

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



## PQI 3535: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

Gil Anderi da Silva  
Luiz Kulay

GCV – Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida



**GCV 2022/2023**  
8º Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

O Congresso   Datas   Comitês   Eixos temáticos   Programação   Documentos   Informações   **Inscrições**   **Submissão**

Data: 28 – 30. 11.2023

Local:

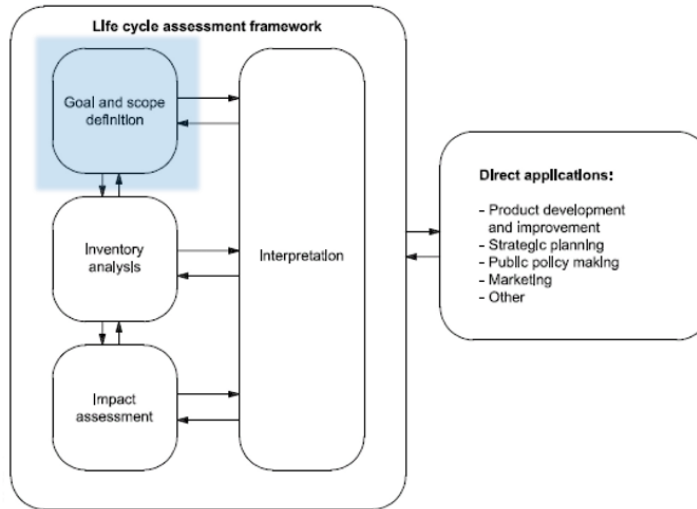
**ipt** INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

Pra saber mais:  
Homepage: <https://gcv.org.br/>

Contato: Leticia Mesquita  
([leticiaa.mesquita@gmail.com](mailto:leticiaa.mesquita@gmail.com))

The banner also features a graphic of a wooden pushpin on a document with a green checkmark and the word 'RESUMO' repeated twice.

## Estrutura do Método de ACV



(ISO 14040:2006)

## Definição de Objetivos de uma ACV

Em linhas gerais, os objetivos de uma ACV devem:

- Ser claramente definidos  
= “Que **tipo** de diagnóstico a ACV deve (deverá) gerar?”
- Ser consistentes com a aplicação pretendida  
= “Para que **serve** (ou servirá) o diagnóstico gerado pela ACV?”
- Levantar em conta o público-alvo a que se destina a verificação (=diagnóstico) realizada pela ACV  
= “A quem se **destina** o diagnóstico gerado pela ACV?”

Além disso, os objetivos devem necessariamente:

- Apresentar natureza iterativa ↔ ajuste durante o estudo
- Observar os usos dos resultados da ACV em comparações públicas

### Definição de Objetivos de uma ACV: exemplos

Objeto de estudo: Linóleo (?!)

- Conhecer o impacto ambiental associados ao linóleo
- Conhecer os efeitos proporcionados pelos diferentes estágios da cadeia produtiva sobre o impacto ambiental global do linóleo
- Identificar oportunidades de melhoria ao longo do ciclo de vida do linóleo
- Projetar uma modalidade de linóleo levando em conta aspectos de Design for Environment (DfE) dentre os quais se inclui Logística Reversa

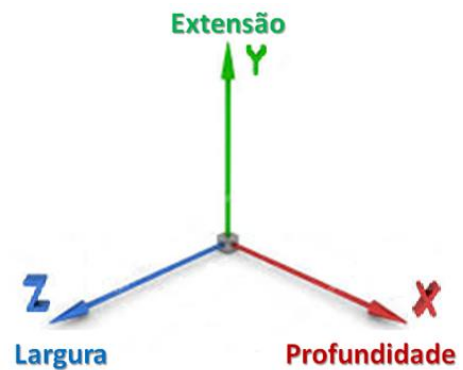


The International Journal of Life Cycle Assessment 7, (3) p. 158-166, 2002.

