

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PQI 3535: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)



Gil Anderi da Silva
Luiz Kulay

EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO n.1
comentários

Solução

Tabela 1: Quadro Resposta: Percepção subjetiva quanto a importância das categorias de impacto

CATEGORIAS DE IMPACTO	Pontuação Absoluta (escala arbitrária)	Pontuação Relativa (valores expressos em %)
Depleção de Recursos Fósseis		
Depleção de Minerais		
Depleção de Água		
Mudanças Climáticas		
Depleção de Ozônio Estratosférico		
Formação de Ozônio Troposférico		
Acidificação		
Toxicidade Humana		
Ecotoxicidade Aquática		
Ecotoxicidade Terrestre		
Uso do Solo		
Transformação do Solo		
Biodiversidade		
Total de Pontos		100%

Exercício n.1

CATEGORIAS DE IMPACTO	PONTUAÇÃO ABSOLUTA	PONTUAÇÃO RELATIVA
Depleção de recursos fósseis	70	7,57%
Depleção de materiais	75	8,11%
Depleção de água	95	10,3%
Mudanças climáticas	85	9,19%
Depleção de ozônio estratosférico	90	9,73%
Acidificação	60	6,45%
Toxicidade humana	100	10,8%
Ecotoxicidade aquática	95	10,3%
Ecotoxicidade terrestre	95	10,3%
Uso do solo	80	8,65%
Transformação do solo	80	8,65%
Total de pontos	925	

Escala arbitrária:
0 – 100 por impacto

DESEMPENHO AMBIENTAL

Como medir desempenho ambiental?

Talvez a resposta mais cientificamente correta para essa pergunta seja:

‘Fazendo uma Avaliação do Ciclo de Vida!’

Ok..., bem, a pergunta que naturalmente se segue a esse é:

O que é isso afinal de contas?

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica capaz de avaliar impactos ambientais associados a todas as etapas da vida de um produto (processo ou serviço), constituídas para efeito do atendimento de um função

ACV pode apoiar o processo de tomada de decisão porque aplica abordagens sistêmicas e quantitativas

ACV é uma técnica de diagnóstico. Sua aplicação fornece uma foto (radiografia, tomografia, ressonância magnética, ...) do objeto de análise

ACV leva em conta o Life Cycle Thinking, e coincidir em termos de filosofia com o Triple Bottom Line

O que Gestão do Ciclo de Vida (LCM)?

- LCM é a integração sistemática da sustentabilidade na estratégia e planeamento da empresa, na concepção e desenvolvimento de produtos, nas decisões de compra e nos programas de comunicação
- LCM não é uma ferramenta ou metodologia, mas uma estrutura de gestão integrada e flexível de conceitos, técnicas e procedimentos que incorporam aspectos ambientais, económicos e sociais de produtos, processos e organizações
- A LCM é voluntária e pode ser gradualmente adaptada às necessidades e características específicas de cada organização
- LCM é um processo dinâmico. As organizações podem começar com pequenas metas e objetivos, e com os recursos que estejam disponíveis e se tornarem mais ambiciosas ao longo do tempo
- A LCM é a aplicação da Filosofia do Ciclo de Vida (Life Cycle Thinking) à prática empresarial moderna com o objectivo de gerir o ciclo de vida pleno de produtos e serviços proporcionados por uma organização, com vistas a motivar produção e consumo mais sustentáveis

[Hunkeler et al. 2004]

O que Gestão do Ciclo de Vida (LCM)?

- LCM é a integração sistemática da sustentabilidade na estratégia e planeamento da empresa, na concepção e desenvolvimento de produtos, nas decisões de compra e nos programas de comunicação
- LCM não é uma ferramenta ou metodologia, mas uma estrutura de gestão integrada e flexível de conceitos, técnicas e procedimentos que incorporam aspectos ambientais, económicos e sociais de produtos, processos e organizações
- A LCM é voluntária e pode ser gradualmente adaptada às necessidades e características específicas de cada organização
- LCM é um processo dinâmico. As organizações podem começar com pequenas metas e objetivos, e com os recursos que estejam disponíveis e se tornarem mais ambiciosas ao longo do tempo
- A LCM é a aplicação da Filosofia do Ciclo de Vida (Life Cycle Thinking) à prática empresarial moderna com o objectivo de gerir o ciclo de vida pleno de produtos e serviços proporcionados por uma organização, com vistas a motivar produção e consumo mais sustentáveis

[Hunkeler et al. 2004]

ACV é um método de avaliação ambiental, ou seja...

