

Ecologia Industrial e ACV

Prof. Aldo R. Ometto
Departamento de Engenharia de Produção
EESC - USP

Disciplina: PRG 008 Fundamentos de
Economia Circular

Agenda

- **Ecologia Industrial**
 - Conceito e historia da Ecologia Industrial (EI)
 - Ecologia Industrial (EI)
 - Princípios
 - Elementos chaves
 - Finalidade
 - Abrangência
- **Técnicas**
 - Simbiose Industrial (SI) e Exemplos de SI
 - Eco parques Industriais (EI) e exemplos
 - Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Lei da conservação da matéria
criada por Antoine Lavoisier

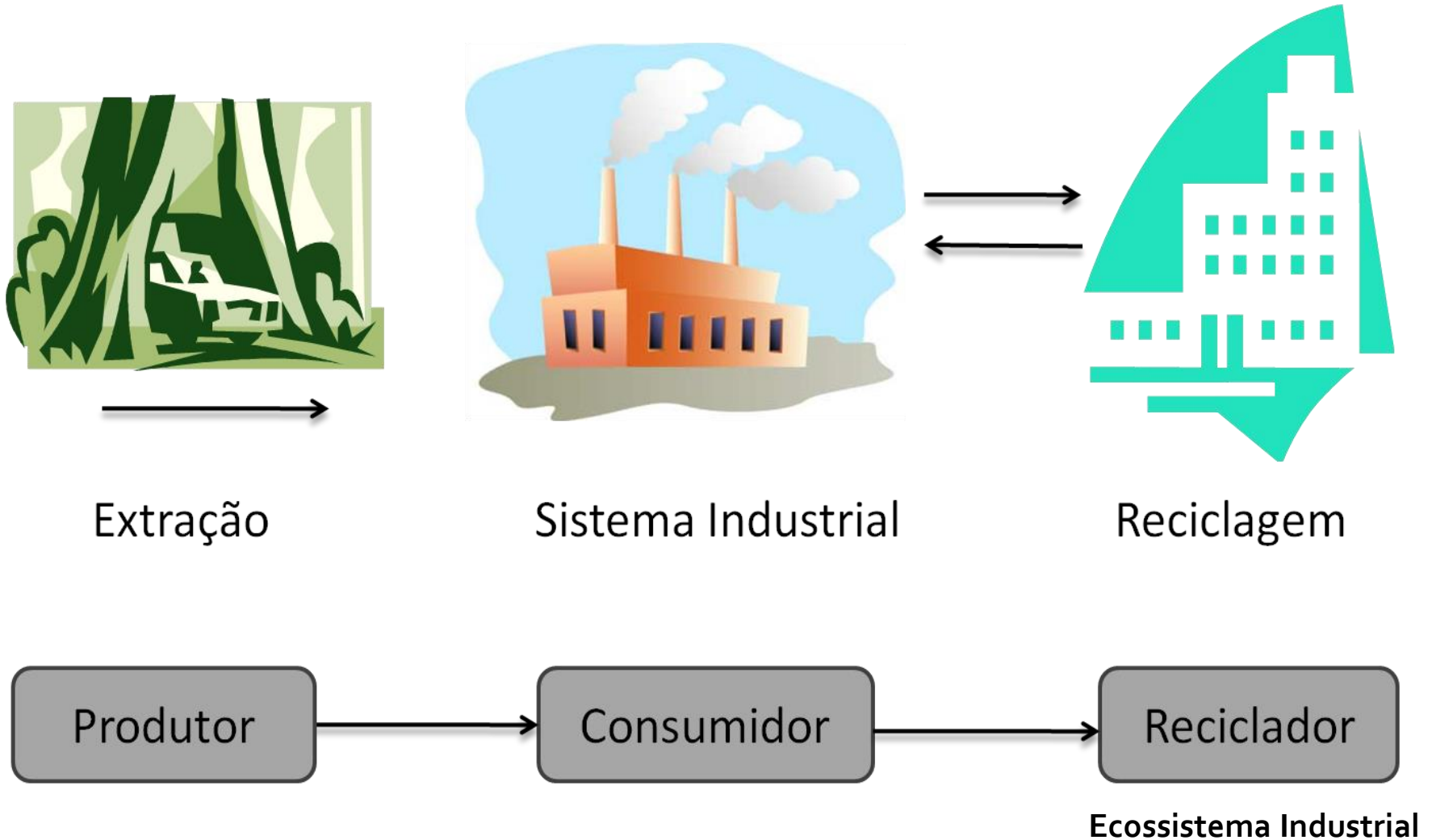
“Na natureza nada se cria, nada se
perde, tudo se transforma”

Ecologia Industrial (EI)

Conceito

- A ideia é entender primeiro como o **sistema industrial funciona, como é regulado e como e sua interação com a biosfera**, e com base nos conhecimentos sobre ecossistemas **reconstruir** esse sistema industrial de forma que seja **compatível com o ecossistema natural** (ERKMAN, 1997).

Ecologia Industrial (EI)



Ecologia Industrial

- Visão Sistêmica: O sistema industrial deve ser visto de forma **conjunta** e não isolada, tendo uma visão do sistema que busque **otimizar o ciclo de vida** de materiais desde a extração, passando pela fabricação até a disposição final. Fatores que devem ser otimizados incluindo recursos, energia e capital. (GRAEDEL e ALLENBY ;2003).

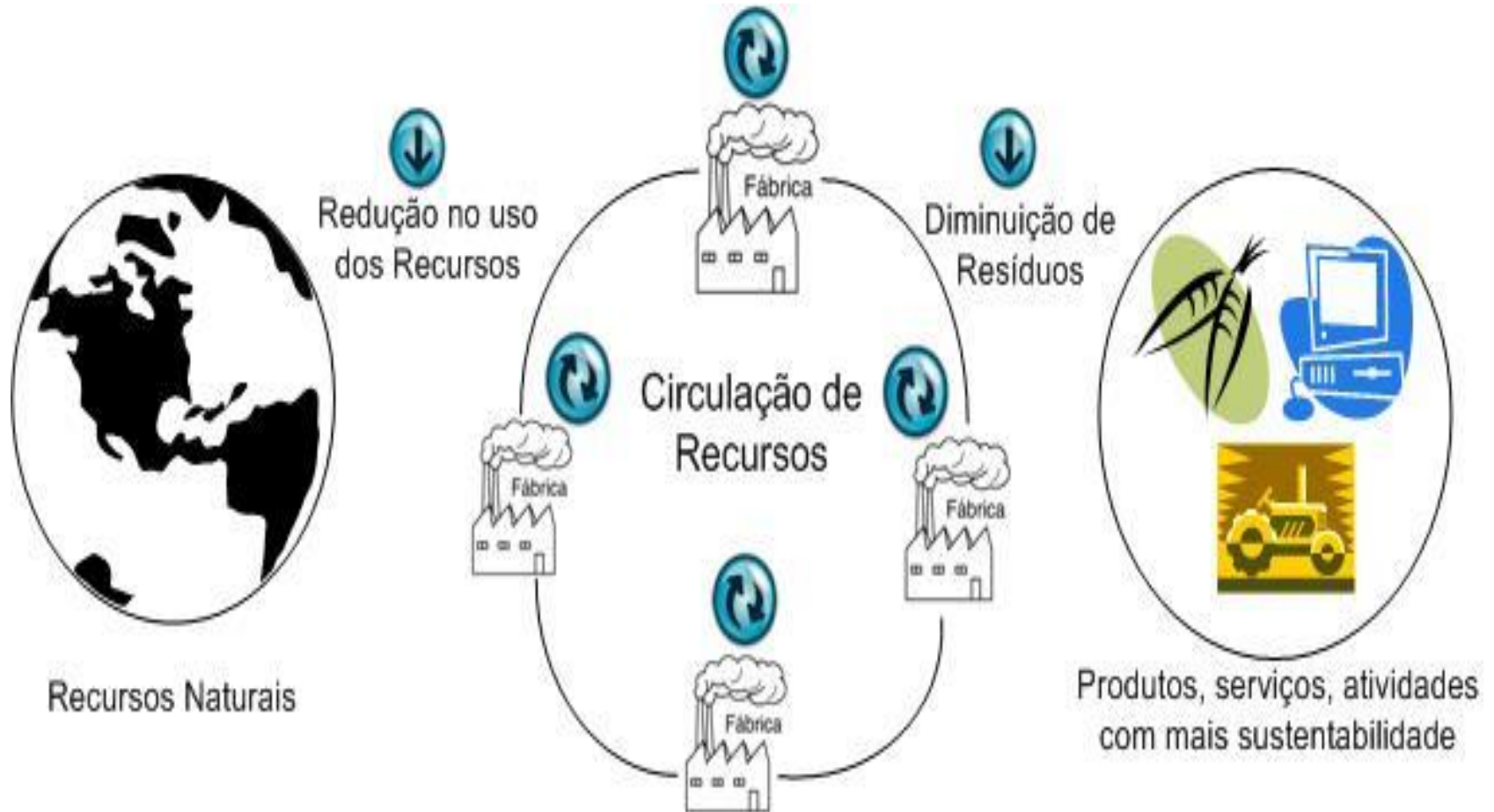


Elementos chaves da EI

Erkman (1997) cita como a EI apresenta três elementos chaves, baseado nos conceitos de diferentes autores:

1. Uma visão sistêmica abrangente e integrada de todos os componentes da economia industrial e suas relações com a biosfera;
2. Tem ênfase no substrato biofísico das atividades humanas, por exemplo: nos padrões complexos dos fluxos de materiais dentro e fora do sistema industrial e
3. Considera a dinâmica tecnológica, ou seja, elementos de transição do atual sistema industrial insustentável para um ecossistema industrial viável e sustentável.

