



# LASSU

laboratório de sustentabilidade

## TI Sustentável

## Redes Verdes

Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho  
– [terezacarvalho@usp.br](mailto:terezacarvalho@usp.br)



# Agenda

## Motivação

Objetivo

TI Sustentável

- Aquisição
- Operação
- Descarte

Considerações Finais



# Motivação

- O avanço tecnológico tem nos conduzido a uma **sociedade** cada vez **mais conectada**, em que as **atividades humanas** estão cada vez mais permeadas pela presença das **tecnologias digitais**.
- Isso tem exigido a criação de **infraestruturas digitais** cada mais complexas o que tem contribuído com o crescimento do consumo de **energia elétrica** e da emissão de **GEE** (Gás Efeito Estufa).
- Acompanhando o crescimento do volume de recursos computacionais adquiridos, ocorre o crescimento dos **REEE** (Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos) sem **destinação adequada**.



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Cenário Atual

## Pegada de Carbono de TI



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# TI e Pegada de Carbono

A **pegada de carbono** do mundo precisa ser reduzida para evitar catástrofe climática.

- **1,8 a 2,8%** da Emissão **de GEE** deve-se a **TI** (FREITAG,2021).
- A **Pegada de Carbono em TI** deve-se a:
  - 27% - Redes de Comunicação.
  - 31% - Data Centers.
  - 42% - Usuários.

Necessidade de redução da Pegada de Carbono de TI:

- Maior **eficiência** no uso de TI (Eficiência Energética).
- Uso de **fontes renováveis e limpas**.
- Contribuição de TI para redução do GEE de **outros setores da economia**.

# TI e Resíduos de Equipamentos EletroEletrônicos

Segundo a **ONU** (The Global E-waste Monitor 2024), em **2022**, foram gerados

- No mundo, **62** milhões de toneladas REEE (Resíduos de Equipamentos EletroEletrônicos) e somente 22,3% foram documentados, coletados e reciclados.
  - Crescimento de painéis fotovoltaicos.
- No **Brasil**, **2,4** milhões de toneladas de REEE, sendo 10% de **Resíduos de Informática**, o que equivale a **240 mil** toneladas.

No **Brasil**, estima-se que apenas **2 a 4%** dos REEE são destinados de modo adequado.



# Agenda

Motivação

## **Objetivo**

TI Sustentável

- Aquisição
- Operação
- Descarte

Considerações Finais



# Objetivo

- Apresentar e discutir mecanismos para mitigar os efeitos do crescimento do consumo de **energia elétrica** e da **emissão de GEE** associado às infraestruturas digitais e cadeias produtivas.
- Identificar ações para garantir a **circularidade** de **recursos computacionais e bens de consumo** associados às fases de aquisição, operação e pós-consumo.





