

Engenharia da Sustentabilidade:

Construindo um Futuro Resiliente

Prof Dr Messias Borges Silva





MESSIAS BORGES SILVA

Faculty member at

UNIVERSITY OF SÃO PAULO-USP

School of Engineering of Lorena- EEL-USP

SÃO PAULO STATE UNIVERSITY-UNESP

School of Engineering of Guaratinguetá

Visiting Scientist at

HARVARD UNIVERSITY

School of Engineering And Applied
Sciences

Massachusetts Institute of Technology-

MIT facilitator in Lean Enterprise -
International courses

PÓS GRADUAÇÃO



unesp 

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



UNICAMP

MESTRADO

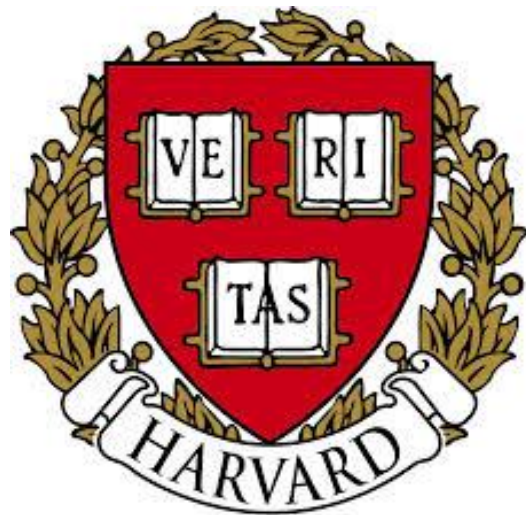
DOUTORADO

CURSO SUPERIOR

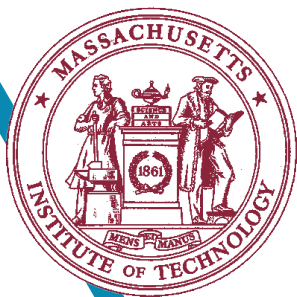


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

PÓS-DOUTORADO



ESPECIALIZAÇÃO



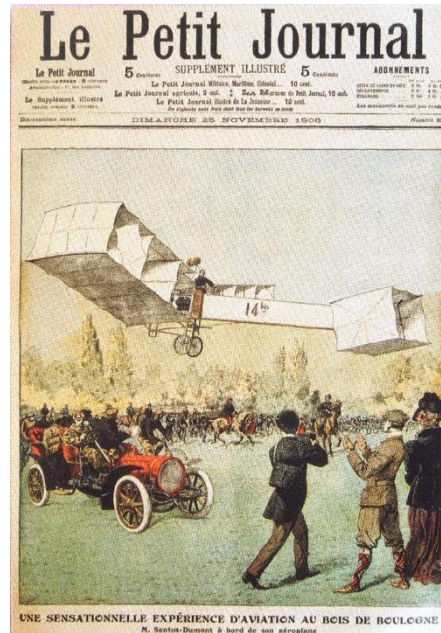
**Massachusetts
Institute of
Technology**

LIVRE DOCÊNCIA



- 
- 
- 
- **Acadêmico da Academia Brasileira da Qualidade ABQ**
 - **Espec. em Design of Experiments, Lean Enterprise, Lean Product Development, Innovation&Design Thinking, Innovation Beyond Buzzword (Massachusetts Institute of Technology-MIT-USA);**
 - **Professor convidado da Harvard University, Massachusetts Institute of Technology-MIT, University of Massachusetts, Colorado State University - USA, University of Tennessee e University of Minnesota-USA**
 - **Lider da CDIO Initiative na América Latina**
 - **Professor e Ex-Diretor Geral da EEL(USP-Lorena), UNESP**
 - **Coordenador do Curso de Pós-graduação em Engenharia da Qualidade da EEL-USP Lorena**

Constantes e Rápidas Mudanças na Tecnologia



Primeiro voo - Santos Dumont - 1906



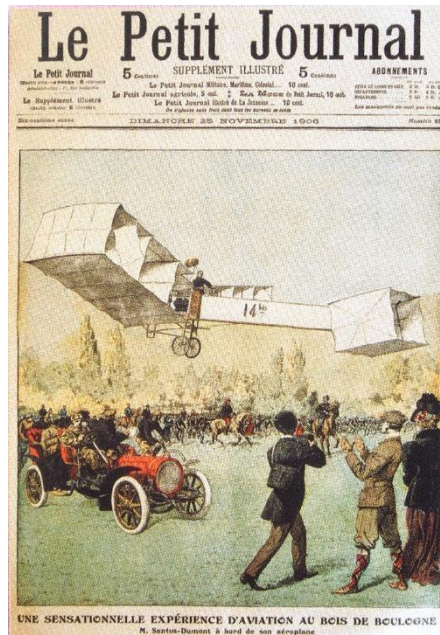
Primeiro passeio na Lua - Armstrong- Julho 1969

