



LOQ4264

ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

Professor Dr. José Eduardo Holler Branco



Escola de Engenharia de Lorena
Universidade de São Paulo



AULA III

DESIGN DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS

DESIGN DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS

- Princípios de Hannover (McDonough and Braungart, 1992):
 - Persistir na coexistência dos direitos da humanidade e da natureza;
 - Respeitar as relações entre existência humana e matéria;
 - Aceite a responsabilidade pelas consequências do design de sistemas produtivos sobre o bem-estar humano;
 - Crie objetos seguros de valor a longo prazo;
 - Elimine o conceito de desperdício;
 - Priorize os fluxos de energia natural;
 - Entenda as limitações do design de sistemas produtivos; e
 - Buscar o aperfeiçoamento constante pelo compartilhamento do conhecimento.

DESIGN DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS

- Princípios de Engenharia Sustentável de Sandestin (Abraham and Nguyen, 2003; Shonnard et al., 2007):
 - Projete processos e produtos de forma holística, use abordagem de sistemas e integre ferramentas de avaliação de impacto ambiental;
 - Conservar e melhorar os ecossistemas naturais, protegendo a saúde e o bem-estar humanos;
 - Use a abordagem de ciclo de vida em todas as atividades de engenharia;
 - Certifique-se de que todas as entradas e saídas de materiais e energia sejam tão inerentemente seguras e benignas quanto possível;
 - Minimizar o esgotamento dos recursos naturais;
 - Esforce-se para evitar o desperdício;
 - Desenvolva e aplique soluções de engenharia, levando em conta aspectos geográfico, aspirações e culturas locais;
 - Melhorar, inovar e inventar tecnologias para alcançar a sustentabilidade, visando a substituição de tecnologias atuais ou dominantes; e
 - Envolver ativamente comunidades e partes interessadas no desenvolvimento de soluções de engenharia sustentáveis.

DESIGN DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS

- Indicadores de performance econômica:

Os custos causados pelo baixo desempenho ambiental e social podem ser muito grandes:

- Desperdício, taxas de descarte, custos de licenciamento e custos de responsabilidade podem ser substanciais;
- Matéria-prima desperdiçada, energia desperdiçada e produção reduzida, consequências ambientais de resíduos e emissões; e
- A imagem corporativa e as relações com trabalhadores e comunidades podem sofrer se o desempenho for abaixo do padrão. Mas como esses custos podem ser quantificados?

INDICADORES DE PERFORMANCE ECONÔMICA

- Método de Avaliação de Custo Total desenvolvido pela Centro do Instituto Americano de Engenheiros Químicos para Tecnologias de Redução de Resíduos (AIChE CWRT, 2000):
- Classifica em cinco categorias os custos associados às emissões e geração de resíduos de acordo com seus pesos e magnitudes:

TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 4	TIER 5
• Custos normalmente capturados por meio de modelos tradicionais de avaliações econômicas (ativos produtivos, materiais consumidos, trabalho, insumos produtivos, serviços públicos, infraestrutura, valor residual de ativos)	■ Custos ambientais administrativos e regulatórios normalmente não atribuídos na avaliação econômica de projetos (custos ocultos, não captados no TIER 1)	■ Custos de responsabilidades (passivos ambientais e sociais, remediação de passivos, multas e penalidades, obrigações de indenizar partes privadas por danos pessoais, danos materiais e danos econômicos, danos punitivos e danos aos recursos naturais)	■ Custos ou benefícios internos a uma empresa, associados a performance ambiental e social (forças de liderança, engajamento e motivação dos colaboradores, reputação da empresa junto a clientes, investidores, seguradoras, credores)	• Custos ou benefícios externos a uma empresa, associados a performance ambiental e social (efeitos do desempenho social e ambiental no macroambiente, impactando no bem estar da comunidade, e influenciando a gestão pública e aspectos regulatórios)

