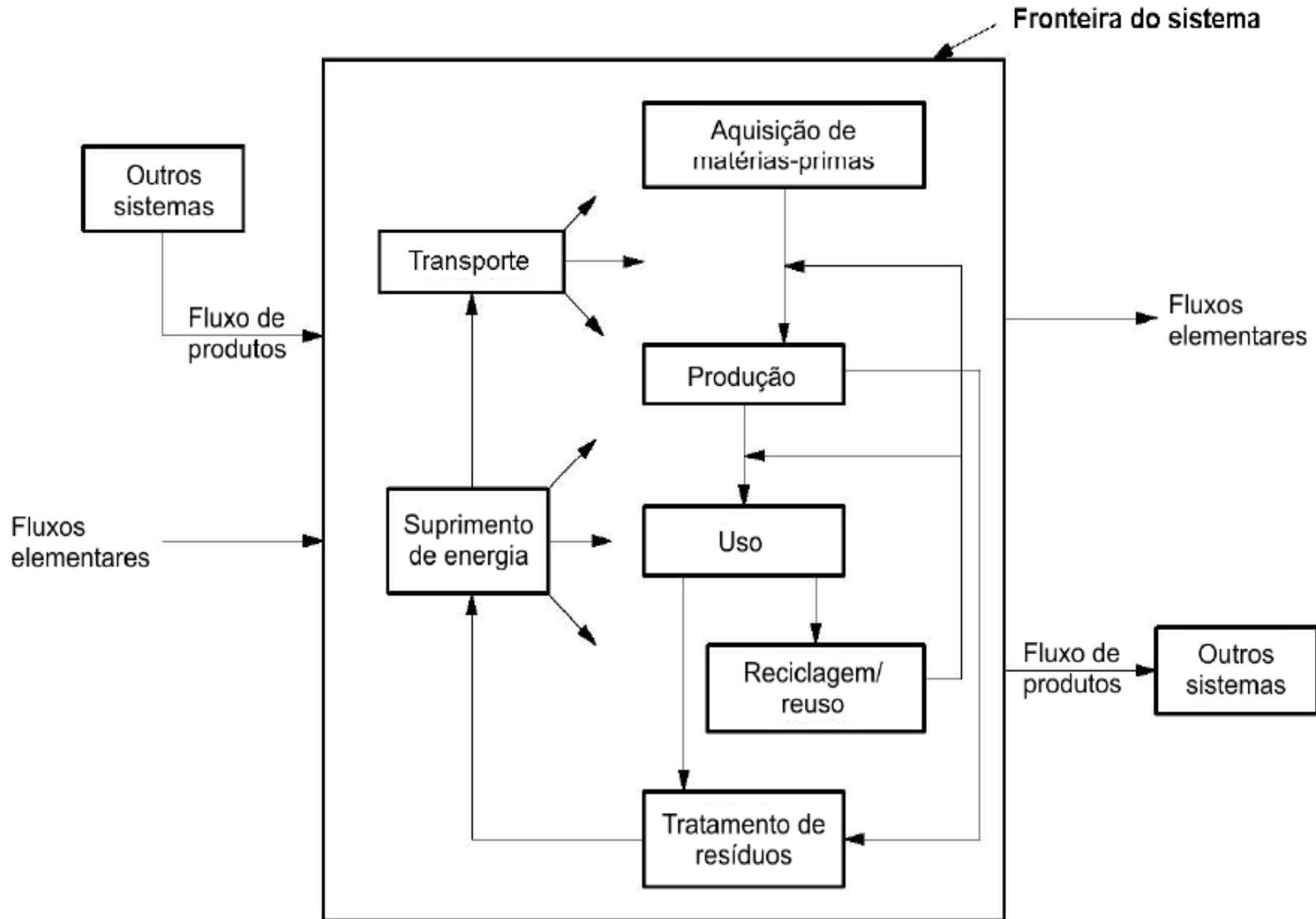
# Fluxo de matéria e energia nos processos industriais e cadeias produtivas

- Identificação de etapas de processos, entradas e saídas.
- Tipos de sistemas e formas de balanço de massa (aulas do Professor Mierzwa).

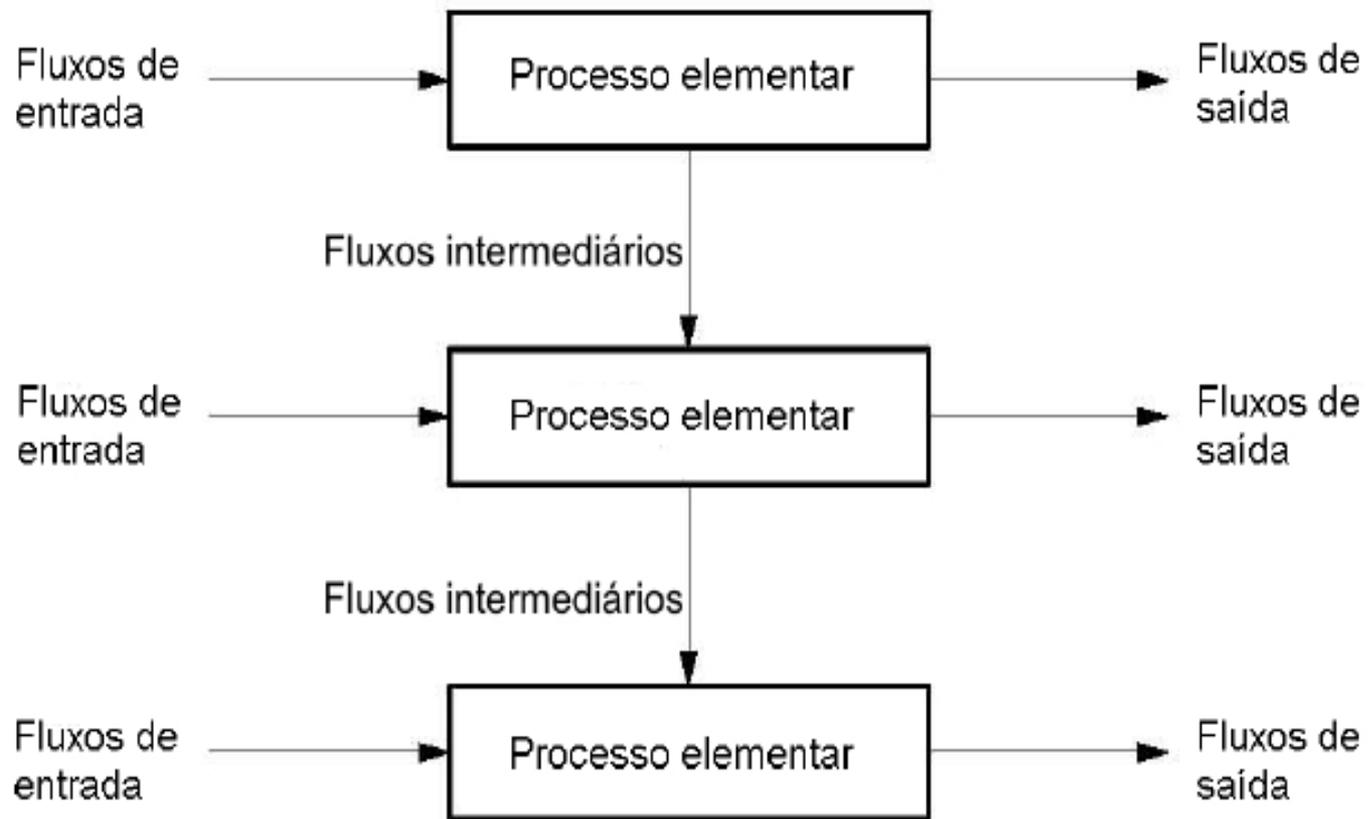
# Fundamentos de Balanço de Massa/Energia

- Para promoção de ecoeficiência nos sistemas produtivos, deve-se conhecer as **variáveis que regem o sistema analisado**
- o conhecimento do **fluxo de matéria (ou balanço de massa) e fluxo de energia** envolvidos é o procedimento primordial para a **tomada de decisões em ecoeficiência**.

# Sistema de produto



# Processos Elementares: operações unitárias



# Fluxograma - um mapa do processo

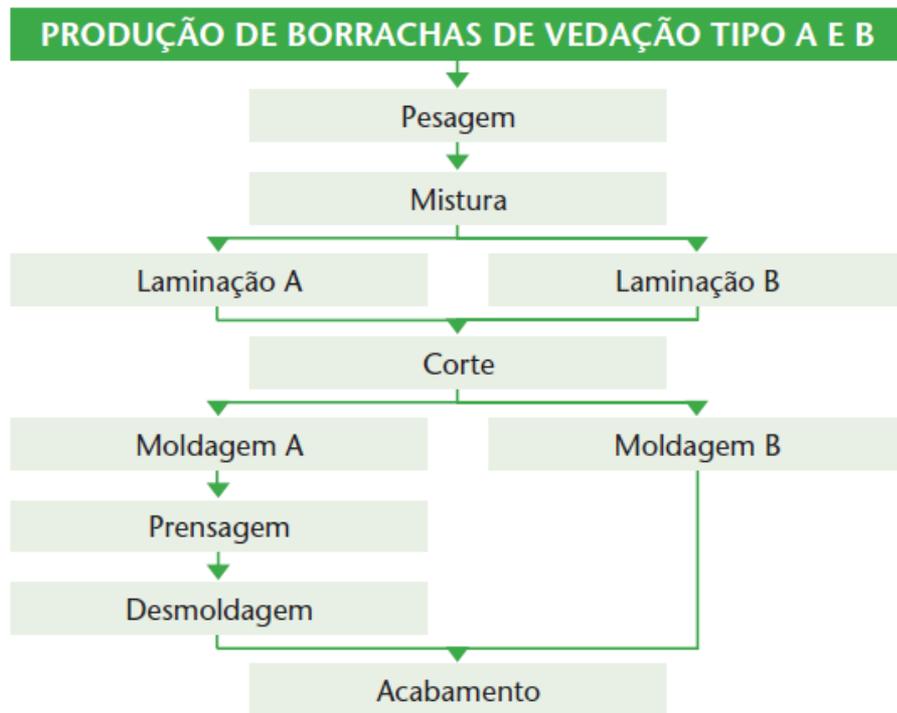
## FLUXOGRAMA DE PROCESSO LINEAR

### PRODUÇÃO DE BORRACHA DE VEDAÇÃO TIPO A



# Fluxograma - um mapa do processo

## FLUXOGRAMA DE PROCESSO EM REDE



# Fundamentos de Balanço de Massa

## Fluxograma Qualitativo Global

ENTRADAS

Acelerador de vulcanização  
Água  
Antioxidante  
Ácido muriático  
Borracha  
Negro de fumo  
Óleo  
Sílica  
Energia Elétrica

