

# Avaliação da sustentabilidade de tecnologias – abordagens e indicadores

Paula Antunes

CENSE – Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade Nova de Lisboa

[mpa@fct.unl.pt](mailto:mpa@fct.unl.pt)

# Sumário

- Sustentabilidade na indústria do alumínio
- Análise de Ciclo de Vida como referencial de avaliação da sustentabilidade da indústria do alumínio
- Avaliação da sustentabilidade - métricas
  - Abordagens baseadas num único indicador – pegada ecológica, carbon footprint
  - Sistemas de indicadores

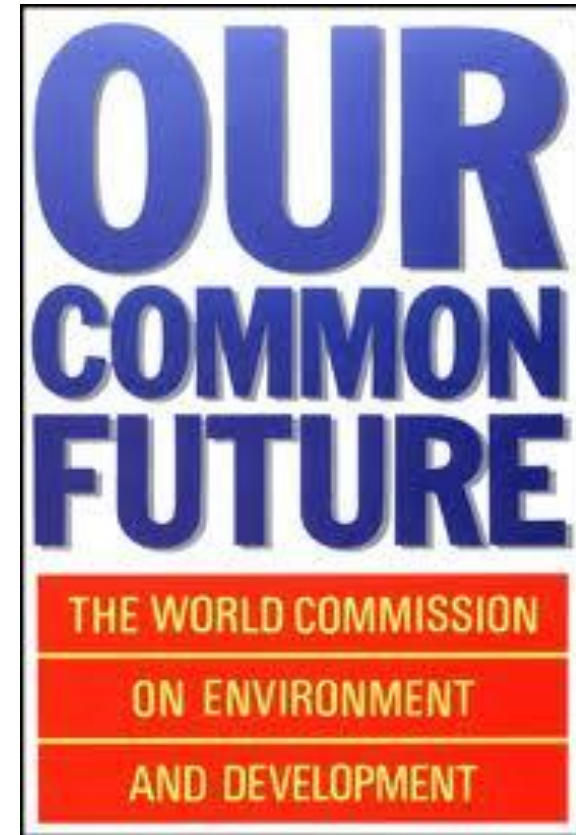
# Desenvolvimento sustentável

Relatório Bruntland (WCSD, 1987)

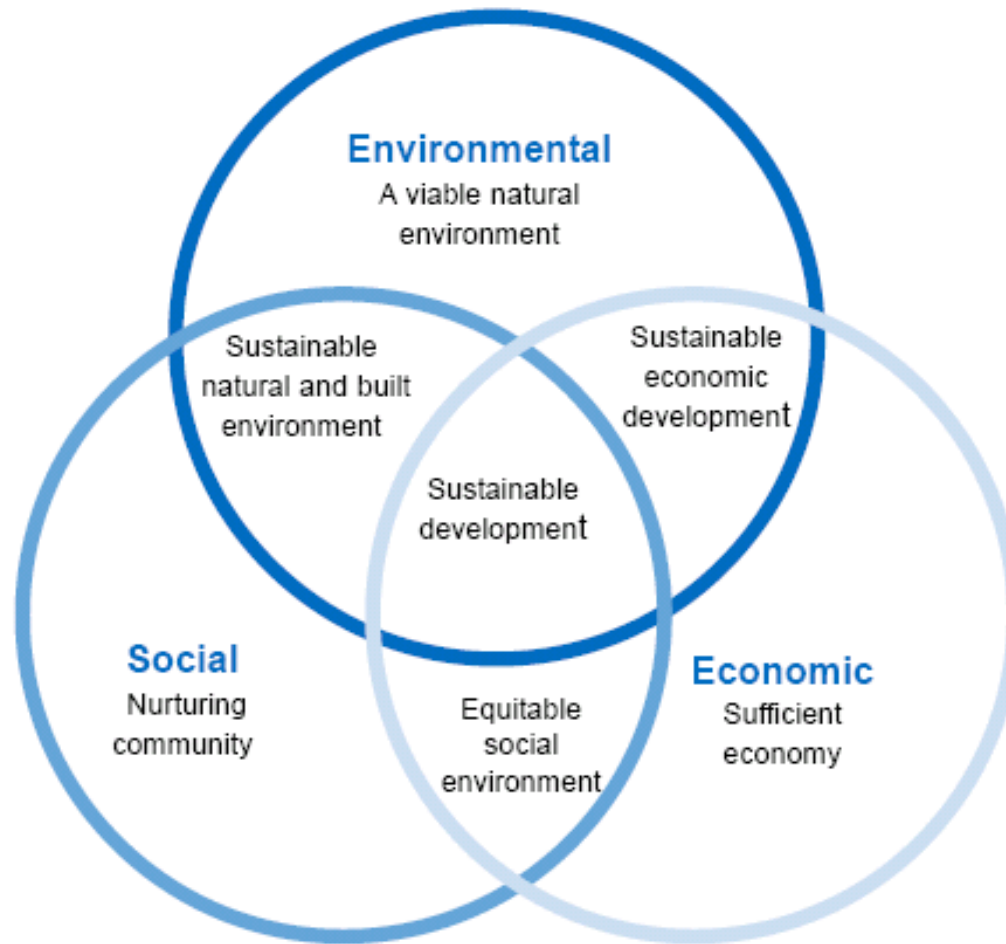
.... ***“desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”***

Equidade intra e intergeracional

Desenvolvimento compatível com restrições ambientais



# Sustentabilidade



# Sustentabilidade

*Possibility* that humans and other life will  
*flourish* on the Earth *forever*