INDICADORES DE PERFORMANCE ECONÔMICA

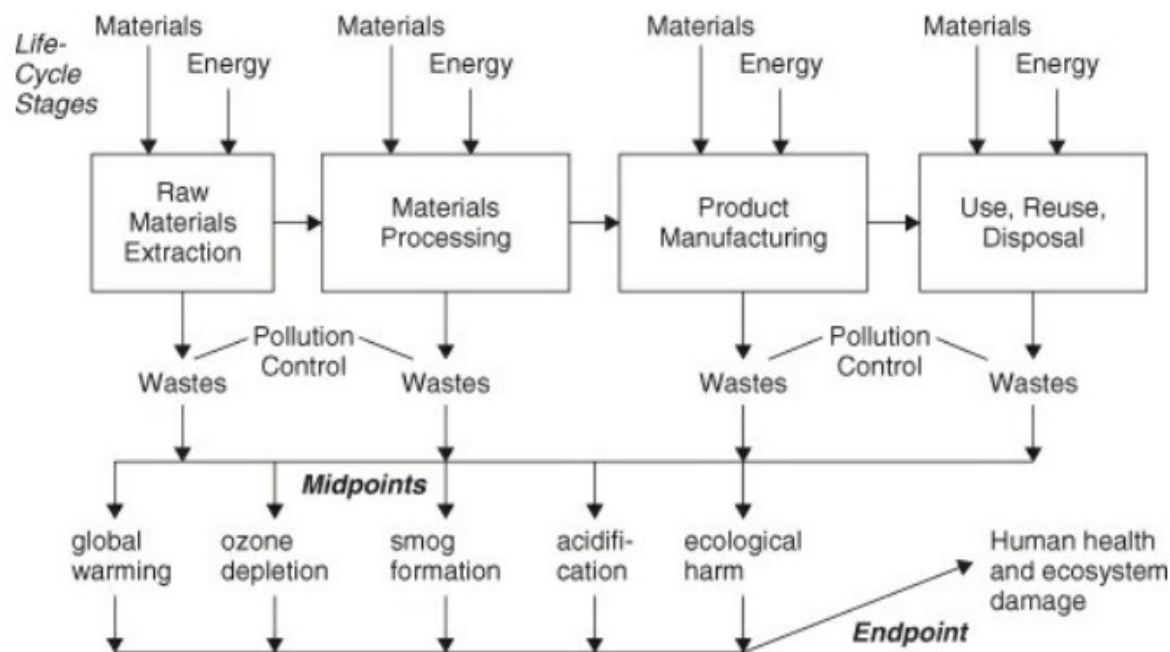
- Exemplos de custos ambientais normalmente registrados como custos indiretos (TIER 1):
 - Taxas de gerenciamento de resíduos fora do local;
 - Equipamento de tratamento de resíduos;
 - Despesas operacionais com tratamento de resíduos;
 - Solicitação de licenças;
 - Processos de amostragem;
 - Realização de inventários de resíduos e emissões;
 - Preenchimento de manifestos de resíduos perigosos;
 - Fazer e atualizar planos de contingência;
 - Amostragem de águas pluviais; e
 - Relatórios sobre planos e atividades de prevenção da poluição (alguns estados).

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

- Conceitos básicos:
- Indicadores usados para avaliar a performance de um processo ou qualquer atividade humana que consome recursos naturais e gera resíduos de volta para a natureza;
- Muitas vezes é interessante desenvolver indicadores de desempenho ambiental dentro da abordagem do Ciclo de Vida do Produto; e
- Um modelo genérico de ciclo de vida do produto mostra os principais estágios de um sistema produtivo, os principais insumos e resíduos, e os efeitos e danos ao meio ambiente e ecossistemas causados pelos resíduos emitidos.