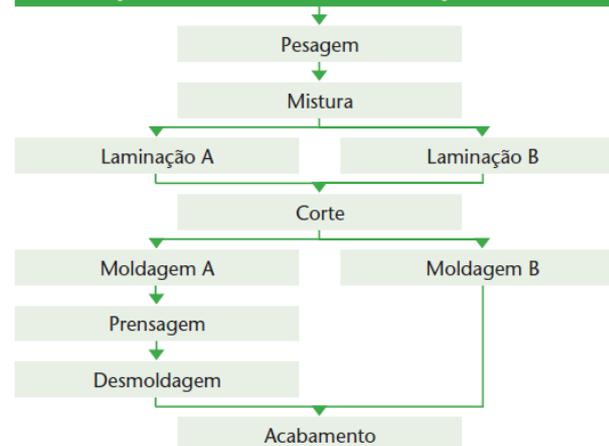
FÁBRICA

Peça de  
borracha  
de vedação  
tipo A e B

SAÍDAS

Resíduo de produtos químicos  
Efluente líquido (óleos, ácidos, etc.)  
Emissões de particulados  
Peças fora de especificação  
Ruído

### PRODUÇÃO DE BORRACHAS DE VEDAÇÃO TIPO A E B



Um balanço de massa de qualquer processo pode ser representado por:

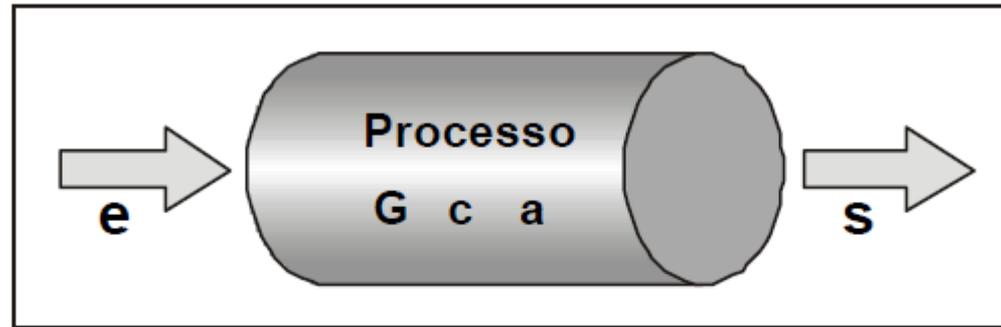


Figura 1: Balanço de massa genérico

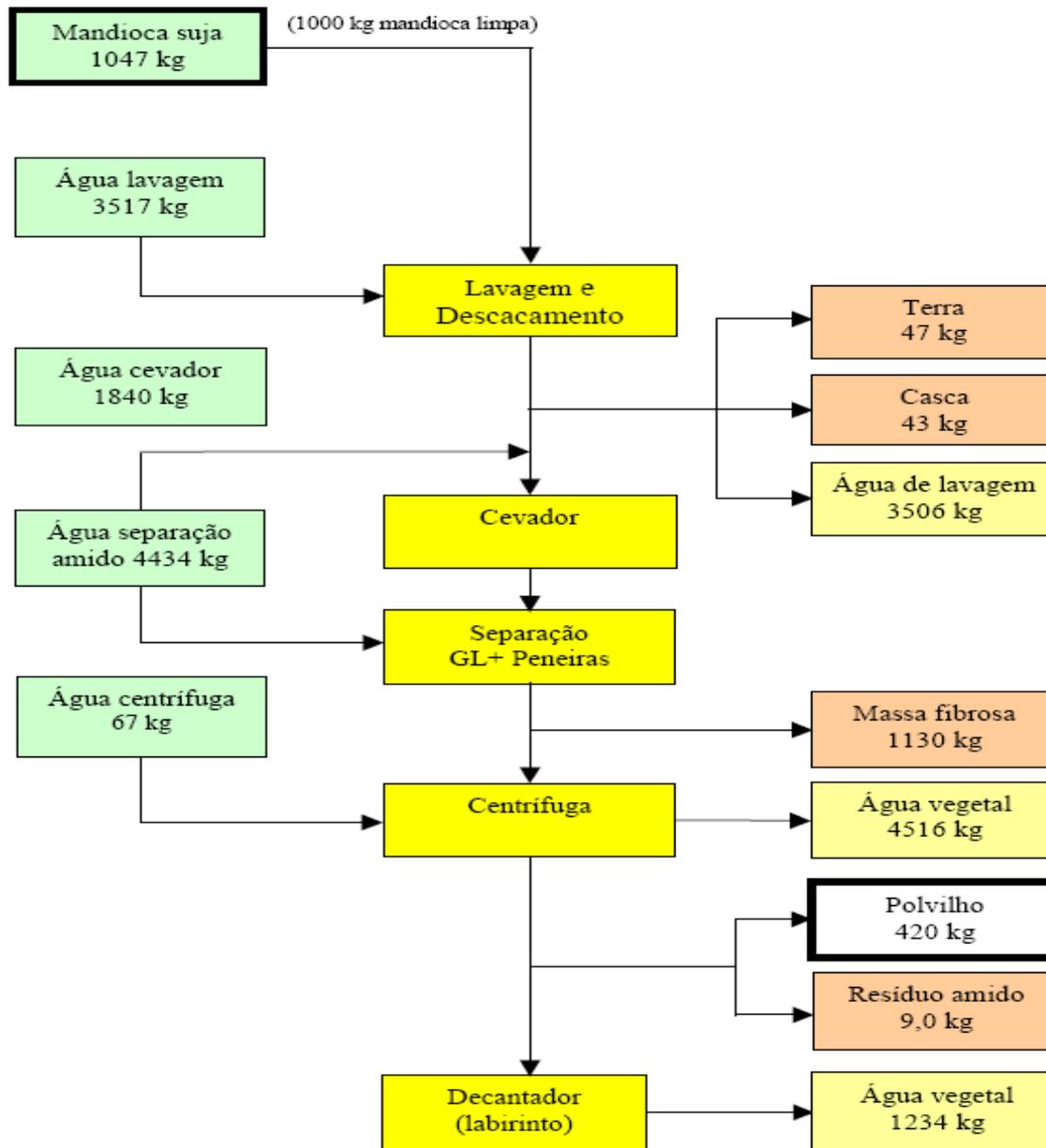
O balanço da grandeza em relação à fronteira definida é dado pela equação 1:

$$\{e\} - \{s\} + \{G\} - \{c\} = \{a\} \quad (1)$$

onde:

- e = quantidade da grandeza que entra através da fronteira
- s = quantidade da grandeza que sai através da fronteira
- G = quantidade da grandeza gerada no interior do sistema
- c = quantidade da grandeza consumida no interior do sistema
- a = quantidade da grandeza acumulada no interior do sistema

# Balanzo de massa para a produção de polvilho



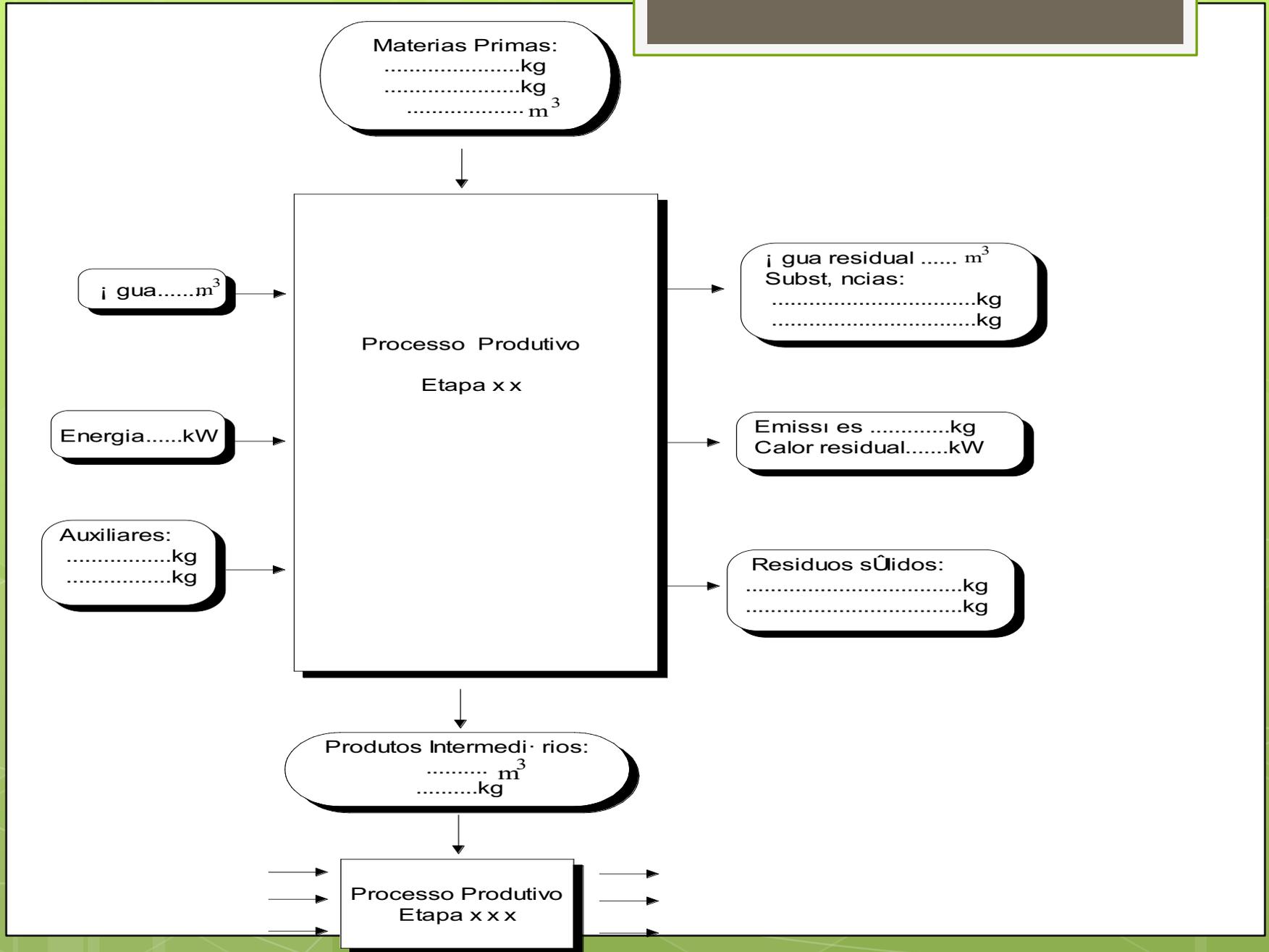
# Balço de massa em cadeias de suprimentos