J. Ehrenfeld, 2008

# Sustentabilidade na indústria do alumínio

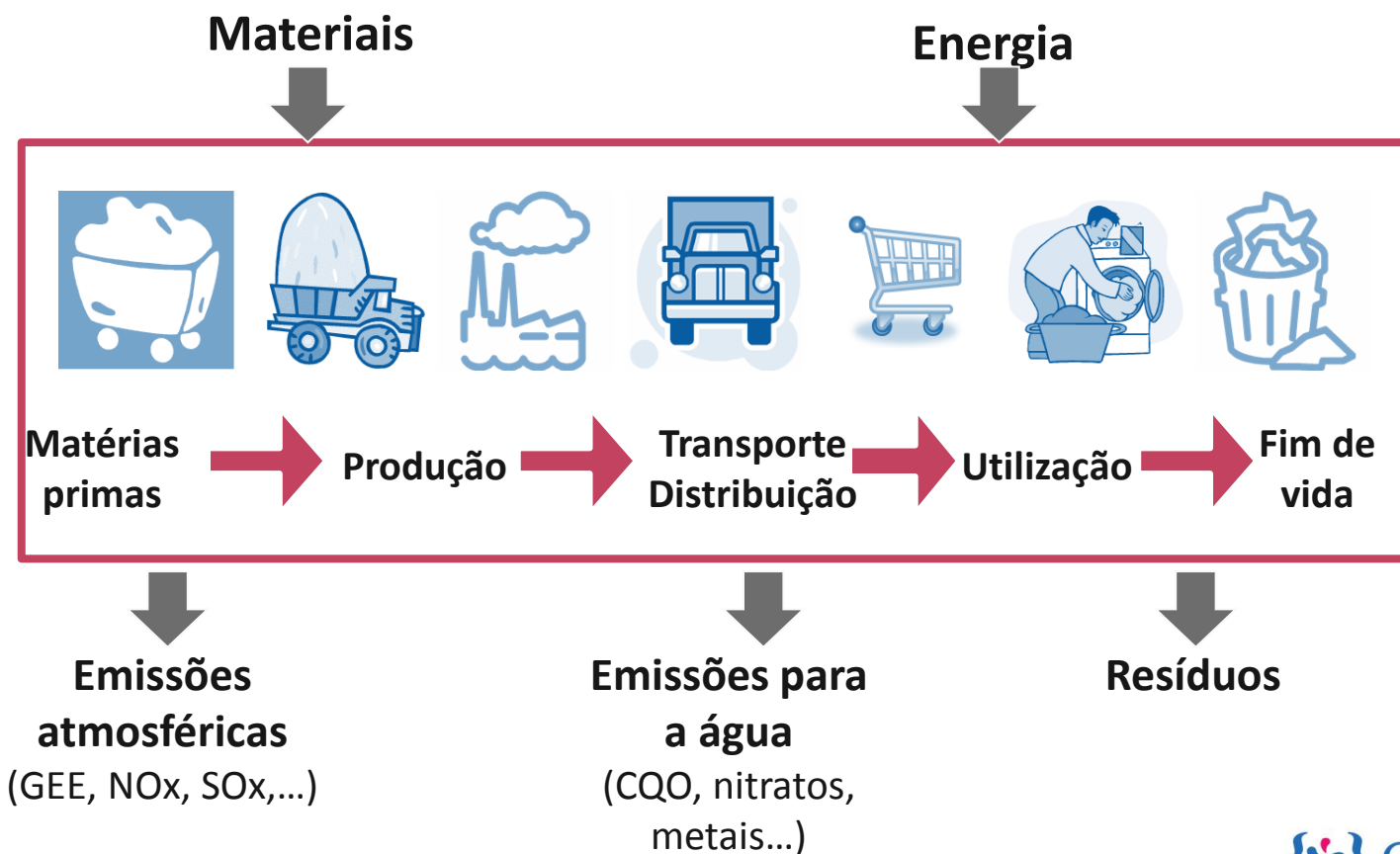
## European Aluminium Association

- **Satisfazer as necessidades** da sociedade moderna e **criar valor** através da oferta de produtos de alumínio com propriedades únicas
- Criar oportunidades para **reduzir os impactes ambientais** através da utilização de produtos de alumínio, reduzindo em simultâneo os impactes ambientais dos processos produtivos e dos produtos de alumínio ao longo do seu ciclo de vida
- Demonstrar **responsabilidade social** para com os colaboradores, clientes, fornecedores, comunidades locais e para com a sociedade em geral
- Conseguir um **progresso contínuo** através da partilha de **boas práticas** e **reporte** regular baseado em indicadores
- Encorajar as empresas do sector a trabalhar em linha com convenções internacionais como a UN Global Compact.

Nordheim and Barrasso, 2007; Schrynmakers, 2008.