Finalidade de EI



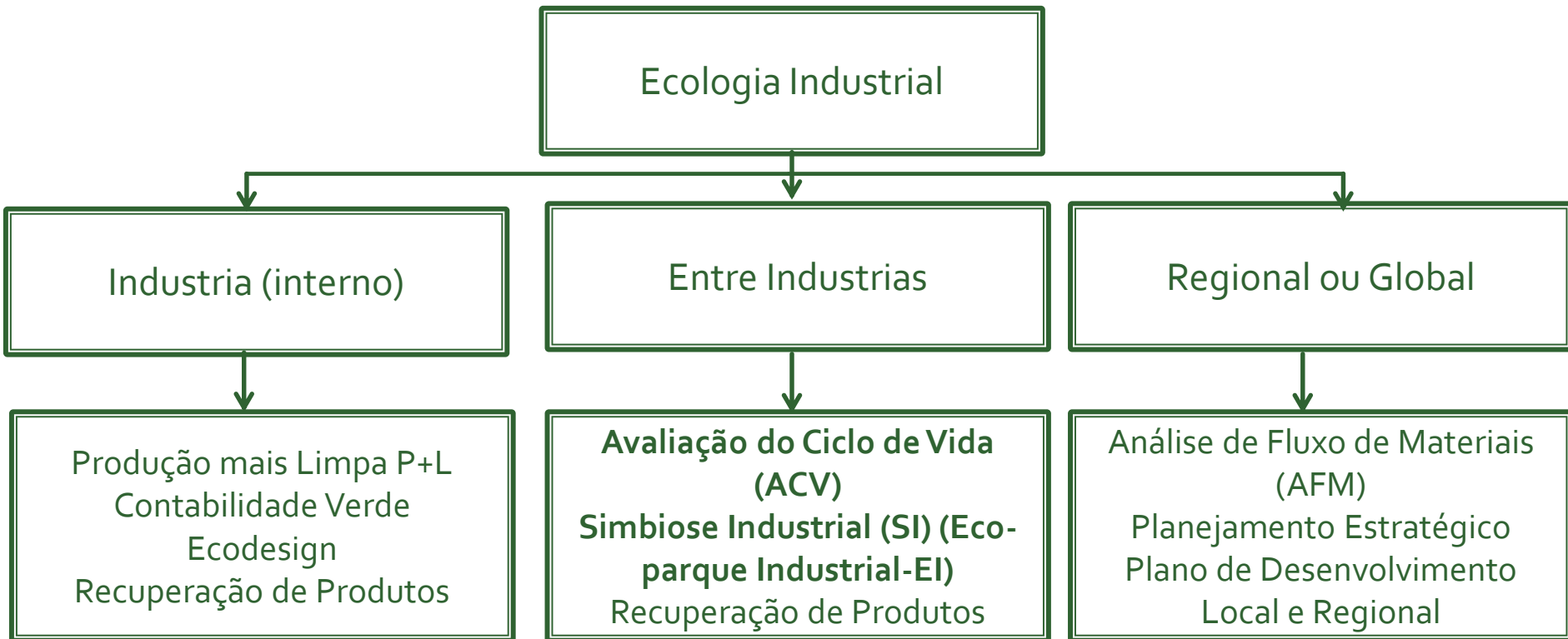
Adaptado Teixeira (2005)

Práticas da EI

Otimização dos fluxos de energia e materiais na produção	
<ol style="list-style-type: none">1. Identificação do Metabolismo Industrial2. Prevenção de Poluição (P2)3. Redução do Uso de substâncias tóxicas4. Controle da poluição e gerencia de resíduos (reciclagem externa e disposição adequada)5. Eficiência no uso de energia e materiais6. Uso de energias renováveis	<p>Inventário do fluxo de energia e materiais</p> <p>Ações focadas na fonte de emissão de poluentes</p> <p>Similar à P2, mas com ênfase em determinados poluentes.</p> <p>Controle de poluentes após a geração</p>
Fechamento dos Ciclos de Materiais	
<ol style="list-style-type: none">1. Reuso, Remanufatura, Reparo2. Reciclagem de Produtos e/ou materiais e componentes3. Reciclagem de Embalagens4. Subprodutos e resíduos como insumos para outras atividades5. Sistemas industriais localmente integrados	<p>Extensão da vida útil de produtos</p> <p>Redução no uso de materiais primários</p> <p>Produção de embalagens que sejam recicláveis</p> <p>Integração do fluxo de materiais entre firmas e entre indústrias</p> <p>Eco-parques</p>
Desmaterialização	
<ol style="list-style-type: none">1. Oferta de serviços2. Maior Vida útil dos produtos3. Redução do uso de energia e materiais	<p>Ênfase em serviços</p> <p>Estender por mais de um ciclo completo o ciclo de vida de um produto</p>

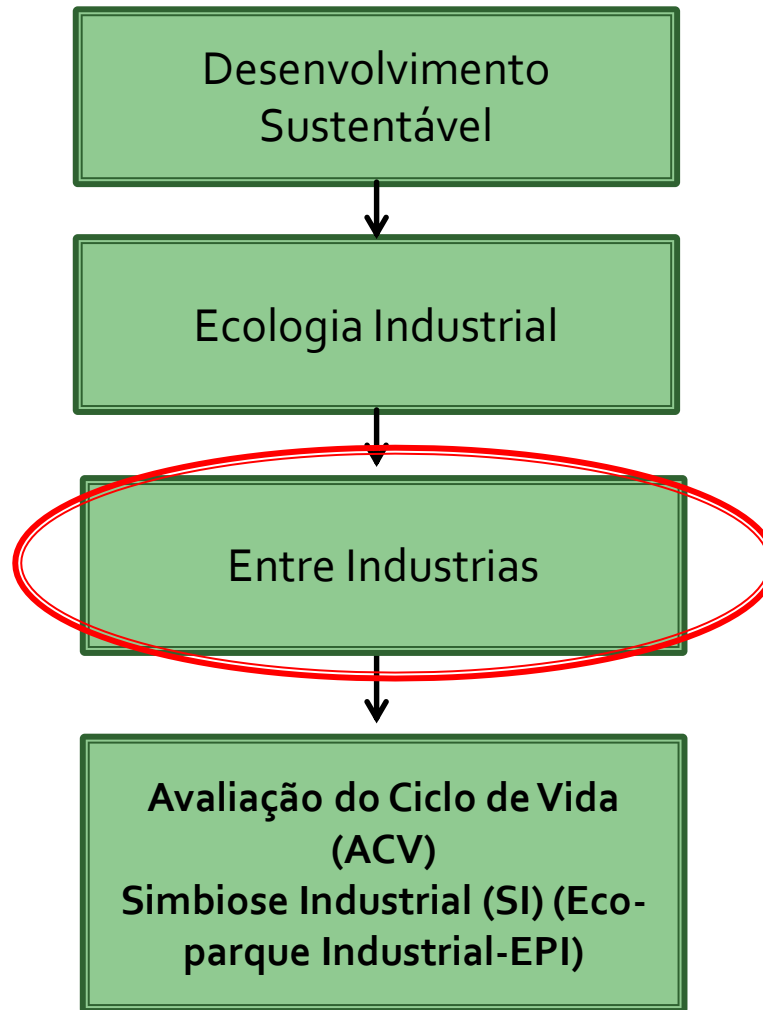
Fonte. Costa (2000)

Abrangência da EI





Técnicas



Simbiose Industrial (SI)

Simbiose Industrial (SI) é o envolvimento de indústrias tradicionalmente separadas para um envolvimento de forma coletiva e com uma vantagem competitiva, que inclui: troca física de materiais, energia, água e subprodutos. As chaves de sucesso da SI são: a **colaboração** e as possibilidades de **sinergia** oferecidas pela proximidade geográfica (CHERTOW, 2000).

SI envolve diversas organizações em uma rede para promover aecoinovação e a mudança de cultura a longo prazo. Cria e compartilha conhecimentos através da rede de transações lucrativas mutuamente rentáveis para o novo fornecimento de insumos necessários, destinos de valor agregado para as saídas de não produtos e melhoria de negócios e processos técnicos (LOMBARDI e LAYBOURN, 2012)

Ecoparques Industriais (EPI)

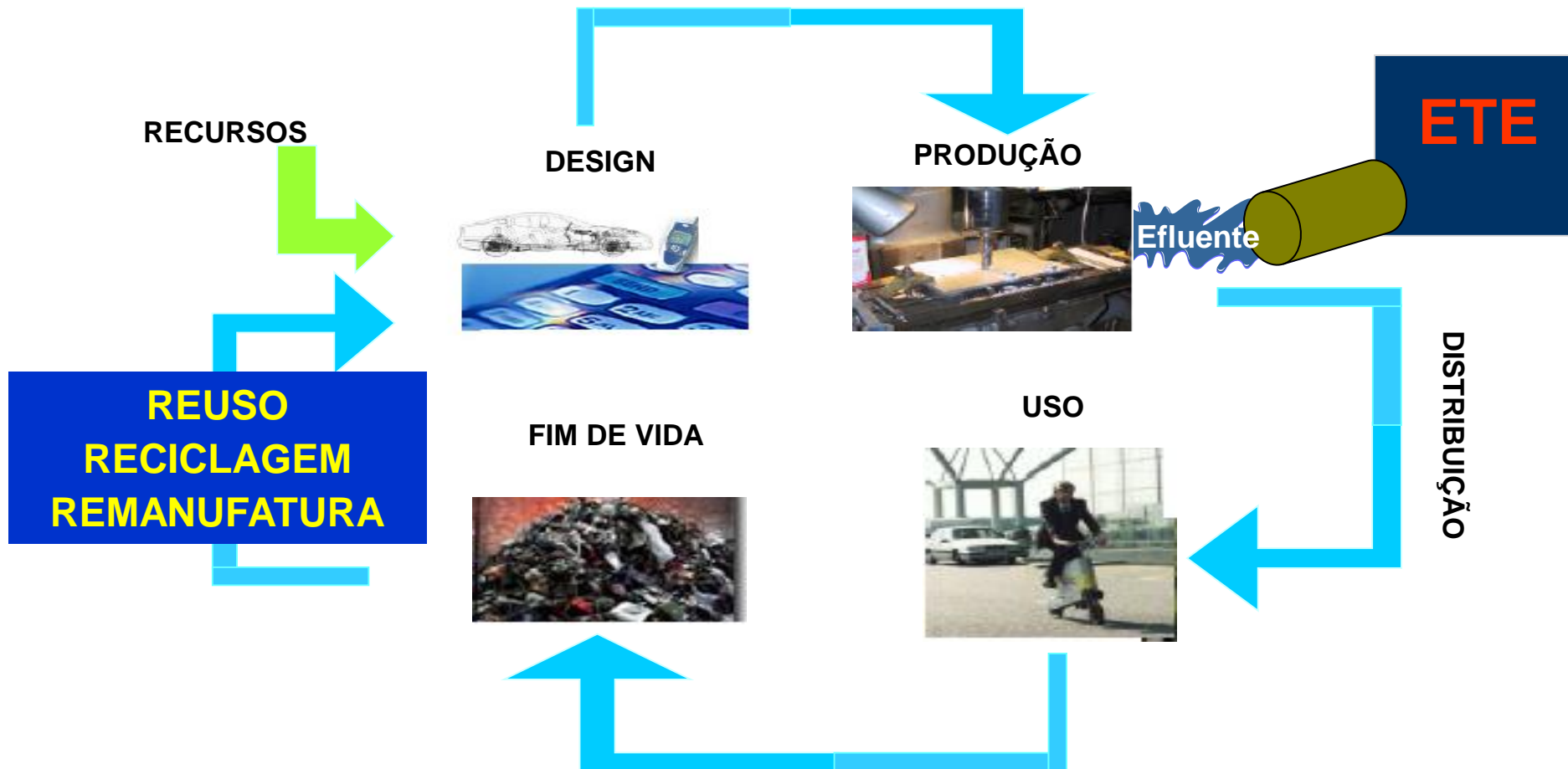
Eco-parque industrial (EPI) é uma **comunidade** de indústrias e negócios de serviços que **objetivam aumentar o desempenho ambiental e econômico**, por meio da **gestão colaborativa** do **meio-ambiente** e dos **recursos** (*United States Environmental Protection Agency -EPA*).

EPI é uma **comunidade** de indústrias, empresas e serviços localizados em uma **propriedade comum**, onde seus membros se esforçam para alcançar um melhor **desempenho ambiental, econômico e social** através da cooperação ambiental e gestão de recursos naturais. Trabalhando em conjunto, a comunidade empresarial procura um benefício coletivo maior que a soma dos benefícios individuais que a empresa alcançaria melhorando só o seu desempenho individual. (INDIGO DEVELOPMENT, 2005).