## A coleta de dados deve considerar as seguintes etapas :

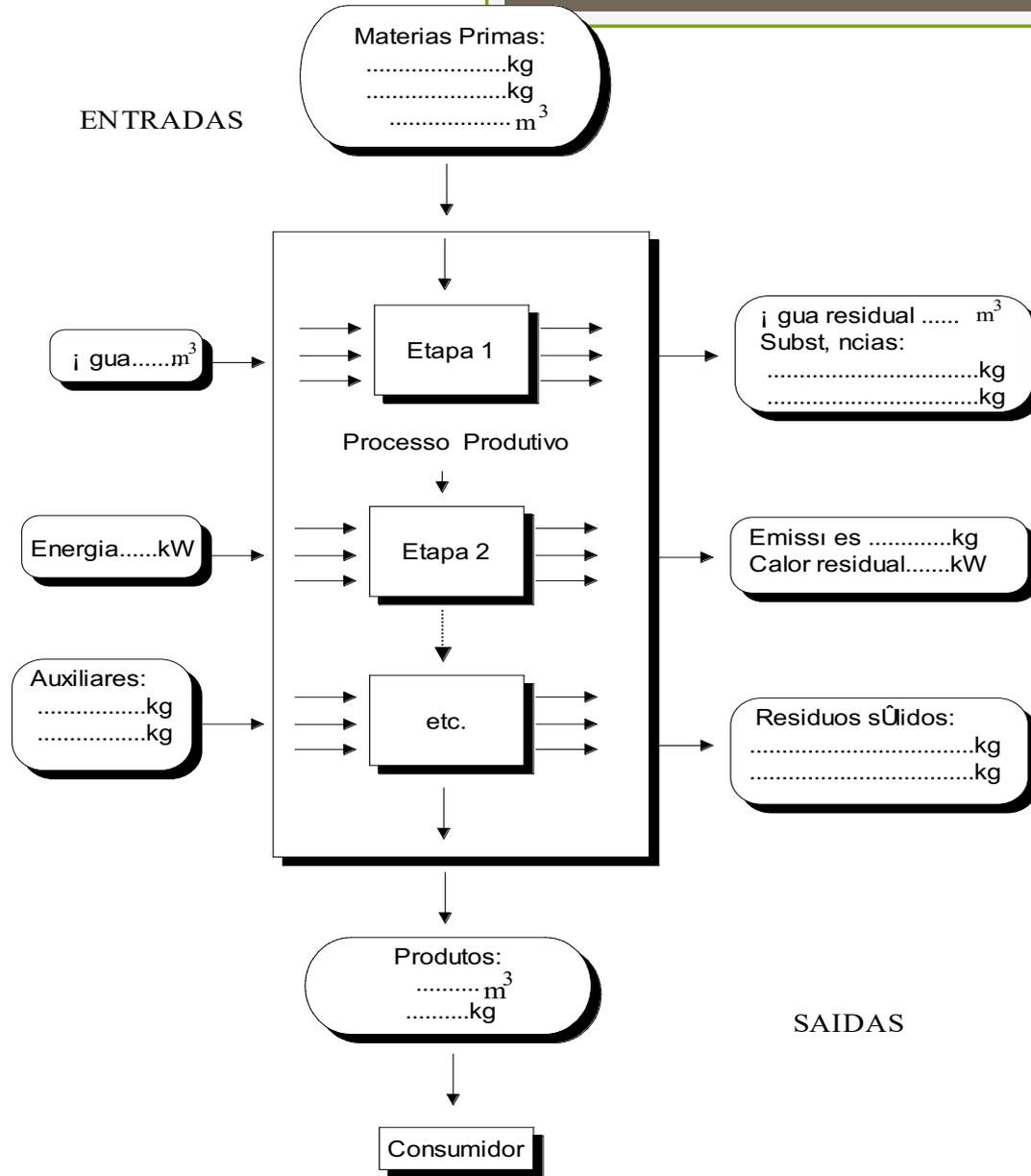
- Conhecimento do sistema considerado (processo de produção, por exemplo)
- Localização dos pontos de produção de resíduos e locais de destinação
- Levantamento completo da rede de coleta dos resíduos
- Medida de vazões e amostragem nas saídas do sistema
- Medida de vazões e amostragem no interior do sistema
- Análise das amostras
- Estabelecimento do balanço poluição propriamente dito
- Estabelecimento do balanço de matérias-primas
- Determinação da poluição associada a uma unidade de referência
- Identificação de poluições concentradas (qualidade/quantidade)

# DIAGRAMA DAS ETAPAS INDIVIDUAIS DE UM PROCESSO PRODUTIVO



# DIAGRAMA DE UM FLUXO COMPLETO DO PROCESSO PRODUTIVO

ENTRADAS



SAIDAS

# O que precisa ser realizado?

- Análise quantitativa de entradas e saídas;
- Quantificação de entradas (matérias-primas, água, energia e outros insumos);
- Quantificação de saídas (resíduos, efluentes, emissões, subprodutos e produtos);
- Esboçamento de um plano de amostragem e quantificação
- Obtenção de dados da situação ambiental da empresa;
- Obtenção de dados referentes à estocagem, armazenamento e acondicionamento de entradas e saídas.

# O que e como medir?

- **Consumo de água:** hidrômetro, ou horímetro, ou balde e relógio/cronômetro;
- **Vazão de efluente líquido:** medidor de vazão ou balde e relógio/cronômetro;
- **Resíduos sólidos:** balança adequada para as quantidades a serem medidas;
- **Matérias-primas:** balança adequada para as quantidades a serem medidas;
- **Consumo de energia:** horímetro, analisador de energia, amperímetro;
- **Outros materiais:** planilhas em papel definidas pela própria empresa e os meios apresentados acima a depender do tipo de material.

# ***Unidades usuais de medida***

- Consumo de água: (m<sup>3</sup>)/kg produto produzido;
- Consumo de energia: (kW)/kg produto produzido;
- matéria-prima (colocar o nome):/kg produto produzido;
- Resíduo sólido gerado: (kg)/kg produto produzido ou kg de matéria-prima empregada;

# ***Unidades usuais de medida***

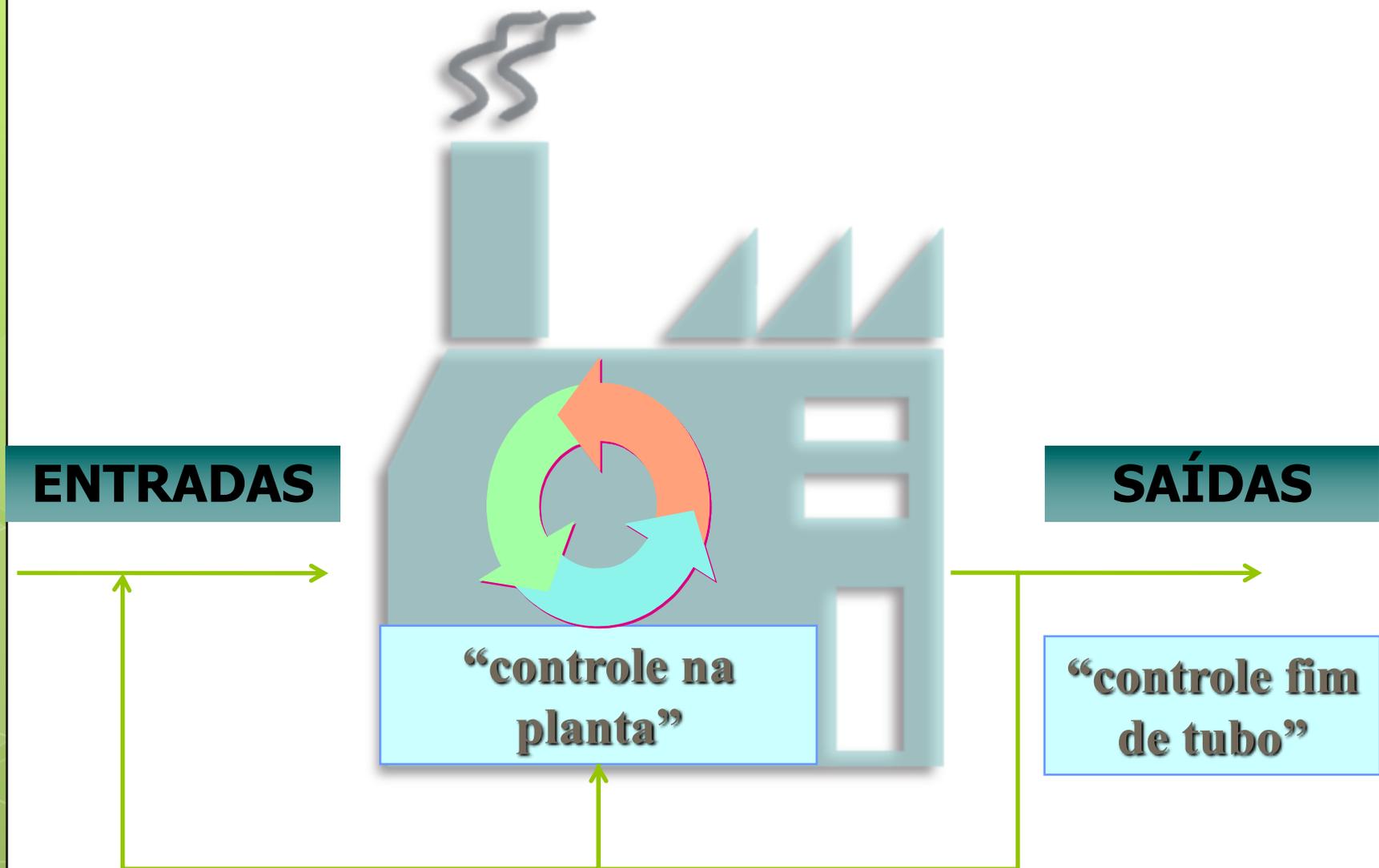
- Resíduo sólido perigoso gerado:  $(\text{kg})/\text{kg}$  produto produzido ou  $\text{kg}$  de matéria-prima empregada;
- Efluente líquido gerado:  $(\text{m}^3)/\text{kg}$  produto produzido ou  $\text{m}^3$  de água empregada;

***Enfim, é o que se espera que  
vocês consigam levantar  
durante o seminário no  
processo produtivo escolhido...***

**Prevenção à poluição (PP ou P2)**  
**Produção mais limpa (P+L)**

A P+L é uma estratégia econômica, ambiental e técnica, integrada aos sistemas de produção e produto, a fim de aumentar a eficiência de uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos.