# Sustentabilidade na indústria do alumínio

Aplicação de princípios de sustentabilidade requer adopção de perspectiva de análise de ciclo de vida



# Análise de Ciclo de Vida

**Compilação e avaliação dos inputs, outputs e potenciais impactes ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida**

(ISO 14040)

Visão holística de sistemas industriais (do ‘berço à cova’) permitindo às empresas, autoridades ambientais e público identificar e avaliar os impactes ambientais dos produtos ao longo da cadeia de valor



# Análise de Ciclo de Vida



# Metodologia de ACV – Normas ISO

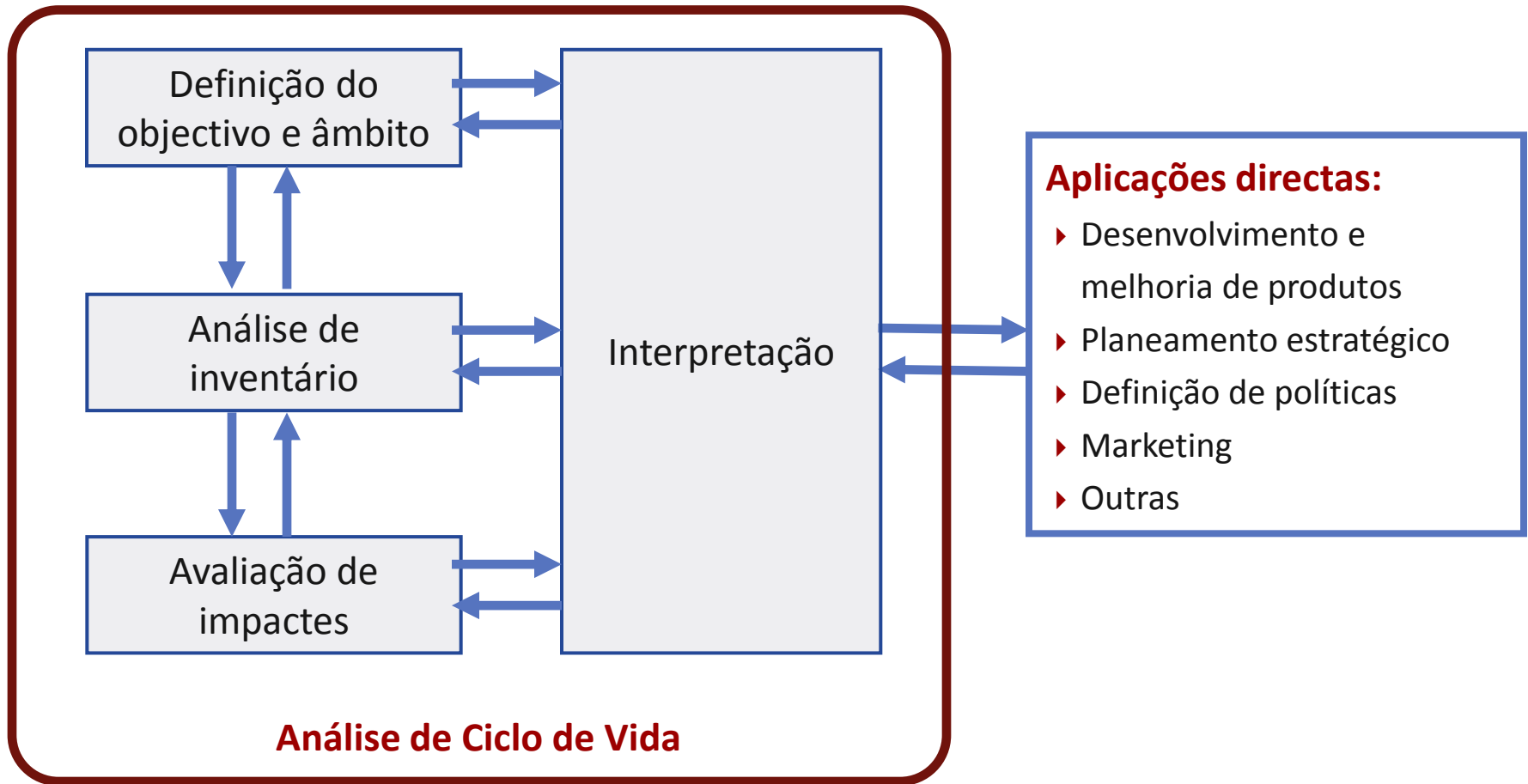


- **ISO 14040:2006** – Life cycle assessment – Principles and framework
- **ISO 14044:2006** – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

(substituem ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000, ISO 14043:2000)

- Metodologia estruturada – 4 fases
- Especifica regras, requisitos e procedimentos
- Dados e metodologias de cálculo não são especificados
- Grande ênfase na transparência e reporte

# Metodologia de ACV (ISO 14040)



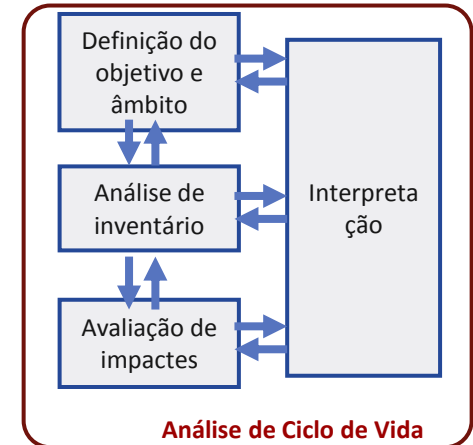
# Definição do objectivo e âmbito

## ■ Objectivo

- Aplicação pretendida
- Razões para realizar o estudo
- Público alvo e comunicação de resultados

## ■ Âmbito do estudo

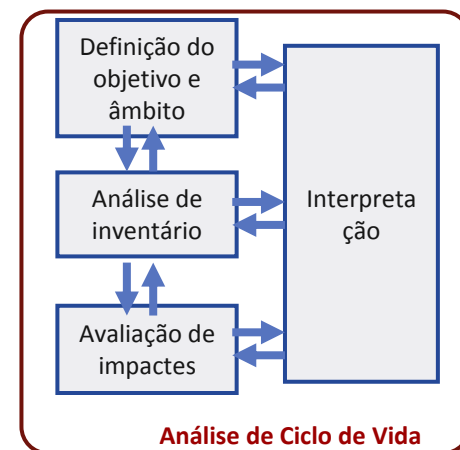
- Função, unidade funcional e fluxo de referência
- Fronteiras do sistema
- Metodologia
- Requisitos de dados – devem permitir alcançar o objectivo enunciado
- Revisão crítica e outros aspectos processuais



