

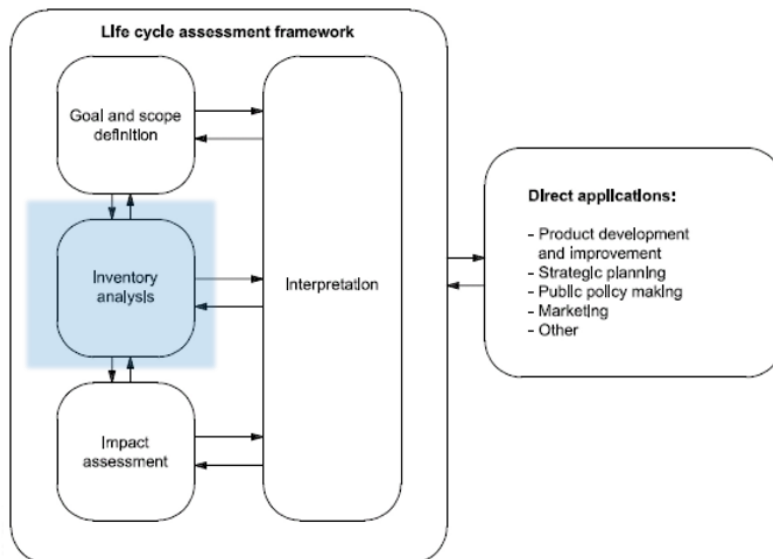
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

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



Gil Anderi da Silva  
Luiz Kulay

### Estrutura do Método de ACV



(ISO 14040:2006)

## Analise do Inventario (ICV) Etapas Operacionais

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

- Coleta de Dados
- Tratamento de Dados

---

---

## Analise do Inventario (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 Multifuncionais

ALCA vs. CLCA

ACV Atribucional (ALCA):  
 modelagem na qual entradas e saídas são atribuídas à função de um sistema de produto, vinculando e/ou particionando os processos elementares de acordo com uma regra normativa



ALCA lida com processos multifuncionais particionando fluxos de inventário entre produtos com base em suas propriedades físicas ou econômicas relativas



ALCA **não** leva em conta as consequências das decisões (= destino dos coprodutos e o que essa destinação significa), enquanto a CLCA o faz

ACV Consequencial (CLCA):  
 modelagem na qual as atividades são incluídas em um sistema de produto até onde se espera que estas sejam **alteradas em consequência** de uma **variação marginal na demanda** pela **função**



CLCA trata a multifuncionalidade **expandindo o sistema** para incluir o destino dos coprodutos em outros mercados (= deslocamento), evitando assim o problema da alocação



ALCA **não** leva em conta as consequências das decisões (= destino dos coprodutos e o que essa destinação significa), enquanto a CLCA o faz

ALCA vs. CLCA

	Attributional LCA	Consequential LCA
Question the method aims to answer	What are the total emissions from the processes and the material flows directly used in the life cycle of a product?	What is the change in total emissions as a result of a marginal change in the production (and consumption and disposal) of a product?
Application	ALCA is applicable for understanding the emissions directly associated with the life cycle of a product. ALCA is also appropriate for consumption-based emissions accounting.  ALCA <b>is not an</b> appropriate approach for quantifying the change in total emissions resulting from policies that change the output of certain products.	CLCA is applicable for informing consumers and policy-makers on the change in total emissions from a purchasing or policy decision.  CLCA <b>is not an</b> appropriate for consumption-based emissions accounting.
System boundary	The processes and material flows directly used in the production, consumption and disposal of the product. The vehicle may be an important consideration for some fuels.	All processes and material flows, which are directly or indirectly affected by a marginal change in the output of a product (e.g. through market effects, substitution, use of constrained resources etc).

## ALCA vs. CLCA – e também...

	<b>Attributional LCA</b>	<b>Consequential LCA</b>
Marginal or average data	ALCA tends to use average data, e.g. the average carbon intensity of the electricity grid. Though, some models offer a choice.	CLCA tends to use marginal data e.g. the marginal carbon intensity of the electricity grid.
Market effects	ALCA <u>does not</u> consider the market effects of the production and consumption of the product.	CLCA considers the market effects of the production and consumption of the product.
Allocation methods	ALCA allocates emissions and process energy inputs to co-products based on either economic value, energy content, co-product energy displacement, or mass.	CLCA uses system expansion to quantify the effect of co-products on emissions.
Time-scales, means by which change is promoted, and magnitude of the change	ALCA aims to quantify the emissions attributable to a product at a given level of production at a given time.	CLCA aims to quantify the change in emissions, which result from a change in production. It is necessary to specify the time-scale of the change, the means by which the change is promoted, and the <u>magnitude of the change</u> .
Uncertainty	ALCA has <u>low</u> uncertainty because the relationships between inputs and outputs are generally stoichiometric.	CLCA is nearly always <u>highly</u> uncertain because it relies on models that seek to represent complex socio-economic systems that include feedback loops and random elements.