# Processo produtivo



# Prevenção à poluição (PP ou P2)

o que é?

# Prevenção à poluição (PP ou P2)

- Lançado pela EPA no final dos anos 80;
- Empresa deve atuar sobre seus processos e produtos com vistas a **prevenir a geração de poluição**;
- Abordagem de longo prazo que **visa reduzir a quantidade ou toxicidade dos resíduos**;
- Em termos operacionais: refere-se às práticas que **reduzem ou eliminam as perdas ou resíduos na fonte**;
- A P2 estimula um **deslocamento dos controles de “fim de tubo” para as estratégias de redução no início do processo**.
- Integração entre meio ambiente, desenvolvimento e tomada de decisões.

# Definição de Prevenção da Poluição (EPA)

- Qualquer prática que:
  - **Reduz ou elimina a quantidade de qualquer substância tóxica** pela: substituição de materiais no processo de produção, pela reformulação do produto, pela instalação ou modificação de equipamentos no processo;
  - Implica em redução **na fonte, integrada aos processos por meio de substituição de matérias primas**, mudanças tecnológicas, boas práticas operacionais e mudanças nos produtos;
  - Implanta **ciclos fechados de reciclagem; (qual a diferença com ecologia industrial vista na aula passada??)**
  - Desenvolve **novas técnicas** que auxiliem na implantação da P2.

# Definição de Prevenção da Poluição (EPA)

- Em termos de resultados de um P2:
  - Redução ou eliminação da quantidade de uma substância perigosa, incorporada aos resíduos, ou que sejam lançada no ambiente antes da reciclagem, tratamento ou disposição;
  - Redução dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente associados ao lançamento dessas substâncias;
  - Redução ou eliminação da criação de poluentes por meio do aumento da eficiência no uso de matérias primas ou proteção dos recursos naturais por meio da conservação.
- Quais as diferenças com P+L?

# Prevenção da Poluição

- Não estão englobadas em programas P2:
  - Técnicas de remediação;
  - Tratamento de resíduos (final do tubo);
  - Reciclagem em circuito aberto;
  - Incineração para recuperação de energia;
  - Incorporação de resíduos em outros produtos.
- Essas práticas não atuam na redução da quantidade de resíduos ou poluentes; essas práticas atenuam os impactos ambientais causados na geração de resíduos
- **Mudança de paradigma!**

**ENTRADAS**



**“controle na  
planta”**

**SAÍDAS**

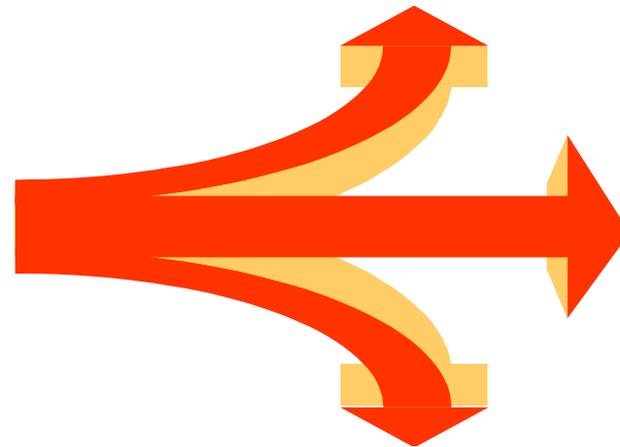


**“controle fim  
de tubo”**

EMISSÕES  
ATMOSFÉRICAS

RESÍDUOS

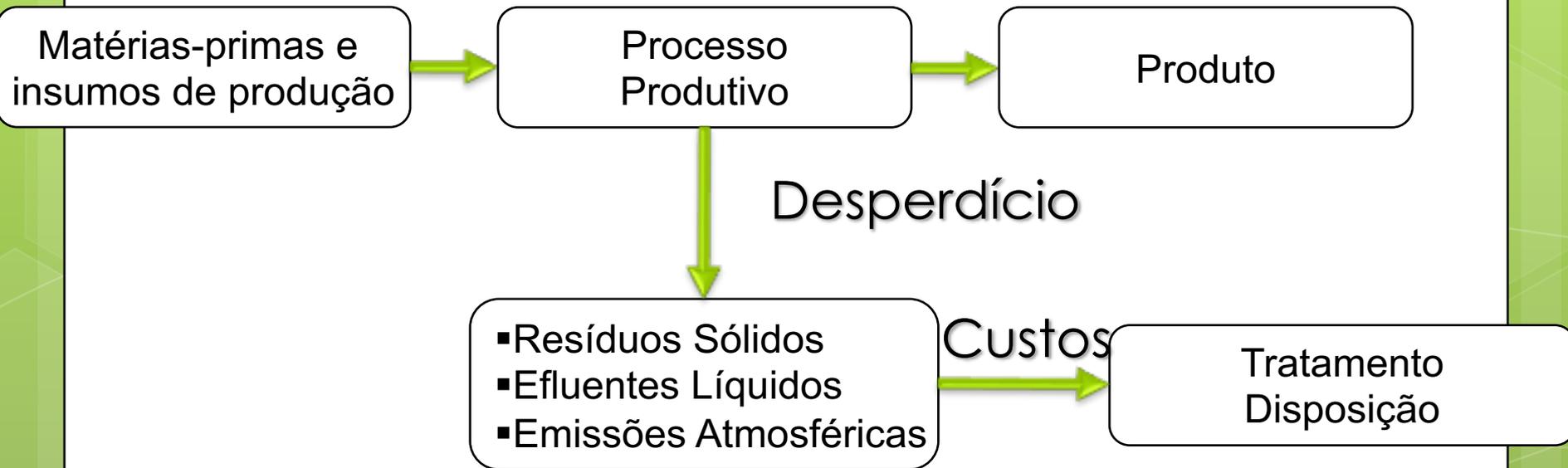
Quais?  
Quanto ?  
Onde?



RESÍDUOS  
SÓLIDOS

EFLUENTES  
LÍQUIDOS

# Duplo desperdício associado a geração de resíduos



# Prevenção à Poluição

Há várias opções viáveis para a implementação de ações de P2 no mercado. Para levantar as tecnologias, deve-se considerar:

- identificar as tecnologias que melhor se apliquem às necessidades do interessado;
- conhecer a legislação em vigor, para avaliar possíveis consequências relativas à alteração e/ou substituição de equipamentos;
- caracterizar e avaliar os efluentes gerados, a fim de propor a sua segregação dentro dos processos.

### 3. Diferenças entre ecologia industrial e prevenção à poluição

- **Está a P2 inserida no guarda-chuva da Ecologia Industrial:**
- ✓ Ambas apoiam o desenvolvimento sustentável
- ✓ Usam controles diferentes dos de fim de linha
- ✓ Adotam o fluxo cíclico de materiais e aplicam ACV
- ✓ P2: provoca redução dos riscos por meio da minimização ou eliminação de resíduos;
- ✓ Ecologia industrial: favorece o uso de rejeitos como insumos a outros processos industriais;
- ✓ P2: mais apropriada a uma única empresa
- ✓ Ecologia industrial: rede de empresas diferentes, ganhos compartilhados
- ✓ A reciclagem não é uma abordagem preventiva, mas é solução de ecologia industrial
- ✓ P2: orientações do governo; ecologia industrial: não
- ✓ P2: eficiência como ferramenta para atingir objetivos; ecologia industrial considera a eficiência do uso de recursos e fluxo de materiais como o objetivo final.

# ALGUNS CONCEITOS RELACIONADOS

- **Produção Mais limpa**, lançado pela UNEP em 1989:
  - ✓ “É a aplicação contínua de uma estratégia integrada de prevenção ambiental a processos, produtos e serviços, para aumentar a eficiência de produção e reduzir os riscos para o ser humano e o ambiente”
  - ✓ Visa melhorar a eficiência, lucratividade, competitividade das empresas, enquanto protege o ambiente, o consumidor e o trabalhador.
  - ✓ Resulta em redução significativa de resíduos, emissões e custos.
- **Tecnologias mais limpas:**
  - ✓ Atividades da produção mais limpa, que se aplicam aos processos de fabricação e manufatura- minimizar danos ambientais e maximizar eficiência em relação à utilização de insumos e geração de resíduos.
  - ✓ Preventiva , também usada em P2 x corretiva – end of pipe.

# Hierarquia para a Gestão Ambiental

- A gestão ambiental envolve uma variedade de estratégias para lidar com os resíduos;
- Procura melhorar o desempenho ambiental dos processos;
- Devem ser priorizadas estratégias que reduzem ou eliminam os resíduos antes que eles sejam gerados.

## O que eu faço com o meu resíduo?



Lógica da prevenção à poluição

# Hierarquia da Gestão Ambiental

Prioridade	Método	Exemplo	Aplicações
1	Prevenção (redução na fonte)	Mudança no processo; Projeto do produto para minimizar impactos ambientais; Eliminação na fonte	Modificação no processo para evitar ou reduzir o uso de solventes; Modificar o produto para estender a vida útil
2	Reciclagem	Reúso; Recuperação.	Reciclagem de solvente; Recuperação de metais de banhos exauridos; Recuperação de compostos voláteis.
3	Tratamento	Estabilização; Neutralização; Precipitação; Evaporação; Incineração.	Destruição térmica de solventes orgânicos; Precipitação de metais pesados de banhos exauridos de galvanoplastia.
4	Disposição	Disposição em aterros.	Disposição de lodos ou lamas de precipitação.

