

## Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

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



Gil Anderi da Silva  
Luiz Kulay

Aula	Data	Assunto
01	09/08	Introdução à disciplina – Conteúdo Programático, Mecanismos de Avaliação, Critério de Aprovação, Bibliografia, Sustentabilidade: conceitos fundamentais
02	16/08	Conceitos de ciclo de Vida e Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Generalidades, Usos e Aplicações, Limitações.
03	23/08	Definição de Objetivo, tipo de diagnóstico, Aplicação do diagnóstico, e Público-Alvo. Definição de Escopo: Função, Unidade Funcional, Fluxo de Referência.
04	30/08	Definição de Escopo: Modelagem de Sistemas: dimensões espacial e temporal do ciclo de vida, Sistema de produto, fluxos elementares, de produto e intermediários.
	06/09	Semana da Pátria
05	13/09	Ausência LK
06	20/09	Prova P1
07	27/09	Greve USP; Definição de Escopo: Modelagem do sistema de Produto, Critérios de exclusão de dados ('cut-off')
-	04/10	Greve USP
08	11/10	Análise de Inventário: Coleta de dados: tipo de dados, Coberturas temporal, geográfica e tecnológica. Tipo de dados, Tratamento de Dados: Ajuste a Unidade Funcional (ou ao Fluxo de Referência)
09	18/10	Análise de Inventário: Tratamento de Dados: Tratamento de Situações de Multifuncionalidade, Procedimentos de partição: Alocação e Método do Esgotamento, Expansão de Sistema.
10	25/10	Análise de Inventário: Tratamento de Dados: Tratamento de Situações de Multifuncionalidade, Expansão de Sistema, Tratamento de cargas em sistemas com reciclo aberto (OLR).
11	01/11	ACV Consequencial: conceito e aspectos gerais. Comparação: ACV Atribucional vs. ACV Consequencial, aspectos metodológicos da ACVC: Modelagem de sistemas.
12	08/11	Grandes Impactos Ambientais – Parte 1
	15/11	Feriado Nacional: Proclamação da República
13	22/11	Grandes Impactos Ambientais – Parte 2 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida: Elementos mandatórios: Classificação e Caracterização.
14	29/11	Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida: Elementos opcionais: Normalização, Agrupamento Ponderação, Interpretação: conceito e critérios de aferição, Estudos de caso envolvendo ACV.
15	06/12	Prova P2
16	13/12	Prova Substitutiva
17	20/12	Prova de Recuperação

## Programa PQI 3535 (Ajustado): 2023

CRITÉRIO DE APROVAÇÃO  
Cálculo da Média de Aproveitamento

$$M = \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^n E_i / n \right) + 3\bar{P}}{4} \right]$$

Onde:

$M$ : Média de aproveitamento na disciplina

$E_i$ : Exercícios distribuídos durante as aulas (solução em grupo)

$\bar{P}$ : Média das notas de prova

E, sendo:

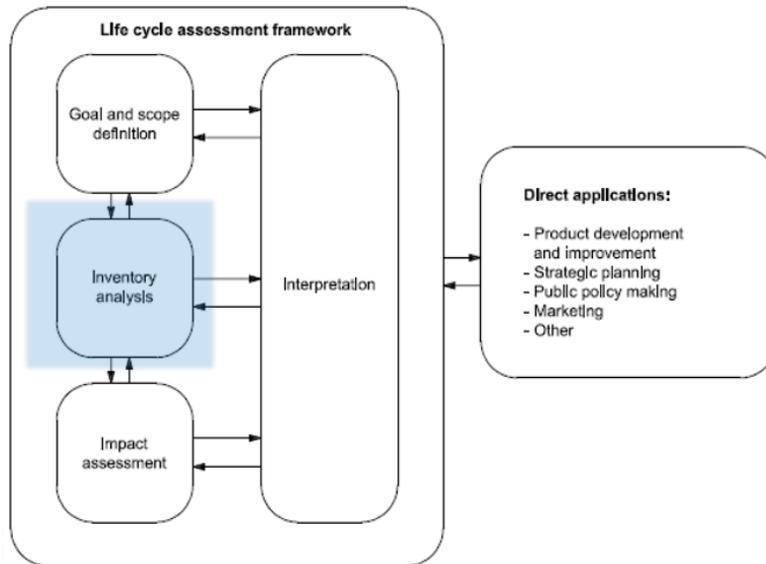
$$\bar{P} = \left[ \frac{P_1 + P_2}{2} \right]$$