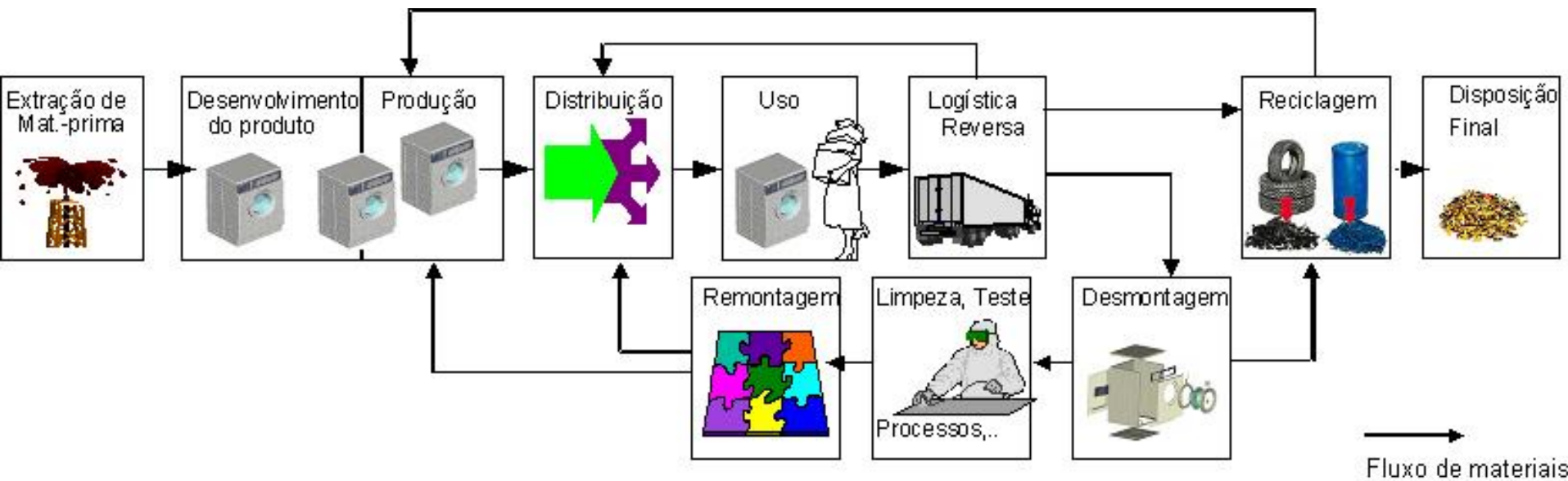
Características de um EPI

- Redes de trocas entre insumos
- Centro de reciclagem
- Companhias de tecnologia ambiental
- Fabricação de produtos “verdes”
- Design temático (ex.: um EPI baseado em energia solar)
- Infraestrutura ambiental adequada
- Variabilidade no uso (comercial, residencial, industrial)

Visão de Ciclo de Vida



Ciclo de Vida do Produto



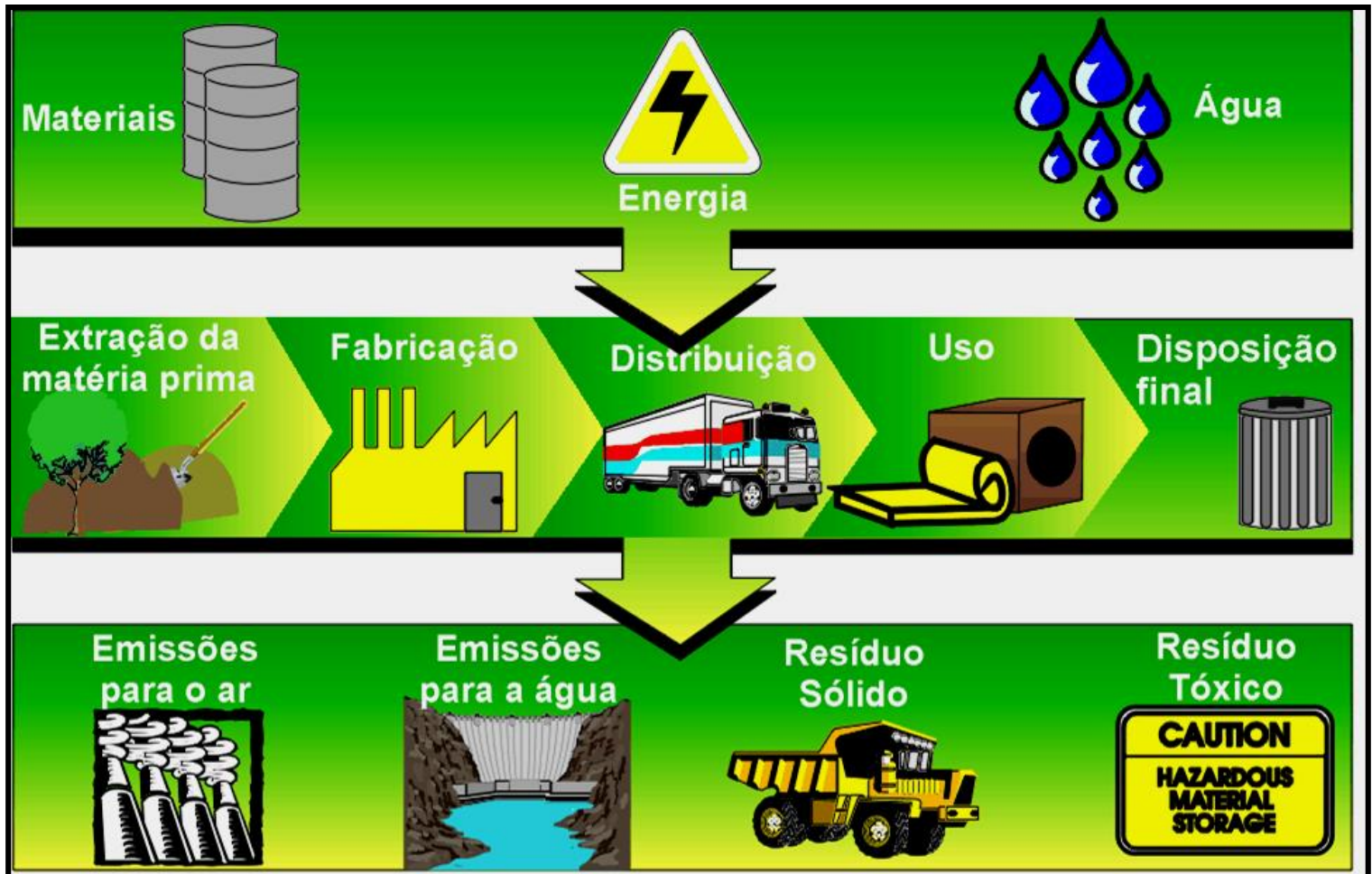
ACV: Definição (ABNT)

❖ **Avaliação do Ciclo de Vida:** é uma técnica para a compilação e a avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida.

7 Princípios da ACV

- ❖ Interativa
- ❖ Ambiental
- ❖ Transparência
- ❖ Fundamentação científica
- ❖ Completeza
- ❖ Abordagem relativa à função
- ❖ Sistêmica a partir do ciclo de vida

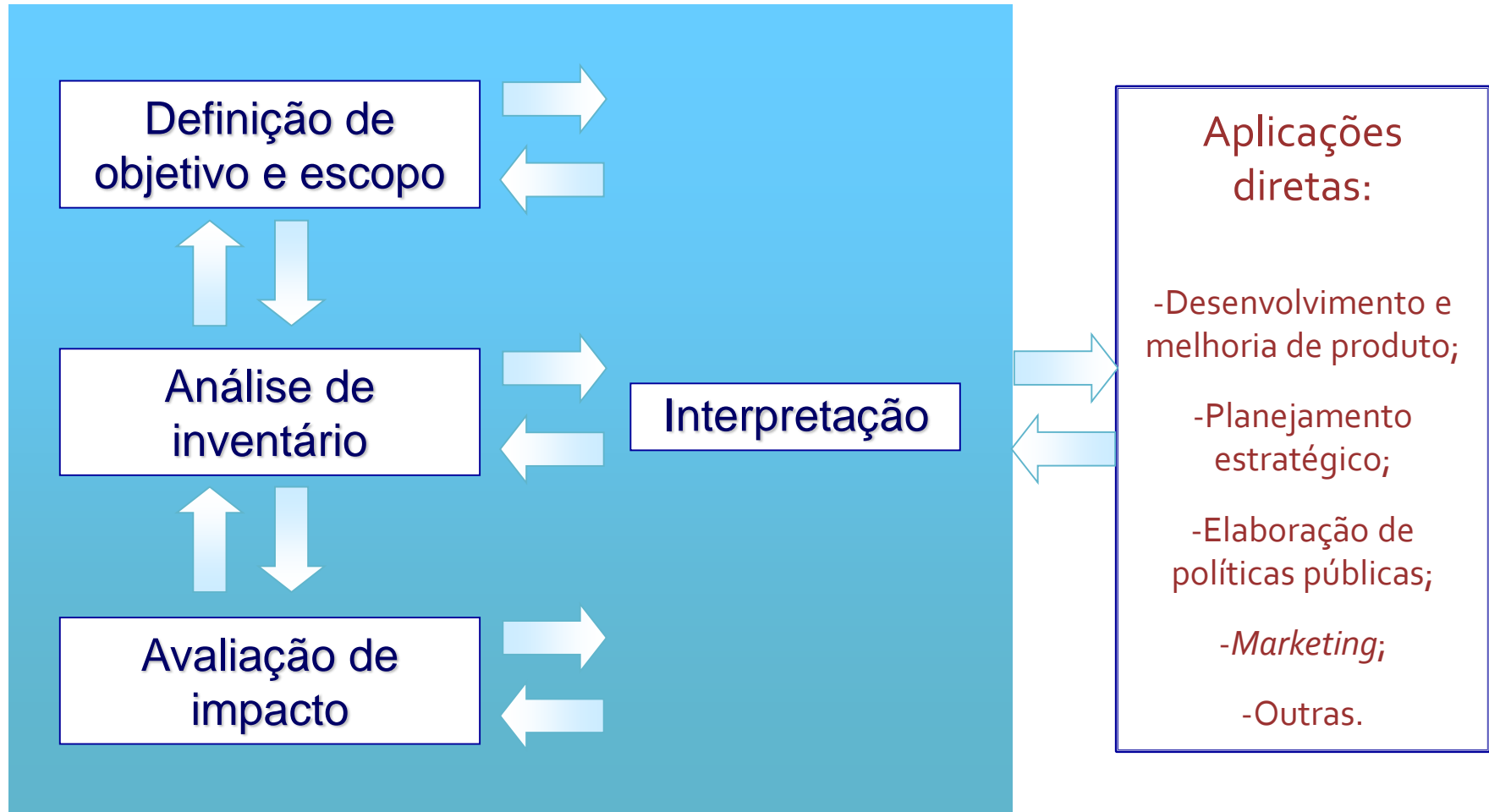
Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)