### Definição de Escopo de uma ACV

A definição do escopo de uma ACV considera elementos tais como:

- Dimensões do estudo:
  - Extensão – onde iniciar e parar
  - Largura – quantos e quais subsistemas
  - Profundidade – nível de detalhe
- Compatibilidade com os objetivos previstos para o estudo
- Compromisso entre Precisão e Viabilidade



## Definição de Escopo de uma ACV

- Objeto do estudo
- Funções do sistema
- Unidade funcional
- Fronteiras do sistema
- Procedimentos de alocação
- Tipos e Metodologia de Avaliação de Impacto
- Interpretação
- Requisitos dos dados
- Pressupostos
- Escolha de valores
- Limitações
- Requisitos da qualidade dos dados
- Tipo de análise crítica
- Tipo e formato do relatório

(ISO 14044:2006)

## Definição de Escopo de uma ACV

Objeto de estudo, Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência

Objeto de estudo de uma ACV

- Tinta de parede

Funções do sistema de produto

- Tinta de parede: **Proteger superfície**  
 Proporcionar conforto térmico  
 Decorar superfície  
 (...)

Características

- O objeto de estudo pode ser um bem de consumo, processo, ou serviço
- O objeto de estudo deve ser elemento comum de eventual (possível) comparação
- A função exercitada pelo sistema de produto deve ser quantificável
- Disponibilidade de dados e informações sobre o exercício da função

Definição de Escopo de uma ACV  
Objeto de estudo, Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência

Objeto de estudo de uma ACV

- Tinta de parede

Funções do sistema de produto

- Tinta de parede: Proteger superfície

Descrição da função: Proteger superfície com opacidade de 98% por prazo de 5 anos

Unidade funcional (UF): Quantificação do 'exercício' da função (= base de cálculo)

A UF será usada como referência em relação à qual dados relativos a consumos e emissões serão referenciados (calculados ou, talvez melhor, normalizados)

Unidade Funcional: Proteger **20 m<sup>2</sup>** de superfície com opacidade de 98% por prazo de 5 anos

---

Definição de Escopo de uma ACV  
Objeto de estudo, Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência

Fluxo de Referência (FR): quantidade de produto necessária para exercer a quantidade de função especificada pela Unidade Funcional.

No exemplo em questão...

FR = Quantidade de tinta necessária para proteger 20 m<sup>2</sup> de superfície com opacidade de 98% durante 5 anos.

Para determinar FR é necessário conhecer o Desempenho Técnico (DT) do produto nas condições em que este irá cumprir a função

DT = 1,00 L tinta protege 8.70 m<sup>2</sup> de superfície com opacidade de 98% durante 5 anos

FR = 2,30 L tinta

---

## Definição de Escopo de uma ACV

- Objeto do estudo
- Funções do sistema
- Unidade funcional
- Fronteiras do sistema
- Procedimentos de alocação
- Tipos e Metodologia de Avaliação de Impacto
- Interpretação
- Requisitos dos dados
- Pressupostos
- Escolha de valores
- Limitações
- Requisitos da qualidade dos dados
- Tipo de análise crítica
- Tipo e formato do relatório

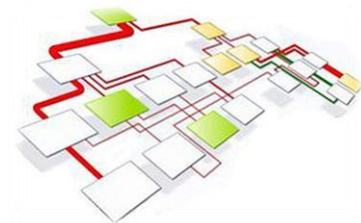
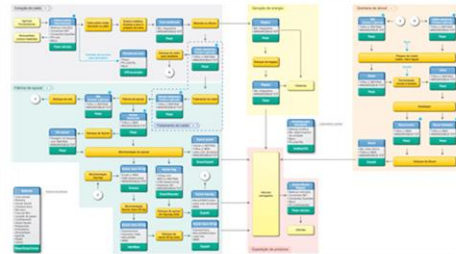
(ISO 14044:2006)

## Definição de Escopo de uma ACV Sistema de Produto

Sistema de Produto (SP):

conjunto de **processos elementares** conectados entre si por **fluxos intermediários** de matéria e/ou energia pelos quais circulam **fluxos elementares** e **fluxos de produto**, que desempenham uma ou mais funções, e que modelam o ciclo de vida do objeto de estudo