- modo de obtenção de conhecimento sobre impactos ambientais
- receita técnica para execução da análise ambiental de um sistema
- forma de estimativa do grau de efeito de um impacto ambiental
- meio de determinação do desempenho ambiental de um produto, processo ou serviço

São características dos métodos de avaliação (de impactos) ambientais

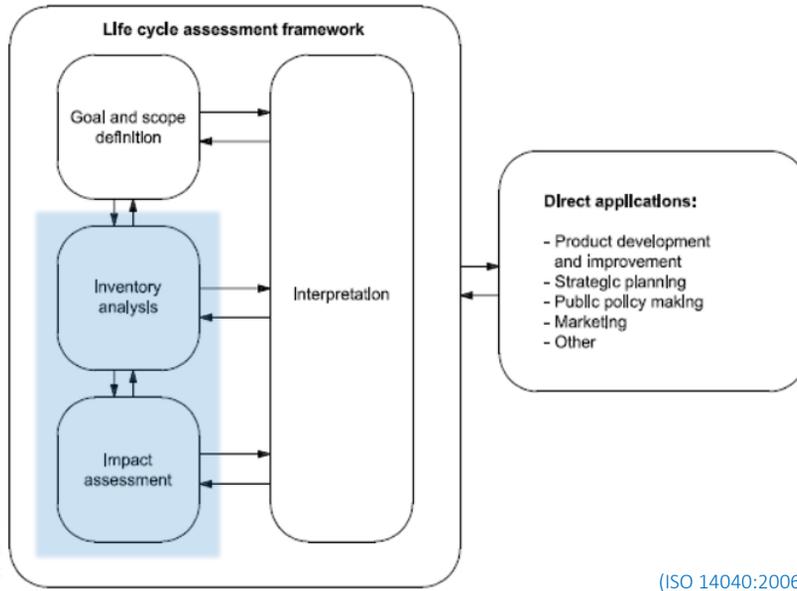
- Escalas variáveis (local, regional ou global)
- Enfoques mono ou multitemático
- Caráter diagnóstico ou prognóstico
- Estimação de impactos reais ou potenciais
- Uso de abordagens quantitativa ou qualitativa
- Aplicação sobre arranjos mono ou multi-etapas

Rodrigues (2016)

ACV: Enfoque geral

- ACV é uma técnica de suporte à tomada de decisão que:
Gera informações (Diagnóstico);
NÃO resolve problemas
- ACV avalia impactos associados ao ciclo de vida de um produto
- Fornece dados objetivos, não baseados (apenas) em paradigmas e senso comum:
 - “Xícaras de plástico são piores do que as de porcelana”
OU
 - “Biodiesel é melhor do que (petro)diesel”
OU
 - “Sustentabilidade é sinônimo de renovabilidade”
OU
 - “Qualquer novo produto deve ser, antes de tudo, biodegradável”
(...)
- É a única que avalia o **desempenho** ambiental do **desempenho** de um produto
- Técnica recente ↔ necessita ainda de **consolidação metodológica** em alguns aspectos

ACV: Metodologia



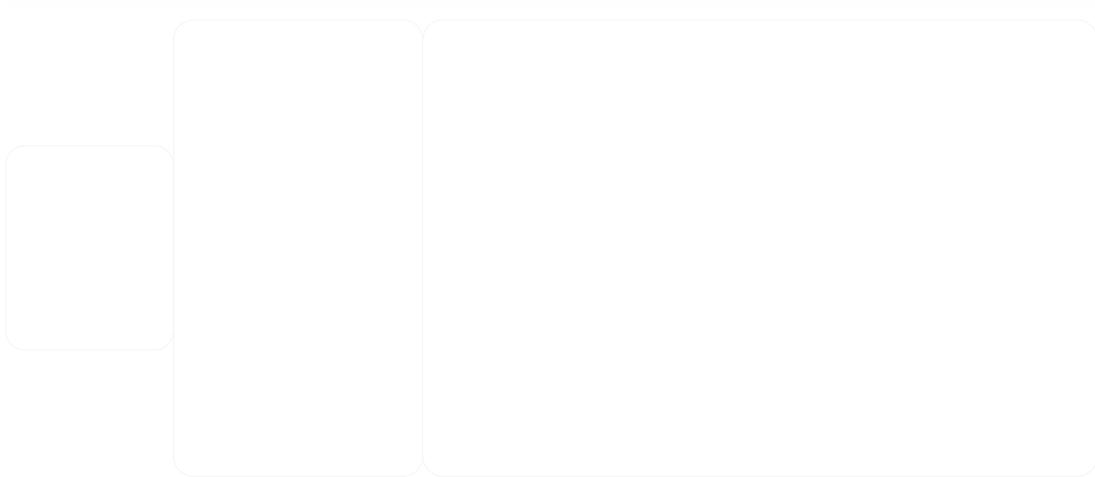
ACV: Metodologia

INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

Identificação de todas as interações entre o ambiente e o ciclo de vida (= Sistema de Produto) em análise (= **cargas ambientais**)