# Produção mais limpa (P+L)

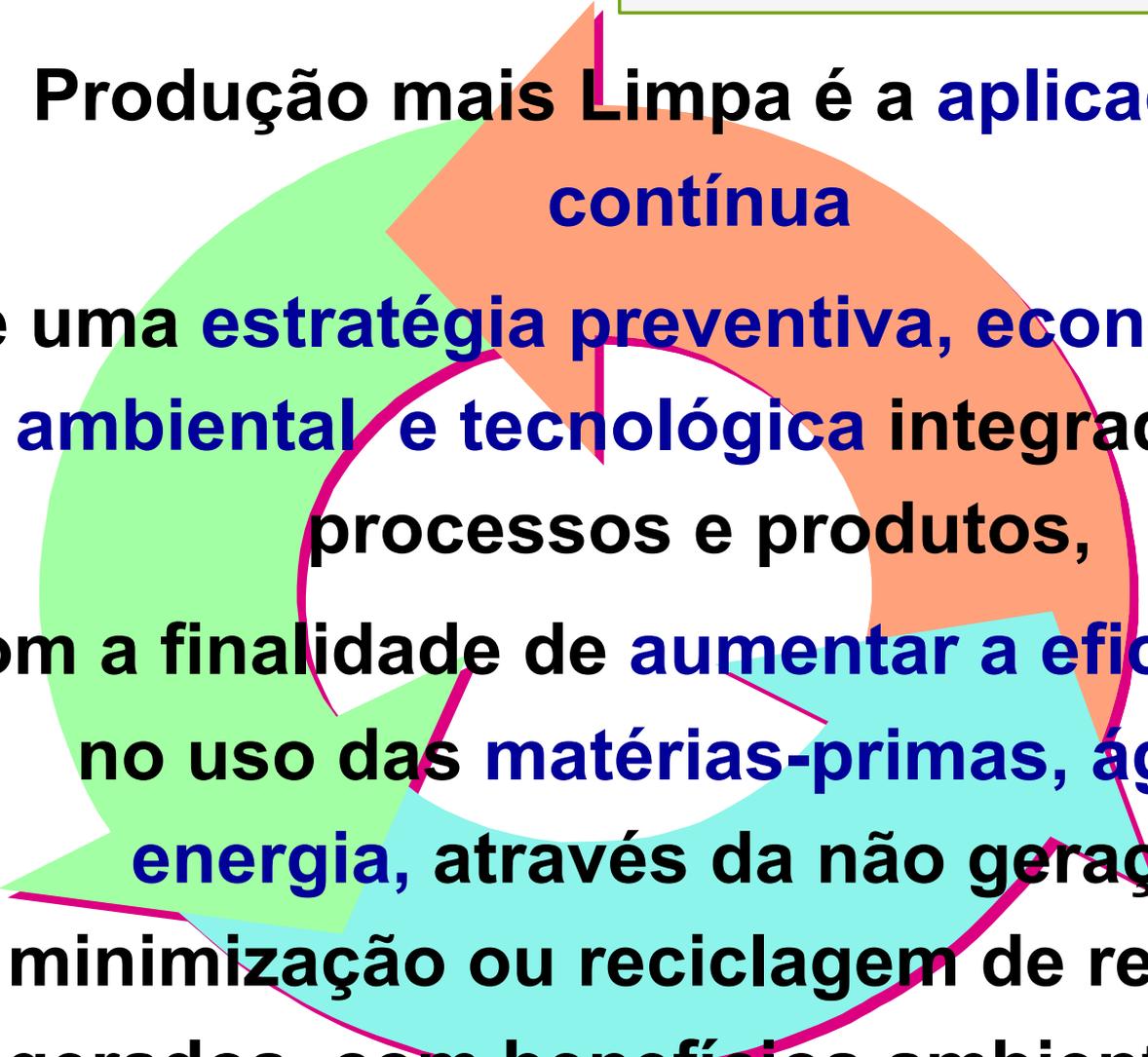
- Unep (United Nations Environment Program), em 1989
- Estratégia para o desenvolvimento das atividades, com base nos conceitos de **prevenção da poluição e controle da poluição**;
- Pode ser usada em **todo o ciclo de vida de um produto ou processo (englobando consumo e destino final)**
- Prioriza os esforços dentro do processo.

# Produção mais Limpas

- Estratégia ambiental preventiva integrada;
- Aplicada a processos, produtos e serviços:
  - Para aumentar a eficiência global e reduzir riscos para a saúde humana e o meio ambiente;
- Pode ser aplicada a processos de qualquer indústria, a produtos em si e a vários serviços providos para sociedade.

# Produção mais Limpa

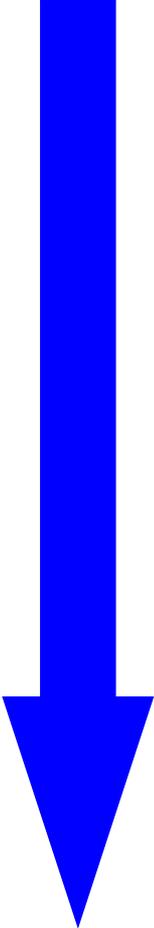
- Para **processos produtivos**, a P+L resulta em medidas de:
  - Conservação de matérias-primas, água e energia; eliminação de substâncias tóxicas e matérias-primas perigosas; redução da quantidade e toxicidade de todas as emissões e resíduos na fonte geradora durante o processo produtivo, de modo isolado ou combinadas.
- Para **produtos**, a P+L visa:
  - Reduzir os impactos ambientais e de saúde, além da segurança dos produtos em todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas, manufatura e uso até a disposição final do produto.
- Para **serviços**, a P+L implica em:
  - Incorporar a preocupação ambiental no projeto e na realização dos serviços



**Produção mais Limpa é a aplicação  
contínua**

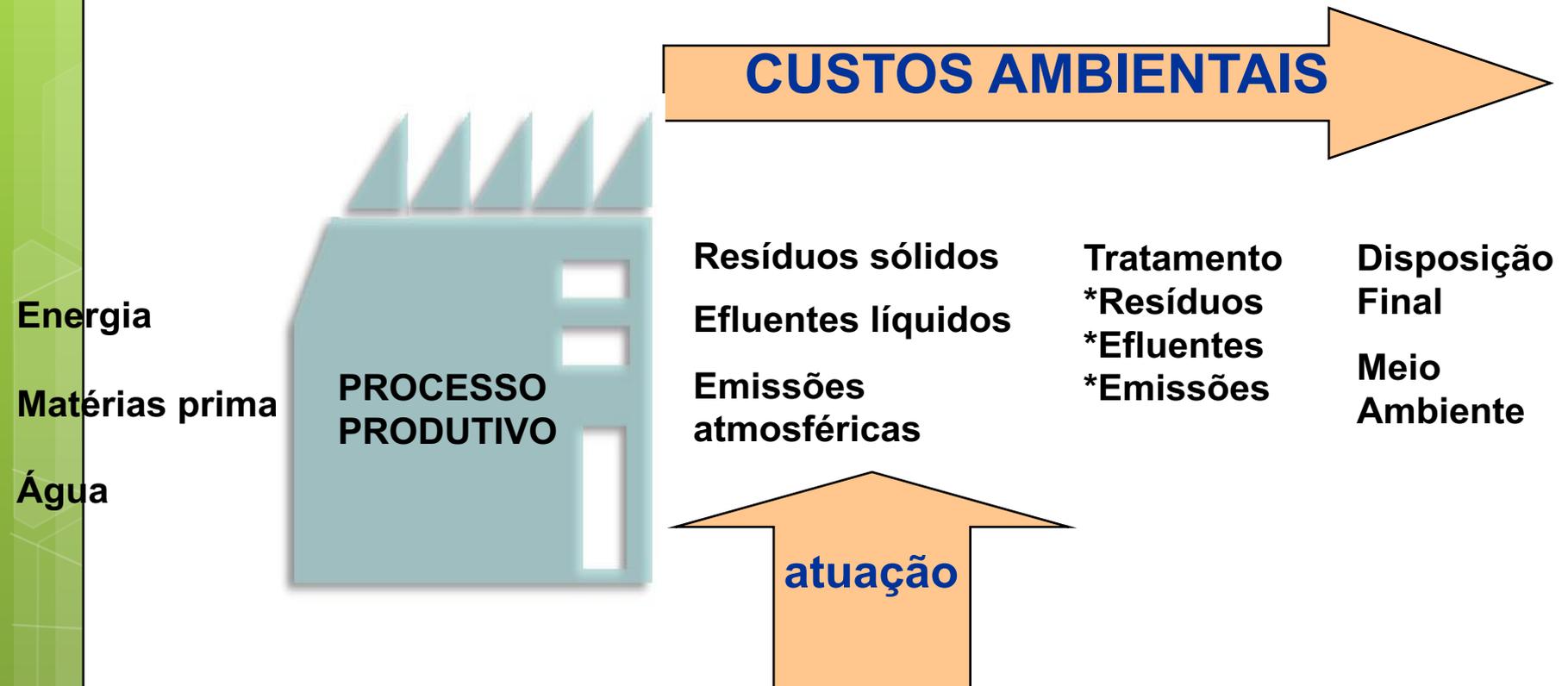
**de uma estratégia preventiva, econômica,  
ambiental e tecnológica integrada aos  
processos e produtos,  
com a finalidade de aumentar a eficiência  
no uso das matérias-primas, água e  
energia, através da não geração,  
minimização ou reciclagem de resíduos  
gerados, com benefícios ambientais, de  
saúde ocupacional e econômicos.**

# OBJETIVOS DA P+L

- 
- ↪ DIMINUIR A QUANTIDADE DE MP UTILIZADA;
  - ↪ DIMINUIR A QUANTIDADE DE ÁGUA USADA;
  - ↪ DIMINUIR A QUANTIDADE DE RESÍDUO GERADO;
  - ↪ DIMINUIR AS PERDAS DE ENERGIA ELÉTRICA, GÁS E ÓLEO;