ISO 14044 (2006)



## Definição de Escopo de uma ACV Fronteiras do Sistema de Produto

O Sistema de Produto:

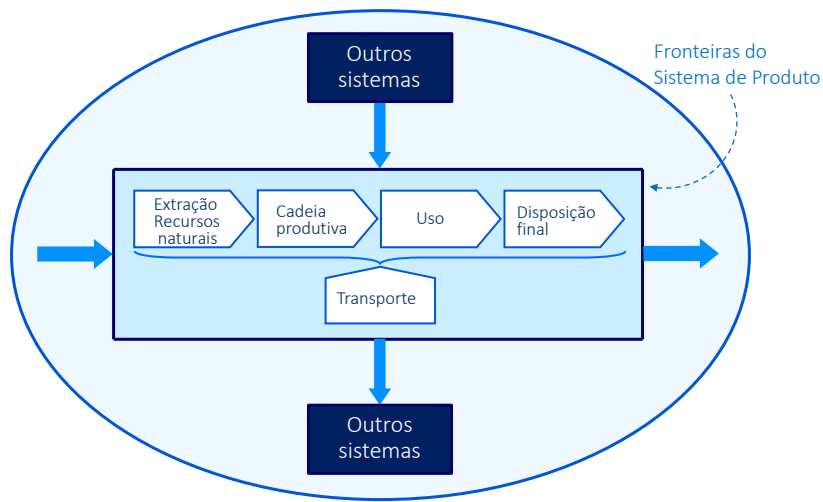
troca quantidades de matéria e energia com sua vizinhança por meio de correntes que circulam entrando e saindo através de fronteiras estabelecidas com o mesmo meio

As duas possibilidades não excludentes de meios com que um Sistema de Produto interage via comutação de correntes materiais e energéticas são:

- Meio ambiente (= Biosfera)
- Outro(s) sistema(s) antrópicos (= Technosfera)

As fronteiras estabelecem os limites entre o Sistema de Produto em estudo e sua vizinhança imediata. Elas podem ser físicas, ou mesmo (e eventualmente), virtuais, mas sua delimitação precisa ser metodologicamente fundamentada

## Definição de Escopo de uma ACV Fronteiras do Sistema de Produto

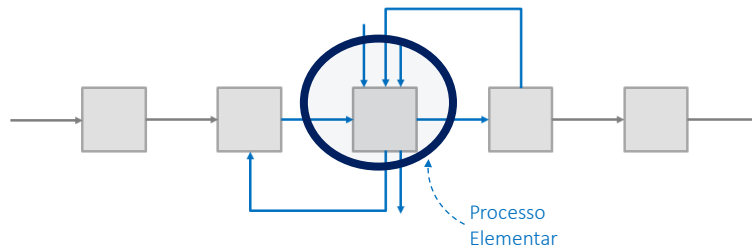


## Definição de Escopo de uma ACV Fronteiras do Sistema de Produto

Processo elementar:

menor elemento (ou porção) de um Sistema de Produto a ser considerado para efeito da Análise de Inventário de um estudo de ACV, para o qual dados de entrada e saída são coletados (= quantificados)

ISO 14044 (2006)

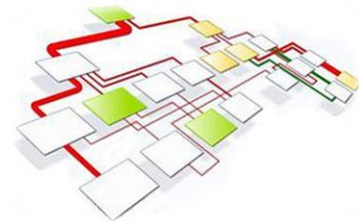
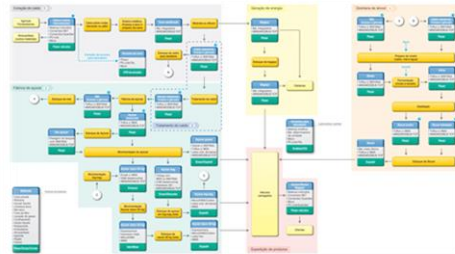