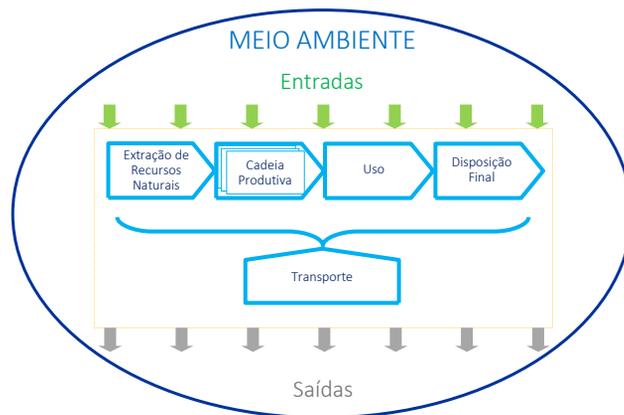
AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

ACV: Metodologia



ACV: Metodologia

Inventário de Ciclo de Vida – ICV

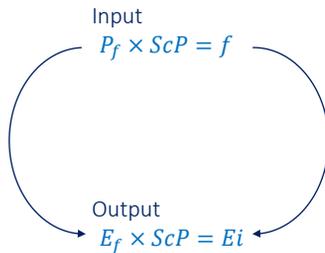




Modeling (a little bit of Math...)

The LCI building up is based on the Input-Output Model proposed by Leontief (1928; 1936)

After choosing the final demand of the product (= or function to be attended by), the simplest Unit Process can be described as



P_f : product flow
 ScP : scaling parameter
 f : final demand

E_f : environmental flow
 E_i : environmental intervention

Linear Programming

$$\begin{cases} (a_{11} \times s_1) + (a_{12} \times s_2) + \dots + (a_{1j} \times s_j) = f_1 \\ (a_{21} \times s_1) + (a_{22} \times s_2) + \dots + (a_{2j} \times s_j) = f_2 \\ \vdots \\ (a_{i1} \times s_1) + (a_{i2} \times s_2) + \dots + (a_{ij} \times s_j) = f_j \end{cases}$$

$$\begin{cases} (b_{11} \times s_1) + (b_{12} \times s_2) + \dots + (b_{1j} \times s_j) = g_1 \\ (b_{21} \times s_1) + (b_{22} \times s_2) + \dots + (b_{2j} \times s_j) = g_2 \\ \vdots \\ (b_{k1} \times s_1) + (b_{k2} \times s_2) + \dots + (b_{kj} \times s_j) = g_j \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \lambda_i: \sum_j a_{ij} \cdot s_j = f_i \\ \lambda_k: \sum_j b_{kj} \cdot s_j = g_k \end{cases}$$

a : product flow
 s : scaling parameter
 f : demand
 b : environmental flow
 g : environmental intervention

Heijungs et al (2002, 2017)

ACV: Metodologia

INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

Identificação de todas as interações entre o ambiente e o ciclo de vida (= Sistema de Produto) em análise (= cargas ambientais)

AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

Avaliação dos impactos potenciais associados às cargas ambientais inventariadas

Impactos Ambientais

Conceito:

alterações no meio ambiente causadas pelas atividades humanas que podem ser negativas ou positivas, permanentes ou temporárias

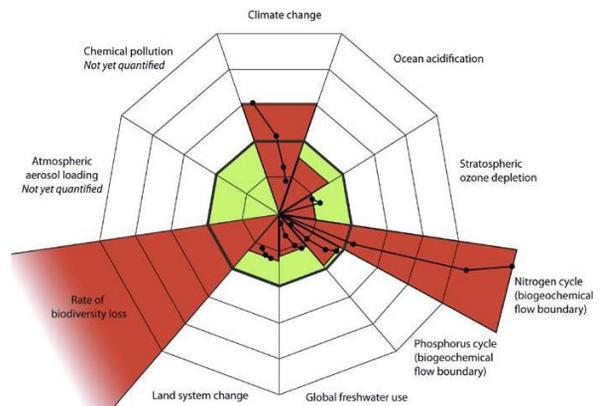
(CONAMA n.1, 1986)

Impactos Positivos são aqueles que trazem melhorias ao meio ambiente, ao passo que os chamados **Impactos Negativos** correspondem a efeitos adversos, nocivos e altamente poluidores

Dentro de uma leitura mais genérica, os impactos positivos, estão relacionados a ações e programas de **preservação**