Onde:

$P_i$ : notas das provas (solução individual)

Média mínima necessária para aprovação em 1ª avaliação na PQI 3535:  $M \geq 5,0$

## Estrutura do Método de ACV



(ISO 14040:2006)

## ACV – Conceito

## Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Compilação e avaliação das entradas, saídas e potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida

ISO 14044 (2006)

Inventário de Ciclo de Vida

## Análise do Inventário (ICV) Etapas Operacionais

Em termos operacionais a condução da Análise de Inventário (ICV) consiste de duas atividades:

- Coleta de Dados
- Tratamento de Dados

---

---

ACV – Como se faz?  
Modelagem da Tecnosfera

Retomando conceitos....

Tecnosfera:

espaço no qual ocorrem atividades sob controle humano, associadas a fluxos de matéria e de energia

Biosfera:

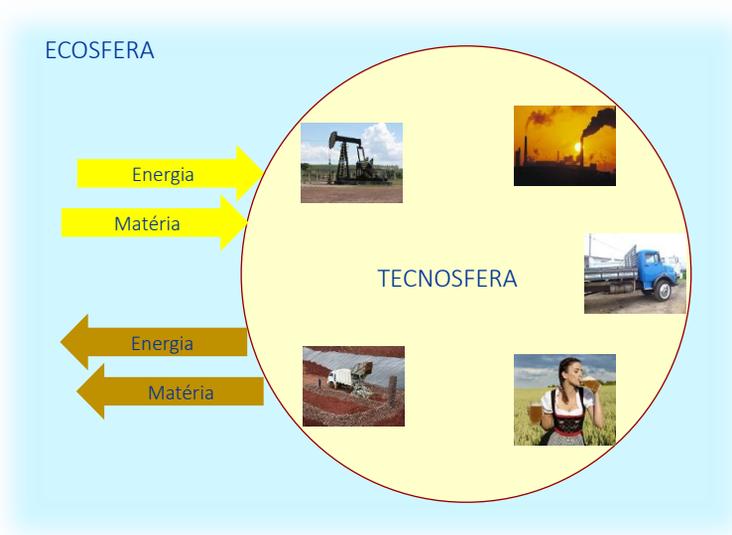
espaço no qual não ocorrem atividades sob controle humano, associadas a fluxos de matéria e de energia

A Ecosfera proporciona recursos (materiais e energéticos) para que a Tecnosfera se desenvolva. Além disso, funciona como meio receptor dos rejeitos gerados por seus processos

---

---

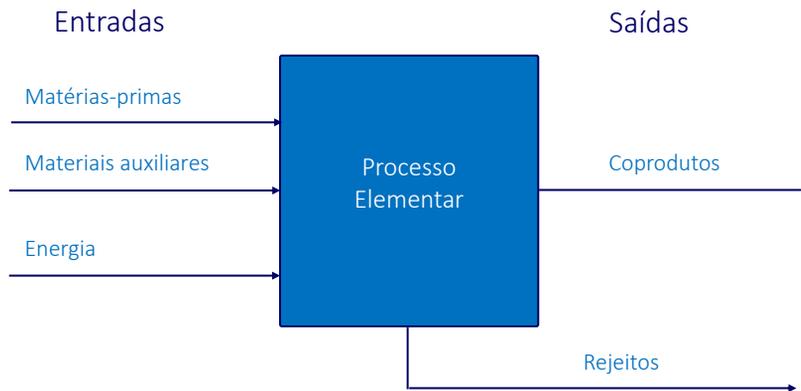
ACV – Como se faz?  
Modelagem da Tecnosfera



ACV – Como se faz?  
Modelagem da Tecnosfera



### Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados



### Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Tipo de Dados

Dados 1<sup>ários</sup>: medidos junto ao processo elementar em análise

Ex: consumo de água para produção de cerveja

Fonte de coleta: valor médio no cavalete de entrada da planta

- registros da produção
- relatórios da contabilidade
- relatórios de compras e vendas
- medidas e determinações locais

Dados 2<sup>ários</sup>: obtidos em outras fontes de referência

Ex: consumo específico médio de água para produção de papel

Fonte de coleta: Manual de Celulose e Papel, IPT – 1973

- associações (ABIQUIM)
- governo (IBGE)
- literatura técnica (enciclopédias, etc.)

## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Níveis de Agregação

**Individuais:** dados um Processo Elementar obtidos junto à instalação (ou processo elementar) em análise  
Ex: consumo de vapor em digestor de cavacos da Suzano Papel e Celulose S.A.

**Compostos:** dados de um Processo Elementar obtidos junto a instalações com recortes tecnológicos idênticos, ou com elevado grau de similaridade  
Ex: Consumo de vapor em digestores de cavacos modelo Compact Cooking G2

**Média de um segmento econômico:** amostragem representativa de um Processo Elementar que descreva o mix tecnológico de um segmento produtivo  
Ex: Consumo médio de vapor na digestão de cavacos das empresas brasileiras do segmento de celulose e papel

**Genéricos:** descritores qualitativos de uma tecnologia de transformação  
Ex: Consumo de vapor associado a digestão de cavacos

---

## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Requisitos de Qualidade de Dados

### Cobertura Temporal

- Idade desejada para os dados (exemplo: 5 anos)
- Período mínimo de coleta (exemplo: 1 ano)

### Cobertura Geográfica

- Área geográfica sobre a qual os dados devem ser coletados (exemplo: local, regional, nacional; global)

### Cobertura Tecnológica

- Ponderação de diferentes tecnologias (exemplos: melhor tecnologia disponível; média ponderada de diferentes tecnologias; pior tecnologia/processo em operação; 'mix' tecnológicos)
-

Analise do Inventario (ICV)  
Coleta de Dados – Requisitos de Qualidade de Dados

Cobertura Temporal

- Idade desejada para os dados (exemplo: 5 anos)
- Período mínimo de coleta (exemplo: 1 ano)

Cobertura Geográfica

- Área geográfica sobre a qual os dados devem ser coletados (exemplo: local, regional, nacional; global)

Cobertura Tecnológica

- Ponderação de diferentes tecnologias (exemplos: melhor tecnologia disponível; media ponderada de diferentes tecnologias; pior tecnologia/processo em operação; 'mix' tecnológicos)
- 
- 

Analise do Inventario (ICV)  
Coleta de Dados – Cobertura Temporal

Conceito: período cuja situação de mercado é descrita pelos dados

Exemplo:

Objetivo da ACV:

elaboração de Inventário do Ciclo de Vida de polietileno para composição do banco de dados brasileiro

Cobertura Temporal: dados que representem o desempenho processual/tecnológico do mercado brasileiro de produção de polietileno ao longo do ano de 2021

---

---

## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Requisitos de Qualidade de Dados

### Cobertura Temporal

- Idade desejada para os dados (exemplo: 5 anos)
- Período mínimo de coleta (exemplo: 1 ano)

### Cobertura Geográfica

- Área geográfica sobre a qual os dados devem ser coletados (exemplo: local, regional, nacional; global)

### Cobertura Tecnológica

- Ponderação de diferentes tecnologias (exemplos: melhor tecnologia disponível; média ponderada de diferentes tecnologias; pior tecnologia/processo em operação; 'mix' tecnológicos)

## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Cobertura Geográfica

Conceito: área geográfica sobre a qual os dados devem ser coletados a fim de atender aos objetivos do estudo. A amplitude dessa abordagem pode portanto variar nos níveis local, regional, nacional, internacional e até, global

O nível internacional se aplica a processamentos (ou sistemas de produto) que se desenvolvam em diferentes regiões  
Já o nível global compreende processamentos que ocorram simultaneamente em diferentes regiões

Exemplo:

Objetivo da ACV:

elaboração de Inventário do Ciclo de Vida de polietileno para composição do banco de dados brasileiro

Cobertura Geográfica: Brasil (território nacional) + regiões de onde se adquire petróleo importado



## Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Requisitos de Qualidade de Dados

### Cobertura Temporal

- Idade desejada para os dados (exemplo: 5 anos)
- Período mínimo de coleta (exemplo: 1 ano)

### Cobertura Geográfica

- Área geográfica sobre a qual os dados devem ser coletados (exemplo: local, regional, nacional; global)

### Cobertura Tecnológica

- Ponderação de diferentes tecnologias (exemplos: melhor tecnologia disponível; media ponderada de diferentes tecnologias; pior tecnologia/processo em operação; 'mix' tecnológicos)
- 
- 

## Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Cobertura Tecnológica

Conceito: representa o status tecnológico referente ao Processo Elementar (ou Sistema de Produto) em análise de acordo com o escopo definido para o estudo e as coberturas geográfica e temporal

Exemplo:

Objetivo da ACV:

elaboração de Inventário do Ciclo de Vida de polietileno para composição do banco de dados brasileiro

Cobertura Tecnológica: são alternativas:

- Média dos processos em uso;
  - melhor tecnologia disponível;
  - pior unidade de operação;
  - 'mix' tecnológico
- 
-

## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Dados Faltantes

Tratamento das lacunas de dados faltantes

- valor “não-zero” justificado (balanços de matéria e/ou energia)
  - valor “zero” justificado
  - valor calculado com base em valores de tecnologia similar
  - Indicação qualitativa ('flag')
- Análise de Sensibilidade**
- 

## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Requisitos de Qualidade de Dados

**Precisão e Acurácia:** medida da variabilidade dos dados que descrevem cada etapa/processo via distribuição estatística de série histórica (triângulo, máx.-mín., normal, log-normal), média ( $\bar{x}$ ), desvio padrão ( $\sigma_x$ ), e variância ( $\sigma_x^2$ )

**Completeza:** percentagem dos fluxos que é medida frente àqueles que são estimados (ou vice-versa)

**Consistência:** avaliação qualitativa da aplicação uniforme da metodologia aos diversos componentes de análise

**Reprodutibilidade:** avaliação qualitativa do grau em que as informações sobre a metodologia e os valores dos dados permitiriam a um executante independente reproduzir os resultados

**Incerteza da informação:** verificações de Incerteza (Matriz de Weidema, Método de Monte Carlo) e Sensibilidade

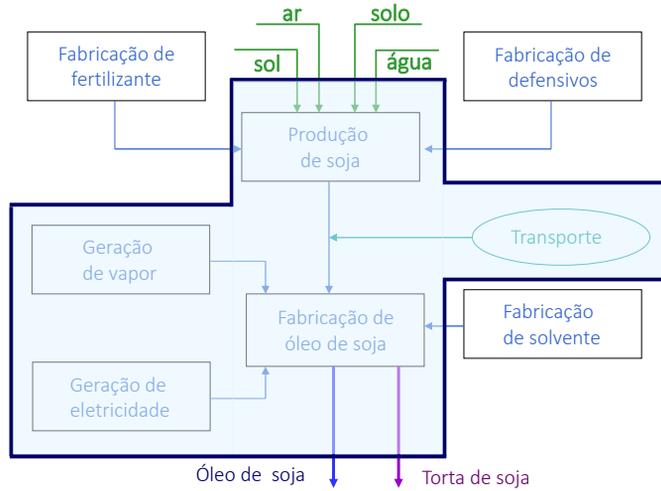
Análise do Inventário (ICV)  
Coleta de Dados – Formulário de Coleta: Entradas

Sistema de Produto:			
Estágio do Ciclo de Vida:			
Processo Elementar:			
Produto:		Unidade:	
ENTRADAS	Quantidade	Unidade	Observação
<b>Recursos Materiais</b>			
Matérias-primas			
Materiais acessórios			
(...)			
<b>Recursos Energéticos</b>			
Eletricidade			
Combustíveis			
(...)			

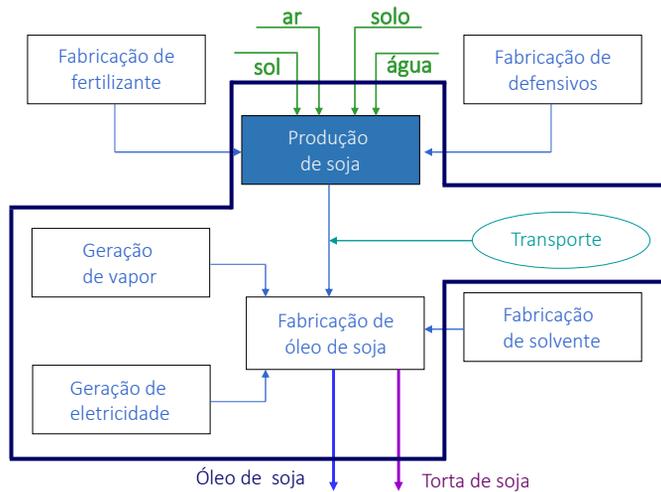
Análise do Inventário (ICV)  
Coleta de Dados – Formulário de Coleta: Saídas