## Definição de Escopo de uma ACV Sistema de Produto

Sistema de Produto (SP):

conjunto de processos elementares conectados entre si por **fluxos intermediários** de matéria e/ou energia pelos quais circulam **fluxos elementares** e **fluxos de produto**, que desempenham uma ou mais funções, e que modelam o ciclo de vida do objeto de estudo

ISO 14044 (2006)





## Definição de Escopo de uma ACV Fronteiras do Sistema de Produto

Fluxos que circulam através das fronteiras de um Sistema de Produto

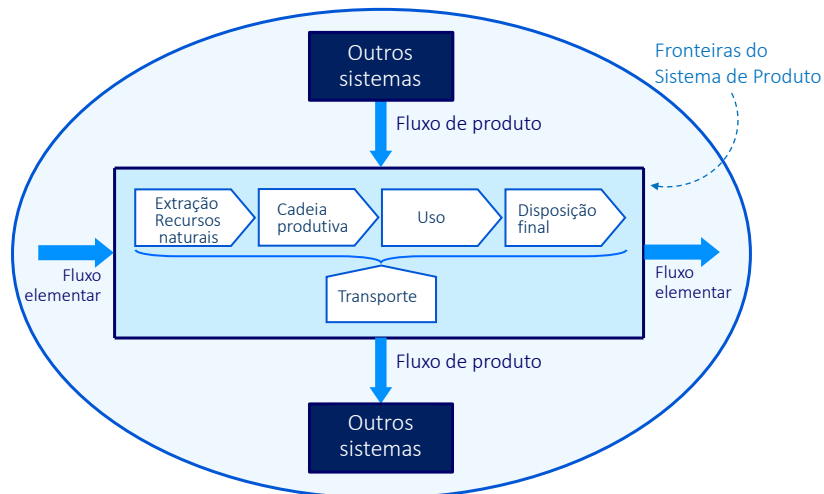
**Fluxo elementar de entrada:** corrente de matéria ou energia que entra no Sistema de Produto vinda do meio ambiente, sem ter sofrido transformação prévia por interferência humana

**Fluxo elementar de saída:** corrente de matéria ou energia que sai do Sistema de Produto para o meio ambiente sem sofrer transformação subsequente por interferência humana

Fluxos de produto:

- de entrada: corrente de matéria ou energia que entra no Sistema de Produto vinda de outro sistema de produto;
- de saída: corrente de matéria ou energia que sai do Sistema de Produto para outro sistema de produto

## Definição de Escopo de uma ACV Fronteiras do Sistema de Produto



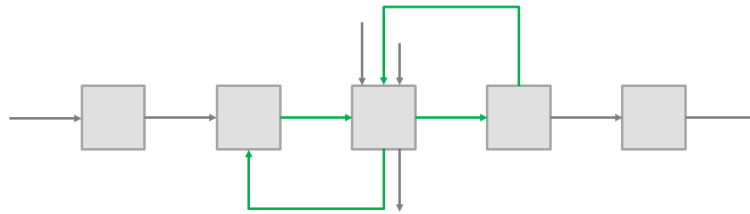
## Definição de Escopo de uma ACV Fronteiras do Sistema de Produto

### Fluxos Intermediários:

correntes de matéria e/ou de energia que saem de um processo elementar e entram em outro processo elementar, dentro do mesmo Sistema de Produto

ou seja....

Fluxos de matéria e/ou de energia que interconectam os processos elementares que integram certo Sistema de Produto



## Definição de Escopo de uma ACV Modelo de Sistema de Produto

Descrição quantitativa dos fluxos de matéria e de energia:

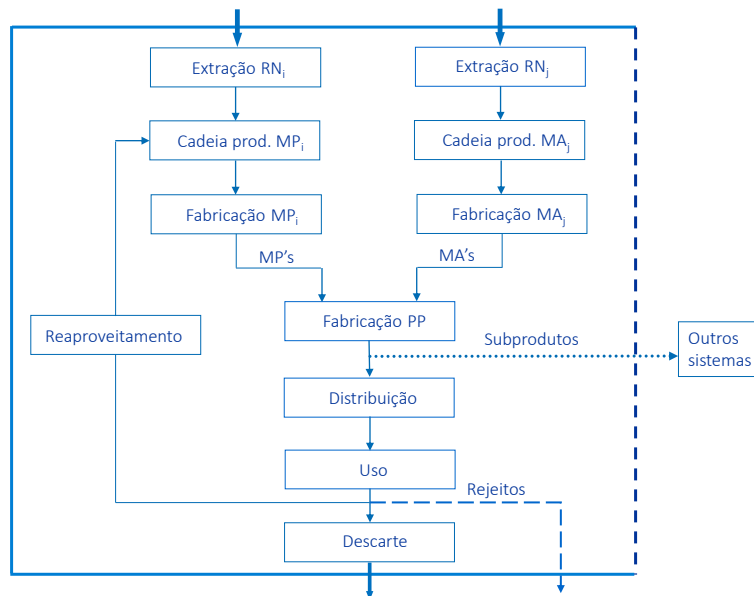
- Fluxos elementares de entrada e saída do Sistema de Produto
- Fluxos de produto de entrada e saída do Sistema de Produto
- Fluxos intermediários

Descrição das transformações que ocorrem em cada qual dos processos elementares (físicas, químicas, biológicas, espaciais, etc.)

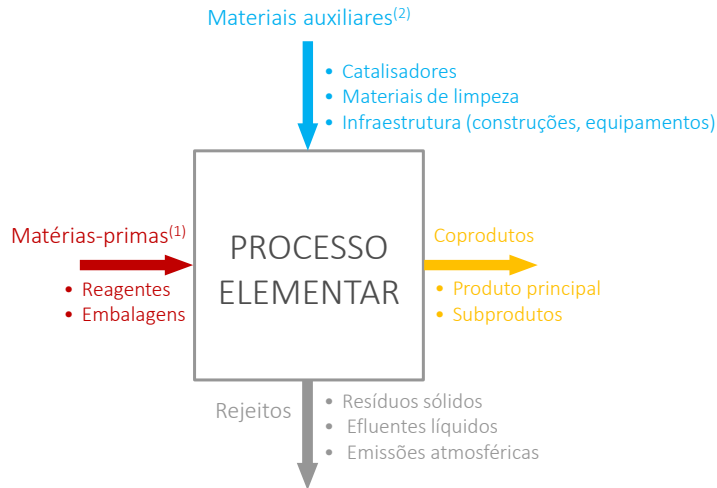
## Definição de Escopo de uma ACV Elaboração de Fluxograma de Sistema de Produto

- Iniciar pelo processo elementar de fabricação do produto principal (PP)
- Identificar entradas (matéria e energia): matérias-primas (MP) e materiais auxiliares (MA)
- Identificar processos elementares do “berço ao portão” do ciclo de vida das MP’s e dos MA’s
- Identificar processos elementares do “portão ao túmulo” do ciclo de vida do PP
- Identificar saídas de subprodutos para outros sistemas
- Identificar saídas de rejeitos para o meio ambiente
- Identificar saídas que são reaproveitadas no sistema de produto e os processos elementares entre a saída e a entrada no processo elementar no qual as saídas são reaproveitadas.
- Identificar fronteiras do sistema

### Elaboração de Fluxograma de Sistema de Produto



## Definição de Escopo de uma ACV Elaboração de Fluxograma de Sistema de Produto



1) Saem do Sistema de Produto incorporadas ao produto principal

2) Não saem do Sistema de Produto incorporados ao produto principal

## Elaboração de Fluxograma de Sistema de Produto: Matérias-primas e Materiais Auxiliares

C:\Users\Home\Documents\SimaPro - bkups\Profissional bkp19\Profissionalbkp13; FHC 2019 - [Ver material processo 'Ethanol, 95% in H2O, from sugar cane, at ferm] x