## ALCA vs. CLCA – e também...

	<b>Attributional LCA</b>	<b>Consequential LCA</b>
Marginal or average data	ALCA tends to use average data, e.g. the average carbon intensity of the electricity grid. Though, some models offer a choice.	CLCA tends to use marginal data e.g. the marginal carbon intensity of the electricity grid.
Market effects	ALCA does not consider the market effects of the production and consumption of the product.	CLCA considers the market effects of the production and consumption of the product.
Allocation methods	<b>ALCA allocates emissions and process energy inputs to co-products based on either economic value, energy content, co-product energy displacement, or mass.</b>	<b>CLCA uses system expansion to quantify the effect of co-products on emissions.</b>
Time-scales, means by which change is promoted, and magnitude of the change	ALCA aims to quantify the emissions attributable to a product at a given level of production at a given time.	CLCA aims to quantify the change in emissions, which result from a change in production. It is necessary to specify the time-scale of the change, the means by which the change is promoted, and the <u>magnitude of the change</u> .
Uncertainty	ALCA has low uncertainty because the relationships between inputs and outputs are generally stoichiometric.	CLCA is nearly always highly uncertain because it relies on models that seek to represent complex socio-economic systems that include feedback loops and random elements.

## ALCA vs. CLCA

	Attributional LCA	Consequential LCA
Question the method aims to answer	What are the total emissions from the processes and the material flows directly used in the life cycle of a product?	What is the change in total emissions as a result of a marginal change in the production (and consumption and disposal) of a product?
Application	ALCA is applicable for understanding the emissions directly associated with the life cycle of a product. ALCA is also appropriate for consumption-based emissions accounting.  ALCA is not an appropriate approach for quantifying the change in total emissions resulting from policies that change the output of certain products.	CLCA is applicable for informing consumers and policy-makers on the change in total emissions from a purchasing or policy decision.  CLCA is not appropriate for consumption-based emissions accounting.
System boundary	The processes and material flows directly used in the production, consumption and disposal of the product. The vehicle may be an important consideration for some fuels.	All processes and material flows, which are directly or indirectly affected by a marginal change in the output of a product (e.g. through market effects, substitution, use of constrained resources etc).

## CLCA – Aspectos Metodológicos

CLCA é conduzida seguindo orientações metodológicas previstas nas normas ISO 14040 e 14044

## Objetivo

Estimar todos (?) os possíveis impactos ambientais (diretos e indiretos) de uma **decisão**. Esta pode compreender a escolha de um produto, estratégia (ou política), ou simplesmente a alteração de um processo produtivo

## Escopo

Unidade funcional (UF)

Assim como ocorre na ALCA, a escolha da UF deve:

- refletir a quantidade, propriedades e duração do produto / serviço de interesse
- ser selecionado de forma que, em uma comparação, as alternativas ofereçam a mesma funcionalidade

Além disso, a UF **não deve** 'deslocar' nenhum produto marginal para atender a função exercitada pelo produto

## Dimensão geográfica

**Não** restringe a avaliação a uma área em específico!

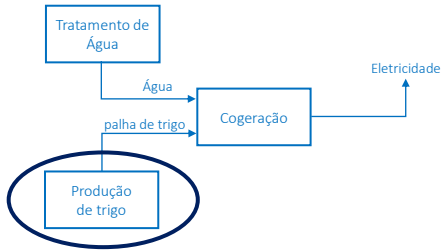
A dimensão geográfica define onde a decisão será implementada e, portanto, os contextos legislativo, político e de mercado a ela relacionados. Esses contextos são importantes para determinar processos e tecnologias marginais afetados pelas mudanças na demanda

### CLCA – Aspectos Metodológicos

**Limites do Sistema de Produto**

Conceito: devem fazer parte do Sistema de Produto de uma CLCA apenas atividades que alteram sua produção em resposta a uma demanda adicional pela função em estudo

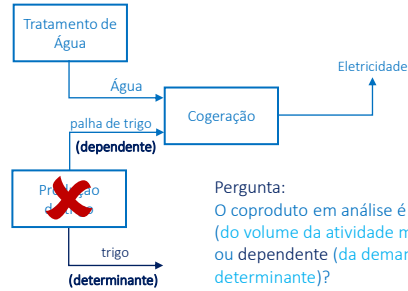
Exemplo: geração de eletricidade via queima de palha de trigo



Pergunta:

A atividade agrícola de produção de trigo deve ser incluída no Sistema de Produto da CLCA?