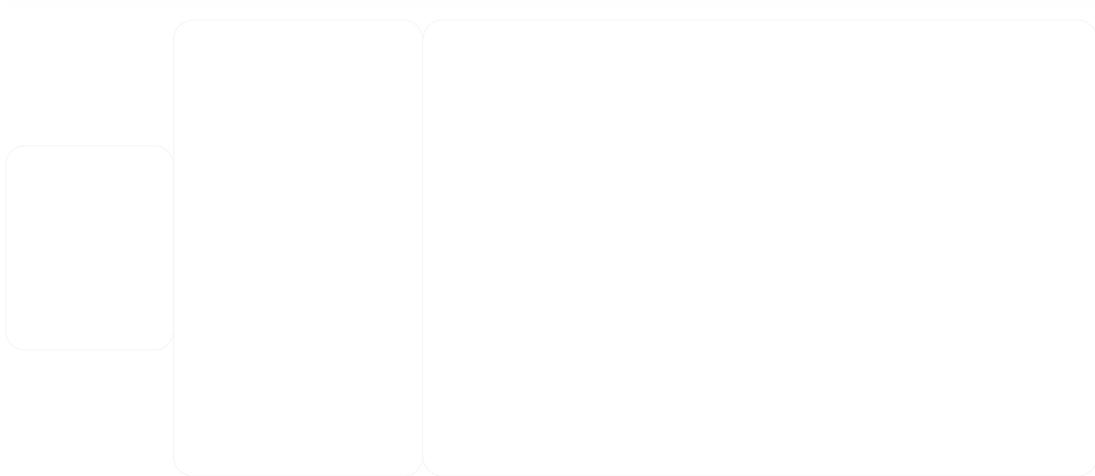
Impactos Ambientais vs. Limites do planeta

- Transgressão de limites seguros
- Mudanças irreversíveis

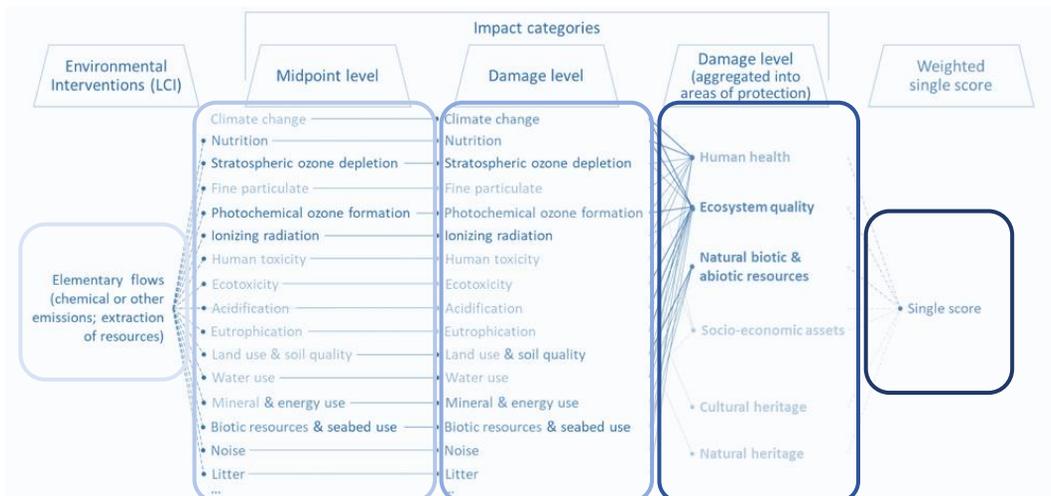


Rockström (2009)

ACV: Metodologia



ACV: Metodologia



How to calculate the Environmental Impact?

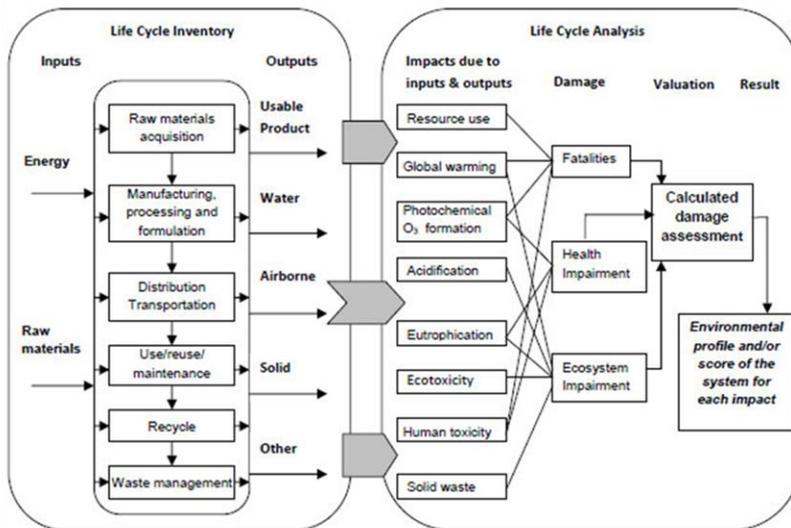
The Impact Indicator (I_i) of each category was calculated after all the environmental loads (g_i) within a category were characterized and aggregated using the following equations