# Análise de inventário

## Fluxos de referência

Substância	Unidade	Aço	SMC Compósito	Alumínio
Peso final	kg	10 kg	7 kg	3.8 kg
<b>Materiais</b>				
Massa	kg	15.4	7	5.9
<b>Manufatura</b>				
Eletcricidade	kWh	19.7	4.7	15.2
Fuelóleo	kg	2.3	0.56	1.8
<b>Utilização</b>				
Gasolina*	l	80	56	30.4
Taxa de reciclagem	%	0%	0%	0%



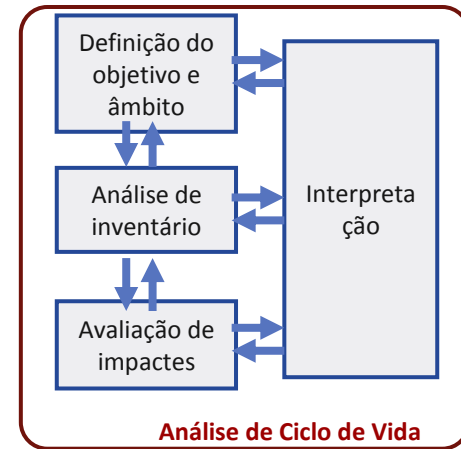
## Inventário

**Bases de dados**

Substância	Unidade	Aço	Compósito	Alumínio
Peso	kg	10 kg	7 kg	3.8 kg
<b>Recursos</b>				
Energia	MJ	4287	2865	2686
<b>Ar</b>				
CO2	kg	317	222	179
CO	kg	2.6	1.6	0.9
NOx	kg	0.32	0.52	0.23
SO2	kg	0.063	0.173	0.35
Cd	kg	4.0E-6	4.6E-6	4.9E-6
Pb	kg	3.8E-4	2.2E-4	1.4E-4
<b>Água</b>				
Pb	kg	3.1E-4	2.0E-5	1.5E-4
Nitratos	kg	1.9E-4	5.3E-4	8.2E-4

# Avaliação de impactes

- Fase destinada a compreender e avaliar a magnitude e significância dos potenciais **impactes ambientais de um sistema de produto**.
- Relacionar os resultados da fase de inventário com os seus potenciais impactes nas **áreas de protecção ambiental** – saúde humana, ambiente natural, recursos naturais e, até certa medida ambiente construído