# Agenda

Motivação

Objetivo

## **TI Sustentável**

- Aquisição
- Operação
- Descarte

Considerações Finais





**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# TI Sustentável

## Redes Verdes

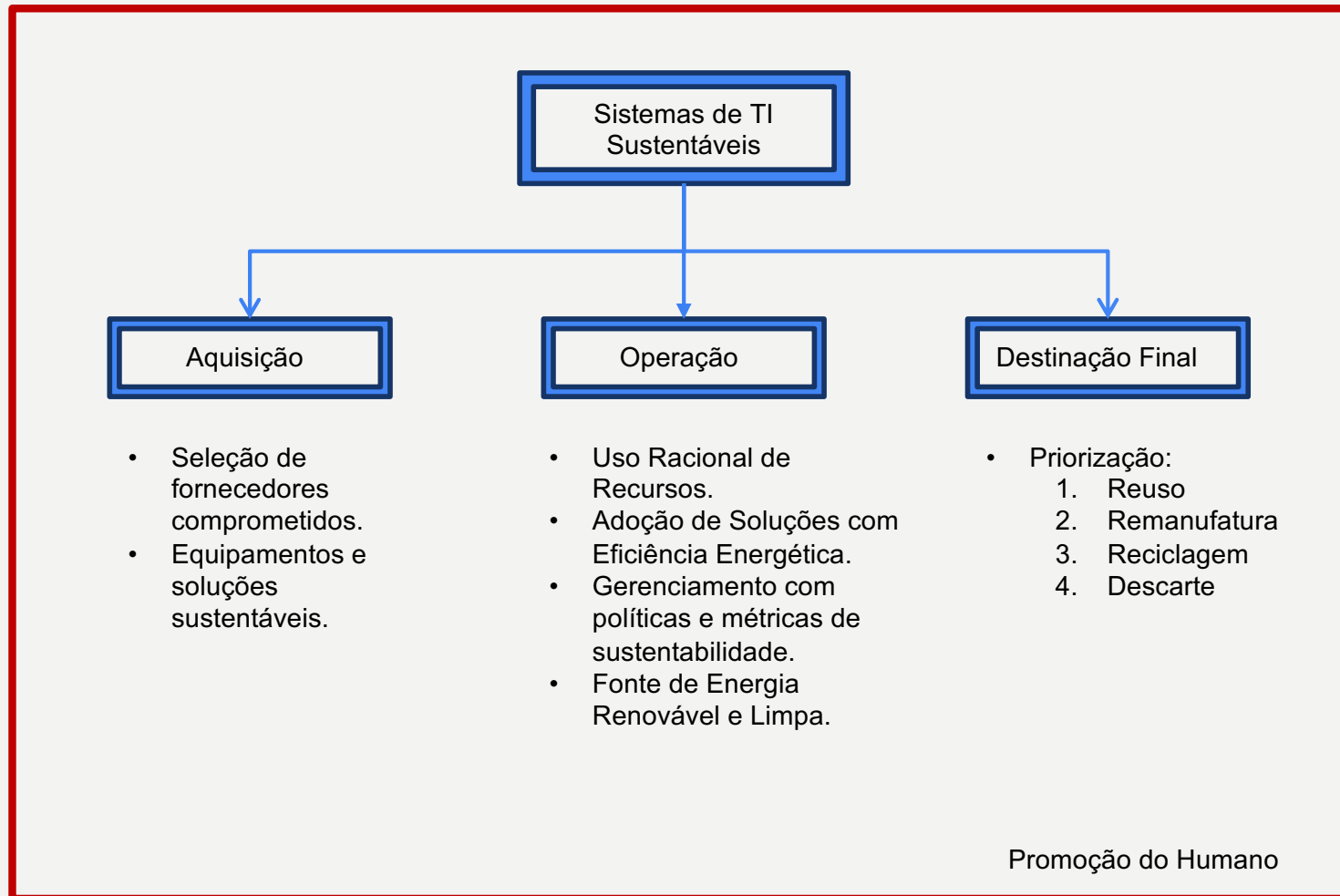
**nic.br**

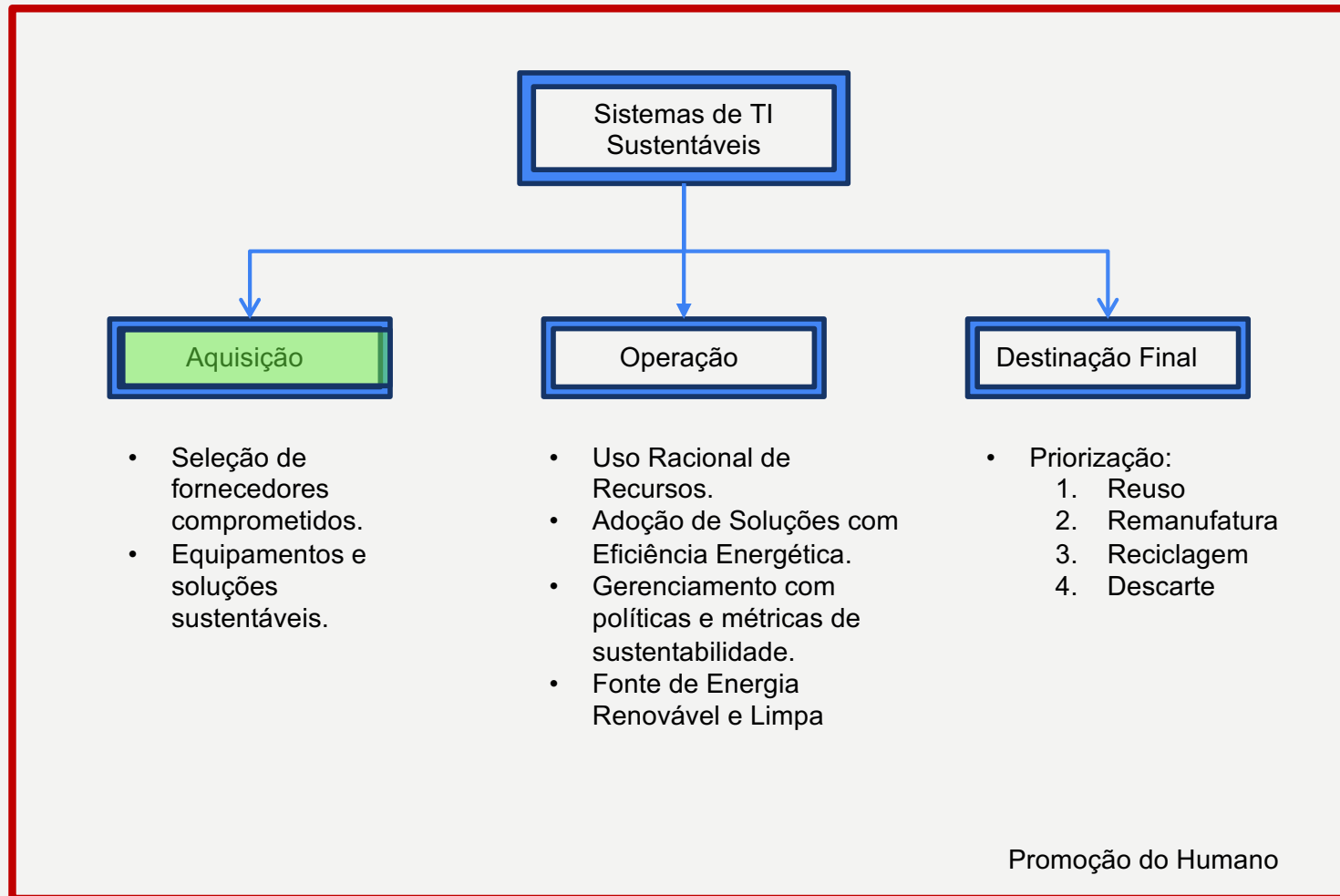
USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade







**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Aquisição de Recursos de TI

**nic.br**

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Motivação

- **Aquisição de Sistemas de TI**
- Como criar mecanismos para aprimorar o **processo de compra** em direção a **aquisições mais sustentáveis**:
  - Por exemplo, placas eletrônicas sem chumbo (“lead free”) e outras substâncias tóxicas para saúde.
- **Desafios:**
  - Aprimorar os processos de pregões para não permitir a participação de fornecedores de soluções não-verdes.
  - Necessidade de pelo menos 3 fornecedores.



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

## Selo Verde

**nic.br**

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Ações USP

- Criação do “**Selo Verde**” (2009)
  - Concedido para Sistemas Verdes
    - Inexistência de **Chumbo**.
    - **Economia de Energia Elétrica**.
    - Todos componentes sustentáveis, inclusive a embalagem.
    - Alinhamento com as normas **ISO 14.001 e ISO 9.001**.
    - Aderência ao **ROHS** (*Restriction of Certain Hazardous Substances*).
    - Aderência ao **EPEAT** (*Electronic Product Environmental Assessment Tool*).
- **Circularidade**
  - Extensão da Vida Útil.
  - Ecodesign.
- **Impacto**
  - Referência para Editais de Compras Públicas.
  - Surgimento de outras ofertas de sistemas verdes.