1906

63 anos

1969

Constantes e Rápidas Mudanças na Tecnologia



Primeiro voo - Santos Dumont - 1906



Primeiro passeio na Lua - Armstrong- Julho 1969

hoje

1906

63 years

1969

~56 years

2025

Desenvolvimentos desde 1960

Personal
computers,
mobile
computers

GPS systems,
communication
satellites

Genetic
sequencing, GM
Food, MRI

Internet,
networks, cloud
computing, IOT,
ATM

Cell phones,
smart phones,
CD, DVD,

LED, CCD,
smoke detector

Driverless
vehicles, drones

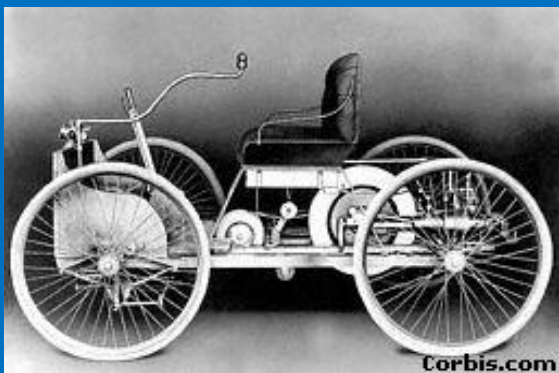
Search engines,
massive data
centers

Artificial
intelligence,
bots

Robotics, computer
numerical control, 3D
printing









Como esses produtos parecerão daqui 100 anos?



? ? ?



? ? ?



? ? ?

1900

2025
hoje

2125
100-anos no futuro

Video do Prof Paulo Artaxo com Presidente da República, STF e do Senado 2024

- <https://youtu.be/uEr1IqLUkiQ>
- Quais as implicações das mudanças climáticas para o Brasil?
<https://youtu.be/66drpHl6-g>
- O Clima do Mundo
<https://www.youtube.com/watch?v=vvrhAesBQtM&t=125s>