E Fichero Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação Entrada/saída Parâmetros Descrição do sistema

Produtos							
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos	Quantidade	Unidade	Grandezas	Alocação %	Tipo de resíduo	Categoria	Comentário
Ethanol, 95% in H2O, from sugar cane, at fermentation plant/BR U	1	kg	Massa	100 %	não definido	Fuels/Biofuels/Ethanol	PRODUTO
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados							
Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 eller 2*SD	Min	Máx	Comentário	
Entradas							
Entradas conhecidas da natureza (recursos)							
Sub-compartmento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 eller 2*SD	Min	Máx	Comentário
Water, river	0,015494	m3	Sessão normal	1,1249			(1,3,1,1,4); Literature 1998
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)							
Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 eller 2*SD	Min	Máx	Comentário	
Sugarcane, at farm/BR U	14,8976106658877256	kg	Sessão normal	1,1249			(1,3,1,1,4); Literature 2003
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	0,010786	kg	Sessão normal	1,1249			(1,3,1,1,4); Literature 2004
Lime, hydrated, packed, at plant/CH U	0,035659	kg	Sessão normal	1,1249			(1,3,1,1,4); Literature 2004
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U	0,023836	tkm	Sessão normal	2,095000000000			(4,5,na,na,na,na); Standard distances
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,095345	tkm	Sessão normal	2,095000000000			(4,5,na,na,na,na); Standard distances
Transport, lorry >28t, fleet average/CH U	0,014921	tkm	Sessão normal	2,095000000000			(4,5,na,na,na,na); Standard distances
Transport, freight, rail/RER U	0,01535	tkm	Sessão normal	2,095000000000			(4,5,na,na,na,na); Standard distances
Ammonia, liquid, at regional storehouse/RER U	0,00000022324	kg	Sessão normal	2,089000000000			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Chlorine, liquid, production mix, at plant/RER U	0,00000089295	kg	Sessão normal	2,089000000000			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Sodium chloride, powder, at plant/RER U	0,00011162	kg	Sessão normal	2,089000000000			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Chemicals organic, at plant/GLO U	0,00015626	kg	Sessão normal	2,089000000000			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Lubricating oil, at plant/RER U	0,0020855	kg	Sessão normal	2,089000000000			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Water, decarbonised, at plant/RER U	0,021426	kg	Sessão normal	2,089000000000			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Cogen unit 6400kWh, wood burning, building/CH/I U	0,000000065611	p	Sessão normal	3,7423			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Cogen unit 6400kWh, wood burning, common components for heat-electricity/C	0,000000026272	p	Sessão normal	3,7423			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Cogen unit 6400kWh, wood burning, components for electricity only/CH/I U	0,000000026272	p	Sessão normal	3,7423			(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Ethanol fermentation plant/CH/I U	0,0000000066145	p	Sessão normal	3,086			(2,4,1,5,3,4); Estimation
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (electricidade/calor)							
Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 eller 2*SD	Min	Máx	Comentário	