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

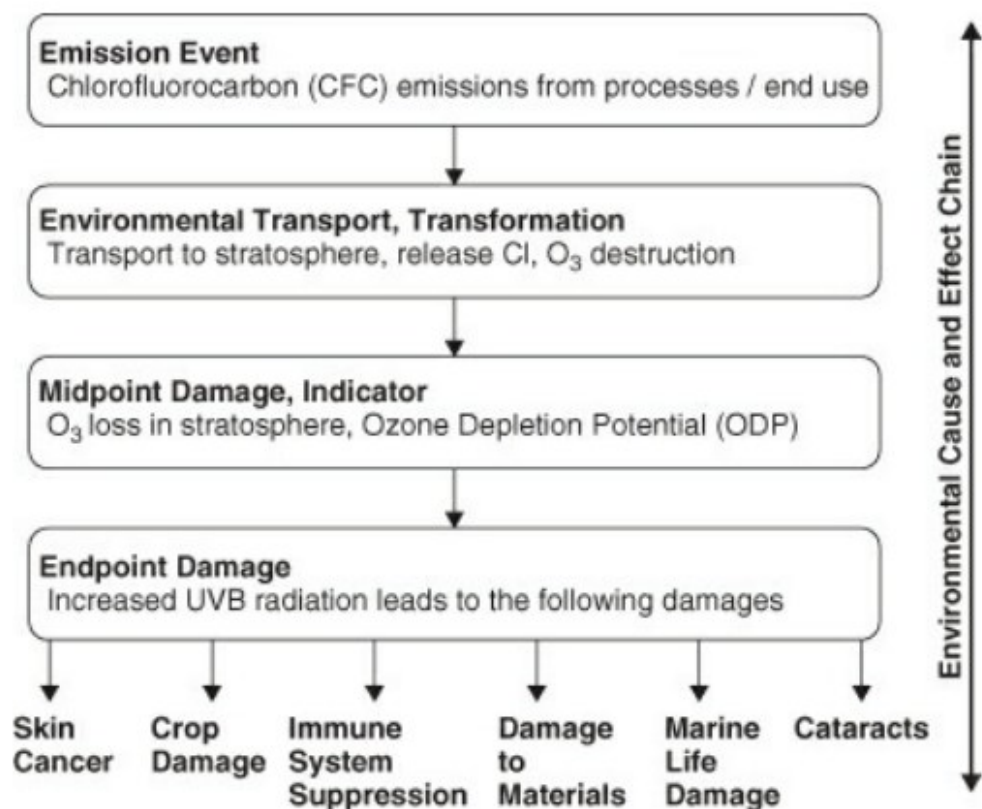
■ Modelo genérico de Análise de Ciclo de Vida do Produto



Allen e Shonard (2015)

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

- Indicadores intermediários de danos ambientais (Midpoint indicators) vs Indicadores finais (Endpoint indicators)



Adaptado de Bare et al. (2003) *apud* Allen e Shonard (2015)

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

- Etapas para estruturação de um modelo de Ciclo de Vida do Produto:

Classificação	Caracterização	Valoração
• Os insumos (inputs) e resíduos (outputs) medidos no processo de inventário são classificadas em categorias de impacto ambiental; • Ex.: Metano, Dióxido de Carbono são Gases do Efeito Estufa (GEE).	• Determinação do potencial de impacto ambiental dos inputs e outputs; • Ex.: Potencial de aquecimento global do Metano e Dióxido de Carbono.	• Importância relativa de cada categoria de impacto ambiental, de forma a definir um indicador único de performance ambiental global.

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

- Etapa de classificação (exemplos de categorias de impacto ambiental):
 - Aquecimento global;
 - Destruição da camada de ozônio;
 - Formação de smog fotoquímico;
 - Carcinogenicidade humana;
 - Acidificação da atmosfera;
 - Toxicidade aquática;
 - Toxicidade terrestre;
 - Destruição de habitats;
 - Esgotamento de recursos naturais não renováveis;
 - Eutrofização.