Conceitos básicos

- Meio ambiente
 - circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações
- Aspecto ambiental
 - elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente.
- Impacto ambiental
 - qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

Estrutura Metodológica



Fonte: ABNT (2001)

Fases da ACV

Definição de objetivo e escopo

- Propósito
- Escopo (limites)
- Unidade Funcional
- Definição dos requisitos de qualidade

Análise de Inventário

- Entrada / Saída
- Coleta dos dados
- Tratamento
- Validação

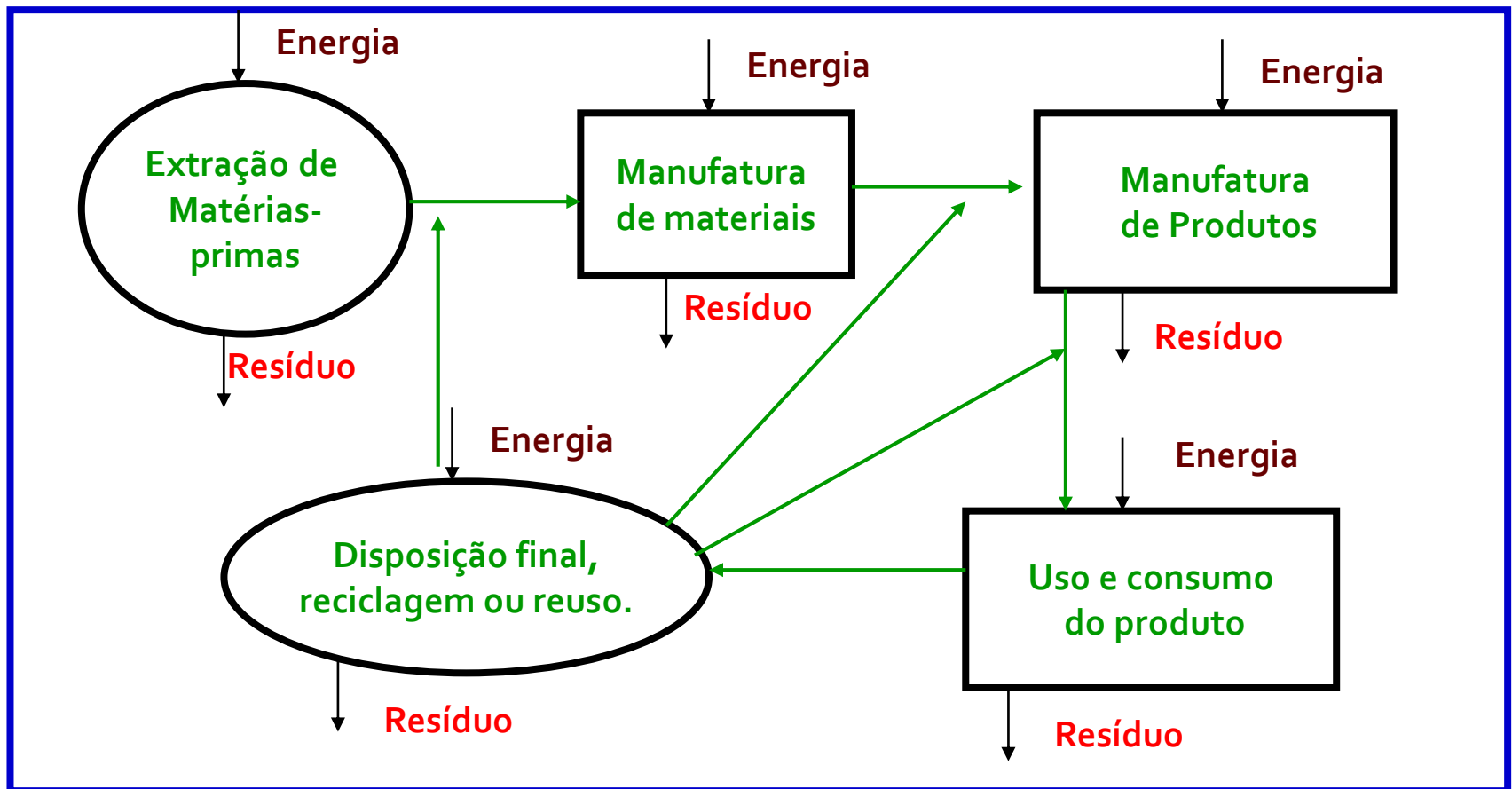
Avaliação do Impacto

- Seleção
- Classificação
- Caracterização

Interpretação

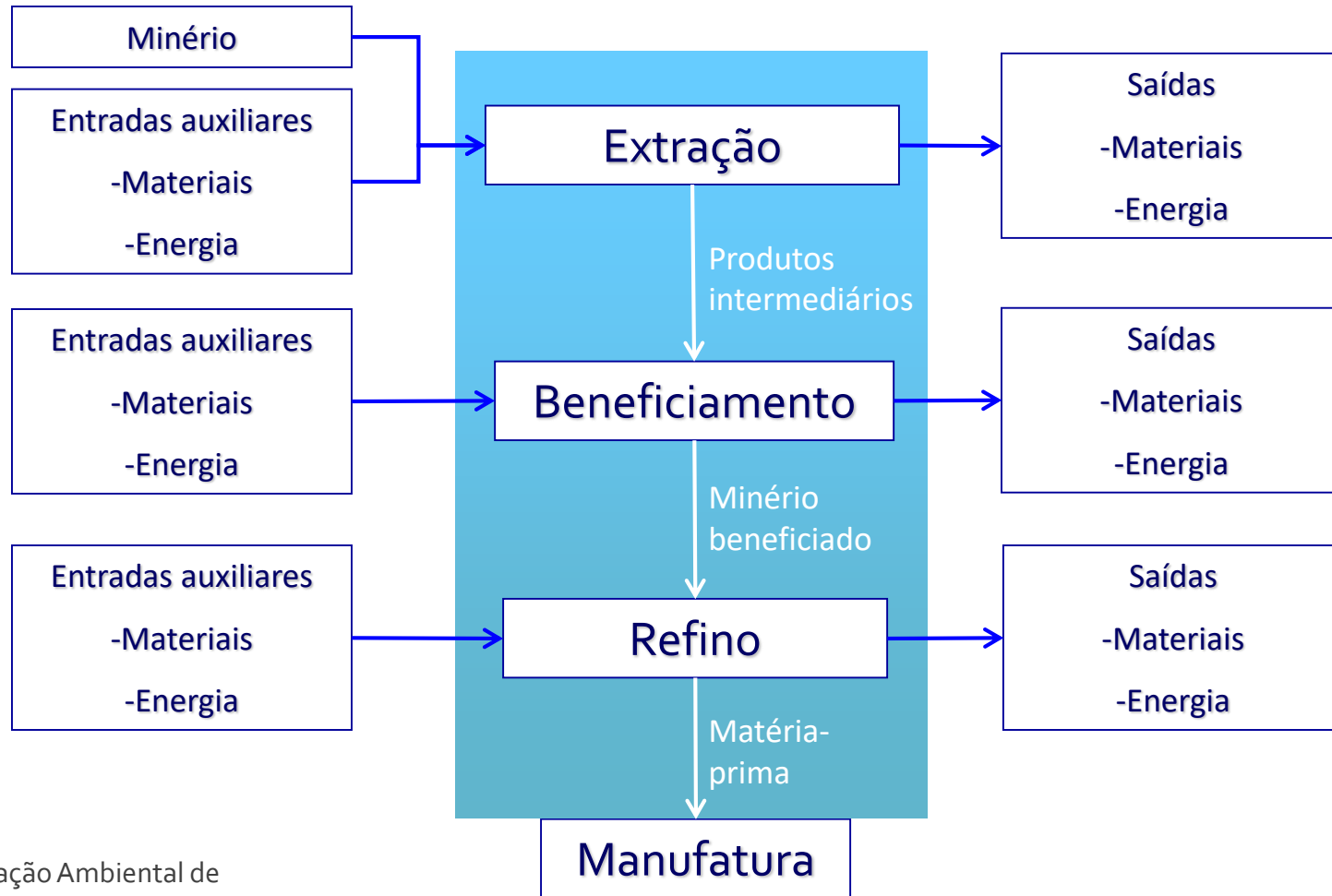
- Identificação dos problemas
- Recomendações
- Análise de sensibilidade
- Conclusões