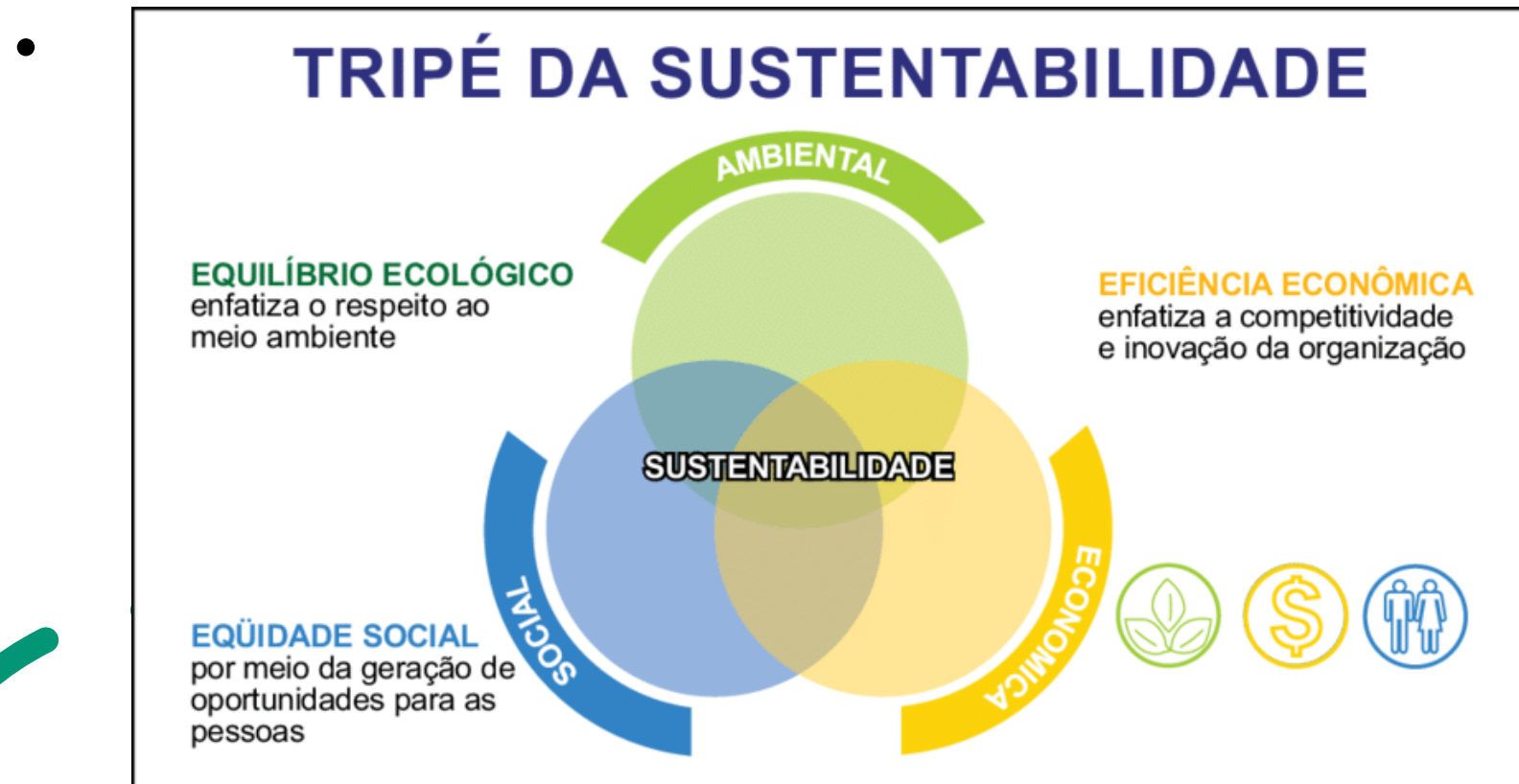
Introdução

papel fundamental
desta disciplina na
construção de um
futuro sustentável para
nosso planeta



Definição de Sustentabilidade

- "Sustentabilidade é a busca pelo equilíbrio entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos, visando atender às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras."

