

---

# A EXPERIÊNCIA DO IEE-USP EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E A UTILIZAÇÃO DE ARMAZENAMENTO



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Roberto Zilles, [zilles@iee.usp.br](mailto:zilles@iee.usp.br)

---

## A EXPERIÊNCIA DO IEE-USP EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E A UTILIZAÇÃO DE ARMAZENAMENTO

- Breve histórico da experiência do IEE-USP associada com acumulação e FV
- Situação atual: contextualização
- Infraestrutura em fase de implantação para estudo se serviços ancilares
- Infraestrutura laboratorial para estudo de minirredes híbridas inteligentes

# ESTUDO SOBRE O ESTADO DA ARTE DE FABRICAÇÃO DE BATERIAS AUTOMOTIVAS E CONTRIBUIÇÕES PARA SUA ADAPTAÇÃO PARA USO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARES

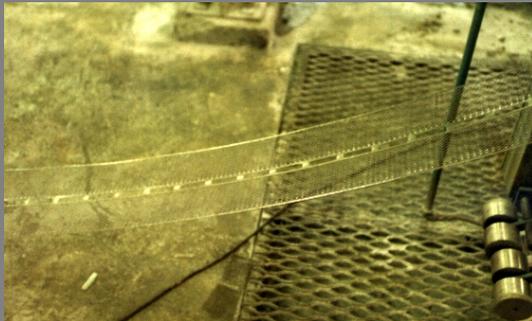
Automotive Batteries for Solar Home Systems. Thermie-B Project, DIF990-96ES, 1996.