$$I_{i(j)} = g_i \times k_{i(j)} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Result of the LCI
(g) vector

$$I_j = \sum_{i=1}^n I_{i(j)} \quad j = 1, 2, \dots, q$$

ACV: overview



Adaptado de Wenzel et al (1997)

ACV: Enfoque geral

- ACV é uma técnica de suporte à tomada de decisão que:
Gera informações (Diagnóstico);
NÃO resolve problemas
- ACV avalia impactos associados ao ciclo de vida de um produto
- Fornece dados objetivos, não baseados (apenas) em paradigmas e senso comum:
 - “Xícaras de plástico são piores do que as de porcelana”
OU
 - “Biodiesel é melhor do que (petro)diesel”
OU
 - “Sustentabilidade é sinônimo de renovabilidade”
OU
 - “Qualquer novo produto deve ser, antes de tudo, biodegradável”
(...)
- É a única que avalia o **desempenho** ambiental do **desempenho** de um produto
- Técnica recente ↔ necessita ainda de **consolidação metodológica** em alguns aspectos

ACV: Limitações

- Uso de critérios subjetivos de tomada de decisão durante a condução da ACV



- Ausência de modelos de AICV



- Grande quantidade de dados



- Precisão vs Acurácia



ACV: Limitações



ACV: Limitações

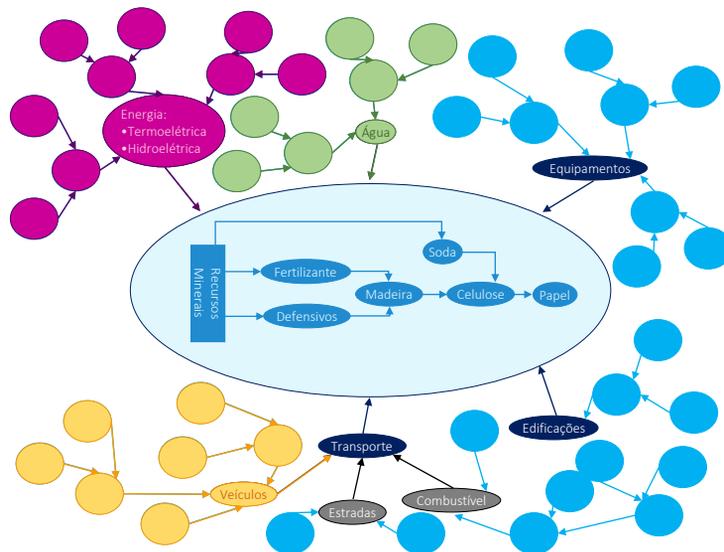


ACV: Bancos de Dados

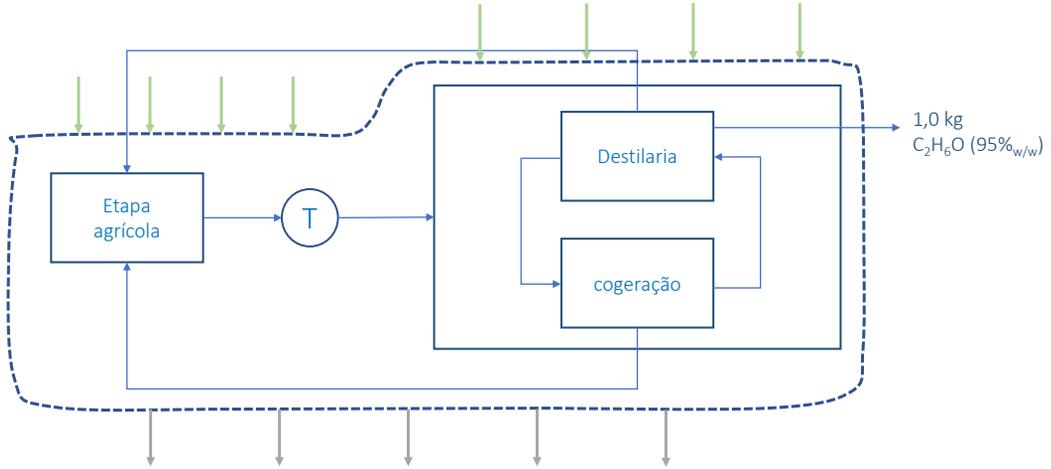
Conceito

Conjunto de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) que são comuns
(= úteis) a mais do que um ciclo de vida

ACV: Bancos de Dados



ACV: Bancos de Dados – exemplo: Produção de etanol hidratado (BR)



ACV: Bancos de Dados – exemplo: Produção de etanol hidratado (BR)

Software interface showing a database for ethanol production. The table lists various inputs and outputs with their quantities, units, and distribution details.