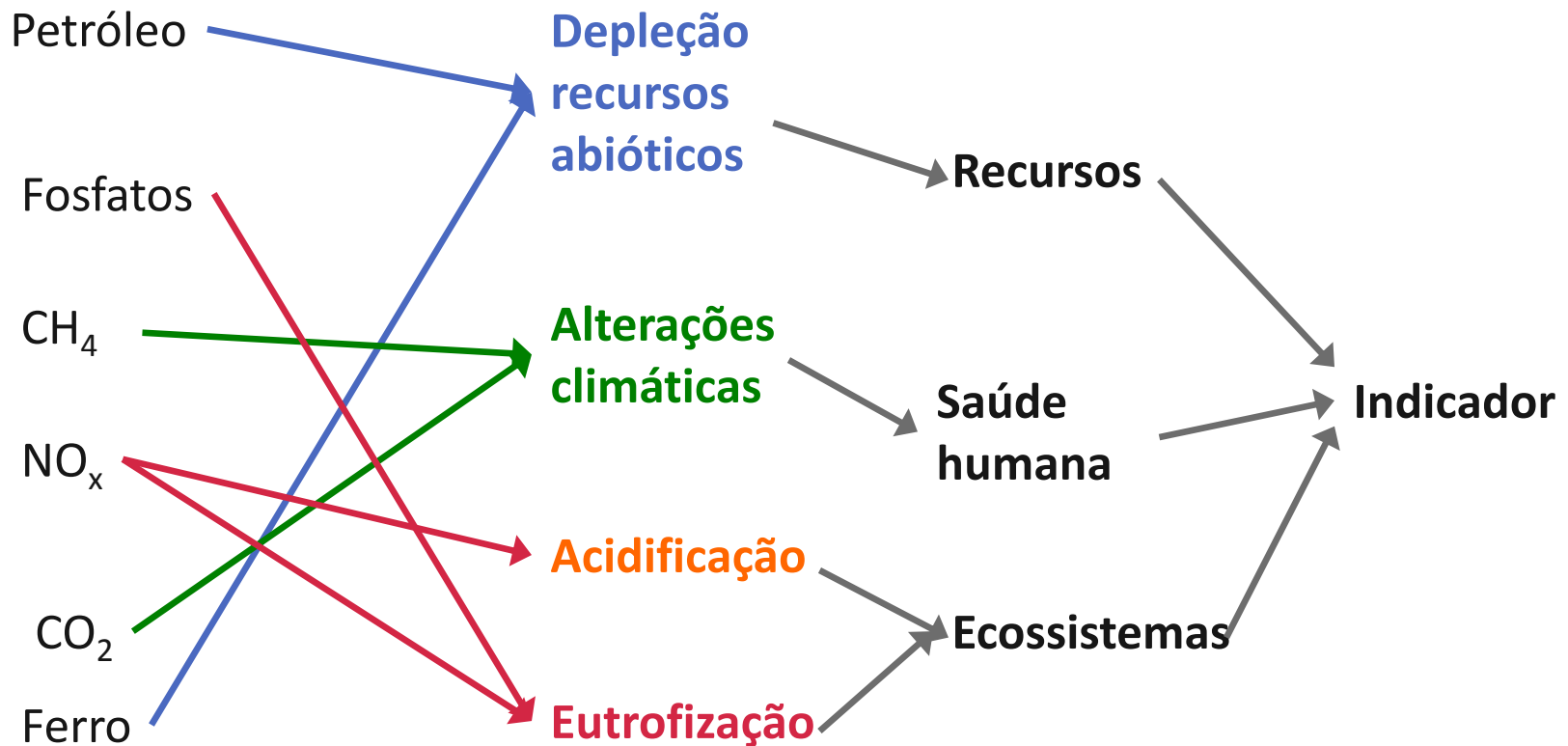


# Avaliação de impactes

Categoria	Indicador	Factor de caracterização	Unidade
<b>Depleção recursos abióticos</b>	Reservas últimas/ utilização anual	Potencial de depleção abiótica	kg Sb eq.
<b>Alterações climáticas</b>	Forçamento radiativo infravermelho	Potencial de aquecimento global para 100 anos	kg CO <sub>2</sub> eq.
<b>Depleção do ozono estratosférico</b>	Destruição de ozono estratosférico	Potencial de depleção do ozono	kg CFC-11 eq.
<b>Toxicidade humana</b>	Dose diária aceitável/ dose diária previsível	Potencial de toxicidade humana	kg 1,4 – DCB eq.
<b>Ecotoxicidade</b>	[ ] ambiental prevista/ [ ] s/ efeito	Potencial de ecotoxicidade	kg 1,4 – DCB eq.
<b>Oxidantes fotoquímicos</b>	Formação de ozono troposférico	Potencial de formação de ozono fotoquímico	kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> eq.
<b>Acidificação</b>	Deposição/carga crítica de acidificação	Potencial de acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq.
<b>Eutrofização</b>	Deposição/ N/P equivalentes	Potencial de eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq.

# Avaliação de impactes

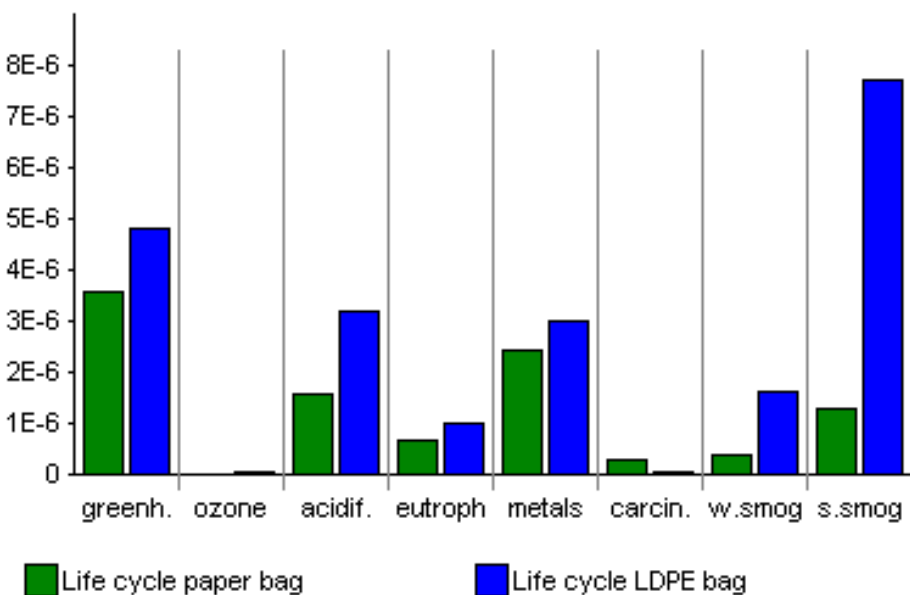
**Classificação**   **Caracterização**   **Normalização**   **Ponderação**