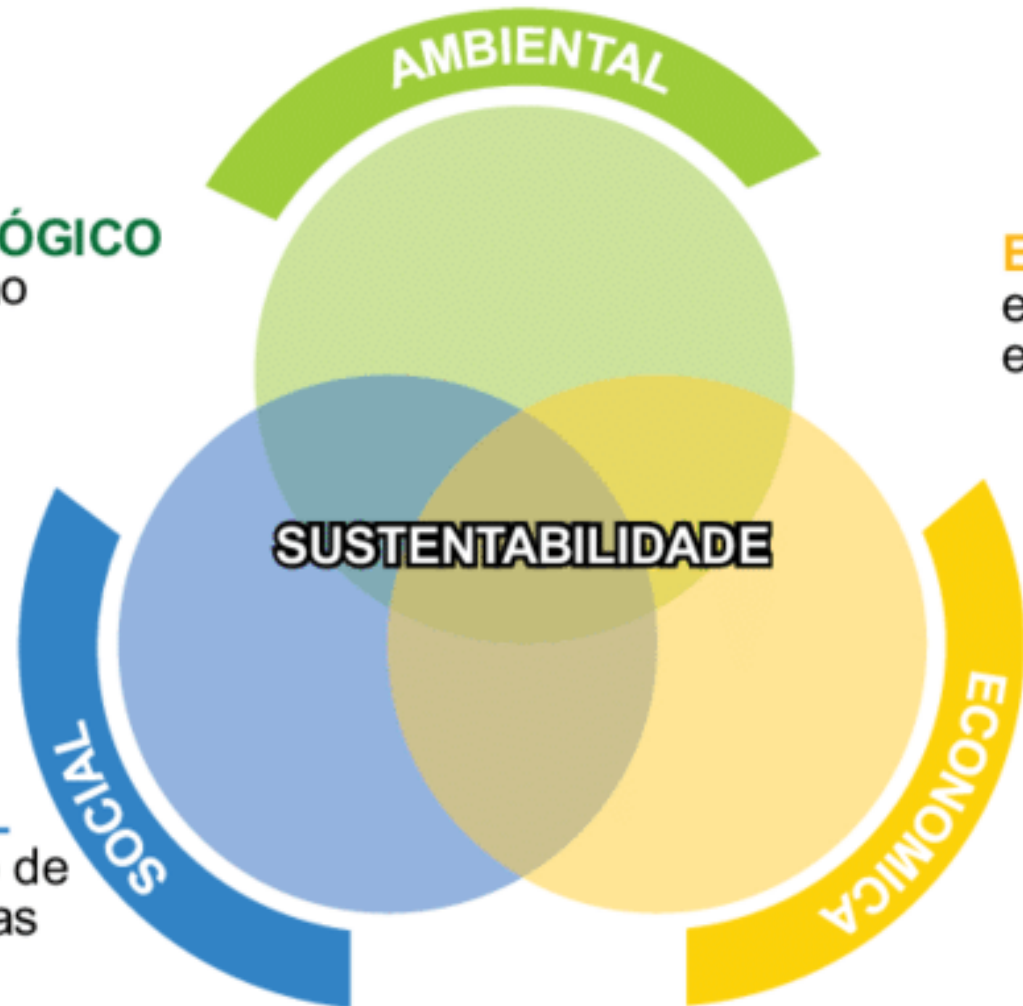


TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE

EQUILÍBRIO ECOLÓGICO
ênfatisa o respeito ao
meio ambiente

EFICIÊNCIA ECONÔMICA
ênfatisa a competitividade
e inovação da organização

EQÜIDADE SOCIAL
por meio da geração de
oportunidades para as
pessoas



Triple Bottom Line

Food for a Week, Darfur Refugees, Chad



Source: Menzel, 2005

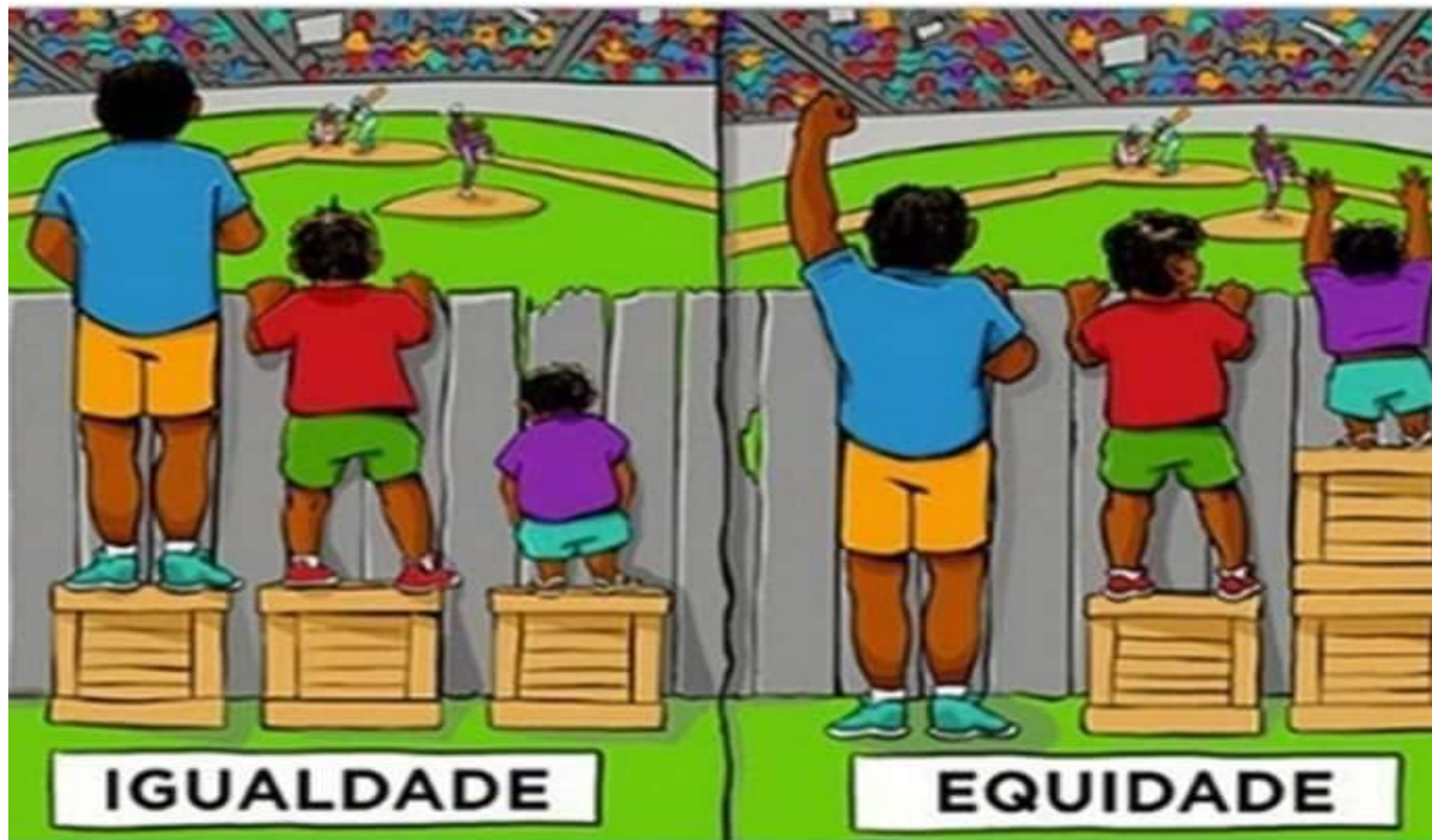
Food for a Week, Germany



Source: Menzel, 2005

Igualdade e Equidade





IGUALDADE

EQUIDADE

→ **IGUALDADE: É DAR ÀS PESSOAS AS MESMAS OPORTUNIDADES**

→ **EQUIDADE: ADAPTAR AS OPORTUNIDADES, DEIXANDO-AS JUSTAS**

Fonte:
<https://lopesca.blogspot.com/2019/06/igualdade-vs-equidade.html>

O Papel da Engenharia na Sustentabilidade

- A **Engenharia** desempenha um papel crucial na busca por soluções sustentáveis, desenvolvendo tecnologias, processos e infraestruturas que **minimizem impactos ambientais** e promovam o **desenvolvimento sustentável**



O papel dos engenheiros na sustentabilidade



Os engenheiros estão na vanguarda da transição para um futuro mais sustentável. Sua expertise e pensamento inovador são cruciais para redesenhar e transformar práticas tradicionais em alternativas mais sustentáveis.