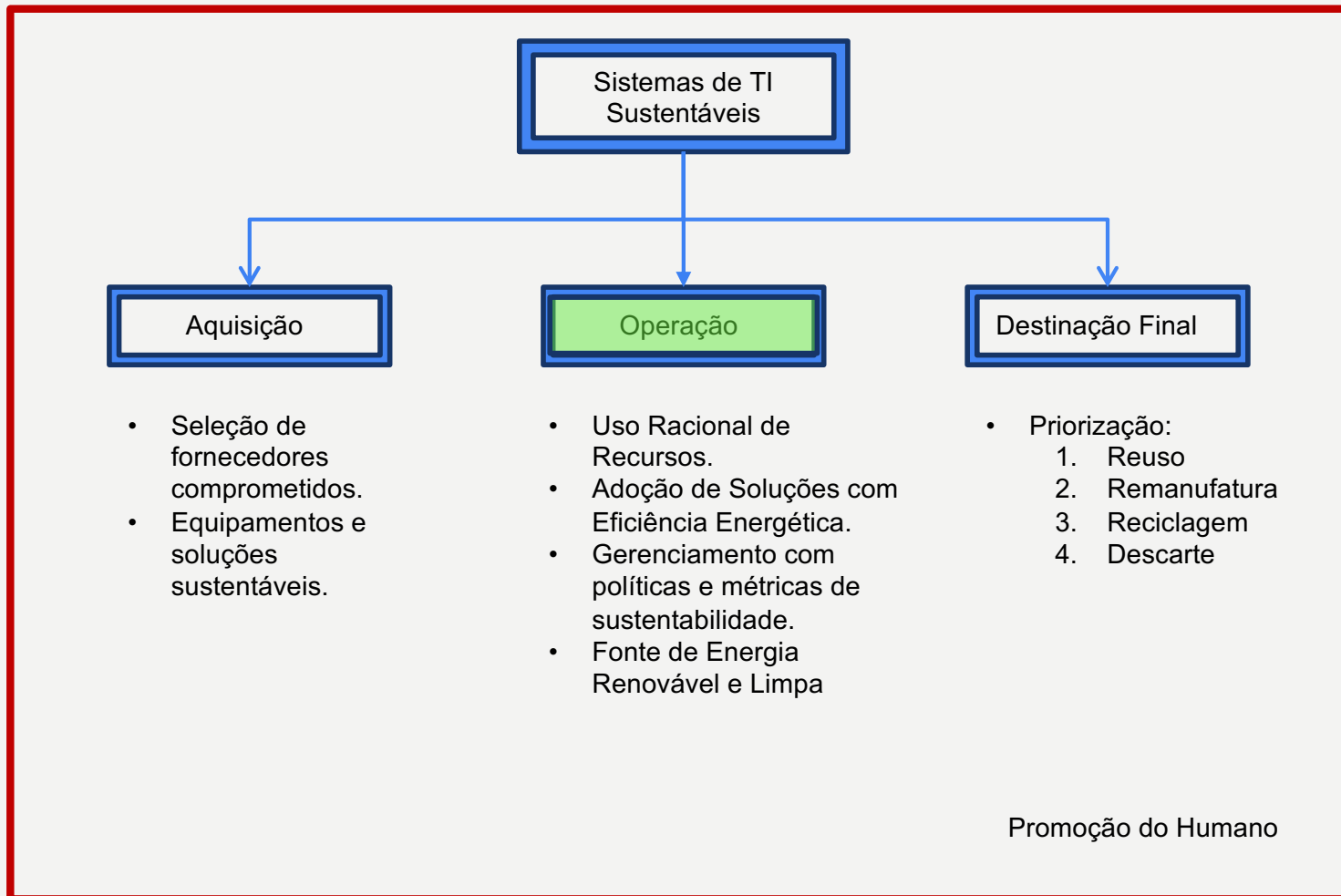






L620301800078; IIGsXwc  
GyDZIBbP3xP8i8dKLk/g=





**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Operação de Infraestrutura de TI

**nic.br**

USP

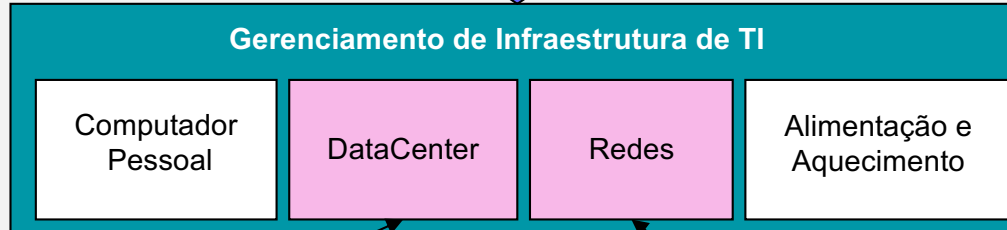


**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



Indicadores de Desempenho e Sustentabilidade

# Modelo de Gestão de TI



Métricas de Operação do Data Center

Métricas de Operação de Rede



Métricas de Operação de Dispositivos

Métricas de Operação de Dispositivos





**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Redes Verdes

**Eficiência  
Energética**

**nic.br**

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Eficiência Energética em Redes

## Objetivos

- Identificação e Avaliação de **Mecanismos de Eficiência Energética**.
- Identificação **Métricas/Indicadores de Eficiência Energética**.
- Avaliação da Relação entre **Eficiência Energética** e **Parâmetros de QoS**:
  - **Banda de Transmissão, Confiabilidade** (Perda de Informação), Latência (atraso), Jitter (variação de atraso) e Disponibilidade.
  - Alinhamento de Ações de Eficiência Energética e **Políticas de Sustentabilidade e Desempenho**.



# Eficiência Energética - Técnicas

- Abordagens Básicas:
  - **Reengenharia:** Projeto de Arquitetura de Equipamentos mais Eficientes Energeticamente e redução da complexidade.
  - **Adaptação Dinâmica de Recursos de TI:**
    - Variação do Consumo de Energia pela Variação da Frequência do Relógio ou Níveis de Tensão.
    - Desativação de Componentes não utilizados - Sistema de Gerenciamento/Orquestração.
    - Roteamento com **métricas de Sustentabilidade.**
  - Utilização dos **Estados Standby e Sleep Mode.**





**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Eficiência Energética em *Slicing de Redes*

Redes 5G/6G

**nic.br**

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade





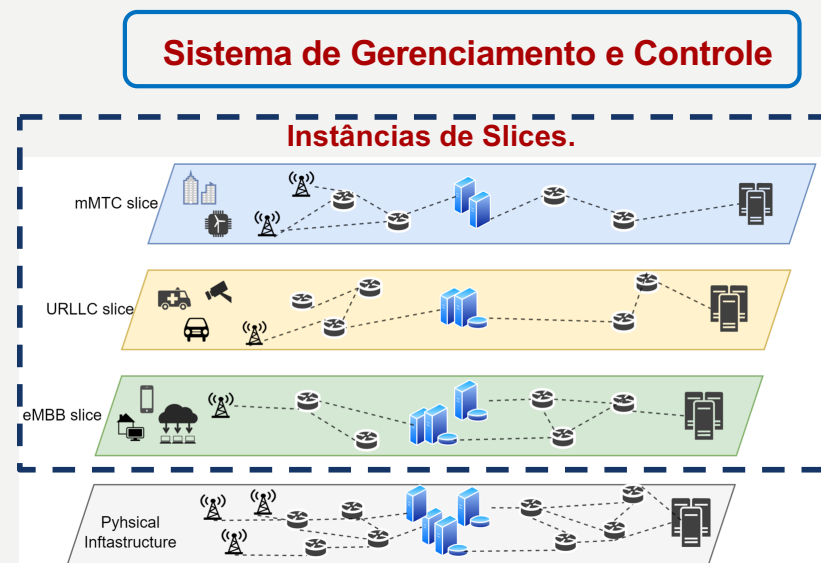
# EE – Infraestruturas com Slices de Rede

## Instâncias de Slices:

- **Tipos de Slices:**
  - **eMBB** (*Enhanced Mobile Broadband*) – Banda ultra-larga e baixa latência.
  - **URLLC** (*Ultra-Reliable Low Latency Communication*) – Ultra alta confiabilidade e ultra baixa latência.
  - **mMTC** (*massive Machine Type Communications*) – número massivo de conexões para suportar IoT.
- **Plano de Controle:** Aloca recursos para os slices de rede
- **Plano de Dados:** Provê os identificadores dos *slices* de rede e encaminha os pacotes