Sistema de Produto:			
Estágio do Ciclo de Vida:			
Processo Elementar:			
Produto:		Unidade:	
SAIDAS	Quantidade	Unidade	Observação
<b>Coprodutos</b>			
Produto principal			
Sub-produtos			
(...)			
<b>Rejeitos</b>			
Emissões atmosféricas			
Efluentes líquidos			
Resíduos sólidos			

Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto



Definição de Escopo de uma ACV  
Modelo de Sistema de Produto



### Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Exemplo

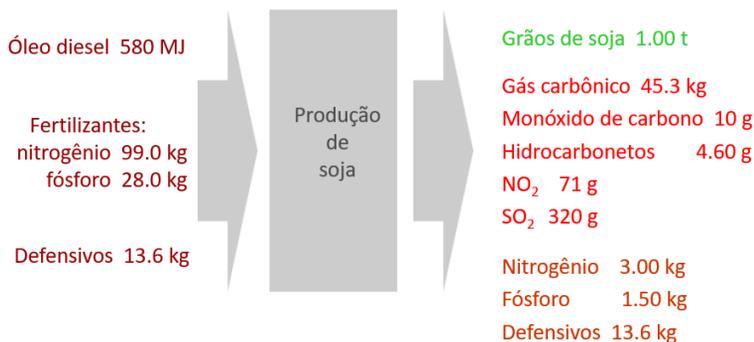
**ICV:** Óleo de soja

**Etapa do CV:** Obtenção de matéria-prima

**Subsistema:** Produção de soja

**Produto:** grãos de soja

**Unidade:** 1.00 t



### Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Exemplo

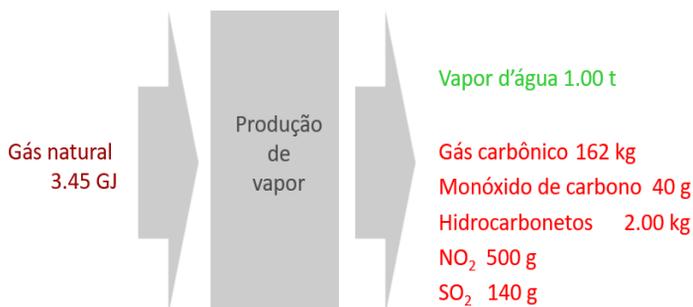
**ICV:** Óleo de soja

**Etapa do CV:** Fabricação do produto

**Subsistema:** Geração de vapor

**Produto:** Vapor de água

**Unidade:** 1.00 t



## Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Exemplo

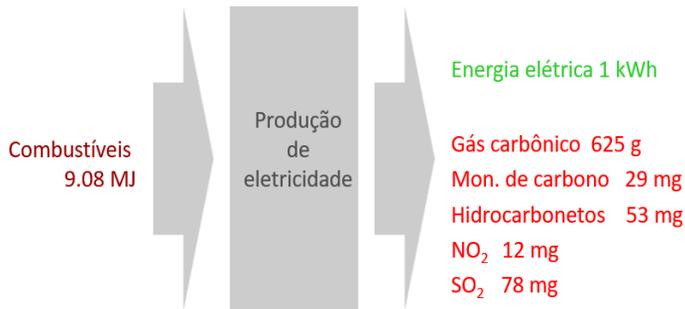
ICV: Óleo de soja

Etapa do CV: Fabricação do produto

Subsistema: Geração de eletricidade

Produto: Energia elétrica

Unidade: 1.00 kWh



## Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Exemplo

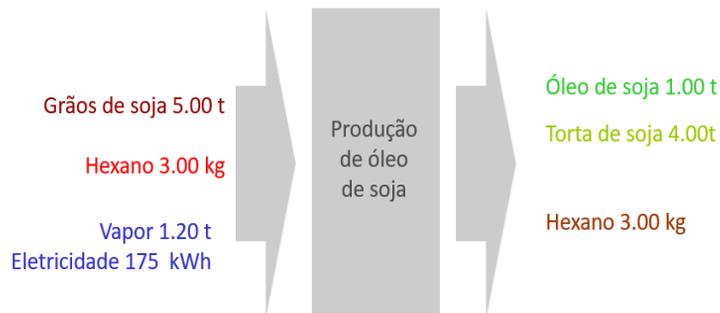
ICV: Óleo de soja

Etapa do CV: Fabricação do produto

Subsistema: Geração de óleo de soja

Produto: Óleo de soja

Unidade: 1.00 t



## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Exemplo

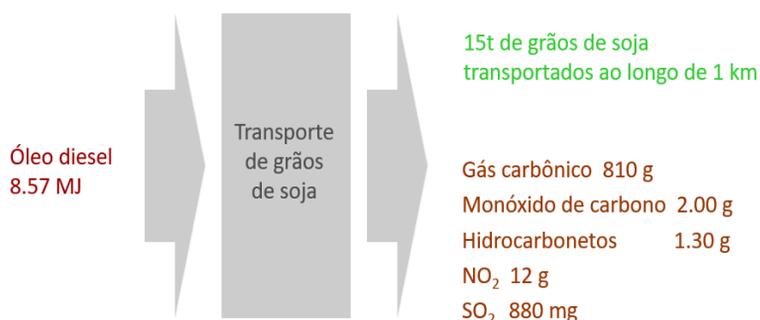
ICV: Óleo de soja

Etapa do CV: Transporte

Subsistema: Transporte de grãos de soja

Produto: grãos de soja transportados

Unidade: 15 t.km



## Análise do Inventário (ICV) Coleta de Dados – Tabela Bruta de dados de ICV

<u>Processo elementar</u> Aspecto Ambiental	Produção de soja (t de grão)	Geração de vapor (t de vapor)	Geração de eletricidade (kWh)	Fabricação de óleo (t de óleo)	Transporte (15t.km)