Engenheiros de várias disciplinas contribuem desenvolvendo novas tecnologias, otimizando processos existentes e implementando práticas verdes em todos os projetos que realizam.

- 
- 
- Eles não se concentram apenas nos aspectos técnicos, mas também consideram os impactos sociais, econômicos e ambientais de seu trabalho, buscando soluções viáveis em todas as frentes.

Tipos de engenheiros e sua contribuição para a sustentabilidade

À medida que nos aprofundamos no reino da engenharia sustentável, torna-se crucial reconhecer as contribuições únicas feitas por diferentes tipos de engenheiros.

Cada disciplina de engenharia traz seu próprio conjunto de habilidades, perspectivas e inovações para a mesa, impulsionando coletivamente o avanço das práticas sustentáveis.



Engenheiros civis

Os engenheiros civis têm um impacto significativo na sustentabilidade por meio do projeto e da construção de infraestrutura sustentável.

Eles trabalham em projetos que incluem edifícios verdes, planejamento urbano sustentável e o desenvolvimento de sistemas de transporte público que reduzem a dependência de combustíveis fósseis.

Seu foco em materiais duráveis e ecologicamente corretos ajuda a reduzir a pegada de carbono de novas construções e a aumentar a eficiência energética de estruturas existentes.

Engenheiros mecânicos

- Os engenheiros mecânicos contribuem para a sustentabilidade inovando no campo de máquinas e sistemas de eficiência energética.
- Eles projetam e desenvolvem sistemas que usam menos energia, reduzem as emissões e incorporam fontes de energia renováveis.
- Desde a melhoria dos sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) em edifícios até o desenvolvimento de processos de fabricação mais eficientes, seu trabalho reduz significativamente o consumo de energia em vários setores.

Engenheiros elétricos

- Os engenheiros elétricos desempenham um papel crítico no desenvolvimento e implementação de fontes de energia renováveis, como energia solar, eólica e hidrelétrica.
- Eles projetam sistemas elétricos que otimizam o uso dessas energias renováveis, garantindo que a produção de energia não seja apenas sustentável, mas também confiável e eficiente.
- Seu trabalho é essencial na transição global para uma rede de energia mais verde.

Engenheiros químicos

- Os engenheiros químicos estão na vanguarda da criação de processos e materiais químicos sustentáveis.
- Eles inovam no desenvolvimento de materiais biodegradáveis, na reciclagem de resíduos em produtos úteis e na criação de processos químicos que minimizam o uso de energia e a produção de resíduos.
- Suas contribuições são essenciais para reduzir o impacto ambiental da indústria química e promover uma economia circular.

Engenheiros ambientais

- Os engenheiros ambientais se concentram em soluções que abordam a poluição da água, solo e do ar, o gerenciamento de resíduos e a restauração ambiental.
- Eles desenvolvem sistemas de tratamento para águas residuais e ar poluído, projetam programas de redução de resíduos e reciclagem e trabalham na restauração de locais contaminados.

O papel dos engenheiros na sustentabilidade



Os engenheiros estão na vanguarda da transição para um futuro mais sustentável.



Sua expertise e pensamento inovador são cruciais para redesenhar e transformar práticas tradicionais em alternativas mais sustentáveis.



Engenheiros de várias disciplinas contribuem desenvolvendo novas tecnologias, otimizando processos existentes e implementando práticas verdes em todos os projetos que realizam.



Eles não se concentram apenas nos aspectos técnicos, mas também consideram os impactos sociais, econômicos e ambientais de seu trabalho, buscando soluções viáveis em todas as frentes.