**Sistema de Gerenciamento e Controle:** gerencia o ciclo de vida do *slice* (criação, monitoração, operação e remoção).

**Projeto Temático FAPESP-** 2018/23097-3 – Chamada MCTI/CGI



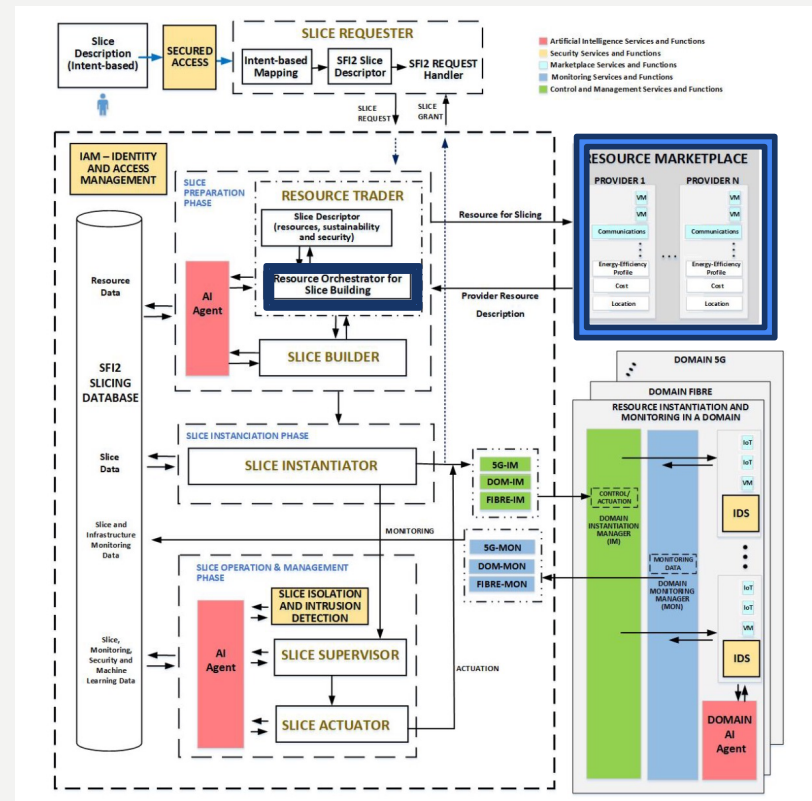
Exemplo: Redes 5G

# EE – Infraestruturas com *Slices* de Rede

## Network Slicing

- Eficiência energética direcionada para diferentes fases do ciclo de vida dos *slices*:
- Preparação.
- Instalação/Implantação
- **Operação dos *slices*** com necessidades energéticas diferentes.

Seleção de provedor de slices que use **fonte de energia renovável e limpa.**



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Data Centers Verdes

nic.br

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Data Center Verde

- Um datacenter verde é um **repositório** para **armazenamento**, **gerenciamento** e **disseminação** de dados, no qual os sistemas mecânicos, de iluminação, elétricos e de computação são projetados para **máxima eficiência energética** e **mínimo impacto ambiental**.

# Data Centers – Principais Desafios

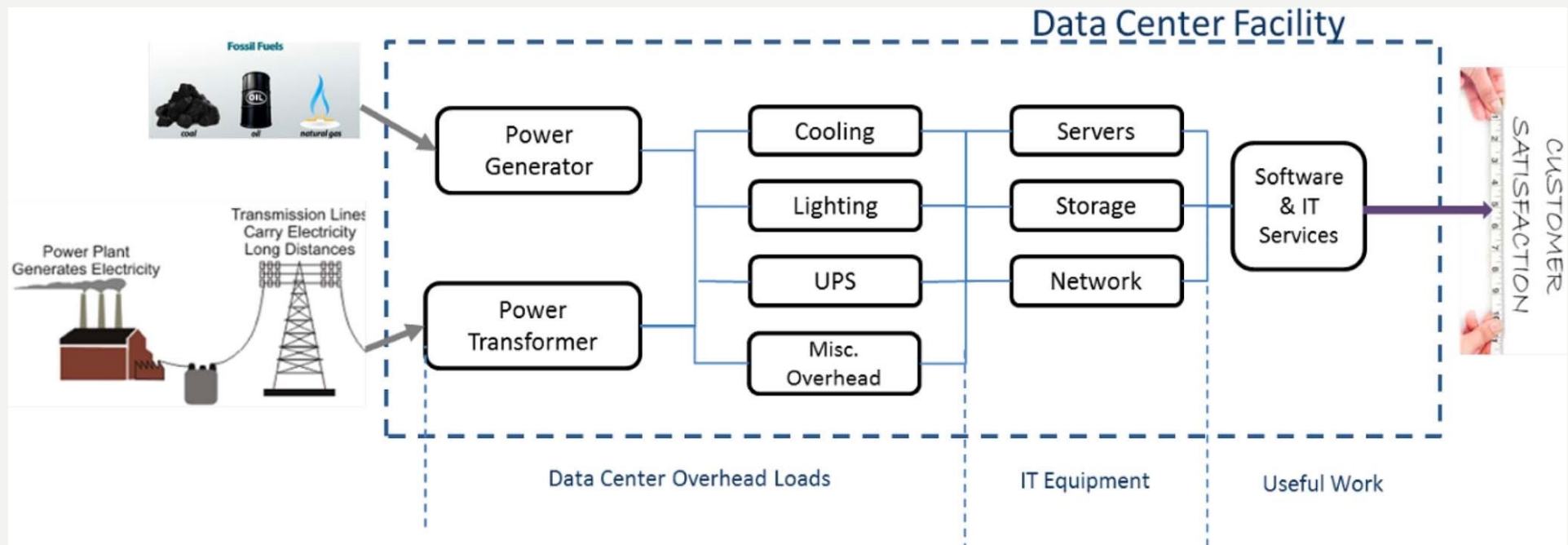
- ✓ **Consolidação e Virtualização de Servidores.**
- ✓ **Infraestrutura de Redes.**
- ✓ **Fontes de Energia Renováveis.**
- ✓ Sistemas de Refrigeração.

## O Que é Data Center Verde?

- Minimização das pegadas dos edifícios.
- Uso de **materiais de construção de baixa emissão**.
- **Consolidação dos Servidores**.
- Uso de **processadores com maior eficiência energética**.
- Uso de **sistemas de refrigeração mais eficientes**.
- Emprego de **fontes renováveis de energia**, tais como células, fotovoltaica, eólica, hidroelétrica.
- Instalação de conversores catalíticos em geradores de backup.
- Uso de veículos híbridos ou elétricos da empresa.
- Paisagismo sustentáveis.
- Reciclagem de lixo.