energia (GJ)	0.58	3.45	0.00908		0.00857
gás carbônico (kg)	45.3	162	0.625		0.81
monóxido de carbono (kg)	0.010	0.040	0.000029		0.0020
hidrocarbonetos (kg)	0.0046	2.00	0.000053		0.0013
óxido de nitrogênio (kg)	0.071	0.50	0.000012		0.012
óxido de enxofre (kg)	0.32	0.14	0.000078		0.00088
nitrogênio (kg)	3.00				
fósforo (kg)	1.50				
defensivos (kg)	13.6				
hexano (kg)				3.00	

## Análise do Inventário (ICV) Etapas Operacionais

Em termos operacionais a condução da Análise de Inventário (ICV) consiste de duas atividades:

- Coleta de Dados
- Tratamento de Dados

---

---

## Análise do Inventário (ICV) Etapas Operacionais

A atividade de Tratamento dos Dados se divide em duas ações, a serem implementadas, quando couber, de forma consecutiva:

- Correlação dos dados à Unidade Funcional (ou ao Fluxo de Referência)
- Tratamento de Situações de Multifuncionalidade

Análise do Inventário (ICV)  
Coleta de Dados – Tabela Bruta de dados de ICV

<u>Processo elementar</u> <u>Aspecto Ambiental</u>	Produção de soja (t de grão)	Geração de vapor (t de vapor)	Geração de eletricidade (kWh)	Fabricação de óleo (t de óleo)	Transporte (15t.km)
energia (GJ)	0.58	3.45	0.00908		0.00857
<b>gás carbônico (kg)</b>	<b>45.3</b>	<b>162</b>	<b>0.625</b>		<b>0.81</b>
monóxido de carbono (kg)	0.010	0.040	0.000029		0.0020
hidrocarbonetos (kg)	0.0046	2.00	0.000053		0.0013
óxido de nitrogênio (kg)	0.071	0.50	0.000012		0.012
óxido de enxofre (kg)	0.32	0.14	0.000078		0.00088
nitrogênio (kg)	3.00				
fósforo (kg)	1.50				
defensivos (kg)	13.6				
hexano (kg)				3.00	

Análise do Inventário (ICV)  
Coleta de Dados – Tabela Bruta de dados de ICV

gás carbônico (kg)	45.3	162	0.625	0.81
--------------------	------	-----	-------	------

( Σ )	45,3	kg CO <sub>2</sub> /t soja
	162	kg CO <sub>2</sub> /t vapor
	0.625	kg CO <sub>2</sub> /kWh
	0.81	kg CO <sub>2</sub> /15t.km
	208.735	kg CO <sub>2</sub> / ????????