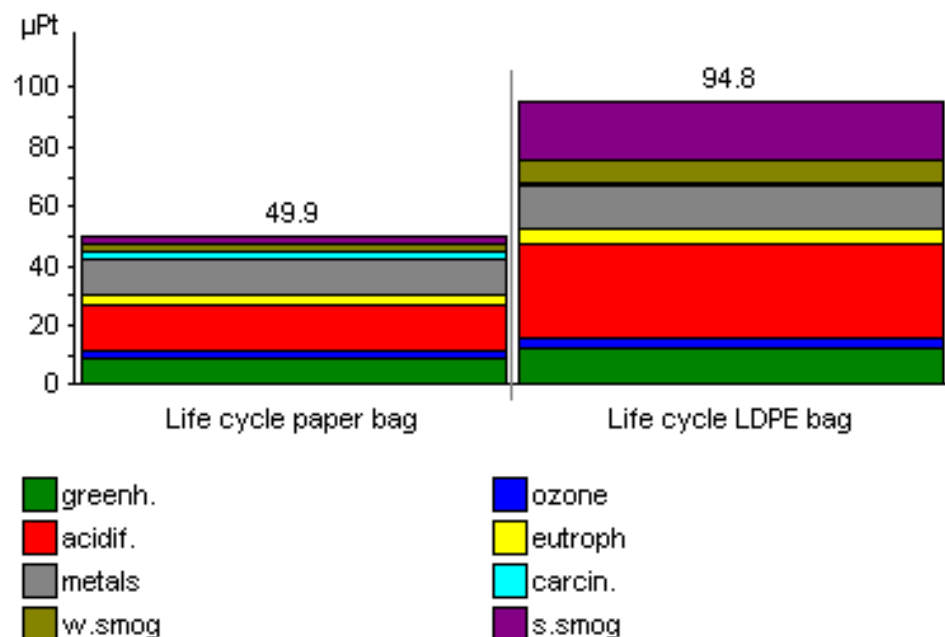


# ACV - Resultados

Normalization of paper and LDPE bag life cycles

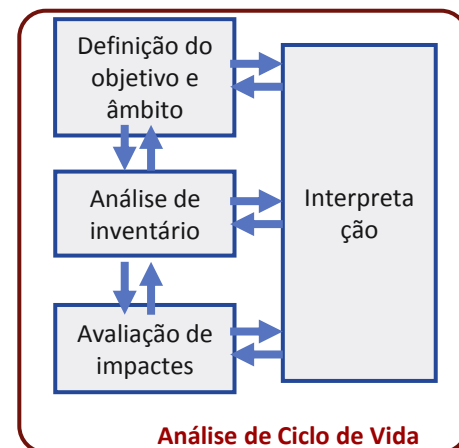


Indicator of paper and LDPE bag life cycles



# Interpretação

Resultados das fases anteriores são analisados em função do objectivo e âmbito estabelecidos para o estudo de modo a chegar a conclusões e recomendações



## Inclui:

- Identificação dos aspectos significativos
  - Verificação de 'completeness'
  - Análise de sensibilidade
  - Verificação de consistência
- Conclusões, recomendações e reporte
  - Análise de contribuições
  - Revisão crítica

# Análise de Ciclo de Vida

## Aspectos importantes

- Análise efectuada com referência à fase de uso dos produtos

Definição de unidade funcional e fluxo de referência são aspectos fundamentais numa ACV – impossível comparar produtos/processos/tecnologias sem ter em atenção as suas aplicações.

- Muitos estudos que referem ser ACV apenas focam ‘cradle to gate’ ou ‘cradle to site’, não contemplando todos os estágios do ciclo de vida (‘cradle to grave’ ou ‘cradle to cradle’)
- Categorias de impacto consideradas no estudo afectam significativamente resultados – considerar apenas energia ou alterações climáticas dá uma visão parcial
- Dados são fundamentais em ACV – credibilidade das fontes de dados utilizadas e pressupostos claros e verificáveis

# Avaliação de sustentabilidade

*If we could first know where we are, and wither we are tending,  
we could better judge what to do, and how to do it...*

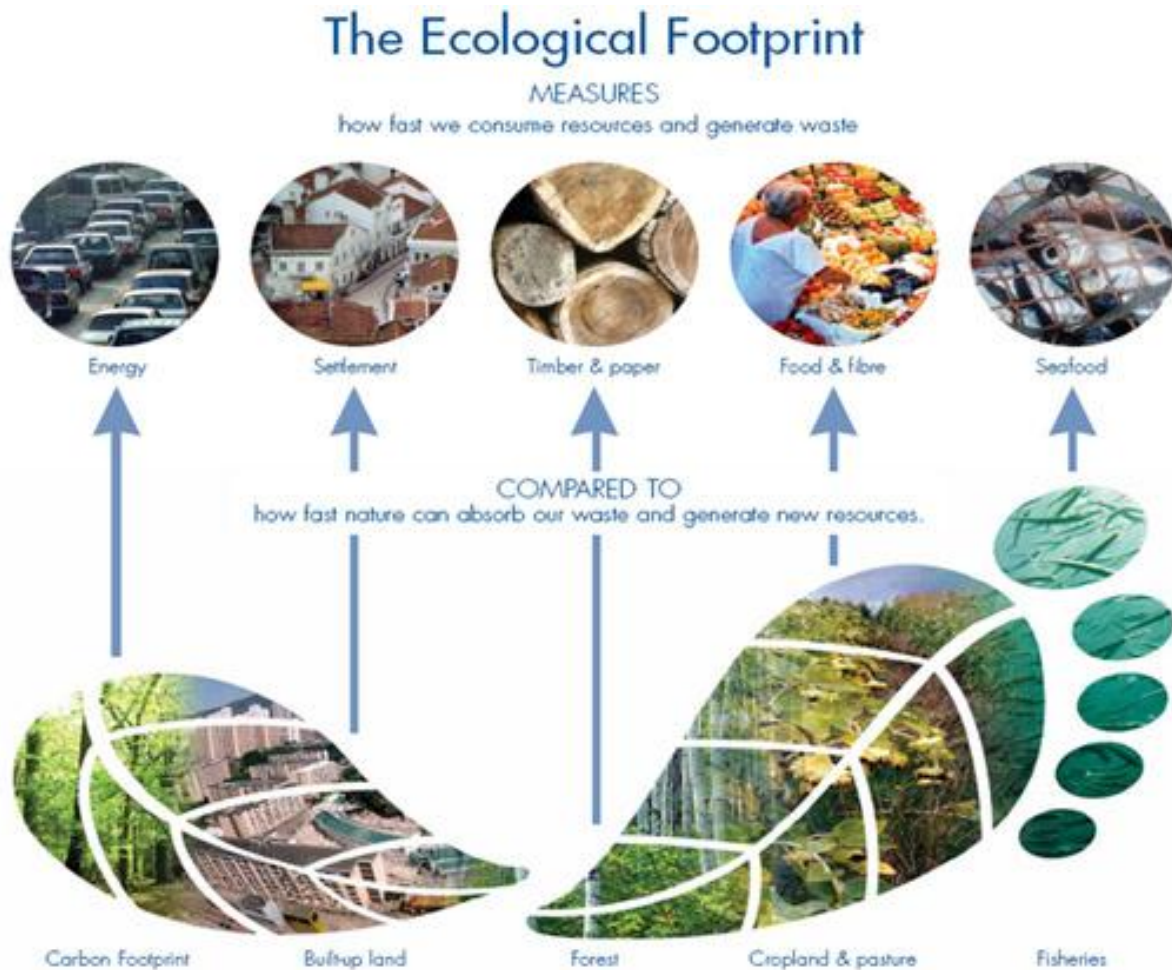
Abraham Lincoln,  
speech to the Illinois Republican State Convention  
-June 16, 1858