# Estrutura Básica – Data Center



Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.12.008>



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

## Estudos de Caso

nic.br

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade





# Estudos de Caso



Data Center do Facebook em Lulea – Suécia

Vídeo (5:42 min) - <https://www.facebook.com/watch/?v=745326888869335>



# Estudo de Caso



Holanda



Finlandia



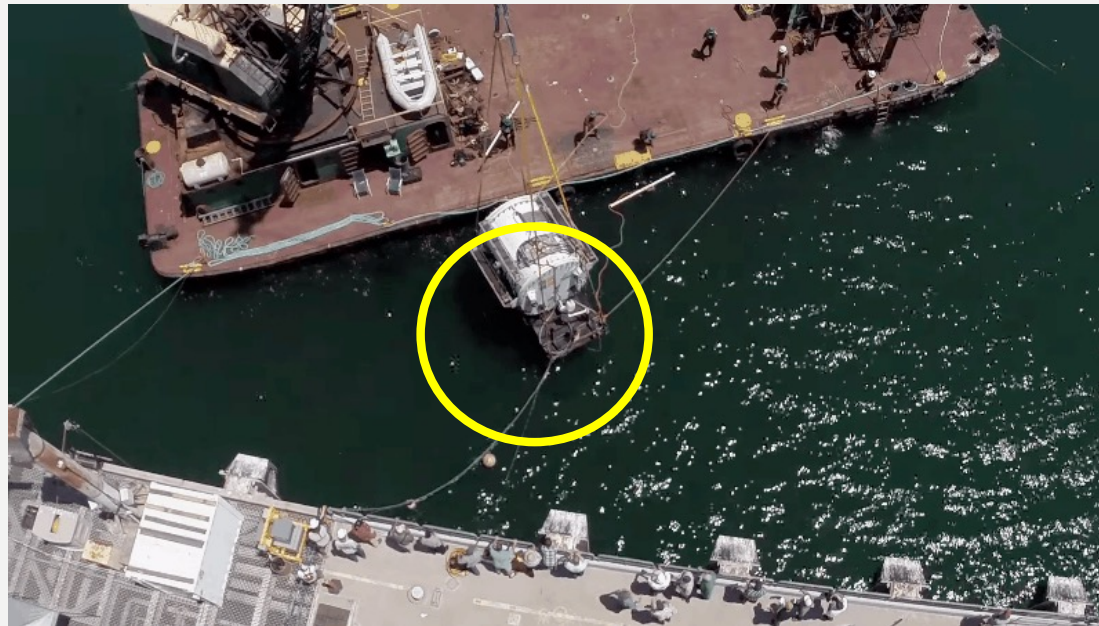
Galeria:

<https://www.google.com/about/datacenters/gallery/index.html#/>



# Data Center submarino

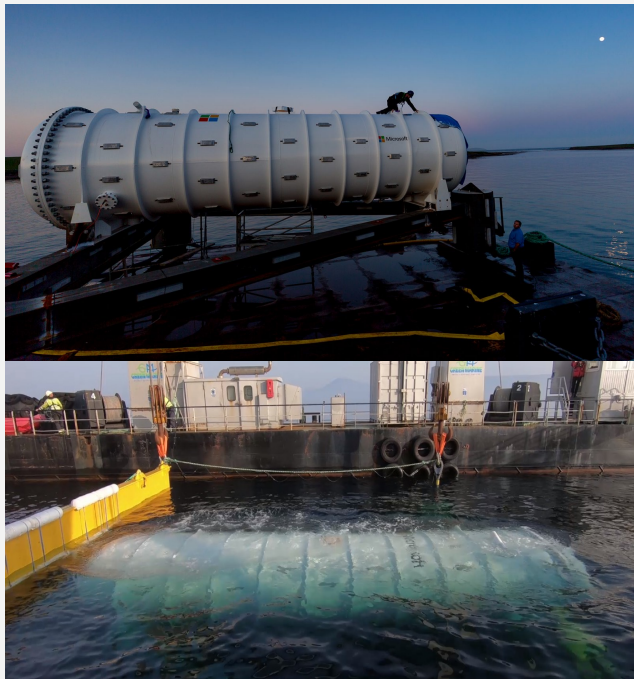
Microsoft testou Data Center imerso no mar



Source: <http://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--FTCM4kty--/nydcf1x8cnvym9dl5dsm.gif>

# Data Center Submarino

## Microsoft Natick Project



- Data center foi montado e testado na França e transferido para a Escócia, Ilhas Orkney. Lá funciona o **European Marine Energy Centre**.
- Tem 12 m de comprimento e 12 slots com **864 servidores**.
- Agora, eles estão testando:
  - **Viabilidade logística, ambiental e econômica.**

<https://www.youtube.com/watch?v=Rx3YwZ1x7Ak>

# LASSU

laboratório de sustentabilidade

## Indicadores

Eficiência Energética  
Eficiência Hídrica



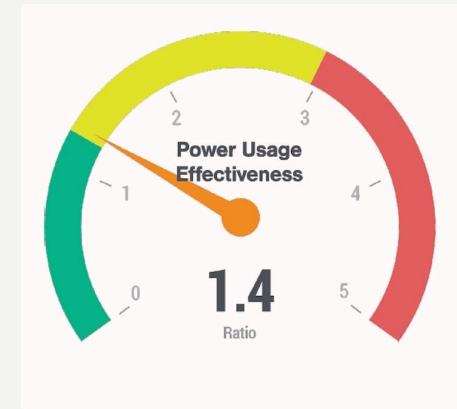
**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Conceituação

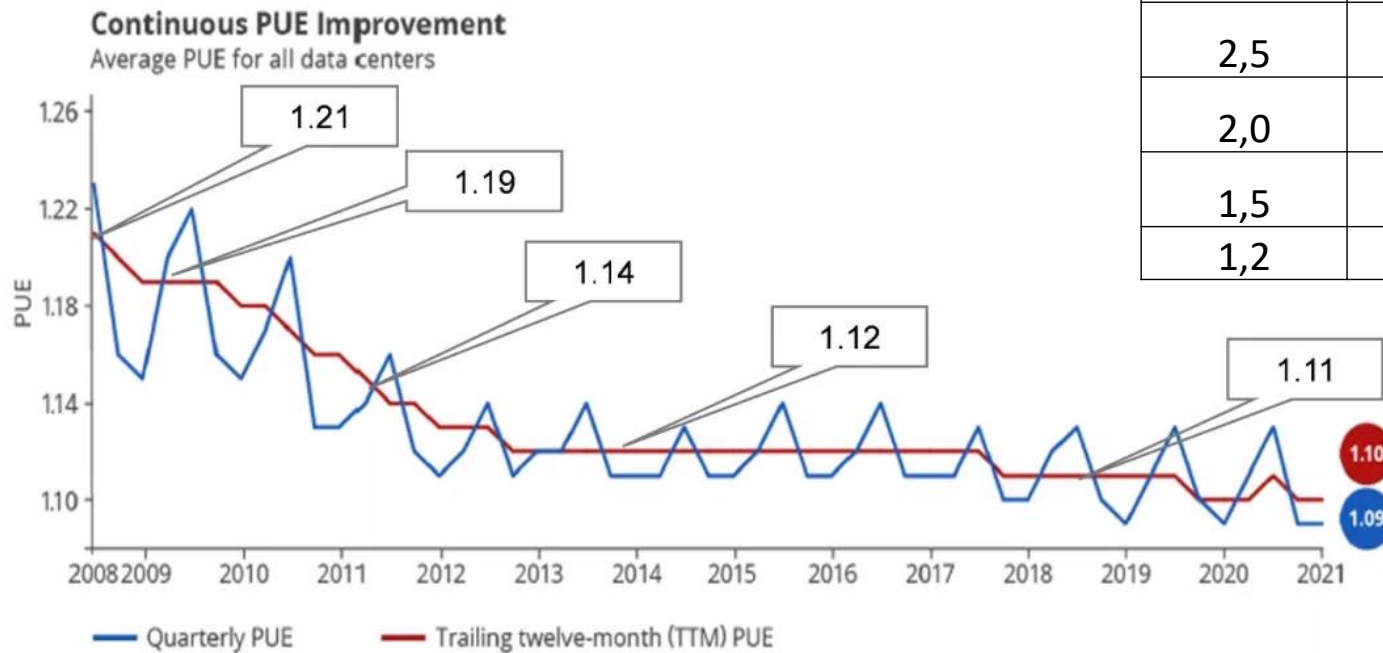
## PUE (*Power Usage Effectiveness*)