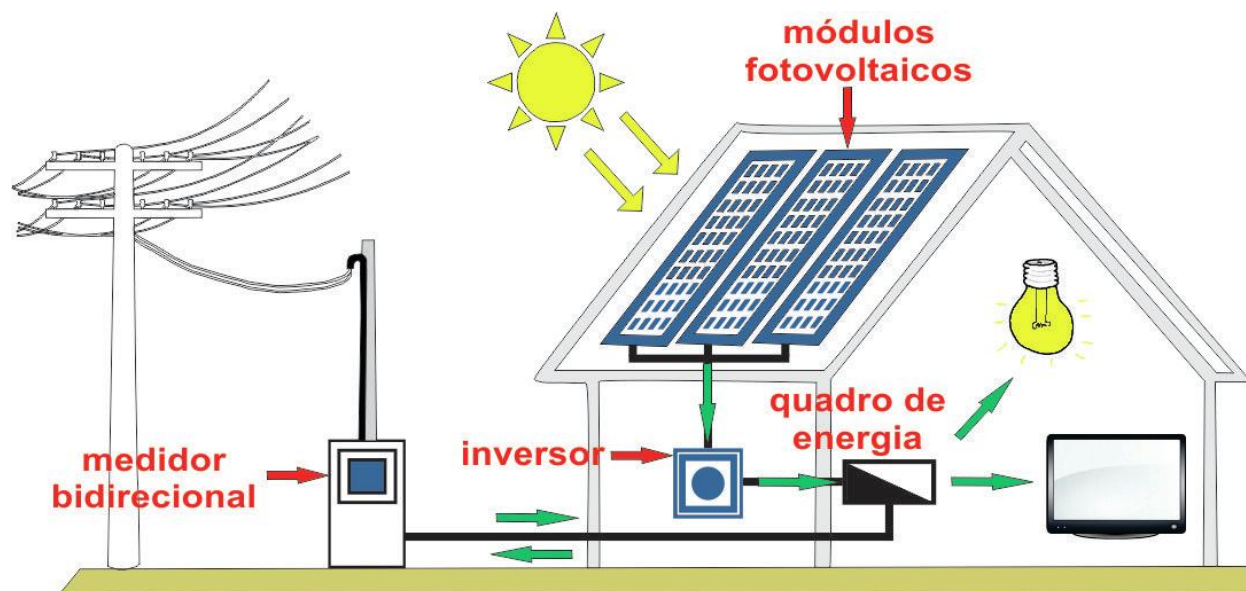
Energias Renováveis

- As energias renováveis, como eólica, solar, hidrelétrica e **biomassa**, são fundamentais para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de gases de efeito estufa.



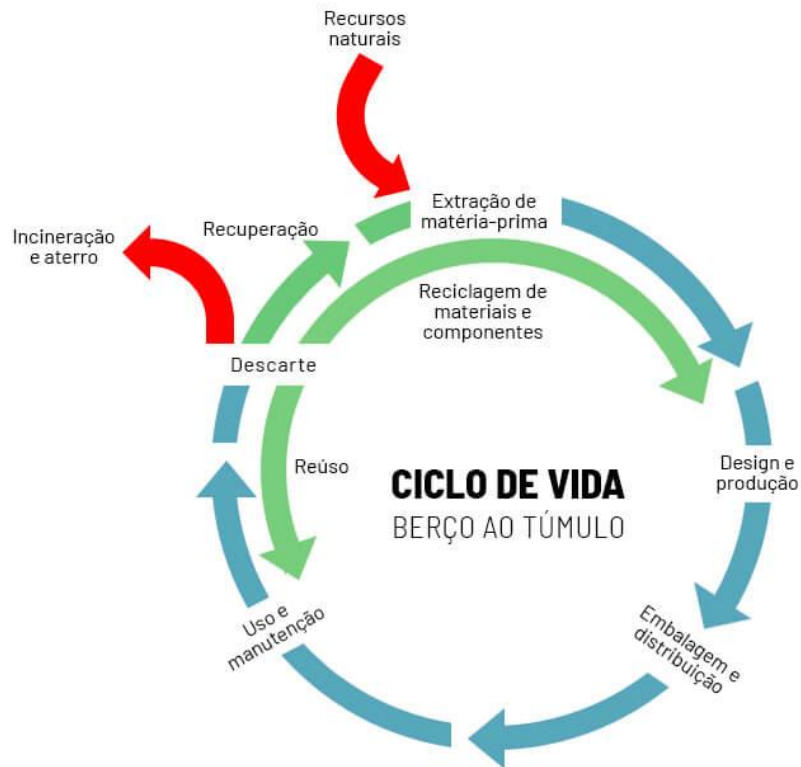
Eficiência Energética

- A eficiência energética na construção civil e em processos industriais é essencial para reduzir o consumo de energia e aumentar a sustentabilidade dos sistemas.

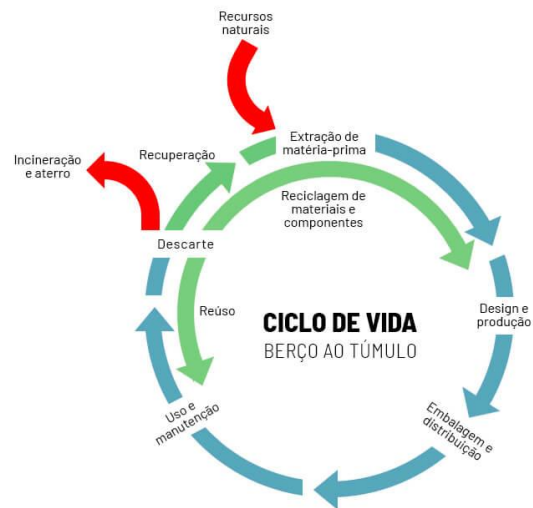


Gestão de Resíduos

- A gestão de resíduos, incluindo redução, reutilização e reciclagem, é fundamental para minimizar a produção de lixo e promover uma **economia circular**.