1. Abordagens baseadas num único indicador
2. Múltiplos indicadores

# Avaliação de sustentabilidade – abordagens com base num único indicador

## Pegada ecológica (Wackernagel e Rees, 1996)

Área biologicamente produtiva (terrestre e marinha) necessária para produzir numa base continuada todos os bens consumidos e assimilar todos os resíduos produzidos por uma população.



# Avaliação de sustentabilidade – abordagens com base num único indicador

## Pegada de carbono

*Quantidade total de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) causados por uma população, sistema ou atividade considerando todas as fontes, sumidouros e armazenagem relevantes.*

*Medida da quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> causada direta e indiretamente por uma atividade ou acumulada nos estágios do ciclo de vida de um produto*

*Emissões totais de GEE causadas diretamente por uma pessoa, organização, evento ou produto considerando todos os GEE do Protocolo de Quioto.*



# Pegada de carbono

Carbon Footprint of Aluminium | The Green Ration Book

2/27/12 4:36 PM

home

food

building

transport

technology

about

## green ration book

*the cost of everyday living*



### Carbon Footprint of Aluminium

CO<sub>2</sub>e: 20 kg per kg (13 days, 7 hours)

Reference 1: <http://www.york.ac.uk/sei/projects/completed-projects/york-ecological-footprint/>  
A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York

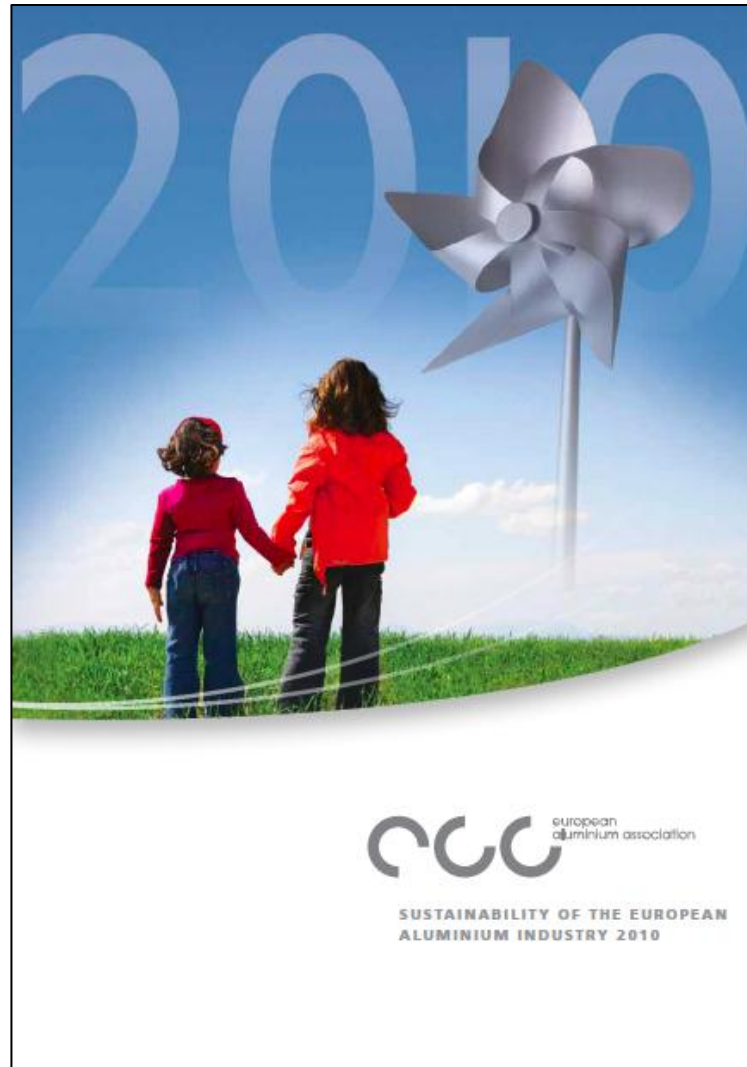
For each tonne of aluminium reference 1 gives these figures for Co<sub>2</sub> per tonne

Aluminium cans 19.67

Aluminium foil 24.45



# Indicadores de sustentabilidade – indústria do alumínio





# Indicadores de sustentabilidade – indústria do alumínio

Table 1

EAA list of sustainable development indicators: structure and grouping of indicators