- **PUE =  $\frac{\text{Carga Total da Instalação}}{\text{Carga de TI}}$**
- **Carga de TI** – Carga de todos os componentes de TI da instalação
- **Carga Total** – Todos os sistemas que suportam a carga elétrica de TI, como: sistemas de Refrigeração, bombas, resfriadores, ventiladores, Unid. De Ar Condicionado, UPSs, PDUs, RPPs, Transformadores, painéis, luz de conforto, sistemas de segurança, etc...
- Valores de referência:
  - | PUE | Nível de Eficiência |
|-----|---------------------|
| 3,0 | Muito Ineficiente   |
| 2,5 | Ineficiente         |
| 2,0 | Intermediário       |
| 1,5 | eficiente           |
| 1,2 | Muito eficiente     |



# Exemplo de PUE

PUE	DCiE	Nível de Eficiência
3,0	33%	Muito Ineficiente
2,5	40%	Ineficiente
2,0	50%	Médio
1,5	67%	Eficiente
1,2	83%	Muito Eficiente



所有大规模 Google 数据中心的 PUE 数据



# Exemplo de PUE



Novo Data Center da Meta – IA + Refrigeração baseada em troca de Ar

PUE – 1,08 e WUE – 0,18

Link: <https://sustainability.atmeta.com/wp-content/uploads/2024/08/Meta-2024-Sustainability-Report.pdf>





# Exemplos de PUE

## Data Center de Grandes Provedores de Nuvem

- Amazon: 1.45
- Microsoft: 1.13
- Google: 1.11 (2025)
- Yahoo: 1.07
- Facebook: 1.08 (2025)



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Fontes de Energia Renovável e Limpa

nic.br

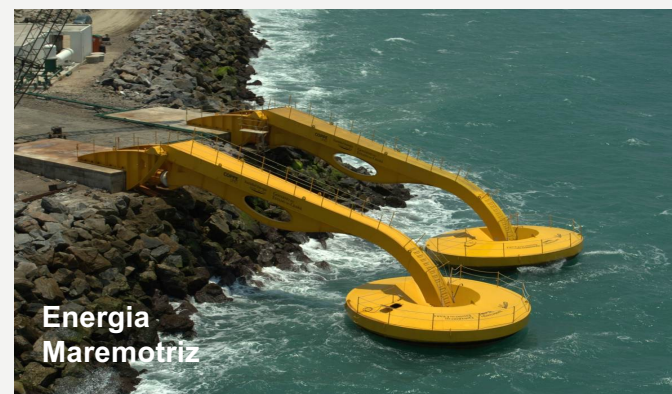
USP

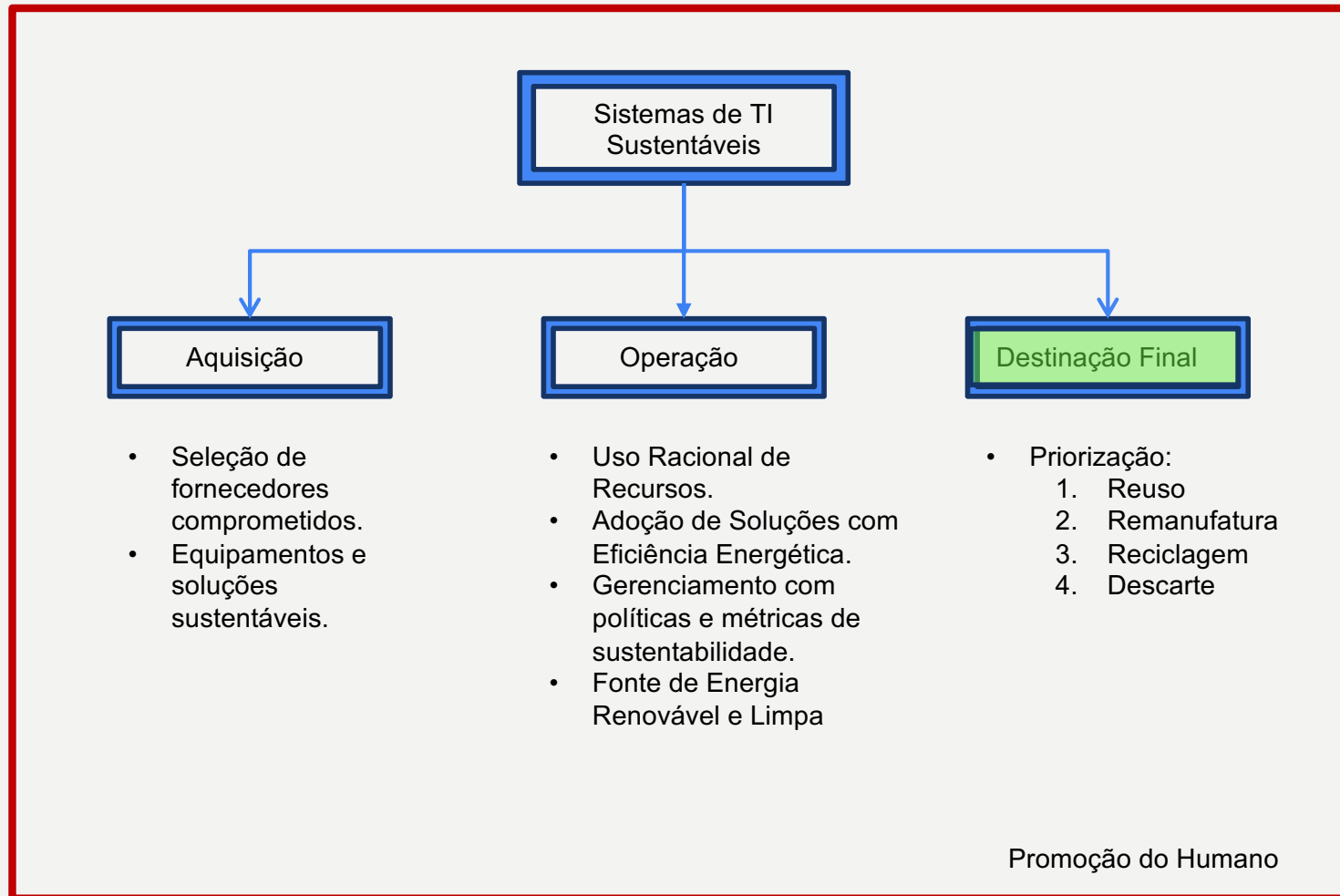


**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Fontes Renováveis e Limpas





**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Destinação Final de Recursos de TI

**nic.br**

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

(REEE)