USP 9.0.0.49 PhD

## Definição de Escopo de uma ACV Estabelecimento de Fronteiras

Compromisso

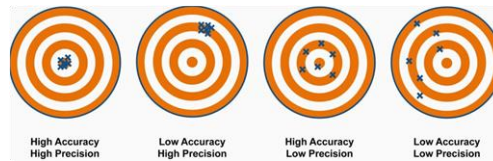
Precisão vs Viabilidade



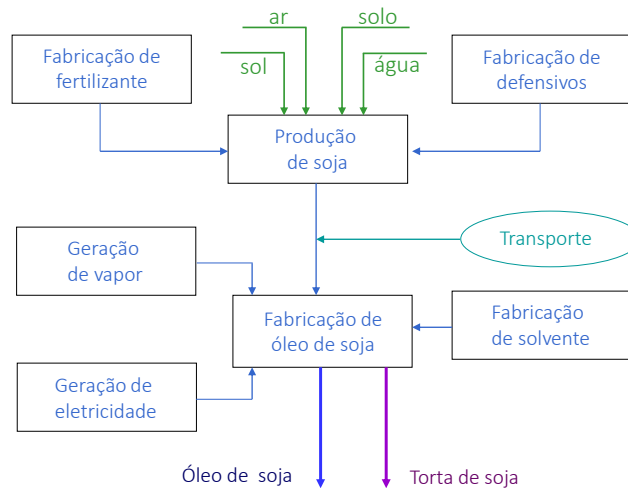
Não confundir Precisão com Acurácia

**Precisão:** grau de variação de um conjunto de medições. Quanto maior a precisão menor a variabilidade entre essas mesmas medidas

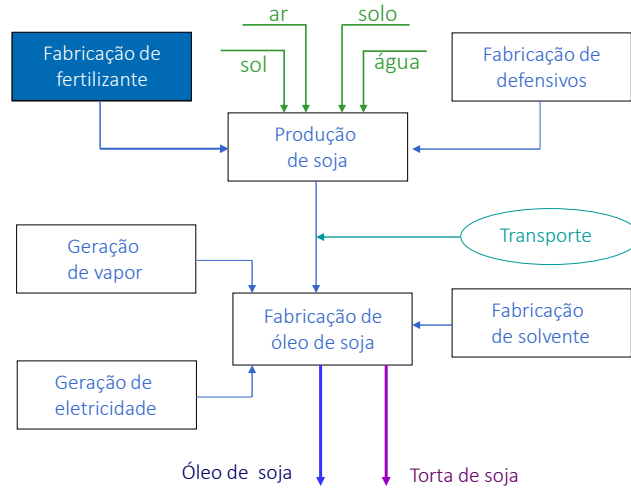
**Acurácia:** proximidade de uma medida em relação ao valor verdadeiro (de referência) daquela variável



## Definição de Escopo de uma ACV Modelo de Sistema de Produto



Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto



Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto

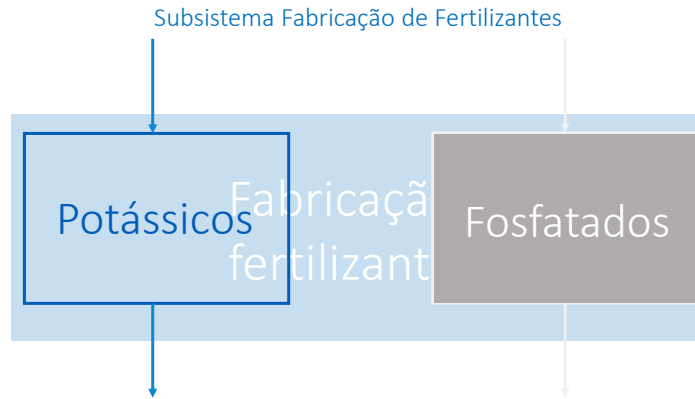
Subsistema Fabricação de Fertilizantes

Fabricação de  
Fertilizantes

---

---

Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto



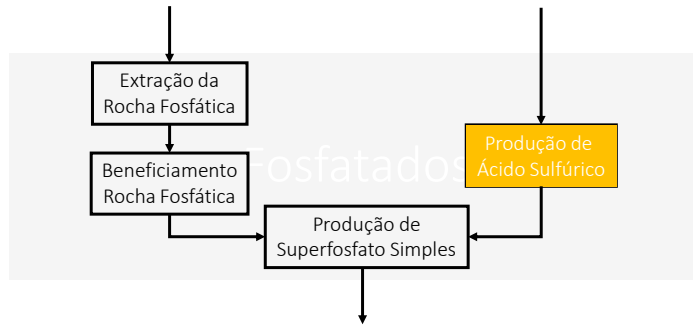
Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto

Subsistema Produção de Superfosfato Simples (SSP)



Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto

Subsistema Produção de Superfosfato Simples (SSP)



Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto

Subsistema Produção de Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Ácido Sulfúrico



Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto

Subsistema Produção de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )



EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO n.2

---

---