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

Correlação de dados ao Fluxo de Referência de Processos Elementares

- selecionar para cada PE um fluxo de um produto principal
- referir os dados de entrada e de saída a esse fluxo

Correlação de dados à Unidade Funcional do Sistema de Produto

- relacionar os fluxos de referência dos Processos Elementares ao fluxo de referência do Sistema de Produto
- referir todos os dados de entrada e de saída do Sistema de Produto à Unidade Funcional (= Fluxo de Referência) do Sistema de Produto

---

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

Referir todos os dados a uma base comum



Fluxo de Referência

---

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

---

Função: fritar batatas

---

Unidade Funcional: fritar 2500 kg de batatas

---

Desempenho técnico do Produto: 2.50 kg batata/kg óleo

---

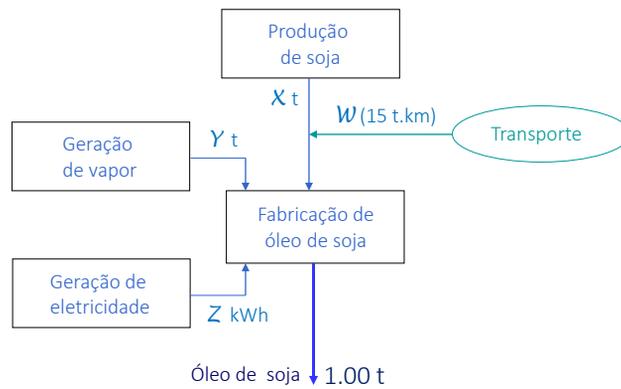
Fluxo De Referência:  $2500/2.50 = 1000 \text{ kg óleo} = 1.00 \text{ t óleo/UF}$

---



---

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)



## Analise do Inventario (ICV) Coleta de Dados – Exemplo

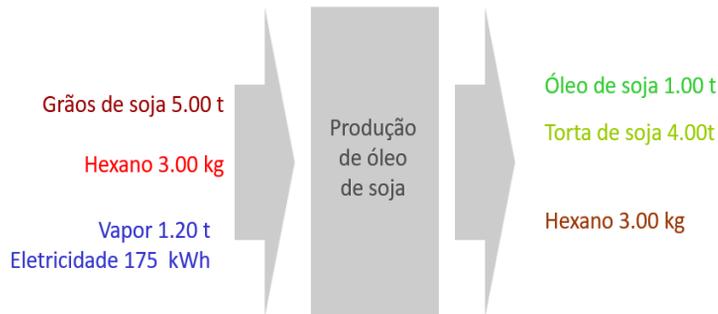
ICV: Óleo de soja

Etapa do CV: Fabricação do produto

Subsistema: Geração de óleo de soja

Produto: Óleo de soja

Unidade: 1.00 t



## Analise do Inventario (ICV) Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

Conversão para uma base comum = Fluxo de referência

Fator de conversão (FC) de grãos de soja para óleo de soja

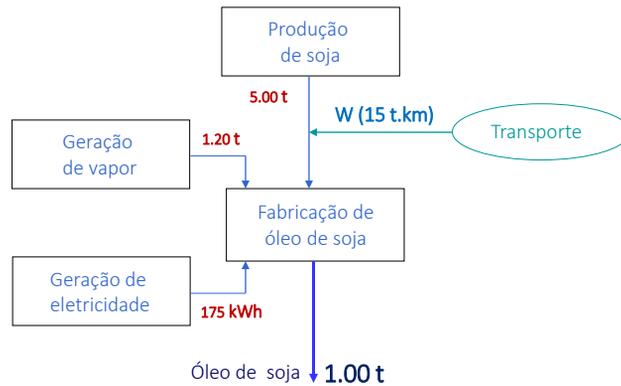
Tendo em vista o LCI:

1.00 t óleo soja ← 5.00 t grãos soja

Como o Fluxo de Referência para o estudo foi calculado em: FR = 1.00 t óleo soja, este se iguala à quantidade de óleo para a qual os demais consumos da produção de óleo são estimados. Assim,

$$FC = \frac{5}{1} = 5$$

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)