**nic.br**

USP

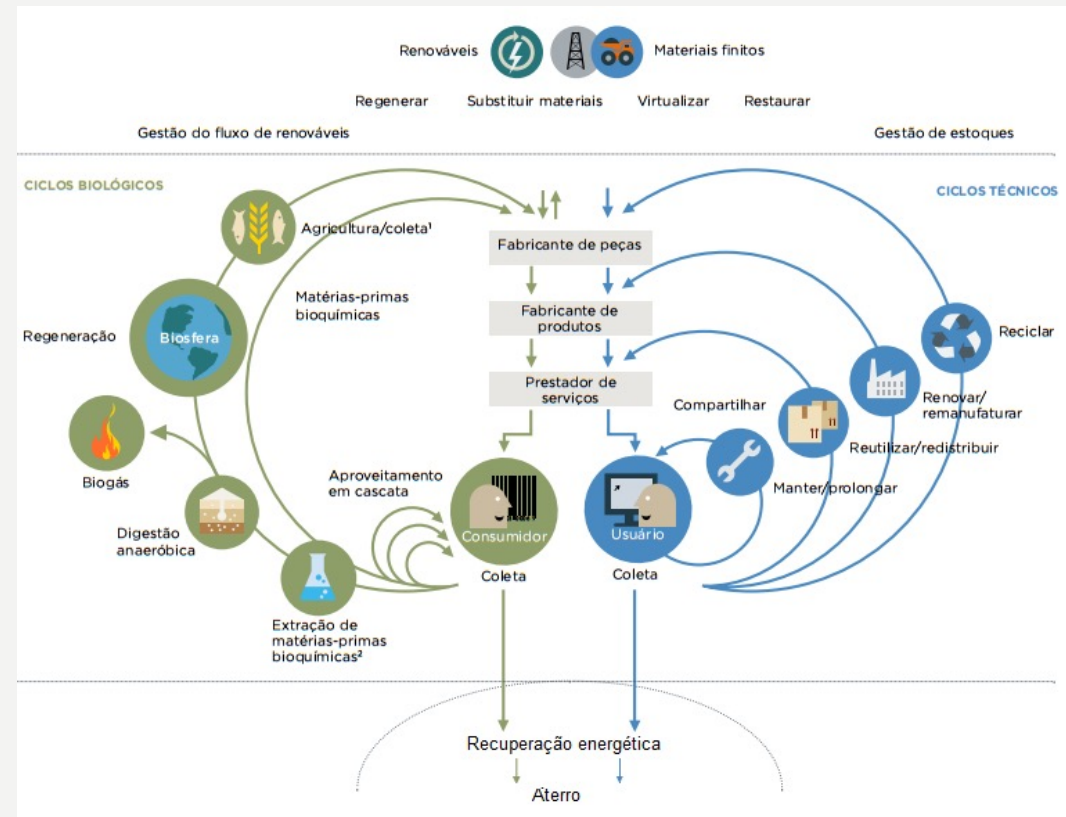


**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Economia Circular

- Minimizar as perdas e externalidades negativas
- Análise do ciclo de vida – do berço ao berço
- Transformação



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade



# Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática



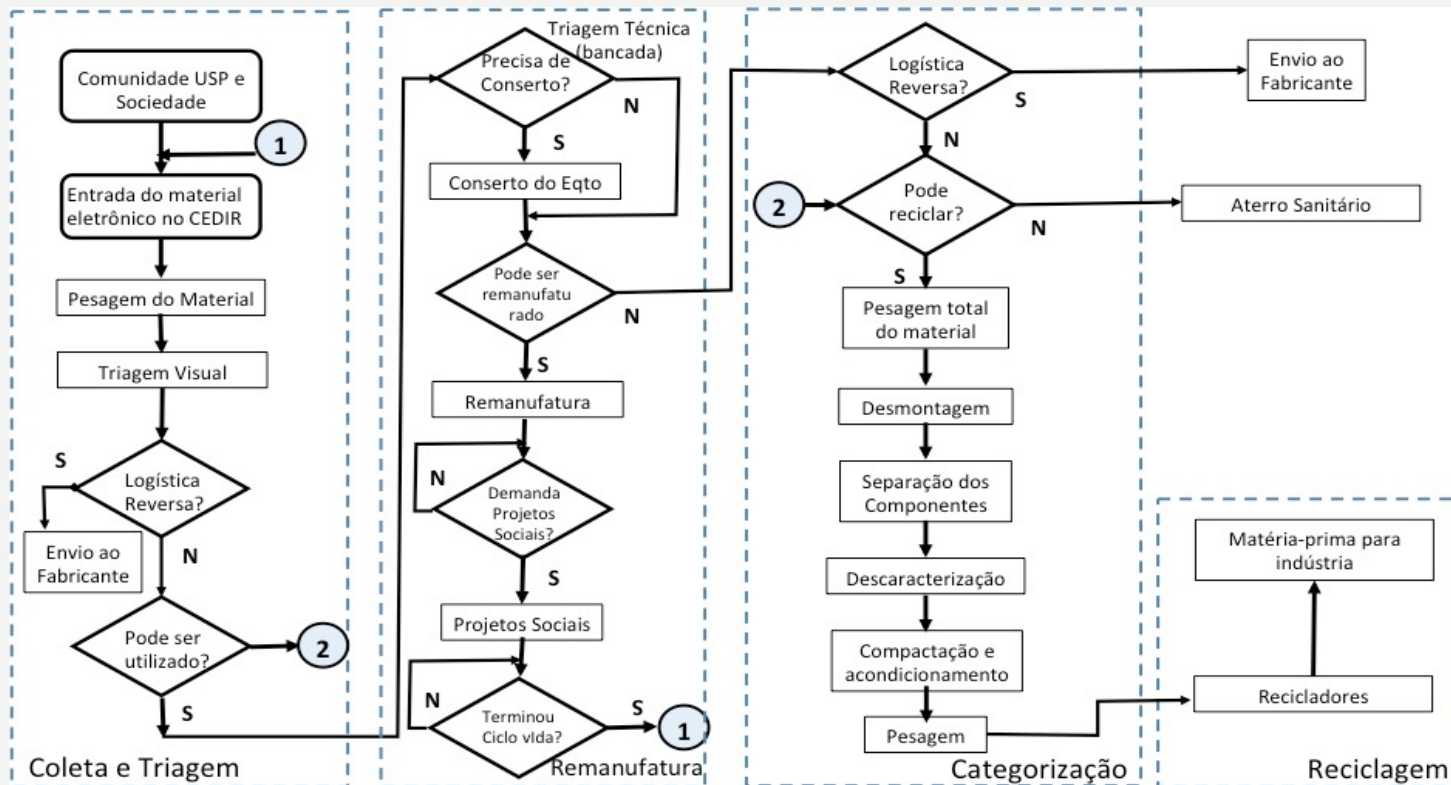


## CEDIR - EPUSP

- **Criação em Dezembro de 2009.**
- **Objetivo:** Prover serviço de tratamento de REEE (Resíduos de Equipamentos EletroEletrônicos) para **comunidade USP, sociedade civil e empresas**, e segundo a perspectiva de Economia Circular, i.é, priorizando: reuso, remanufatura e descarte.
- **Não existia legislação estadual e federal adequada** para tratamento de REEE (**PNRS** - Política Nacional de Resíduos Sólidos – 2010).
- **Destino sustentável** de todos componentes eletro-eletrônicos.