3 Rs



Os 5 R's da Sustentabilidade



Mobilidade Sustentável

- A promoção de transporte público eficiente, ciclovias e veículos elétricos é essencial para reduzir as emissões de gases poluentes e melhorar a qualidade do ar nas cidades.



Rodovias do Futuro

ARUP



Fonte: Karmel Souza e Silva

Agricultura Sustentável

- A agricultura sustentável adota práticas agrícolas que preservam os recursos naturais, promovem a biodiversidade e garantem a segurança alimentar.

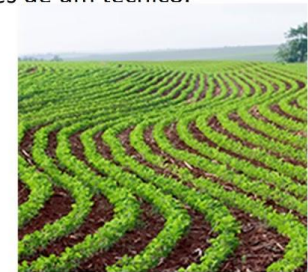
PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Plantio em curvas de nível

Indicada para terrenos com declividade. O plantio segue as curvas de nível do terreno. Por exigir marcações técnicas específicas, só deve ser utilizado com orientações de um técnico.



Foto: CultivoEcológico



INSTITUTO FEDERAL
Goiás
Campus Goiás



Construções Verdes

- As construções verdes incorporam design inteligente, materiais eco-friendly e tecnologias de eficiência energética para reduzir o impacto ambiental dos edifícios.



Água

SISTEMA DE
REUTILIZAÇÃO
DA ÁGUA

Energia

REDUÇÃO DE
CONSUMO

Resíduos

COLETA SELETIVA DE
TODO LIXO PRODUZIDO

Transporte

BICICLETÁRIO E VAGAS
PARA VEÍCULOS COM
COMBUSTÍVEL ALTERNATIVO





Tecnologias Emergentes

- Tecnologias emergentes, como inteligência artificial, biotecnologia e nanotecnologia, oferecem oportunidades para inovação e soluções sustentáveis em diversos setores



Educação e Conscientização

- A educação e conscientização são fundamentais para promover uma cultura de sustentabilidade e engajar a sociedade na busca por práticas mais responsáveis



Desenvolvimento Sustentável

- O desenvolvimento sustentável busca conciliar o crescimento econômico com a proteção ambiental e o bem-estar social, garantindo um futuro equitativo para todas as pessoas.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU - ODS





**Objetivos para o
Desenvolvimento
Sustentável -ODS**

Compromisso com a Sustentabilidade

- Empresas e organizações estão cada vez mais comprometidas com a adoção de práticas sustentáveis, reconhecendo o papel crucial da Engenharia da Sustentabilidade na busca por soluções inovadoras.



Sites da web importantes

- <https://ourworldindata.org/grapher/ka-ya-identity-co2>
- <https://www.climatecentral.org/>
- www.ipcc.ch
- viable.Earth
- sdgs.un.org
- sustainabilitymag.com
- zerowastehome.com
- inhabitat.com
- **Worldometer:** Worldometer.info
- <https://worldpopulationreview.com/>
- <https://www.energystar.gov/>
- <https://sustainability.google/reports/>
- <https://www.sustainability.com/>
- <https://resustainability.com/>
- https://energy.feedspot.com/sustainability_blogs/
- <https://www.epa.gov/sustainability>
- <https://greencitizen.com/blog/sustainable-bloggers/>
- <https://statisticstimes.com/demographics/south-american-countries-by-population.php>

IPAT e Kaya balanço de CO₂

- <https://ourworldindata.org/grapher/kaya-identity-co2>
- O **IPAT** é uma equação que expressa a ideia de que o **impacto ambiental (I)** é o produto de três fatores: **população (P)**, **afluência (A)** e **tecnologia (T)**. Vamos explorar cada um desses componentes:

$$I = P \times A \times T$$

IPAT

- **1 População (P):** Refere-se ao número total de pessoas. A explosão populacional desde o início do século XX é notável. Embora a população mundial deva atingir um pico de cerca de **9,2 bilhões** até o final do século 21, esse crescimento contínuo tem implicações significativas. Para sustentar mais pessoas, precisaremos ampliar as áreas de moradia, o que pode resultar na abertura de mais espaços para construção. Ao mesmo tempo, haverá uma necessidade crescente de recursos como água, alimentos e combustível. O atendimento das necessidades básicas da população em crescimento pode levar ao esgotamento dos recursos naturais e ao aumento das emissões de gases de efeito estufa prejudiciais ao meio ambiente

IPAT

- 2 **Afluência (A)**: Refere-se à riqueza ou prosperidade econômica. Imagine duas pessoas, A e B:

A vive em uma vila em um país do terceiro mundo, onde não há eletricidade ou automóveis. Sua **pegada ecológica**, que mede a demanda por recursos necessários para sustentar um estilo de vida, é menor.

B vive em um bairro suburbano nos Estados Unidos, dirige um SUV diariamente e depende da eletricidade para todas as atividades, desde preparar o jantar até o ar condicionado em casa. A pegada ecológica de B é significativamente maior.