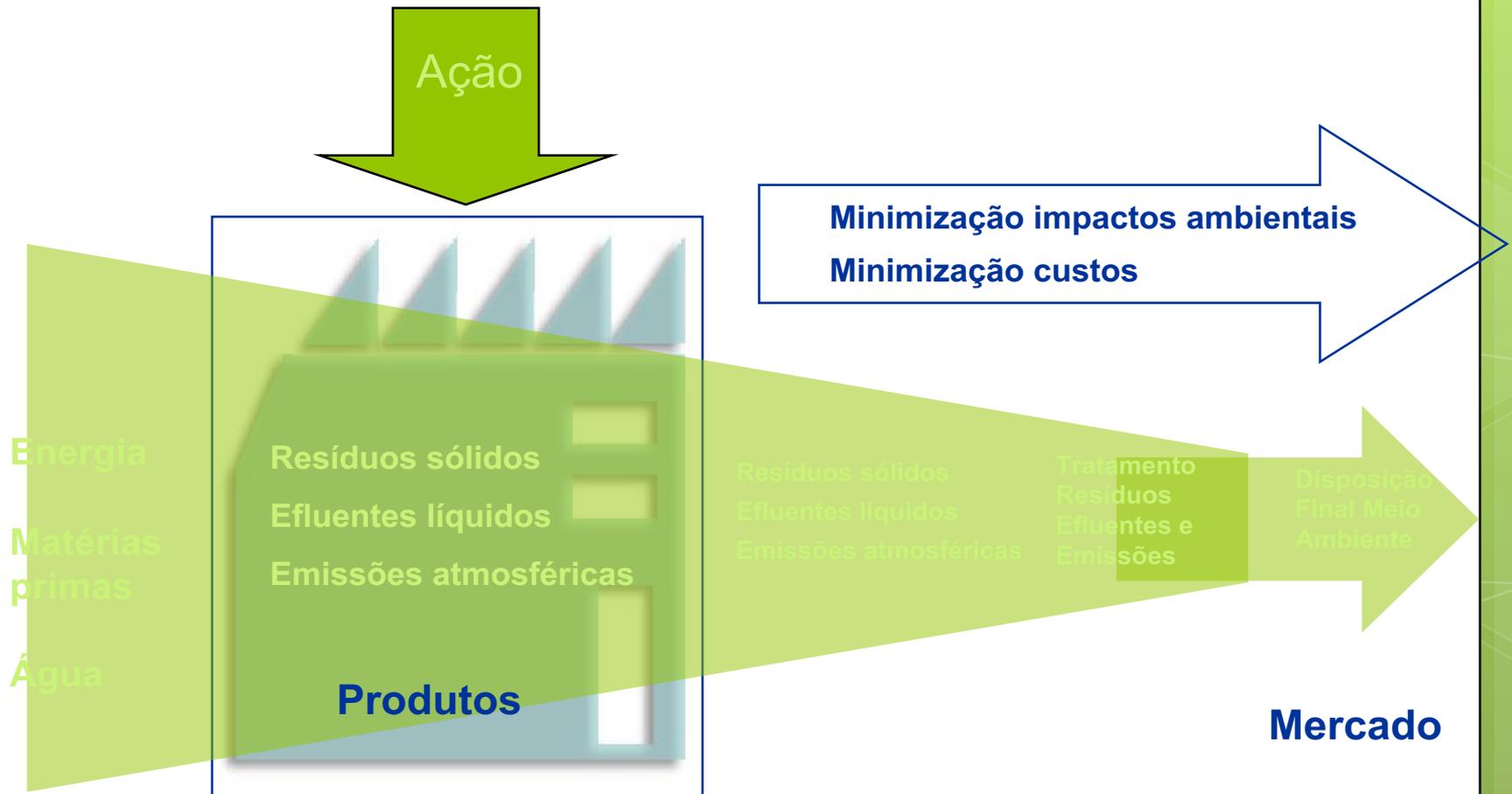
# ABORDAGEM CONVENCIONAL - FIM DE TUBO

- \* Resíduo é gerado!
- \* Como tratar e dispor?



# ABORDAGEM PRODUÇÃO MAIS LIMPA

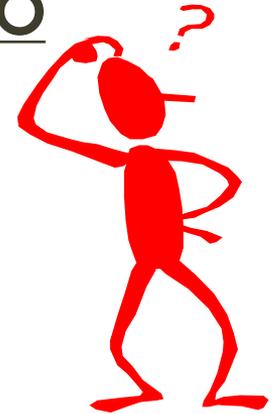
- \* Resíduo é gerado!
- \* Porque? Onde? Como? Quanto? e Quando?



# DIFERENÇAS DE ABORDAGEM

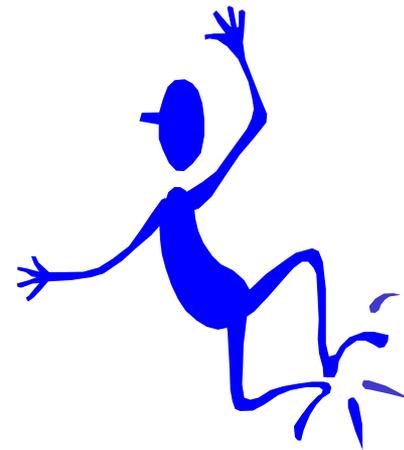
## ABORDAGEM CONVENCIONAL: FIM DE TUBO

- ➔ RESÍDUO É GERADO!
- ➔ O QUE DEVO FAZER COM ELE?
- ➔ ONDE DEVO DISPOR?



## ABORDAGEM DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA:

- ➔ RESÍDUO É GERADO!
- ➔ DE ONDE ELE VEM?
- ➔ COMO ELE É GERADO?
- ➔ QUANDO ELE É GERADO?



## TÉCNICAS DE FIM-DE-TUBO

Pretende reação.

Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento.

Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes.

A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos.

Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.

Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia.

Leva a custos adicionais.

## PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Pretende ação.

Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procurar evitar matérias-primas potencialmente tóxicas.

Proteção ambiental é tarefa para todos.

A proteção ambiental atua como uma parte integrante do *design* do produto e da engenharia de processo.

Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos.

Uso eficiente de matérias-primas, água e energia.

Ajuda a reduzir custos.

# Eco-eficiência e governança ambiental

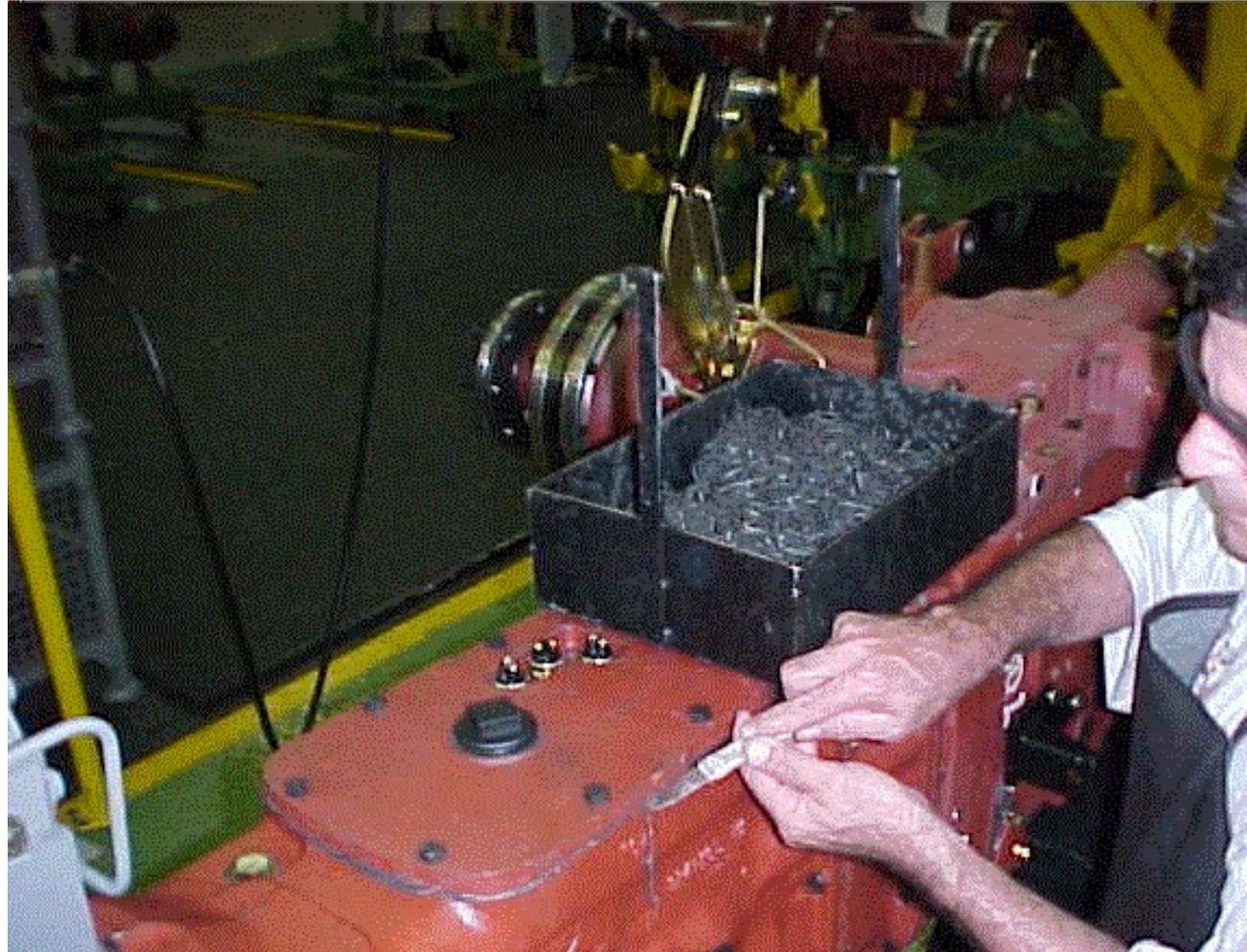
## Produção mais limpa no mundo

País	Setor
Austrália	Indústria de celulose e papel, automotiva, petrolífera, plásticos e resinas, municípios, programas para pequenas e médias empresas.
Bulgária	Indústria química; siderurgia; programas para pequenas e médias empresas.
Canadá	Público, pequenas e médias empresas, hospitalar.
China	Celulose e papel
República Tcheca	Serviços de água e esgotos, transportes, alimentício e agricultura.
Dinamarca	Têxtil, galvanoplastia e gráfica
Hungria	Automobilístico, gráfico e indústria química.
Israel	Indústria química e farmacêutica
Itália	Têxtil e beneficiamento de couro
Lituânia	Têxtil, eletroeletrônico e alimentício.
Polônia	Setor público (água e esgotos), alimentício, agricultura e tratamentos metálicos.
Portugal	Galvanoplastia e indústria química
Romênia	Celulose e papel e têxtil
Slovênia	Público, indústria química e alimentícia, agricultura
Turquia	Têxtil, galvanoplastia e indústria de alvejantes
Inglaterra	Indústria química, gráfica e de impressão, galvanoplastia.
Estados Unidos	Indústria química, galvanoplastia e celulose e papel

# OPÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA - MONTAGEM

## ANTES

- Utilização de espátulas para aplicação de cola, com sobra de material após colagem, necessitando limpeza.



# OPÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA - MONTAGEM

## DEPOIS

- Aquisição de pistolas para aplicação de adesivo nas peças;
- Redução do consumo de matéria-prima e menor geração de resíduo.



# OPÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA - MONTAGEM

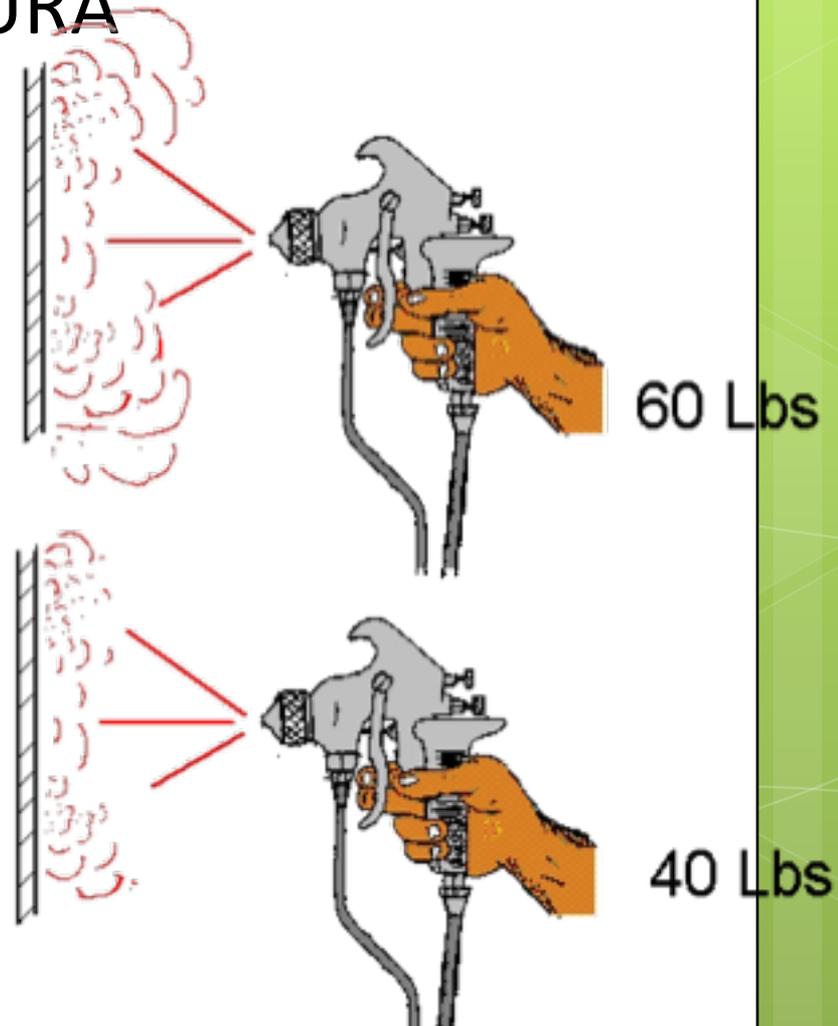
## BENEFÍCIOS OBTIDOS

- Investimento:  
R\$ 1.194,00;
- Benefício econômico:  
R\$ 6.562,00/ano;
- Benefício ambiental:  
redução da geração  
do resíduo de adesivo  
em 51%.



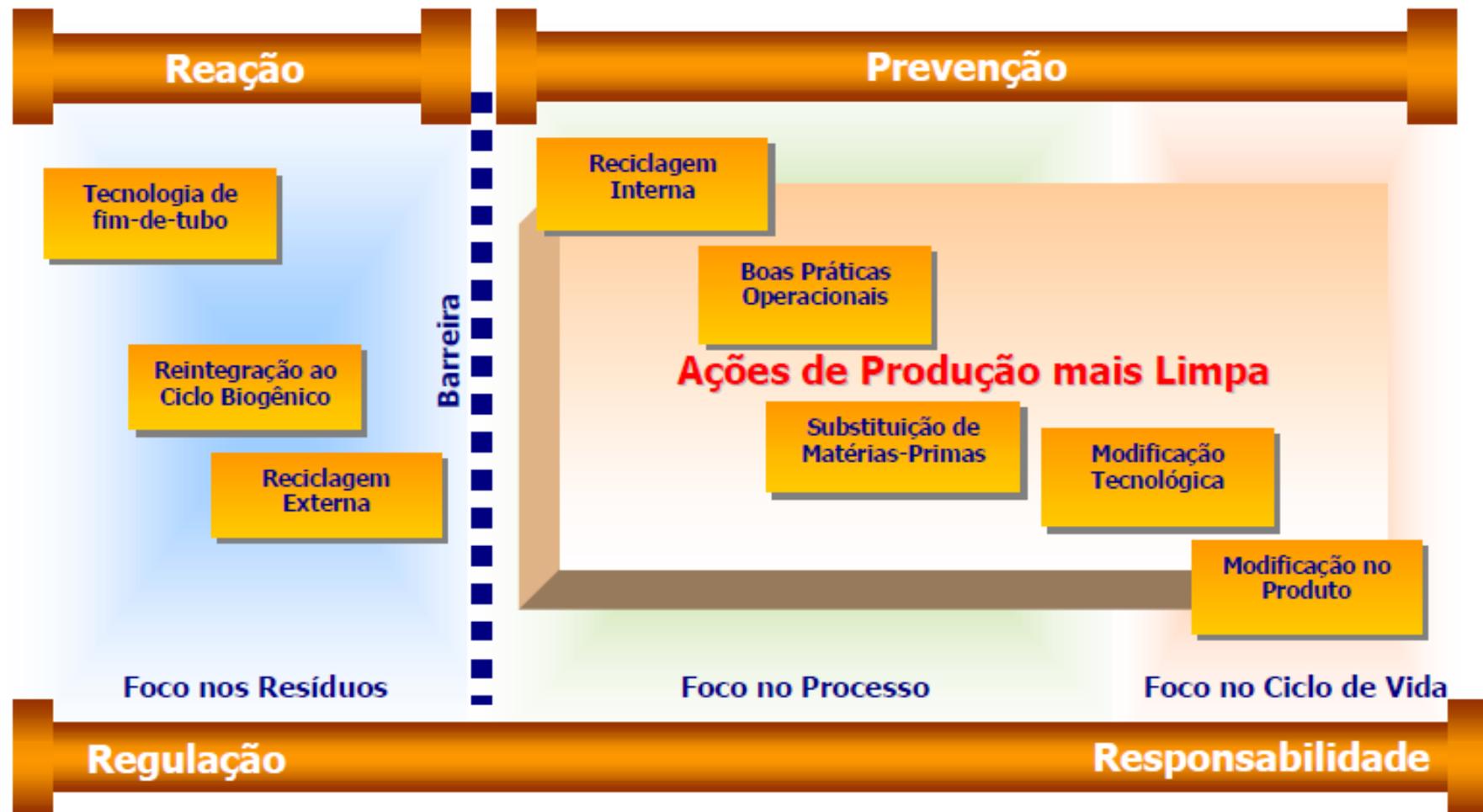
# OPÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA - PINTURA

- Alteração da pressão de ar das pistolas: Redução no consumo de tinta na pintura;
- Benefício econômico:  
R\$ 44.633,28/ano
- Benefício ambiental: redução da geração de borra de tinta



# BENEFÍCIOS DA P+L

- Eliminação de desperdícios;
- Minimização ou eliminação de matérias-primas ou insumos impactantes para o meio ambiente;
- Redução na geração de resíduos e emissões;
- Redução dos custos de gerenciamento dos resíduos;
- Minimização dos passivos ambientais;
- Incremento na saúde e segurança do trabalho;
- Melhora a imagem da empresa;
- Conscientização ambiental dos funcionários;
- Redução de gastos com multas e outras penalidades;

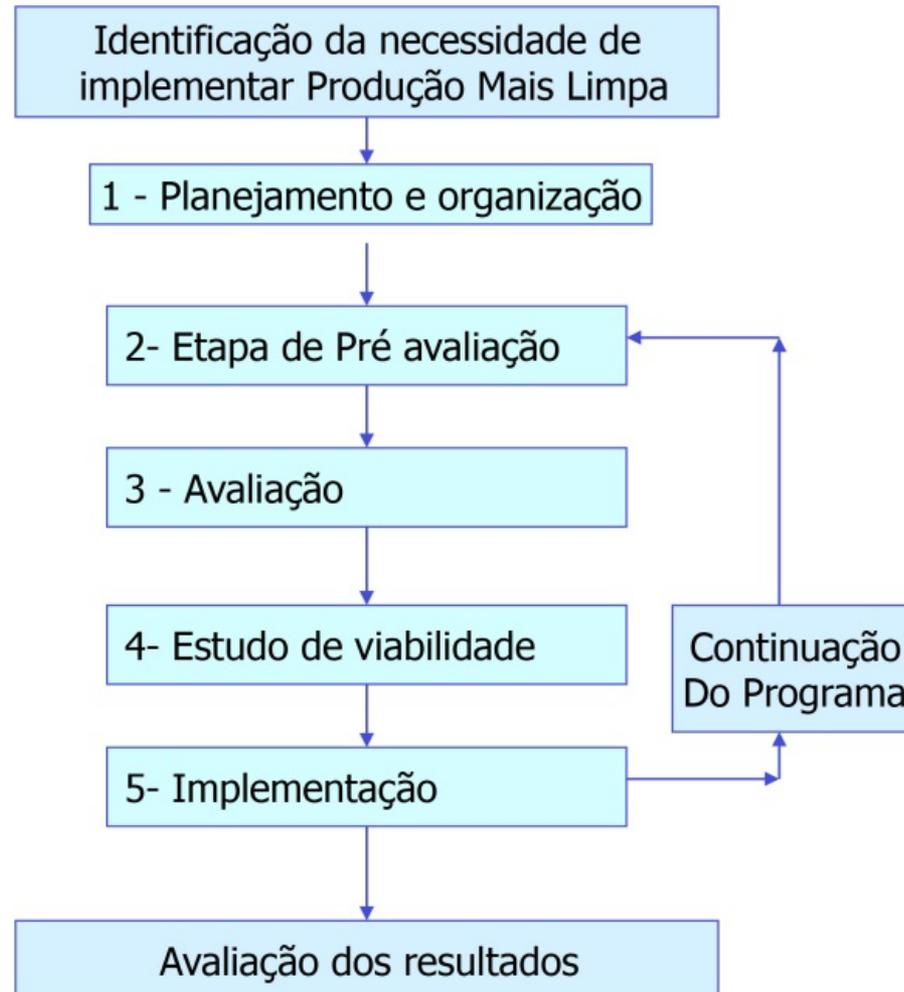


Adaptado de: Prof. Van Berkel, Centre of Excellence in Cleaner Production, Curtin University of Technology, Western Australia