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	1,0 kg C ₂ H ₆ O (95% _{w/w})
Entradas							
Entradas conhecidas da natureza (recursos)							
Water, river	0,015494	m3	Sessão normal		1,1249		(1,3,1,1,4); Literature 1998
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)							
Sugarcane, at farm/BR U	14,8976106658677256	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		
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U	0,23836	tkm	Sessão normal		2,095000000000		
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0,95345	tkm	Sessão normal		2,095000000000		
Transport, lorry >28t, fleet average/CH U	0,14921	tkm	Sessão normal		2,095000000000		
Transport, freight, rail/RER U	0,1535	tkm	Sessão normal		2,095000000000		
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	0,0000008295	kg	Sessão normal		2,089000000000		(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Sodium chloride, powder, at plant/RER U	0,0011162	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
Lubrication 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/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/CH U	0,00000026272	p	Sessão normal		3,7423		(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Cogen unit 6400kWh, wood burning, components for electricity only/CH/U	0,00000026272	p	Sessão normal		3,7423		(4,3,3,3,4); From bagasse burning
Ethanol fermentation plant/CH/U	0,000000066145	p	Sessão normal		3,086		(2,4,1,5,3,4); Estimation
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (eletricidade/calor)							

14,9 kg cana/kg C₂H₆O (95%_{w/w})

ACV: Bancos de Dados – exemplo: Produção de etanol hidratado (BR)

C:\Users\Home\Documents\SimaPro - bkups\Professional bkp19\Professionalbkp13.FHC 2019 - [Ver material processo "Ethanol, 95% in H2O, from sugar cane, at ferm]

Arquivo Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação Entrada/saída Parâmetros Descrição do sistema

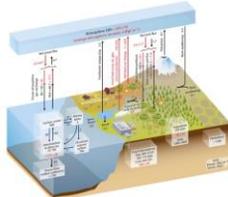
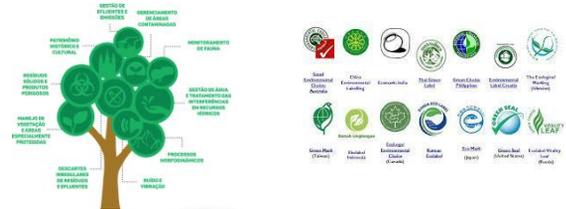
Saídas

Emissões para o ar	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD *2 eller 2*SD	Min	Máx	Comentário
Ammonia	high. pop.	0,0000016606	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Arsenic	high. pop.	0,00004737	kg	Sessão normal	2,1246			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Benzene	high. pop.	0,0000027224	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Benzene, ethyl-	high. pop.	0,000024773	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Benzene, hexachloro-	high. pop.	0,0000001672	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Benzol(a)pyrene	high. pop.	0,0000000000011	kg	Sessão normal	3,7423			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Bromine	high. pop.	0,00000013612	kg	Sessão normal	3,7423			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Cadmium	high. pop.	0,0000016334	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Calcium	high. pop.	0,00000019057	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Carbon monoxide, biogenic	high. pop.	0,00015926	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Chlorine	high. pop.	0,00017094	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Chromium	high. pop.	0,0000049003	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Chromium VI	high. pop.	0,00000010781	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Copper	high. pop.	0,00000001089	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Dinitrogen monoxide	high. pop.	0,0000059893	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	high. pop.	0,0000000000008	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Fluorine	high. pop.	0,0000013612	kg	Sessão normal	3,7423			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Formaldehyde	high. pop.	0,0000035391	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Heat, waste	high. pop.	26,114021736199	MJ	Sessão normal	2,0809000000000			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	high. pop.	0,000022221	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	high. pop.	0,000075999	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Lead	high. pop.	0,0000006789	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Magnesium	high. pop.	0,000009828	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Manganese	high. pop.	0,0000046554	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Methane, biogenic	high. pop.	0,000000081672	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Nickel	high. pop.	0,0000032669	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Nitrogen oxides	high. pop.	0,0000016334	kg	Sessão normal	5,8576			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning
Nitrogen oxides	high. pop.	0,0023957	kg	Sessão normal	2,3073			(4,3,3,3,5,4): From bagasse burning