Modelagem do Sistema de Produto - Fluxograma do Ciclo de Vida do Produto

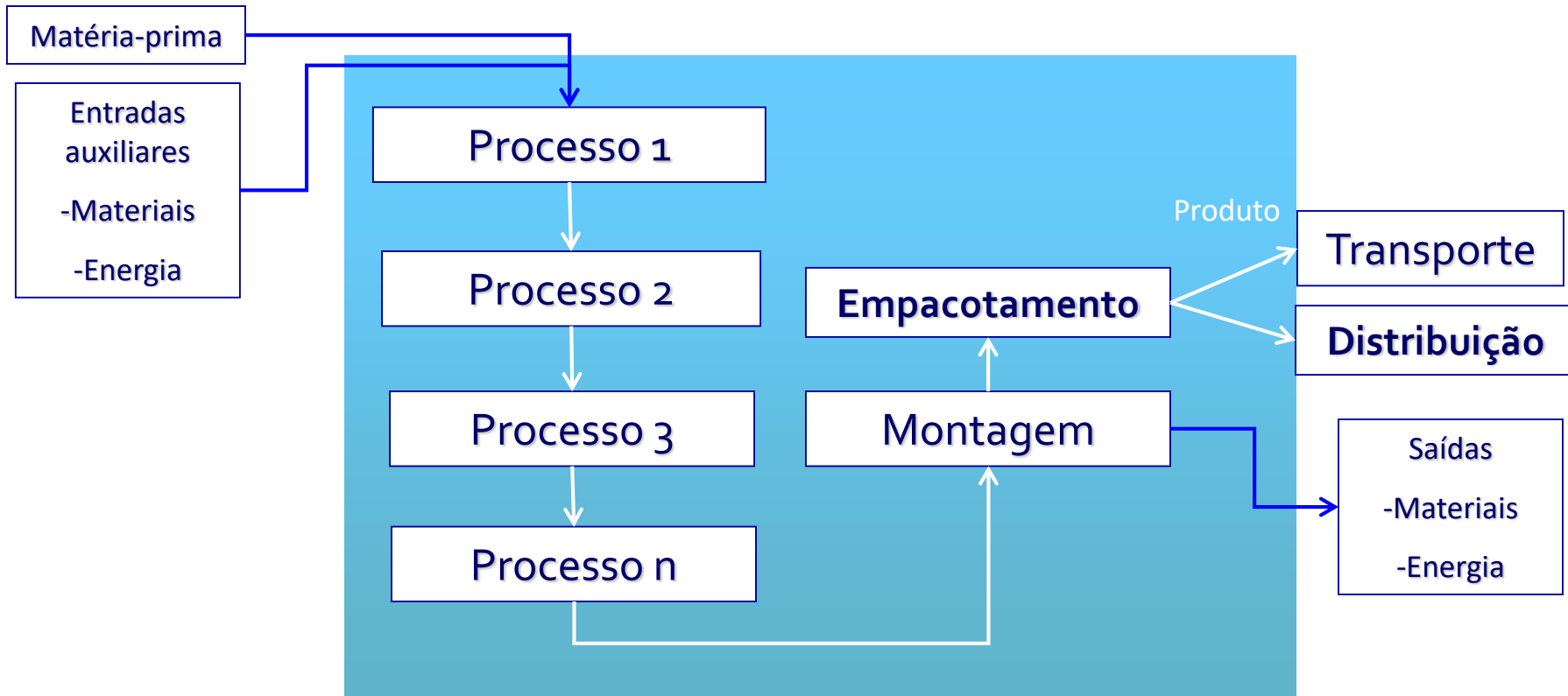


Extração de Matérias-Primas

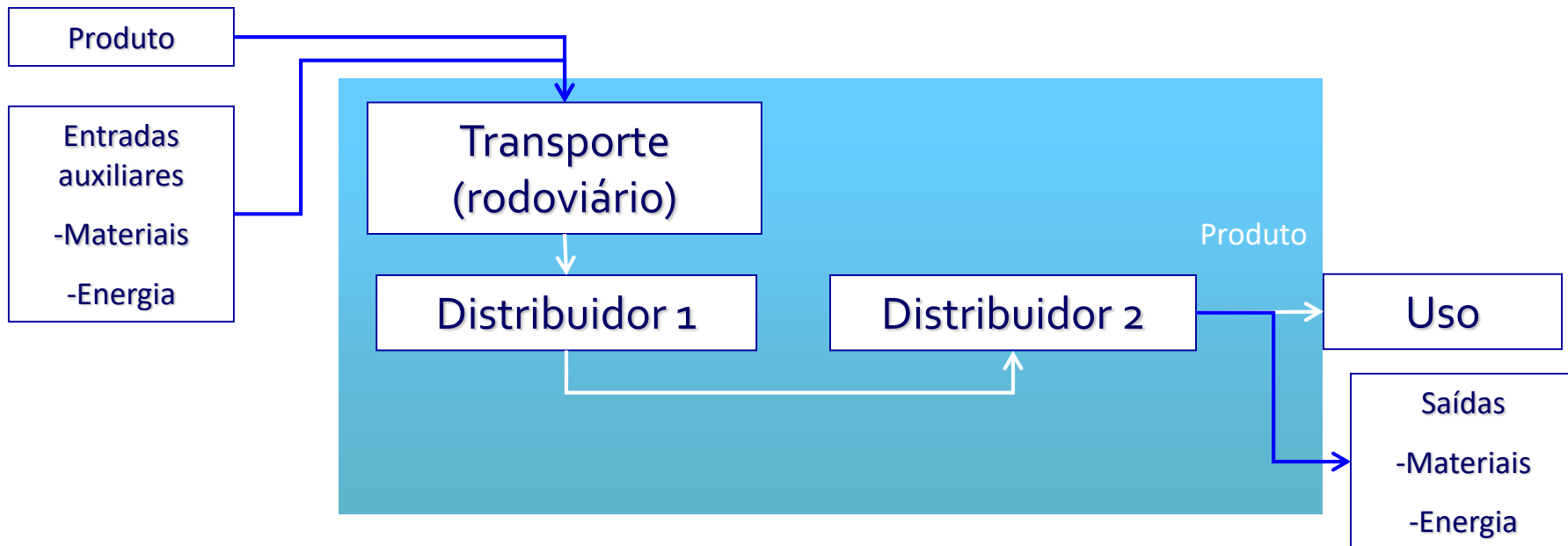
Processos Elementares



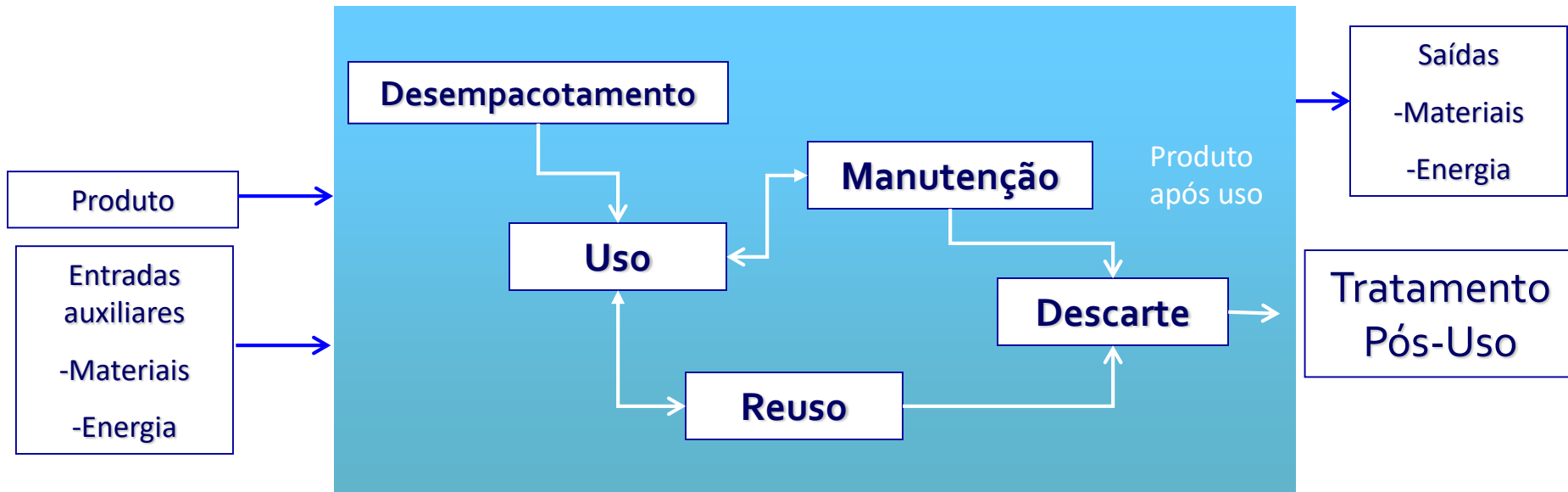
Manufatura



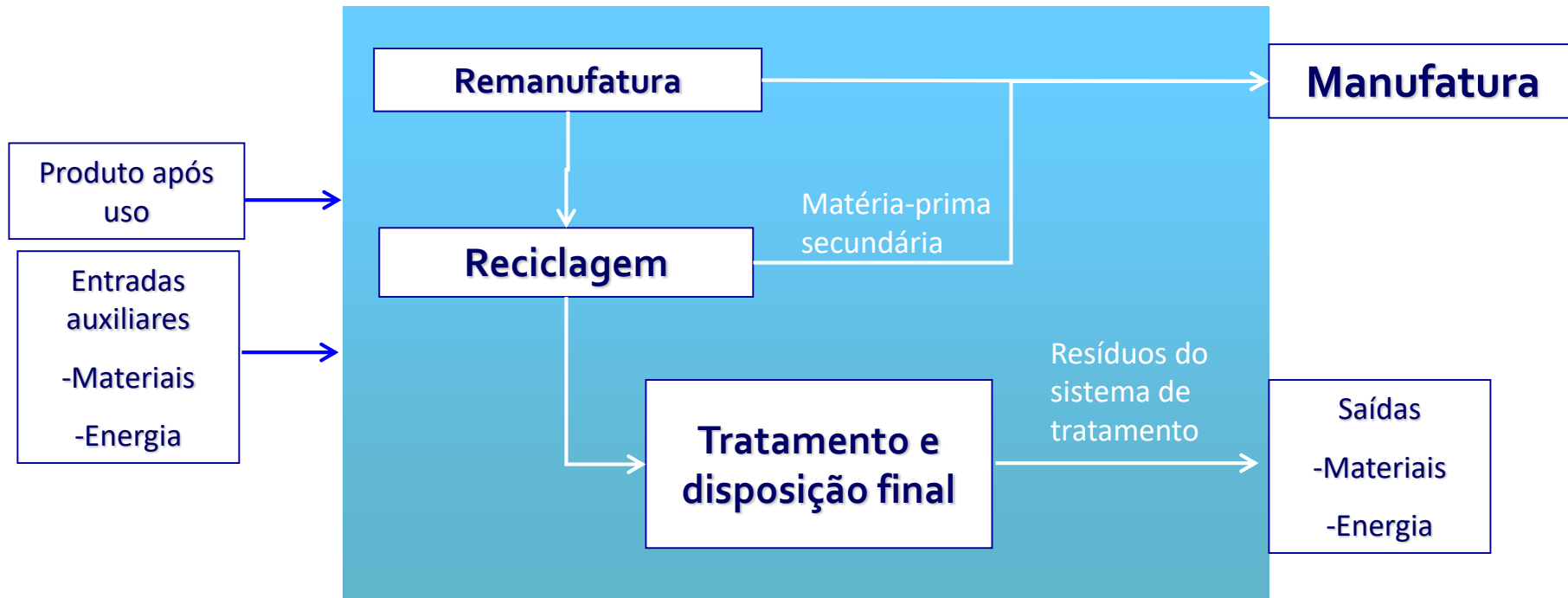
Transporte e Distribuição



Uso, Reuso e Manutenção

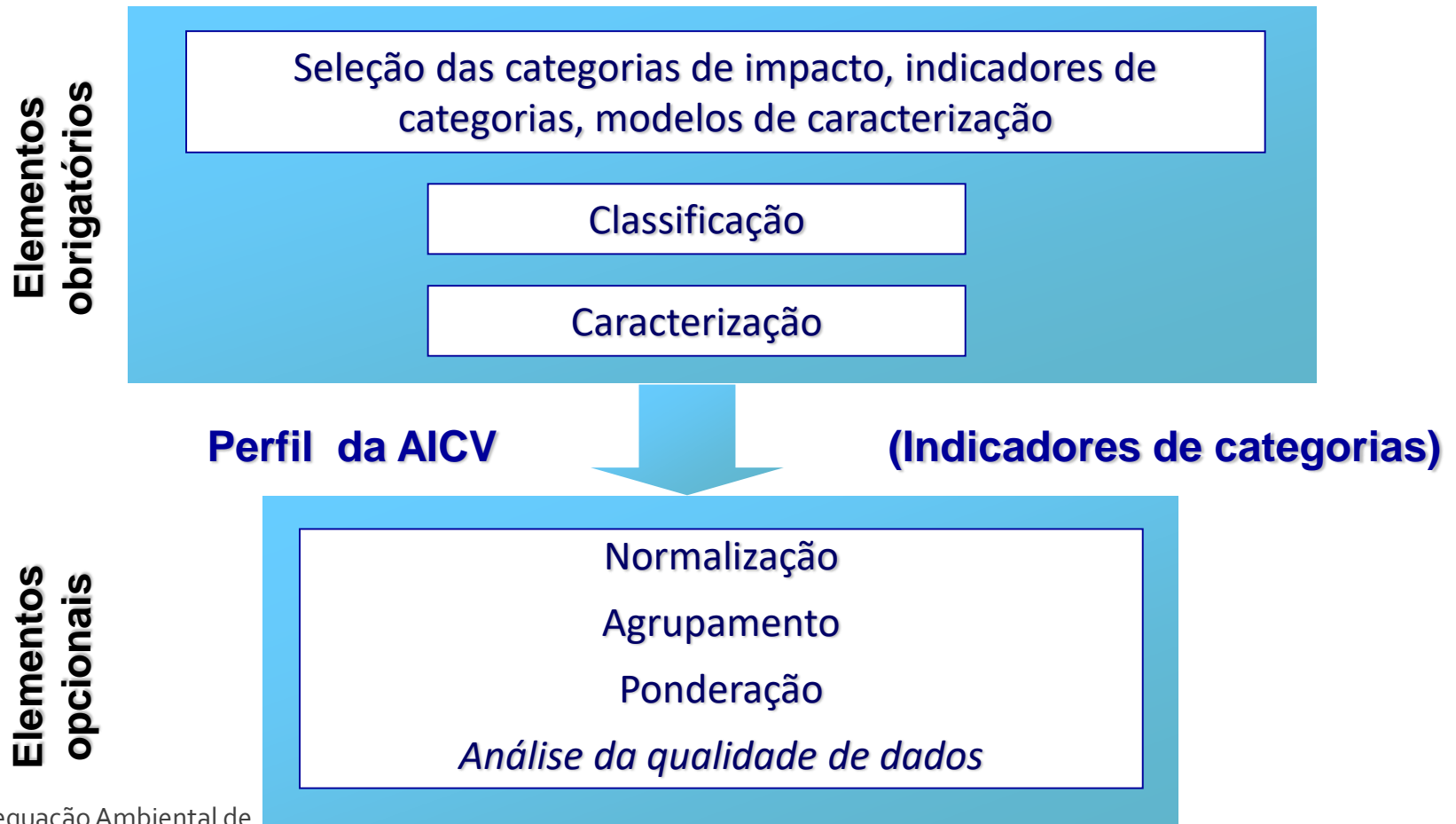


Tratamento Pós-Uso



Avaliação do Impacto (AICV)

Segundo a norma ISO 14044, a AICV é composta de 6 elementos, sendo 3 obrigatórios e 4 opcionais:



Avaliação do Impacto (AICV)

SELEÇÃO DAS CATEGORIAS: consiste na determinação das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização que devem ser adotados. A escolha baseia-se nos objetivos e escopo da pesquisa. As categorias de impacto selecionadas devem refletir o perfil ambiental do sistema de produto em estudo. Exemplos:

- Escassez de energia
- Consumo de recursos naturais
- Aquecimento global
- Formação de Ozônio
- Acidificação
- Toxicidade humana
- Ecotoxicidade
- Eutrofização
- Destruição da camada de ozônio

Avaliação do Impacto (AICV)

Categorias de Impacto

Categoria de impacto	Impactos e efeitos
Aquecimento global	Mudanças climáticas, condições extremas de tempo
Diminuição da camada de ozônio	Aumento da intensidade dos raios UV, câncer de pele, danos ao sistema imunológico
Formação fotoquímica do ozônio	Problemas respiratórios, danos a plantas, prejuízos materiais
Eutrofização	Proliferação de algas, depleção de oxigênio
Ecotoxicidade	Toxicidade aguda e crônica em ecossistemas
Toxicidade humana	Toxicidade aguda e crônica ao homem
Acidificação	Danos a vegetação, rios e lagos; prejuízos materiais
Resíduos para aterro	Poluição de águas subterrâneas, corpos hídricos, ar e solo

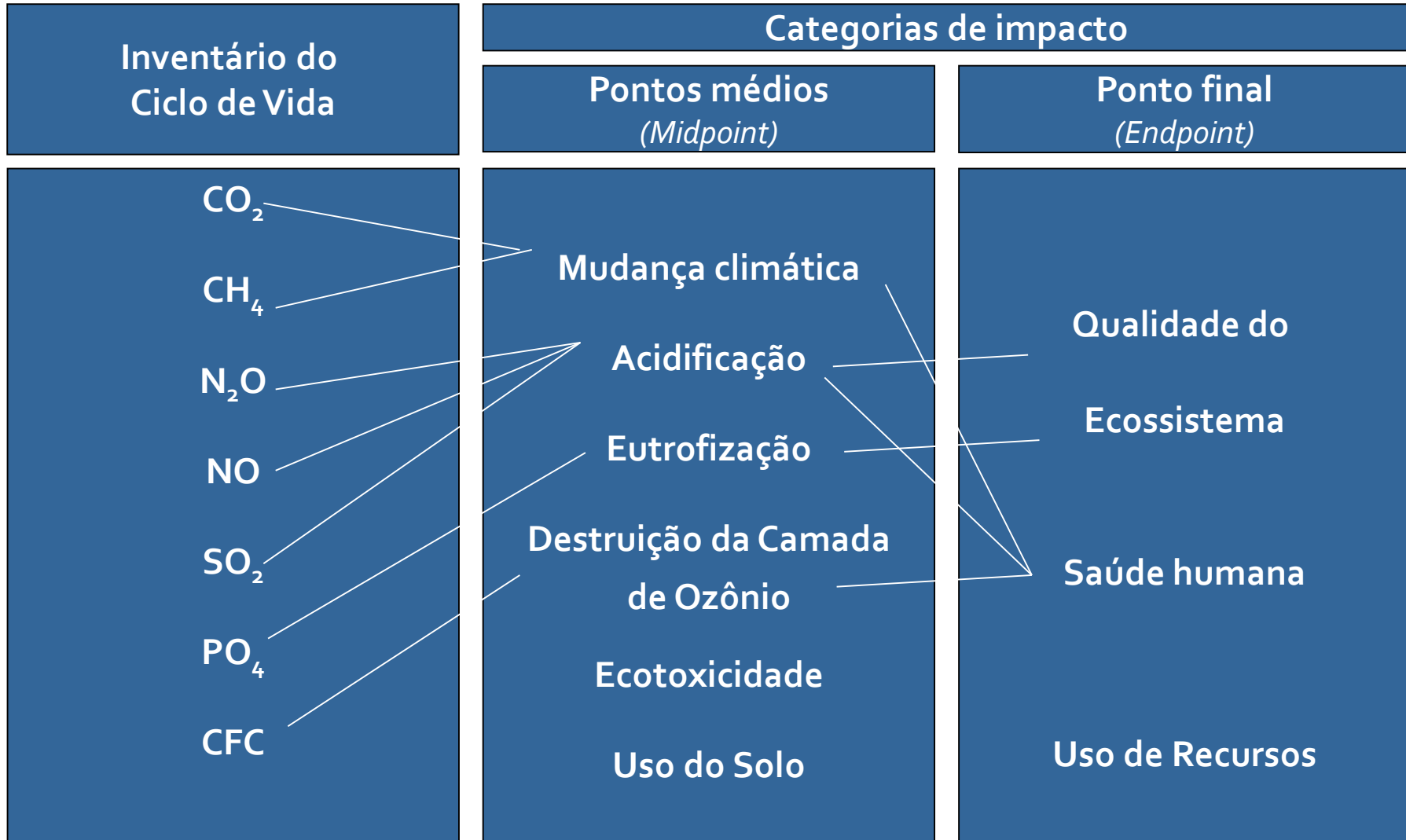