Em caso afirmativo, de que forma isso ocorreria?



Pergunta:

O coproduto em análise é determinante (do volume da atividade multifuncional), ou dependente (da demanda do produto determinante)?

Resposta:

No caso em estudo, o trigo é determinante para sua produção agrícola, e a palha é gerada em função da quantidade de trigo produzido

Pergunta:

Uma demanda adicional pela geração de eletricidade via palha de trigo implicará em alteração da 'produção de trigo'?

Resposta:

**Não!** Logo, não será necessário produzir palha adicional para isso!

Portanto, a produção de trigo, com suas múltiplas saídas, não deve integrar o Sistema de Produto

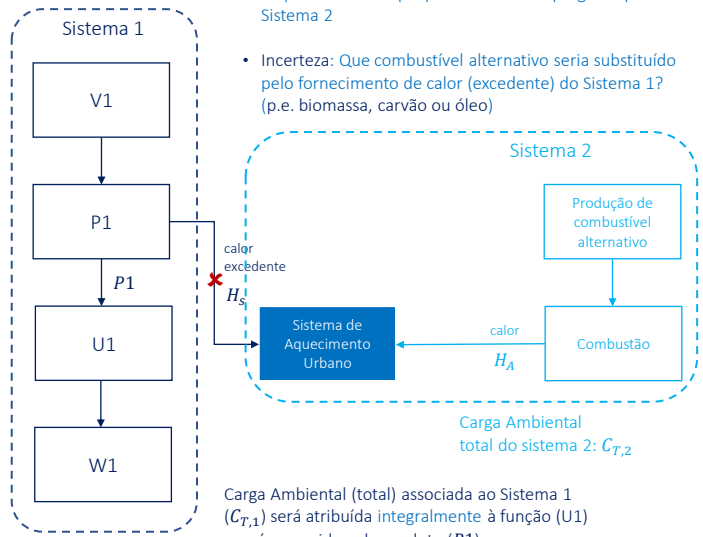
O trigo é produzido para atender ao mercado alimentício e assim, a atividade agrícola é independente de alterações na demanda pela palha (= matéria-prima energética)

### Expansão de Sistema

Exemplo:

- Durante a obtenção do produto (P1), mais especificamente na etapa P1 do sistema 1, gera-se uma quantidade de calor (H<sub>S</sub>) que pode ser aproveitada para cumprir outra função
- Para isso, (H<sub>S</sub>) deixa o Sistema 1, passando através de sua fronteira e ingressa no Sistema 2. Esse contexto caracteriza uma situação multifuncional (SM)
- Quando observada sob a perspectiva de Expansão de Sistema, essa situação se equaciona da seguinte forma: toda a carga ambiental acumulada até o estágio em que se configura a (SM) (C<sub>T,1</sub>) será atribuída a (P1)
- Por outro lado, o Sistema 1 também recebe um crédito ao evitar a produção de calor pela queima de um combustível alternativo para atender ao sistema de aquecimento urbano
- Esse crédito consiste de uma carga negativa (-) e corresponde à aquela associada à quantidade de calor produzida no Sistema 2 (C<sub>T,2</sub>) que foi evitada pela geração de (H<sub>S</sub>)
- Nesse contexto, a Carga Ambiental total corrigida do Sistema 1 (C<sub>T,1</sub>') consiste da soma das duas parcelas:

$$C'_{T,1} = C_{T,1} + (-C_{T,2})$$

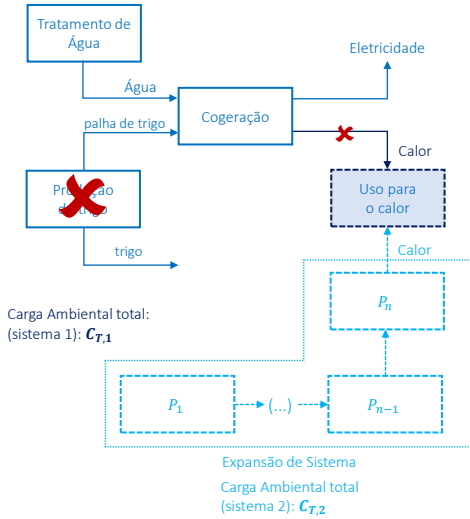


- Muito embora seja pré-requisito para que se realize a Expansão do Sistema neste caso, há diferentes maneiras de produzir calor que poderiam ser empregadas pelo Sistema 2
- Incerteza: Que combustível alternativo seria substituído pelo fornecimento de calor (excedente) do Sistema 1? (p.e. biomassa, carvão ou óleo)