# Fluxograma de Operação - CEDIR



(2011) <https://www.youtube.com/watch?v=igxbnQ8hBs0>

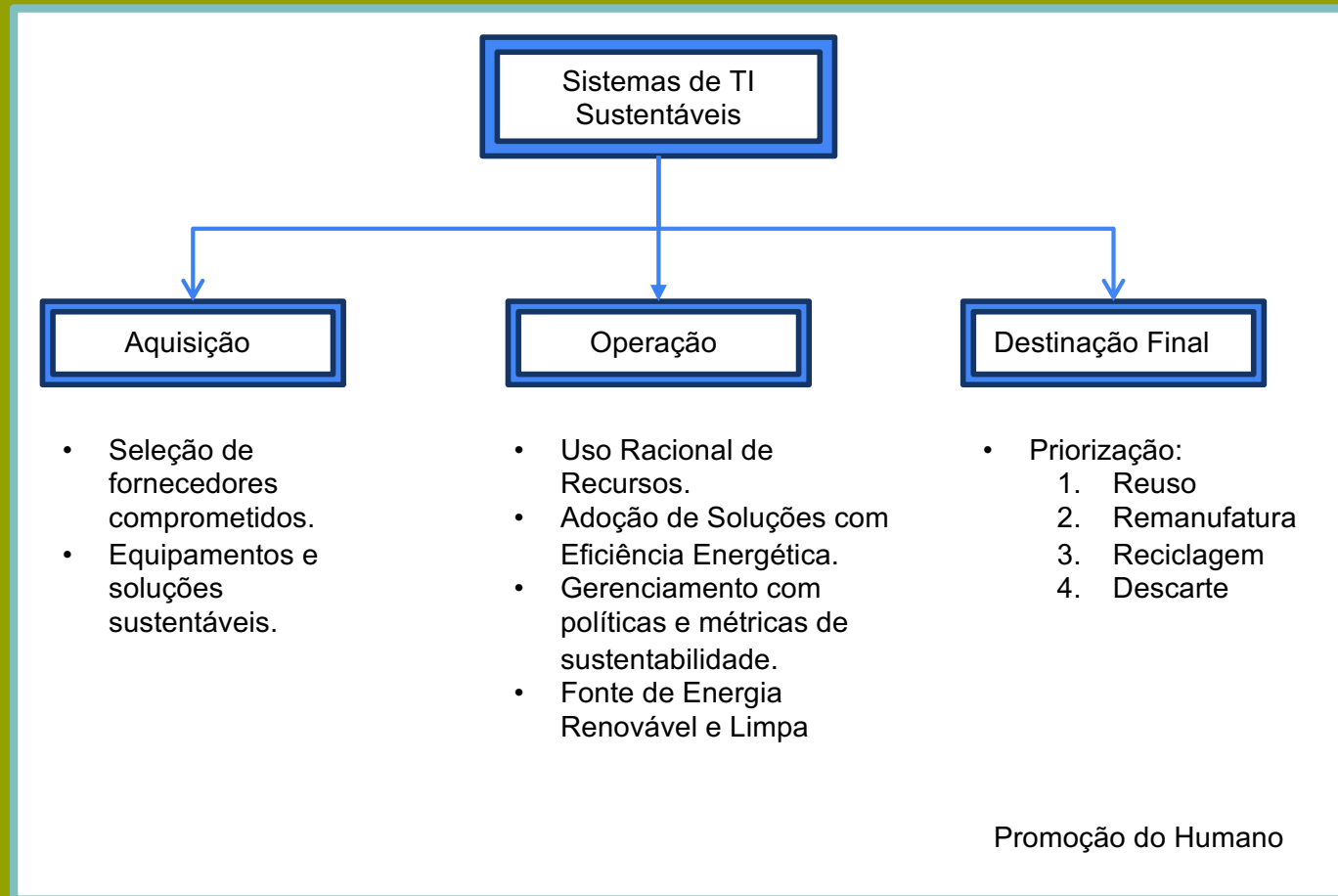
(2018) <https://www.youtube.com/watch?v=QJBiclsotK8>







# ESG (Environmental, Social and Governance)



**LASSU**

laboratório de sustentabilidade

# Considerações Finais

**nic.br**

USP



**LASSU**  
Laboratório de Sustentabilidade



# Considerações Finais

Tendo como ponto de partida, necessidade de redução da Pegada de Carbono de TI, por meio de:

- Maior **eficiência** no uso de TI (Eficiência Energética).
- Uso de **fontes renováveis e limpas** (Avaliação das matrizes energéticas).
- Contribuição de TI para redução do GEE de **outros setores da economia**.
- Tratamento adequado dos **REEE**.



## Eficiência do Uso de TI

- Atualmente, os **Equipamentos Eletroeletrônicos** tem funcionalidades de **eficiência energética nativas**.
- Contudo temos criado **soluções tecnológicas** cada vez mais **complexas** para atenderem à demanda de mercado, que tendem a consumirem **mais energia** (por exemplo, redes 5G e 6G).
  - Aprimoramento da Operação de Infraestruturas Digitais com “**Orquestração Inteligente**”
  - Políticas de Oferta de Serviços de TI, considerando custos diferenciados para “**Serviços Verdes**” com possibilidade de degradação de QoS.





# Uso de Fontes Renováveis e Limpas

Entende-se como “**energia limpa é toda energia renovável que não emite substâncias poluidoras no meio ambiente**”(ANEEL)

- Exemplos: Hídrica, solar, eólica, maremotriz, entre outros.

Contudo, sabe-se que a criação de estações geradoras **de alguns tipos dessas energias trazem outros problemas ambientais**:

- **Energia Solar:** Necessidade de destinação adequada dos painéis fotovoltaicos.
- **Energia eólica:** Poluição sonora, introduzindo problemas no local onde são instaladas as estações.



# Resíduos de EEE

**Ecodesign** - Concepção de EEE segundo premissas de Economia Circular.

Destinação Final de **REEE**:

- REEE tem **alto valor agregado** em função da existência de metais preciosos, embora a quantidade desses metais nas placas de circuito impresso tenha se reduzido.
- **Mineração Urbana**: O Brasil exporta as **placas de circuito impresso** e os metais são retirados em países como Bélgica, Cingapura, México e outros.
- Existem pesquisas avançadas no Brasil para retirada de metais das placas (por exemplo, **biotratamento**), mas não existe incentivo.



# LASSU

laboratório de sustentabilidade

## Perguntas

## Muito Obrigada!

nic.br

USP



LASSU  
Laboratório de Sustentabilidade