**Figura 3: Evolução das empresas rumo à Produção mais Limpa**

# Eco-eficiência e governança ambiental

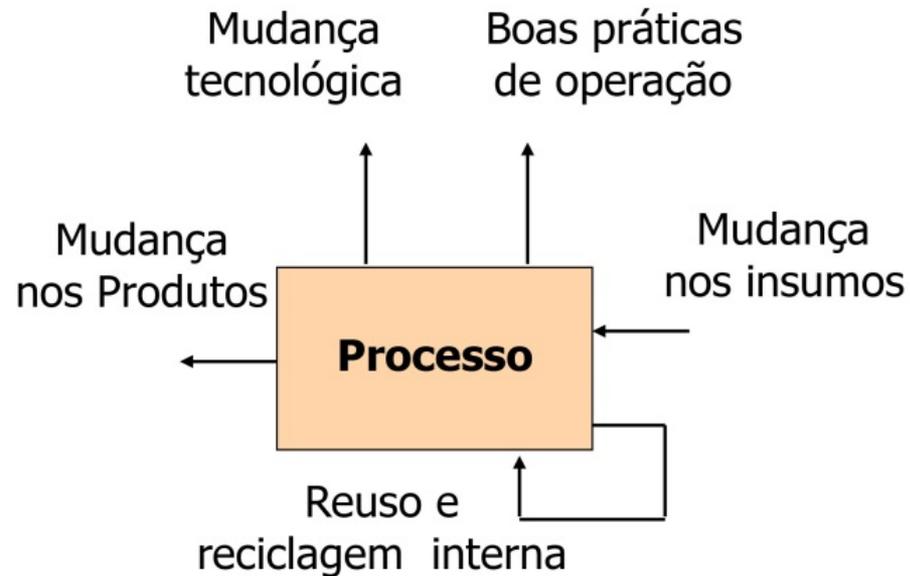
## Produção mais limpa- Implementação



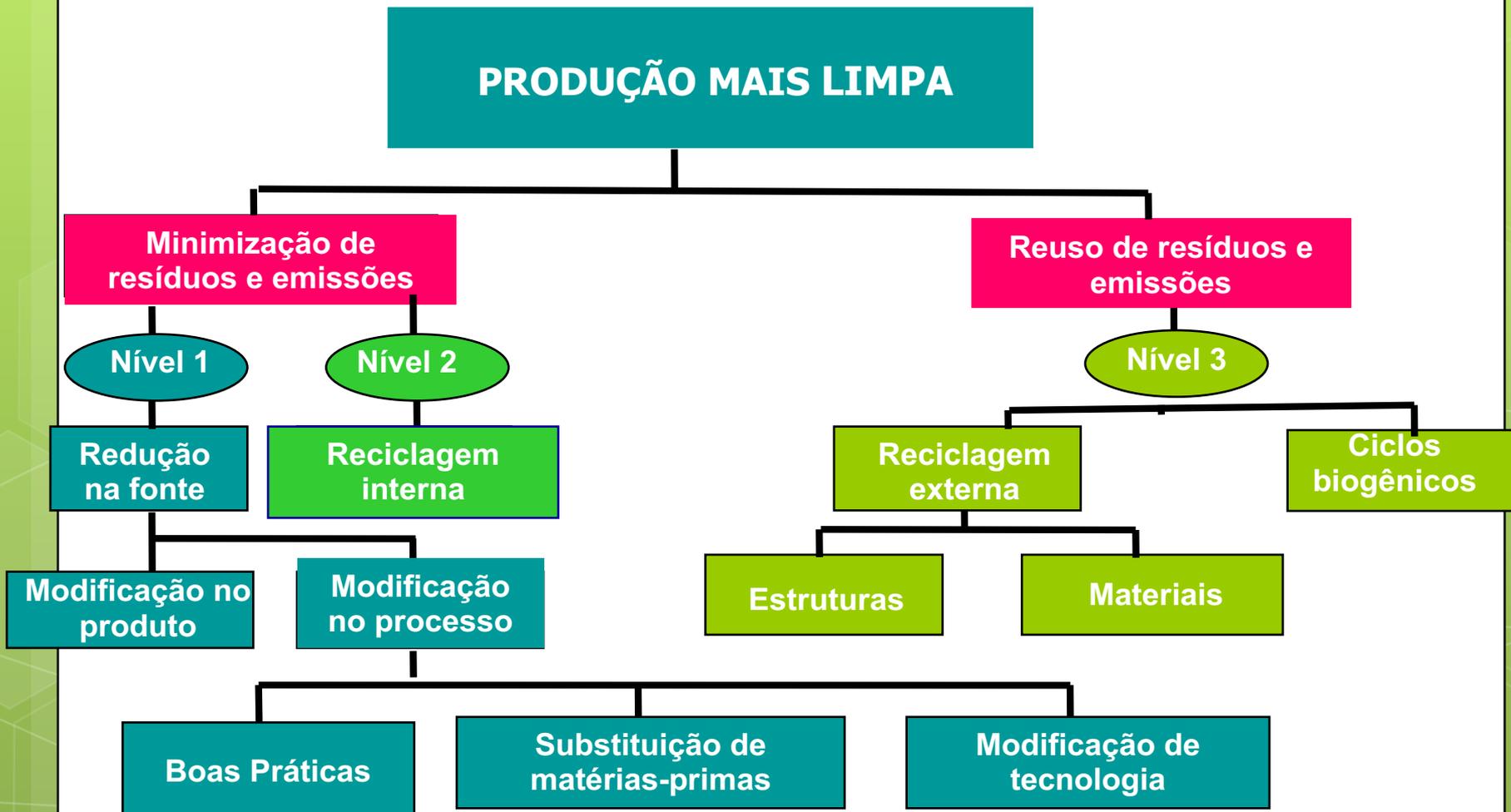
# Eco-eficiência e governança ambiental

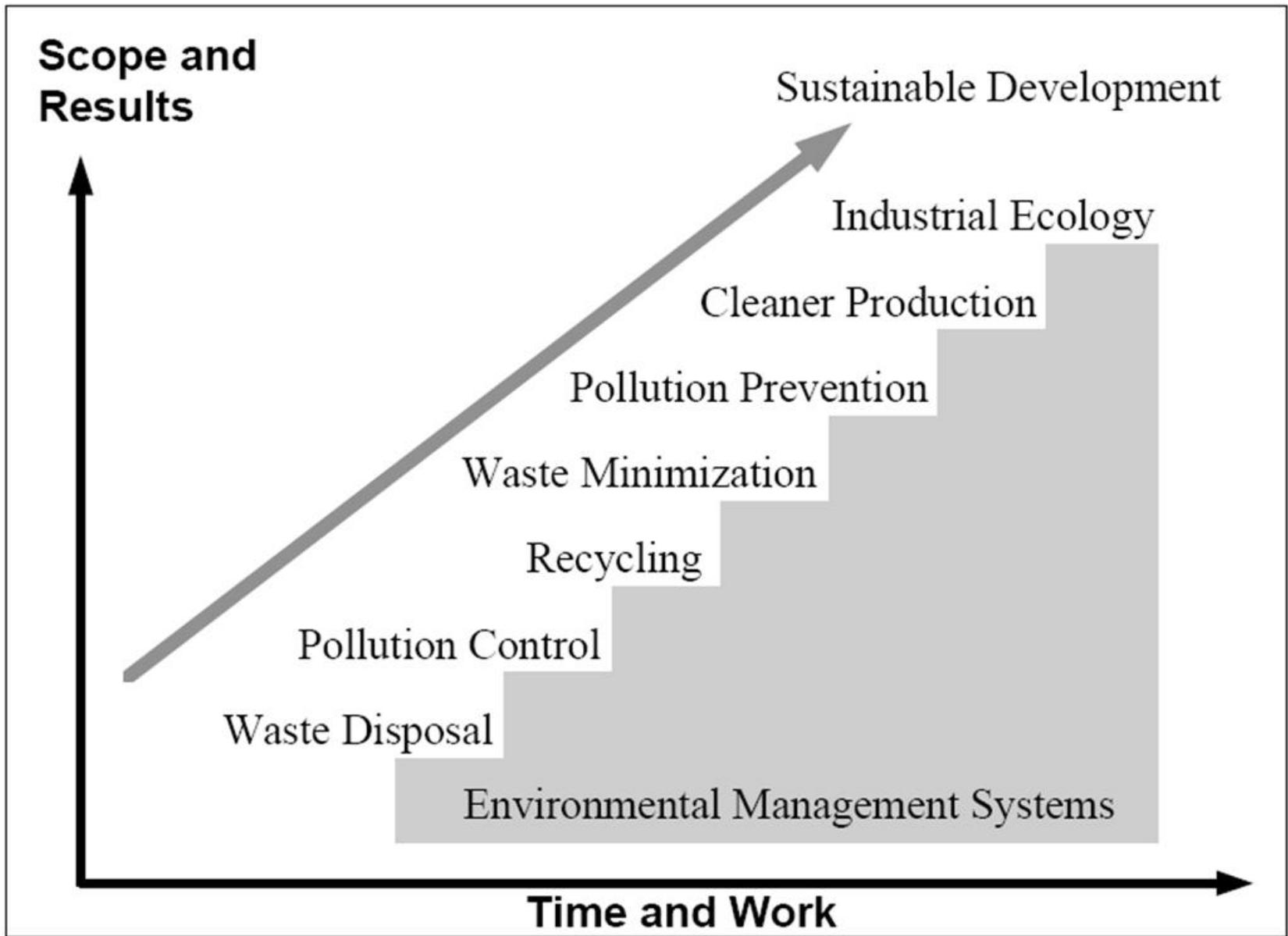
## Alternativas para produção mais limpa

Etapa de avaliação



# GERAÇÃO DE OPÇÕES DE PmaisL





What is the Relationship Among Cleaner Production, Pollution Prevention, Waste Minimization and ISO 14000? W. Burton Hamner

# Conceitos em gestão ambiental