Grade fundida



Grade expandida



# IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

- Baterias automotivas modificadas

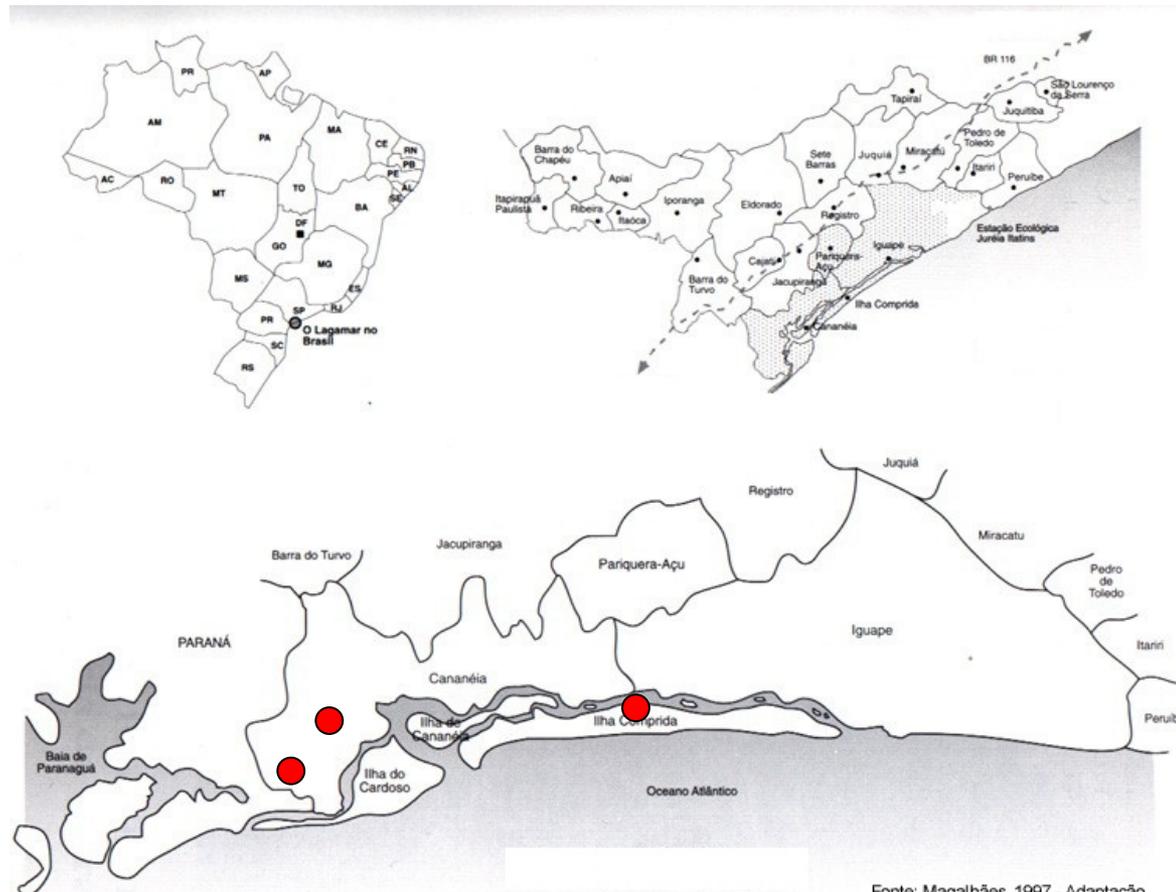


# IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

- Baterias automotivas modificadas

Bairros do Retiro e Varadouro, município de Cananéia, São Paulo

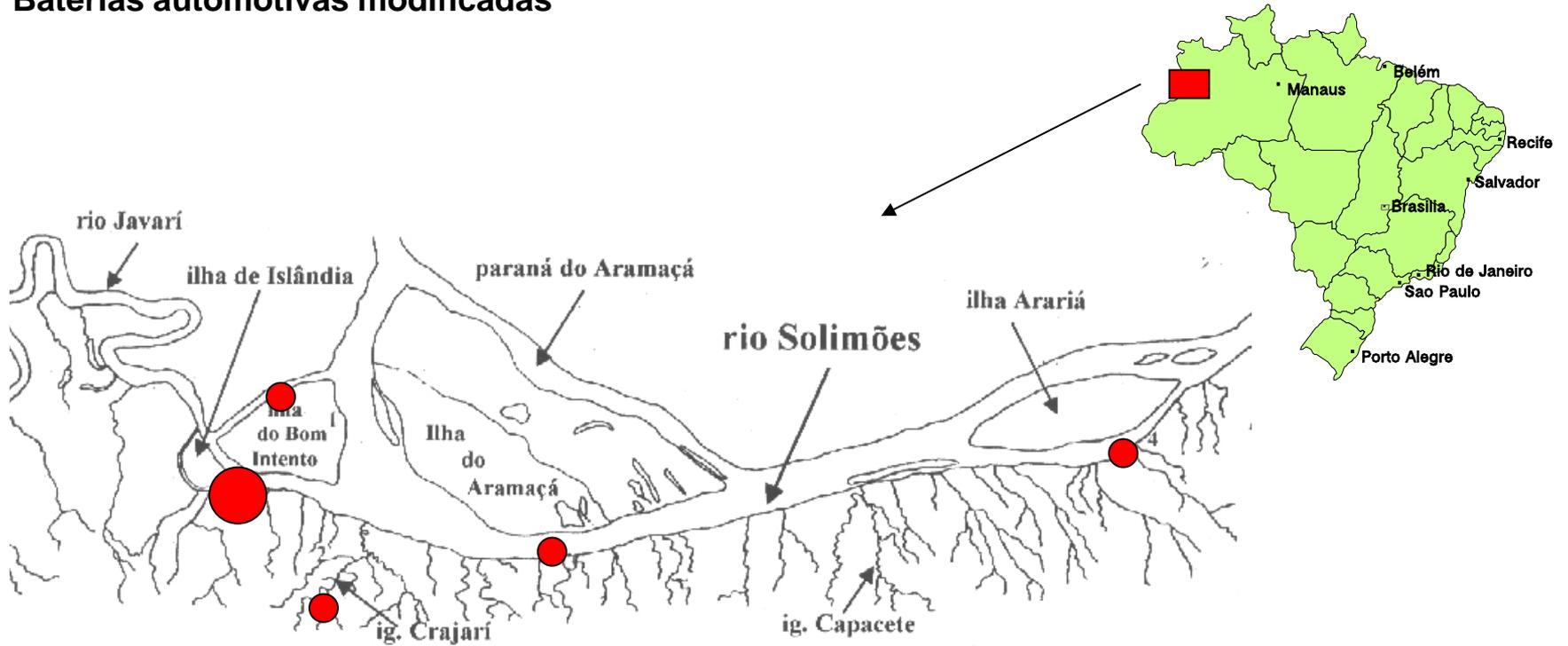
Bairro de Sitio Artur, município de Ilha Comprida, São Paulo