A riqueza e o padrão de consumo afetam diretamente o impacto ambiental. Quanto mais próspera uma sociedade, maior a demanda por recursos e energia. Portanto, a afluência é um fator crítico na equação IPAT



A **afluência (A)** na equação IPAT refere-se ao **nível médio de consumo por pessoa**. Ela captura o padrão de vida e a intensidade de consumo dos indivíduos, sendo geralmente expressa como um valor monetário, como PIB per capita, ou por consumo médio de bens e serviços.

Para determinar a afluência:

Escolha a Métrica Apropriada: A métrica pode variar dependendo do foco do estudo. Exemplos incluem consumo **energético per capita**, **consumo de água per capita**, **PIB per capita**, entre outros.



Exemplo

- Suponha que estamos analisando o consumo de eletricidade em um país. O consumo total de eletricidade no país foi de 300 bilhões de kWh no último ano, com uma população de 50 milhões de pessoas.
- **Consumo Total (em kWh):** 300 bilhões
- **População Total:** 50 milhões

$$A = \frac{300,000,000,000 \text{ kWh}}{50,000,000 \text{ pessoas}} = 6.000 \text{ kWh por pessoa por ano.}$$

IPAT

3 Tecnologia (T): Refere-se aos avanços tecnológicos e à eficiência no uso de recursos. Tecnologias mais limpas e sustentáveis podem reduzir o impacto ambiental. Por outro lado, tecnologias ineficientes ou poluentes podem agravar os problemas ambientais. Portanto, a inovação tecnológica desempenha um papel crucial na equação IPAT.

- Em resumo, o IPAT nos ajuda a compreender como a interação entre população, riqueza e tecnologia afeta o meio ambiente.

Exemplo

- Vamos considerar um exemplo em que queremos calcular o **impacto das emissões de CO₂ por kWh de eletricidade gerada**.
- **Emissões totais de CO₂ (em toneladas)**: 200 milhões de toneladas
- **Consumo total de eletricidade (em kWh)**: 300 bilhões kWh
- Vamos calcular a tecnologia (T) neste caso.
- **$T = (200.000.000 / 300.000.000.000) = 0,00067$** toneladas de CO₂ por kWh de eletricidade gerada
- ou seja, o impacto ambiental das emissões de CO₂

$$I = P \times A \times T$$

Onde:

- **I**: Impacto ambiental
- **P**: População (número de pessoas)
- **A**: Afluência (consumo médio per capita)
- **T**: Tecnologia (impacto ambiental por unidade de consumo)

Exemplo

População (P): 100 mil pessoas

Afluência (A): 30 unidades de consumo por pessoa

Tecnologia (T): 0,5 unidade de impacto por unidade de consumo

Podemos calcular o impacto ambiental (I) usando a fórmula:

$$I = 100.000 \times 30 \times 0,5$$

O impacto ambiental calculado com esses valores é de 1.500.000 unidades

Identidade KAYA

- A identidade Kaya é uma expressão matemática usada para analisar as emissões de dióxido de carbono (CO_2) a partir de diferentes fatores. É uma modificação da identidade IPAT, mas focada nas emissões de CO_2 provenientes da geração de energia

Identidade de Kaya

$$\text{Emissões de CO}_2 = P \times \frac{\text{PIB}}{P} \times \frac{\text{Energia}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{CO}_2}{\text{Energia}}$$

Onde:

- **P**: População
- **PIB/P**: PIB per capita
- **Energia/PIB**: Intensidade energética (energia usada por unidade de PIB)
- **CO₂/Energia**: Intensidade de carbono (emissões de CO₂ por unidade de energia)

Exemplo

- Vamos calcular as emissões de CO₂ para um país com os seguintes valores:
- **População (P):** 50 milhões
- **PIB per capita:** \$10.000
- **Intensidade energética (Energia/PIB):** 0,1 kWh/USD = 0,0001MWh
- **Intensidade de carbono (CO₂/Energia):** 0,5 toneladas CO₂/MWh
- **Emissões de CO₂** = $50.000.000 \times 10.000 \times 0,0001 \times 0,5 = 25.000.000$ de ton CO₂

Exemplo estimativo para Brasil com base no ano de 2021

- 1. População (P): 213 milhões**
- 2. PIB per capita por volta de: \$8.000 USD**
- 3. Intensidade Energética (Energia/PIB): $0,08 \text{ kWh/USD} = 0,00008 \text{ MWh/USD}$**
- 4. Intensidade de Carbono (CO_2 /Energia) baseada em dados históricos: 0,3 toneladas CO_2 /MWh**

Emissões de CO_2 = 40.896.000 ton CO_2 aprox. 40,9 milhões de ton CO_2

Calculadora de CO₂

- <https://idesam.org/calculadora/>
- <https://carbonlifecycle.org/pt/calculadora-de-co2>