Avaliação do Impacto (AICV)

CLASSIFICAÇÃO: refere-se à correlação das cargas ambientais do inventário com as diferentes categorias de impacto selecionadas. Os resultados do ICV podem ser relacionados a uma ou mais categorias. No entanto, atenção deve ser dada para evitar a dupla contagem de cargas ambientais. Exemplos:

- Aquecimento global: emissão de CO_2 e outros gases de efeito estufa como CH_4 , CO , N_2O , aerossóis.
- Acidificação: resultante da emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre com acidificação do solo e água, ex: SO_2 , NO_2 .
- Toxicidade humana: exposição a substâncias tóxicas diversas na água, solo e ar, ex: toxicidade água potável, ar cidades, etc.
- Ecotoxicidade: quantidade de produtos tóxicos emitidos na natureza.
- Eutrofização: quantidade de nutrientes lançados na água.
- Destruição da camada de ozônio: emissão de gases CFC.

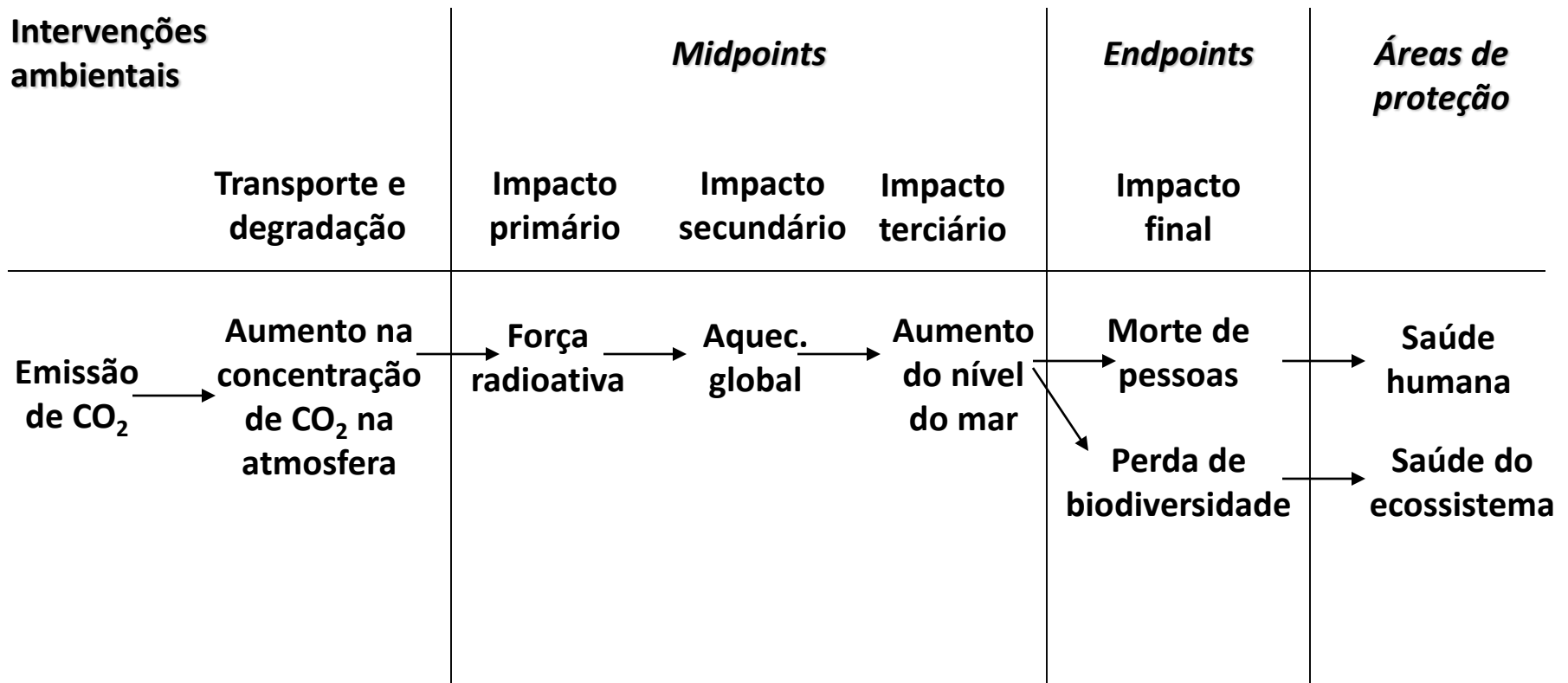
Correlação

aspectos e impactos ambientais



Midpoint x Endpoint

Exemplo: Mudança Climática



Avaliação do Impacto (AICV)

CARACTERIZAÇÃO: envolve a agregação das cargas ambientais dentro de cada categoria de impacto e sua conversão para unidades comuns (indicadores de categoria), resultando em um único índice numérico por categoria. Este passo é realizado mediante ao uso de fatores de caracterização (ou equivalência). Exemplos:

- Exaustão de recursos não renováveis: medida em relação a oferta global do recurso.
- Potencial de aquecimento global: medida em relação a 1kg CO₂.
- Potencial de acidificação: medida em relação a 1 kg de SO₂.
- Ecotoxicidade aquática: volume de água por massa de substância.
- Potencial de eutrofização: medida em relação a 1 kg de fosfato/nitrogênio.
- Potencial de redução da camada de ozônio: medida em relação a 1 kg de CFC-11.