**Análise do Inventário (ICV)**  
**Coleta de Dados – Exemplo**

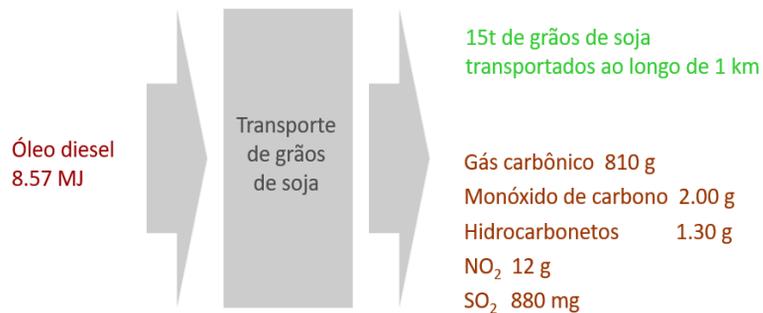
**ICV:** Óleo de soja

**Etapa do CV:** Transporte

**Subsistema:** Transporte de grãos de soja

**Produto:** grãos de soja transportados

**Unidade:** 15 t.km



Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

Fator de conversão (FC) para o subsistema de transporte grãos de soja

$$\text{Unidade: } 15 \text{ t.km} = [15 \text{ t grãos soja}] \cdot [1.00 \text{ km}]$$

Pergunta:

Quantas vezes 15 t grãos de soja . km são necessárias para produzir 1.00 t óleo de soja (= FR)?

Premissa:

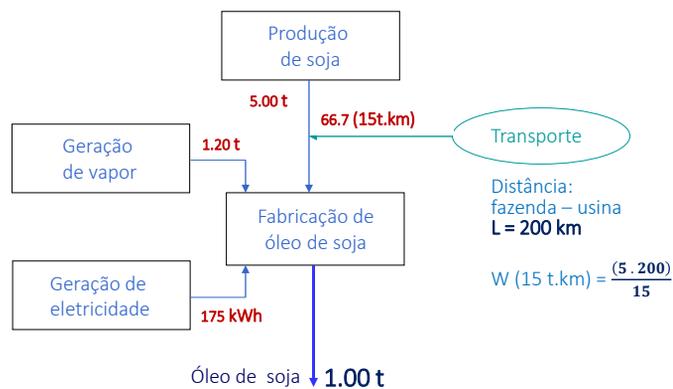
Admitindo-se que a distância entre a fazenda e a fábrica seja  $L = 200 \text{ km}$

$$5.00 \text{ t} \cdot 200 \text{ km} = 1000 \text{ t.km}$$

$$\text{FC} = 1000/15$$

$$\text{FC} = 66.7$$

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)



Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

Tabela Bruta de Valores

<u>Processo elementar</u> Aspecto Ambiental	Produção de soja (t de grão)	Geração de vapor (t de vapor)	Geração de eletricidade (kWh)	Fabricação de óleo (t de óleo)	Transporte (15t.km)
energia (GJ)	0.58	3.45	0.00908		0.00857
gás carbônico (kg)	45.3	162	0.625		0.81
monóxido de carbono (kg)	0.010	0.040	0.000029		0.0020
hidrocarbonetos (kg)	0.0046	2.00	0.000053		0.0013
óxido de nitrogênio (kg)	0.071	0.50	0.000012		0.012
óxido de enxofre (kg)	0.32	0.14	0.000078		0.00088
nitrogênio (kg)	3.00				
fósforo (kg)	1.50				
defensivos (kg)	13.6				
hexano (kg)				3.00	

Análise do Inventário (ICV)  
Tratamento de Dados – Correlação de dados à UF (ou FR)

Tabela Consolidada de Valores

<u>Processo elementar</u> Aspecto Ambiental	Produção de soja (t de óleo)	Geração de vapor (t de óleo)	Geração de eletricidade (t de óleo)	Fabricação de óleo (t de óleo)	Transporte (t de óleo)
energia (GJ)	2.90	4.14	1.589		0.5716
gás carbônico (kg)	226.5	194	109.4		54.03
monóxido de carbono (kg)	0.050	0.048	0.00508		0.1334
hidrocarbonetos (kg)	0.023	2.40	0.00928		0.0867
óxido de nitrogênio (kg)	0.355	0.60	0.0021		0.80
óxido de enxofre (kg)	1.60	0.168	0.01365		0.0587
nitrogênio (kg)	15.0				
fósforo (kg)	7.50				
defensivos (kg)	68.25				
hexano (kg)				3.00	
Fatores de Conversão	5.0	1.2	175	1.0	66.7

## EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO n.3

Por favor, não se esqueçam de identificar os integrantes do grupo por [Nome](#) e [NUSP](#)