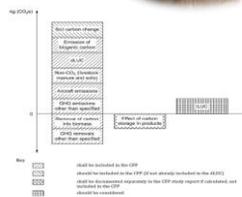
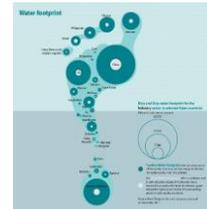
11,8 mg CH₄,b/kg C₂H₆O (95%_{w/w})

USP 9.0.0.49 PHD

ACV: Usos e Aplicações

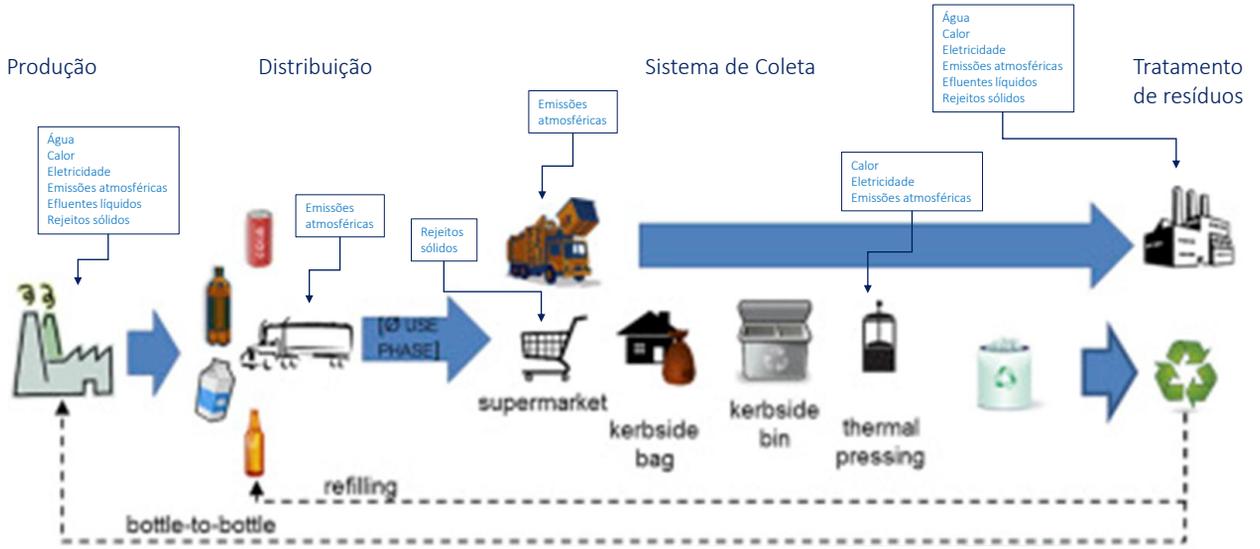


IPCC approach AR5 (2013)



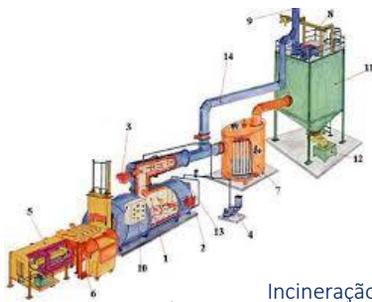
ISO 14067:2018

Identificação de focos de melhoria de desempenho

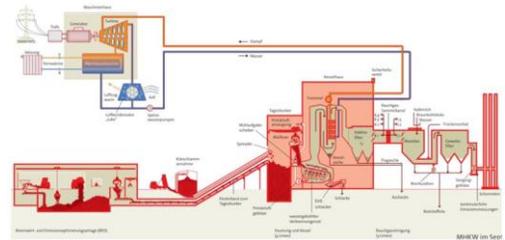


Simon et al (2016)

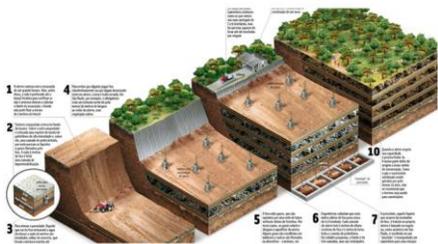
Comparação entre produtos (processos e serviços)



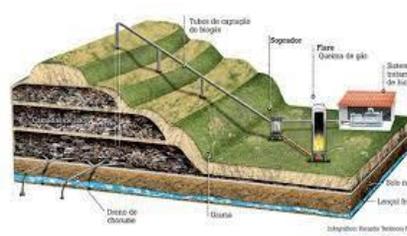
Incineração



Incineração

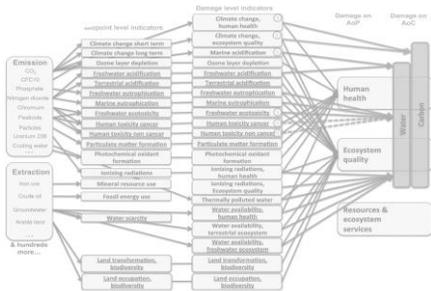


Aterramento Sanitário



Aterramento Sanitário

Além disso... agora de forma mais 'cientificista'...