Principais Métodos e Softwares

Método	Abordagem	País - ano
EDIP	<i>midpoint</i>	Dinamarca - 97 / 03
CML	<i>midpoint</i>	Holanda – 92 / 00
Eco-indicator	<i>endpoint</i>	Holanda – 95 / 99
EPS	<i>endpoint</i>	Suécia – 93 / 00
TRACI	<i>midpoint</i>	EUA – 03
LUCAS	<i>midpoint</i>	Canadá - 05
IMPACT	combinada	Suíça – 02
LIME	combinada	Japão - 03

- Softwares fazem uso de bancos de dados previamente definidos, com informações a respeito de emissões provenientes do transporte, energia, atividades industriais básicas, etc.
 - OpenLCA
 - Gabi
 - SimaPro
 - Umberto
 - EMIS

Métodos Simplificados

- Matrices (MECO)
- Listas de impactos
- Redes de impactos

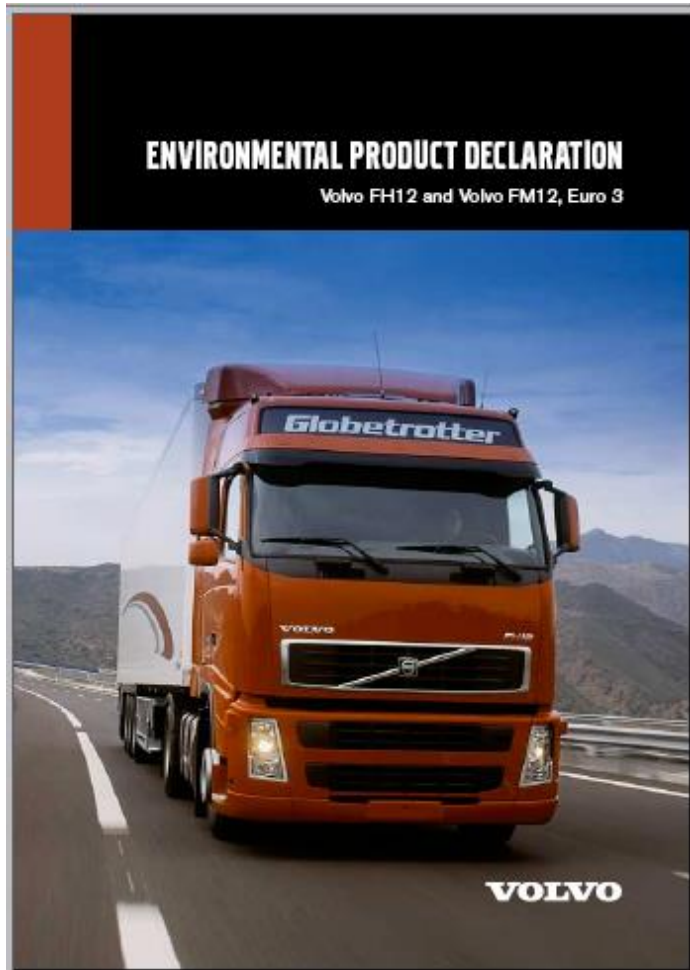
Interpretação do ciclo de vida

- ❖ Os resultados do ICV e da AICV são combinados com o objetivo e escopo, visando a alcançar conclusões e recomendações
- ❖ As limitações do estudo são, também, indicadas nesta fase, de forma transparente.
- ❖ Sempre relacionada ao objetivo geral
 - Conclusões concisas
 - Revisão, se necessária, dos dados selecionados, o que reflete a natureza iterativa da ACV
- ❖ Conclusões sobre impactos ao ambiente e recursos, a serem consideradas com outros critérios de decisão

Relatório

- ❖ Relatórios devem ser claros, objetivos, transparentes e voltados para o público alvo.
- ❖ Deve haver consistência entre objetivos, metodologia e dados apresentados.
- ❖ Terminologias e metodologias adequadas.
- ❖ Os resultados, métodos, hipóteses e limitações devem ser detalhados para permitir compreensão da complexidade da ACV.
- ❖ Realizar revisão crítica dos resultados e conclusões, se possível, por especialistas externos ao grupo de trabalho (obrigatório para publicação e com 3 especialistas para comparação de produtos).
- ❖ Análise da qualidade dos dados de acordo com os objetivos.

Exemplo



INVENTORY RESULTS

	Unit	Materials and Production	Fuel & Exhaust Emissions	Maintenance	End of Life	Total
Resources			MK1 (Cert fuel)			
Electricity, renewable	MWh	7		0	0	7
Electricity, non renewable	MWh	13		1	1	14
Other renewable energy	MWh	1		0	0	1
Other non renewable energy	MWh	68		6	-13	61
Fuel	Lite		310,000			310,000
Materials	Kg	7,000		2,226	-5,324	3,902
Air						
CO	Kg	122	713 (744)	2	-76	761
CO ₂	Kg	14,700	806,000 (837,000)	1,200	-4,520	817,380
HC (VOC)	Kg	49	248 (248)	20	-2	314
NO _x	Kg	43	5,270 (5,890)	6	-5	5,314
SO ₂	Kg	38	1 (52)	7	-8	37
PM (Particulate matter)	Kg	15	62 (93)	2	-5	74
CFC (R11 & R12)	Kg	0		0	0	0
HCFC (R22)	Kg	0		0	0	0
Water						
Use of water (cooling excl)	m ³	68		4	6	78
Use of water (cooling)	m ³	161		7	18	186
BOD	Kg	4		0	0	4
COD	Kg	11		0	0	10
Waste						
Waste, treated	Kg	3,900		75	1,350	5,324
Waste, to landfill	Kg	15,655		58	-55	15,658
Hazardous waste, treated	Kg	236		44	26	305
Hazardous waste, to landfill	Kg	20		4	-2	21

ENVIRONMENTAL EFFECTS

	Unit	Materials and Production	Fuel & Exhaust Emissions	Maintenance	End of Life	Total
Greenhouse Effects – GWP						
(CO ₂ equivalents)	kg	15,786	1,022,095 (1,057,497)	1,461	-4,729	1,034,614
Acidification Potential						
(SO ₂ equivalents)	kg	68	4,967 (5,452)	10	-11	5,034
Ozone Depletion Potential						
(CFC11 equivalents)	kg	0.0	0.0 (0.0)	0.0	0.0	0.0



Casos

Ciclo de Vida do Etanol Combustível



UTILIZAÇÃO

**PROCESSAMENTO
E EXTRAÇÃO DA
MATÉRIA PRIMA**



DISTRIBUIÇÃO

PRODUÇÃO



RECICLAGEM



GERIPA

Abreviações

1. água fria (af)
2. água quente (aq)
3. condensado (con)
4. fundo de dorna (fd)
5. trocador de calor (tc)
6. vapor alta pressão (va)
7. vapor baixa pressão (vb)
8. vapor processo (vp)
9. vapor vegetal (vg)