Carga Ambiental (total) associada ao Sistema 1 (C<sub>T,1</sub>) será atribuída integralmente à função (U1) que é cumprida pelo produto (P1)

### CLCA – Aspectos Metodológicos: exemplo cogeração de eletricidade via palha de arroz

O destino dos coprodutos dependentes deve também ser determinado. No exemplo, suponha que calor seja produzido conjuntamente a eletricidade



A CLCA deve determinar o que acontece com esse fluxo de calor.

Perguntas:

- Ele substitui outra fonte de calor?
- Em caso afirmativo, isso ocorre total ou parcialmente?
- Qual fonte alternativa (de calor) o fluxo gerado no sistema multifuncional substitui?
- Até que ponto a substituição ocorre?

Carga total corrigida (sistema 1):

$$C'_{T,1} = C_{T,1} - C_{T,2}$$

Em teoria, a CLCA assume que haja substituição completa, mas na prática, pode ocorrer apenas uma **substituição parcial**

Ekvall e Weidema (2004):

a substituição parcial pode ser descrita via modelos de equilíbrio parcial (PE)

### CLCA – Aspectos Metodológicos: exemplo cogeração de eletricidade via palha de arroz

Construído o sistema, os fluxos quantificados que vinculam todos os processos são compostos para formar o diagrama de fluxo do processo. Nesse momento, deve-se considerar o uso ('abandonado') do produto deslocado para atender a função. Assim, o uso que não ocorreu (mas poderia!) deve ser identificado

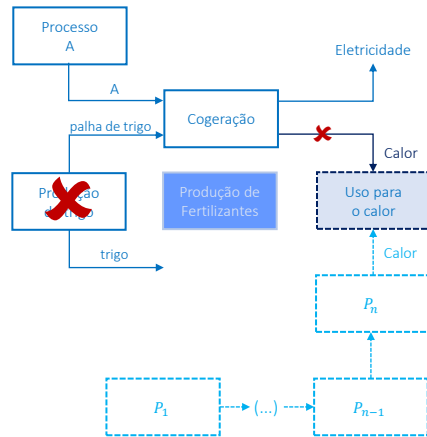
No exemplo:

A palha deixou de cumprir uma função para servir de insumo na cogeração de eletricidade. Originalmente, ela seria incorporada ao solo

Não introduzir essa quantidade de palha (de volta) no solo implica em alteração nos seus níveis nutricionais. Logo, conceitualmente as operações que recompõem esses teores devem ser incluídas (e ∴ modeladas) no sistema de produto da CLCA

Em resumo, a delimitação do Sistema de Produto de uma CLCA para cogeração de eletricidade a partir de palha deve:

- excluir o cultivo de trigo
- incluir o uso adicional de fertilizantes (assim como, mudanças no carbono orgânico do solo associado a remoção de palha)
- descontar o deslocamento da fonte marginal de calor (p.e., gás natural)



Retomando o tema....  
ALCA vs. CLCA – Consequências

Constatação:

Falta de precisão e consistência nas diretrizes que descrevem como as duas abordagens devem ser aplicadas



Consequência:

ALCA com expansão de sistema é predominante na literatura, embora o destino dos coprodutos, incluindo efeitos de substituição, seja consistente apenas com a abordagem da CLCA

Problema:

Expansão do sistema só faz sentido se isso ocorrer para incluir não apenas coprodutos, mas também os produtos que eles substituem

Respaldo normativo:

Série ISO 14040:1998 mencionavam que a expansão do sistema inclui substituição, de modo que uma funcionalidade igual possa ser mantida entre os sistemas comparados

Desdobramento:

Atualmente, essa abordagem segue sendo adotada nos critérios de sustentabilidade aplicados pela norma ISO 13065:2015 para bioenergia

---

---

## EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO n.4

Por favor, não se esqueçam de identificar os integrantes do grupo por **Nome** e **NUSP**

---

---



## EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO n.5

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