Avaliação de desempenho Ambiental de produtos, processos e serviços (focos de impacto e oportunidade de melhoria)



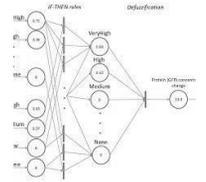
Otimização Ambiental de processos

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ & \vdots & & \vdots \\ f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 & a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \dots + a_{kn}x_n &= b_k \end{aligned}$$

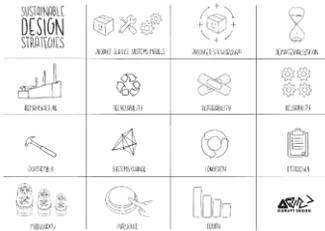
$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \rightarrow \bar{A}\bar{x} = \bar{b}$$

maximize $w_1f_1(x_1, \dots, x_n, x_{M+1}, \dots, x_M)$ (1a)
 $+ w_2f_2(x_{M+1}, \dots, x_N, x_{M+1}, \dots, x_{M+1})$

subject to
 $dist(x_i, x_j) \geq \alpha, \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, \quad i \neq j$ (1b)
 $|x_j| \geq L_j, \quad L_j \in \Psi(\dots), \quad \forall j \in \mathcal{J}$ (1c)
 $L_i = L_j, \quad \forall i, j \in \mathcal{I}, \quad i \neq j$ (1d)
 $f_j(x_1, \dots, x_i) \leq \beta, \quad \forall j \in \mathcal{J}$ (1e)
 $g_j(x_1, \dots, x_i) \geq \gamma, \quad \forall j \in \mathcal{J}$ (1f)



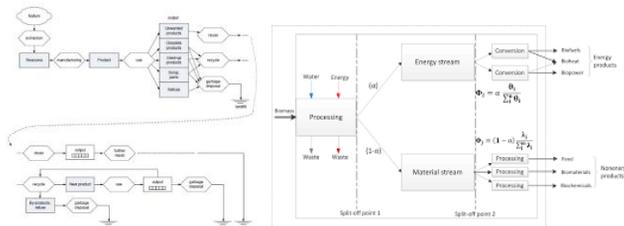
Bem como.....



Design Sustentável



Consolidação de um Banco de Dados Brasileiro (SiCV) (<https://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>)



Contribuição para aprimoramento da técnica de ACV

ACV aplicada à tomada de decisão

Quem toma decisões usando ACV?

- Gerentes e/ou planejadores de produtos da empresa
- Compradores
- Consórcios do setor industrial
- Criadores de políticas regionais ou nacionais
- Consumidores, clientes e usuários de produtos

Que motivações e expectativas ao fazer isso?

- Aprender sobre o desempenho ambiental de produtos e serviços
- Minimização dos custos de produção e regulamentação
- Minimização dos danos ambientais e para a saúde humana
- Compreender os trade-offs entre várias categorias de impacto e fases do produto
- Apoio a distribuição econômica equitativa e às operações lucrativas

Atores desse segmento e ferramentas de suporte

Atores Internacionais



Atores no Brasil



Softwares de apoio a estudos de ACV



ACV no Brasil em nível empresarial

Companhias (organizações) brasileiras ou multinacionais instaladas no país que usam ou usaram alguma vez o enfoque de ACV

<ul style="list-style-type: none"> • BASF (FEE) • BRASKEM • DaimlerChrysler S.A. • Danone • EMAE (GESP) • EMBRAER • EMBRAPA • Ford do Brasil S.A. • General Eletric • GM do Brasil S.A. • Grupo Boticário • Grupo Odebrecht • Grupo Pão de Açúcar • IHARABRAS • Ingredient • Instituto SustenPlást (Tampinha Legal) • Johnson & Johnson 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercedes-Benz • MWM Motores • Natura Cosméticos • Nestlé • Oxiteno • Petrobras • Polibrasil • Real ABN-AMRO • Reckitt • RL Higiene • Santhander • Suzano Papel e Celulose • Tetra Pak • Two Sides • USIMINAS • Vale Fertil (Vale do Rio Doce) • VW
--	--

Aplicações mais frequentes:

- Indicadores de Sustentabilidade
- EPD: Environmental Product Declaration
- PCR: Product Category Rules (EPD & PCR: Rotulagem Ambiental)

EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO n.2

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