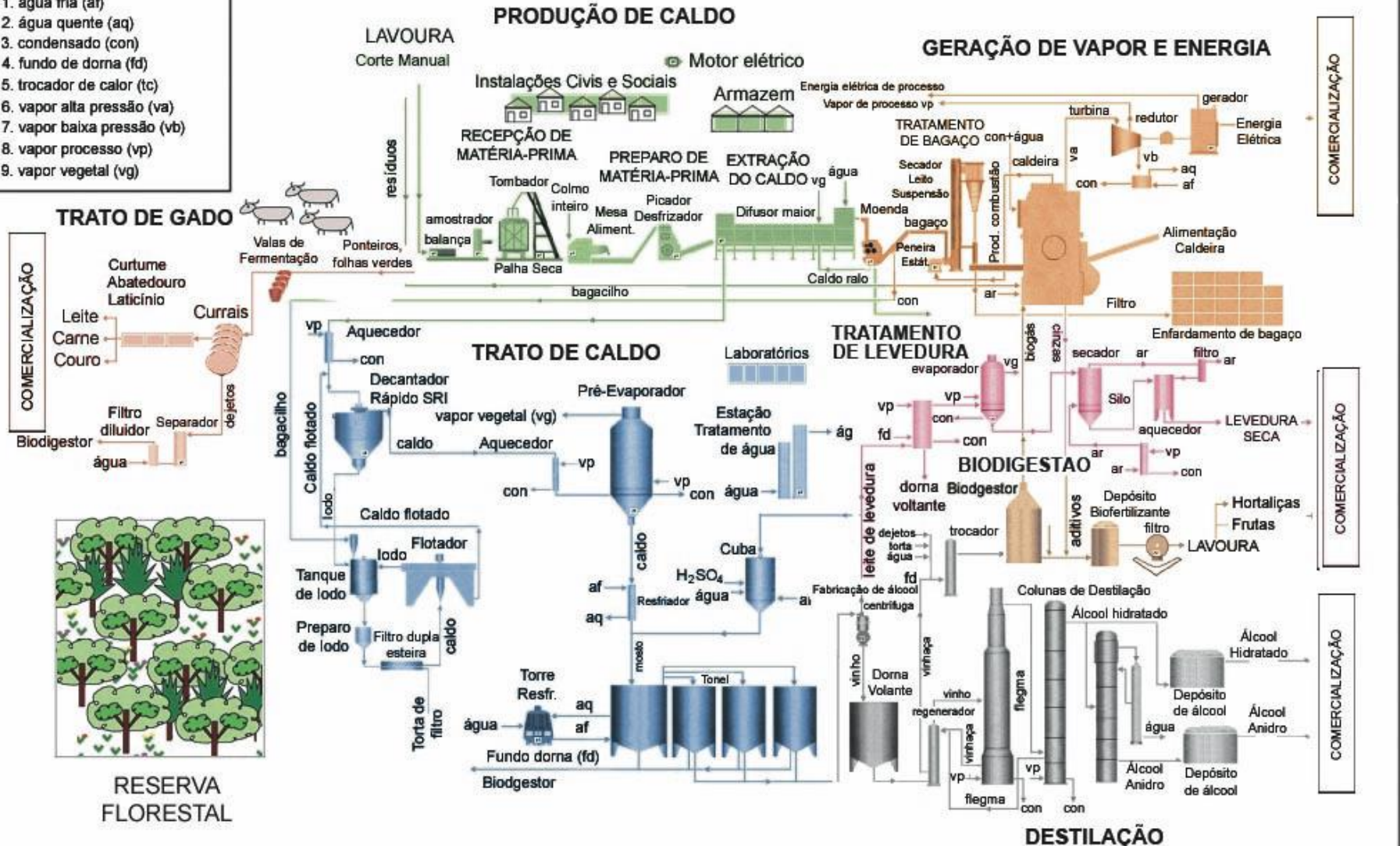
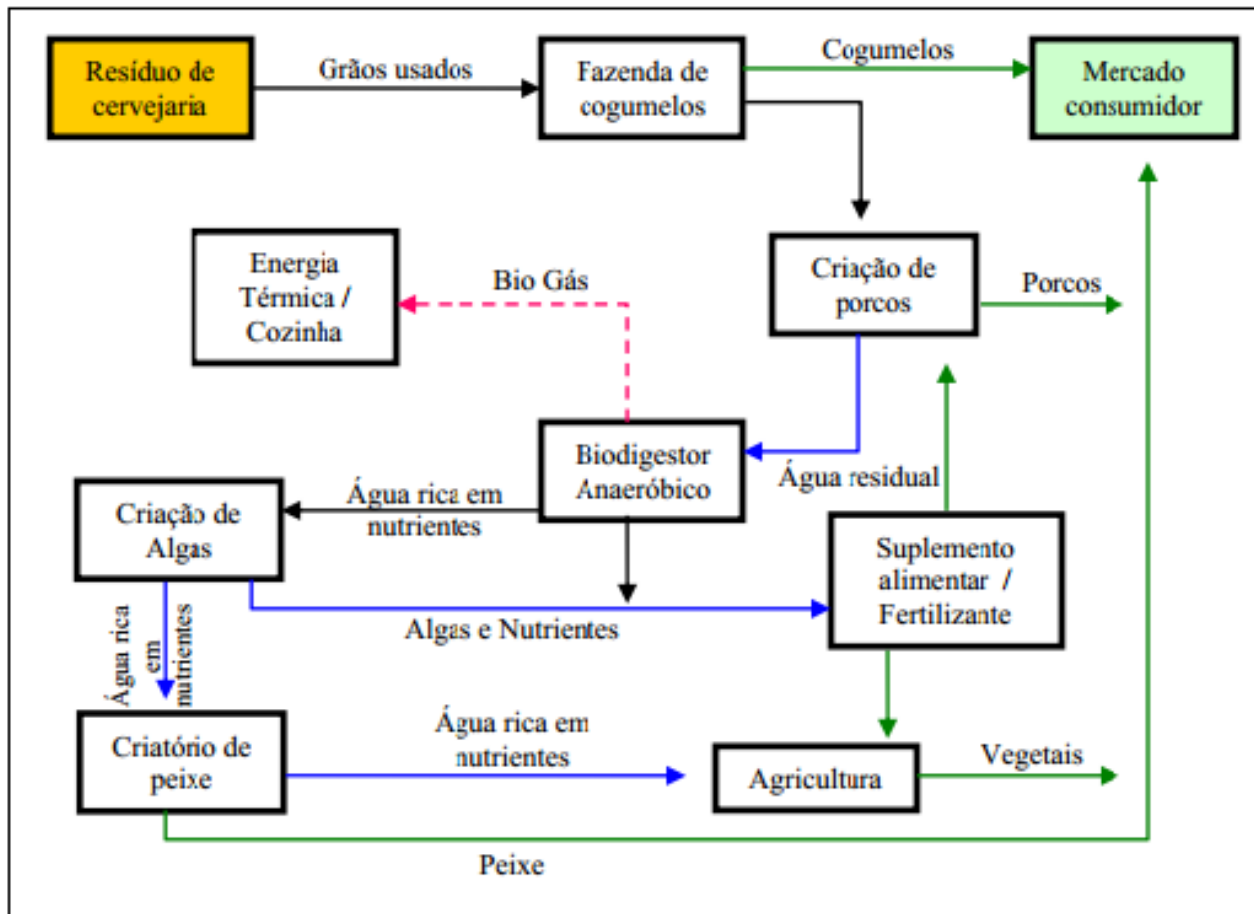


FIG. 01 - FLUXOGRAMA GERIPA - 120.000 L/d

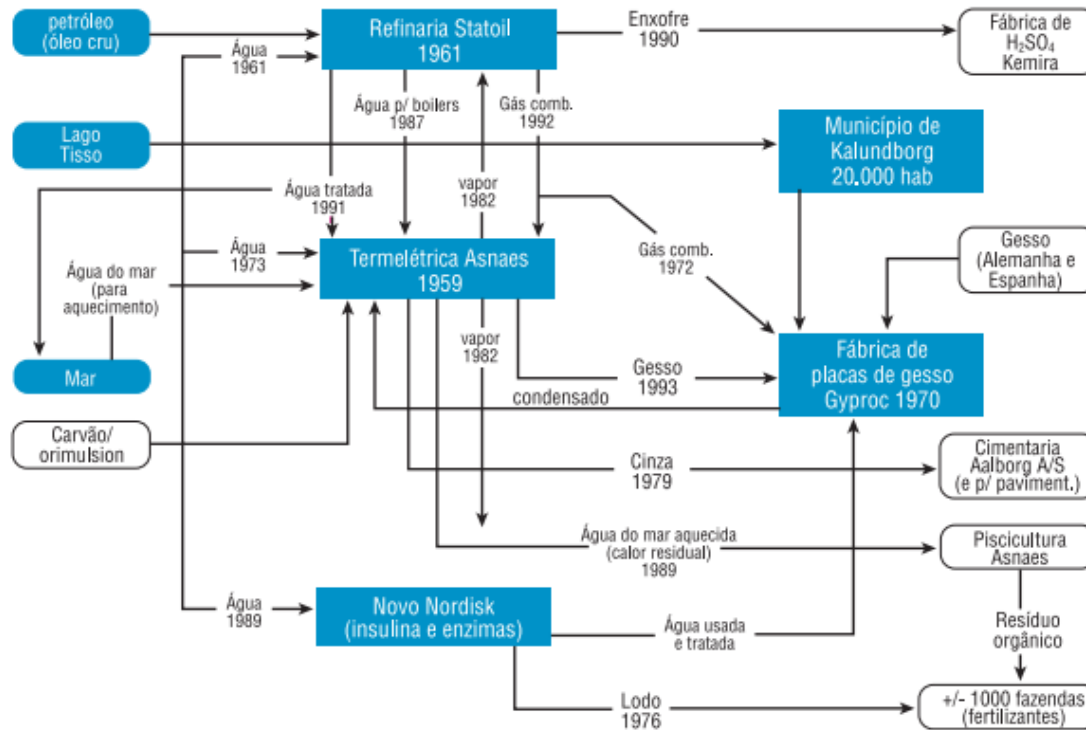
Resíduos de Cervejaria



“Biosistema Integrado”

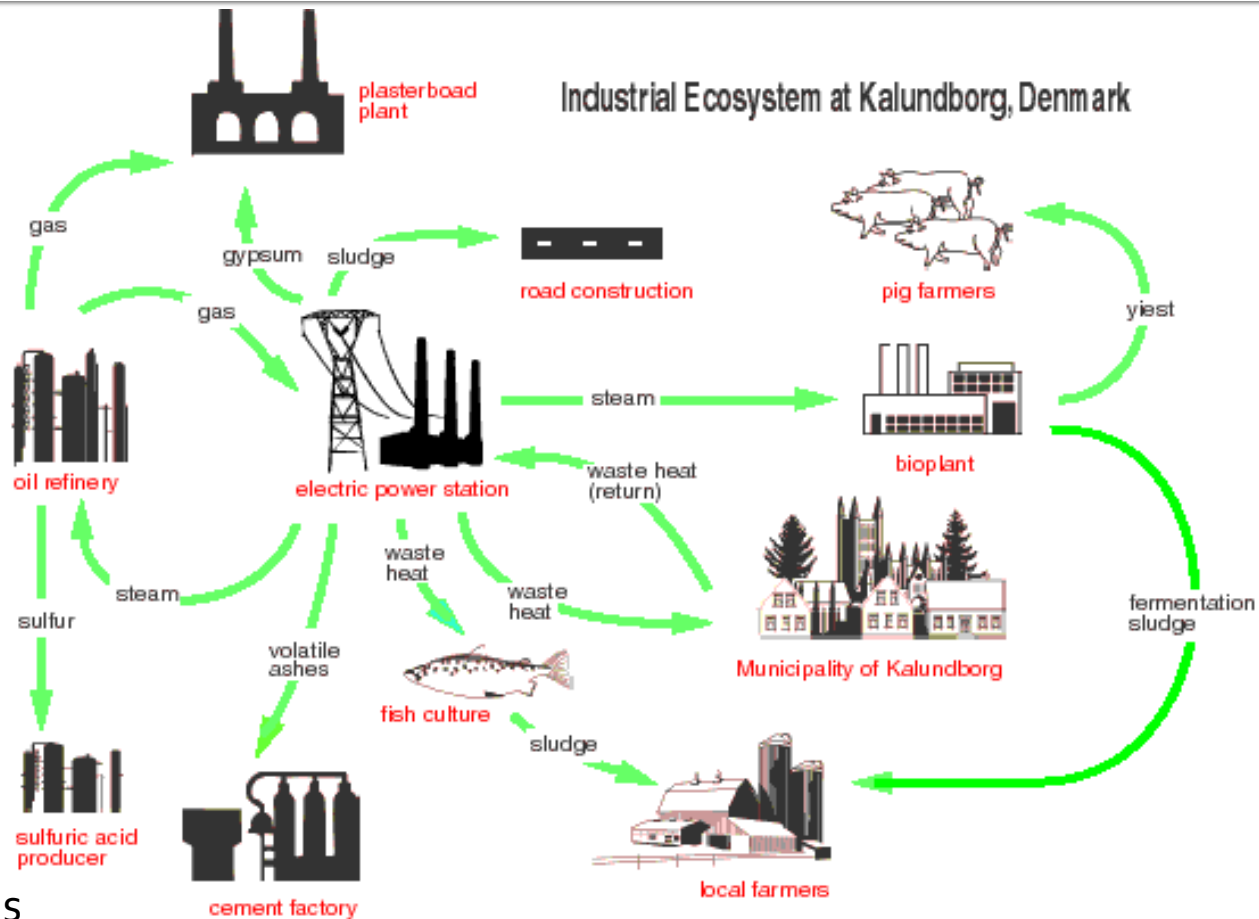
Chertow, (2000)

Eco-parque Industrial Kalundborg (Dinamarca)



Eco-parque Industrial Kalundborg (Dinamarca)

A rede de troca simbióticas chegou a cerca de 3 milhões de toneladas/ano



Benefícios

Maior interação de empresas

O Lodo gerado é usado como fertilizante pelas fazendas e na criação de peixes

As cinzas da termoelétrica entram na pavimentação de estradas

Os fluxos de calor são utilizados para manutenção de estufas para aquecer a cidade



Prof. Aldo Ometto

aometto@sc.usp.br