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

■ Determinação do impacto ambiental:

- Modelo de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential) (IPCC, 2007). Mede o potencial de aquecimento global em um determinado intervalo de tempo de um gás causador do efeito estufa (GEE), com relação ao potencial de aquecimento global do Dióxido de Carbono (CO₂):

$$GWP_i = \frac{\int_0^{TH} a_i c_i dt}{\int_0^{TH} a_{CO_2} c_{CO_2} dt}$$

Onde:

GWP: Potencial de aquecimento global de um GEE (*i*) com relação ao potencial de aquecimento do Dióxido de Carbono (CO₂);

TH: Horizonte de tempo (intervalo de tempo);

a_i: força radiativa do GEE (*i*) (*W/m²*). Influência que um determinado gás tem na alteração do balanço de entrada e saída de energia no sistema terra-atmosfera. É função da propriedade química de absorbância de energia ultravioleta de cada gás;

c_i: concentração estimada na atmosfera.

Allen e Shonard (2015)

INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL

- Determinação do impacto ambiental:

GEE – Gás do Efeito Estufa	GWP (AR4 - IPCC)*
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido nitroso (N ₂ O)	298

* AR4 - Fourth Assessment Report (IPCC, 2007)

INDICADORES DE SAÚDE HUMANA E DE ECOSSISTEMAS

- Indicadores de saúde humana e dos ecossistemas dependem tanto de fatores físicos e químicos, como fatores subjetivos. O método TRACI é um dos conjuntos de indicadores de base científica mais objetivo;
- O método fornece fatores de para avaliação de impacto nos estudos de Ciclo de Vida, e avaliação de métricas de sustentabilidade. Os fatores quantificam os impactos potenciais de insumos e emissões usando unidades de equivalência comuns, dentro das categorias de impacto ambientais, incluindo:
 - Destruição da camada de ozônio;
 - Alterações climáticas;
 - Acidificação;
 - Eutrofização;
 - Formação de poluição atmosférica;
 - Impactos na saúde humana; e
 - Ecotoxicidade.



INDICADORES DE PERFORMANCE SOCIAL

■ Indicadores de desenvolvimento sustentável social das Nações Unidas (UNDSD):

Theme	Subtheme	Core Indicator
Poverty	Income poverty	Proportion of population living below national poverty line
	Income inequality	Ratio of share in national income of highest to lowest quintile
	Sanitation	Proportion of population using an improved sanitation facility
	Drinking water	Proportion of population using an improved water source
	Access to energy	Share of households without electricity or other modern energy services
	Living conditions	Proportion of urban population living in slums
Governance	Corruption	Percentage of population having paid bribes
	Crime	Number of intentional homicides per 100,000 population
Health	Mortality	Under-five mortality rate
	Health care delivery	Percent of population with access to primary health care facilities
	Nutritional status	Nutritional status of children
	Health status and risk	Morbidity of major diseases such as HIV/AIDS, malaria, tuberculosis
Education	Education level	Gross intake ratio to last grade primary education
		Net enrollment rate in primary education
		Adult secondary (tertiary) schooling attainment level
	Literacy	Adult literacy rate
Demographics	Population	Population, growth rate, dependency rate
Natural hazards	Vulnerability to natural hazards	Percentage of population living in hazard-prone areas

Source: UNDSD, 2001

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, D.T., SHONNARD, D. R., Sustainable Engineering: concepts, design and case studies, Prentice Hall, 2015.

EPA – United States Environmental Protection Agency. 2022. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>>. Acessado em: 24 ago 2023.

IPCC – International Panel on Climate Change. 2007. Fourth Assessment Report. Disponível em: <Fourth Assessment Report — IPCC>. Acessado em: 24 ago 2023.

UNDSD - United Nations Division of Sustainable Development. 2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. New York: United Nations. Disponível em: <www.un.org/esa/sustdev/publications/indisd-mg2001.pdf>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

McDonough, W., and M. Braungart. 1992. “Hannover Principles.” www.mindfully.org/Sustainability/Hannover-Principles.htm.

Abraham, M. A., and N. Nguyen. 2003. “Green Engineering: Defining the Principles.” Results from the Sandestin Conference. Environmental Progress 22(4):233–36.

AIChE CWRT (American Institute of Chemical Engineers’ Center for Waste Reduction Technologies). 2000. Total Cost Assessment Methodology. New York: AIChE.