## *1. Policy and management efforts*

- 1.1. EAA sustainability mission statement
- 1.2. Plant certification

## *2. Production*

- 2.1. Total production

## *3. Competitiveness.*

- 3.1. Aluminium use per capita
- 3.2. R&D expenditure and personnel
- 3.3. Value added

## *4. Revenues and payment*

- 4.1. Total revenue
- 4.2. Taxes paid

## *5. Employee conditions and relations*

- 5.1. Training performance
- 5.2. Wage levels
- 5.3. Total number of employees

## *6. Community relationship*

- 6.1. Community expenditure
- 6.2. Community dialogues
- 6.3. Community health initiatives

## *7. Health and safety*

- 7.1. Total recordable incident rate
- 7.2. Lost time incident rate
- 7.3. Fatalities
- 7.4. Severity rate
- 7.5. Employee exposure assessment
- 7.6. Employee health assessment

## *8. Resource use global*

- 8.1. Bauxite availability
- 8.2. Mine rehabilitation

## *9. Resource use – European*

- 9.1. Energy consumption
- 9.2. Renewable energy
- 9.3. Fresh water consumption

## *10. Emissions*

- 10.1. Water effluent
- 10.2. Climate gases emissions
- 10.3. Fluoride emissions
- 10.4. BaP emissions
- 10.5. Bauxite residue deposited
- 10.6. SPL deposited

## *11. Product life cycle*

- 11.1. Use phase
- 11.2. End of life phase
- 11.3. Life cycle aspects

# Indicadores de sustentabilidade – indústria do alumínio

## 4.2. Value Added

		M€
Alumina and Metal Production	1997	L.D.
	2002	3 670,8
	2005	4 477,8
	2008	4 676,5
	2009	2 288,8
Semi-fabrication	1997	L.D.
	2002	5 219,4
	2005	6 746,1
	2008	8 414,7
	2009	6 242,5
Aluminium Industry	1997	L.D.
	2002	8 890,2
	2005	11 223,9
	2008	13 091,2
	2009	8 531,2

## 4.3. Capital Investments

		M€
Alumina and Metal Production	1997	na
	2002	na
	2005	589,4
	2008	708,4
	2009	328,9
Semi-fabrication	1997	na
	2002	na
	2005	693,1
	2008	926,4
	2009	549,0
Aluminium Industry	1997	na
	2002	na
	2005	1 282,4
	2008	1 634,9
	2009	877,8

# Indicadores de sustentabilidade – indústria do alumínio

## 7.2. Community Dialogue

		% penetration
Alumina and Metal Production	1997	26%
	2002	53%
	2005	83%
	2008	77%
	2009	78%
Semi-fabrication	1997	27%
	2002	42%
	2005	76%
	2008	78%
	2009	81%
Aluminium Industry	1997	27%
	2002	46%
	2005	79%
	2008	78%
	2009	80%

## 5.1. Total Number of Employees

		# persons
Alumina and Metal Production	1997	32 450
	2002	31 051
	2005	29 614
	2008	28 235
	2009	25 932
Semi-fabrication	1997	57 101
	2002	60 901
	2005	57 960
	2008	67 367
	2009	62 534
Aluminium Industry	1997	89 551
	2002	91 952
	2005	87 574
	2008	95 602
	2009	88 466

# Indicadores de sustentabilidade – indústria do alumínio

## 10.1. Energy Consumption

			kWh/t
Alumina and Metal Production	Primary	1997	15 630
		2002	15 434
		2005	14 869
		2008	14 999
		2009	15 055
Semi-fabrication	Rolling	1997	547,0
		2002	525,9
		2005	662,0
		2008	502,9
		2009	526,5
	Extrusion	1997	L.D.
		2002	792,1
		2005	736,2
		2008	737,5
		2009	795,4

## 8.1. GreenHouse Gas Emissions

			kgCO <sub>2</sub> eq/t
Metal Production	Alumina	1997	723
		2002	757
		2005	652
		2008	638
		2009	688
	Primary	1997	3 634
		2002	2 703
		2005	2 465
		2008	1 993
		2009	1 941
	Recycling	1997	411
		2002	265
		2005	214
		2008	205
		2009	197
Semi-fabrication	Rolling	1997	120
		2002	115
		2005	117
		2008	111
		2009	117
	Extrusion	1997	L.D.
		2002	146
		2005	162
		2008	148
		2009	164

# Indicadores de sustentabilidade

## Indicadores únicos vs conjuntos de indicadores

- Impossível capturar num único indicador as múltiplas dimensões da sustentabilidade
- Indicadores unidimensionais apenas nos permitem ter uma visão parcial do problema – só permitem conclusões acerca da dimensão que traduzem
- Conjuntos de indicadores não dão noção de escala agregada e tornam muito difícil efetuar comparações

# Conclusões

- Avaliação da sustentabilidade é uma questão central no desenvolvimento das estratégias empresariais e na interface com as autoridades, ONGs, consumidores e cidadãos.
- Sustentabilidade – conceito multidimensional cuja avaliação implica consideração de múltiplas vertentes
- ACV como referencial conceptual de análise para avaliar sustentabilidade de tecnologias, produtos e serviços
- Abordagens baseadas num único indicador são simples e poderosas em termos de comunicação, mas podem ser enganadoras
- Abordagens com base em múltiplos indicadores – dificuldades na escolha e na interpretação de resultados

**Em síntese – não existe abordagem óptima; necessidade de aprofundar conceitos e metodologias e desenvolver mais estudos aplicados**

# Obrigada !

[www.cense.fct.unl.pt](http://www.cense.fct.unl.pt)