Fonte: Magalhães, 1997 - Adaptação

# IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

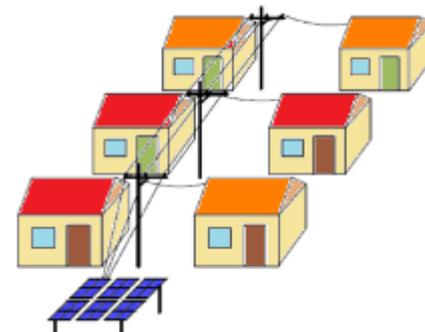
- Baterias automotivas modificadas



## ✓ Situação nacional – sistemas off-grid



Sistemas individuais – Resolução ANEEL 83/2004



Minirredes em sistemas isolados



**RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 493, DE 5 DE JUNHO DE 2012.**

**Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI.**

## ✓ Situação nacional – sistemas off-grid

---

### Sistemas individuais – Resolução ANEEL 83/2004

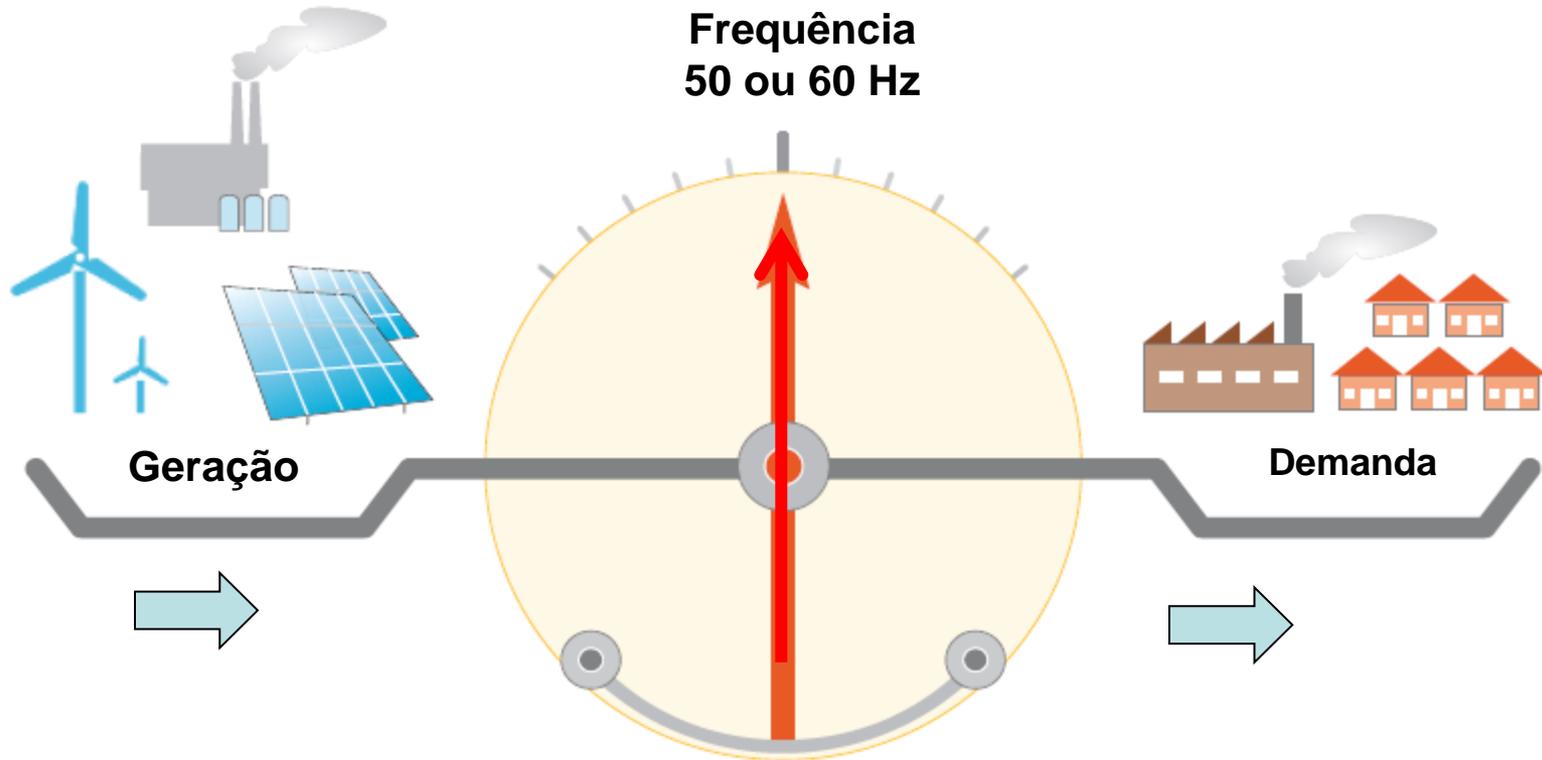
**RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 493, DE 5 DE JUNHO DE 2012.**

**Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI.**

<b>Classe de atendimento</b>	<b>Consumo diário de Referência (Wh/dia)</b>	<b>Capacidade do acumulador considerando Pd = 25%</b>
<b>SIGFI13</b>	435	2 kWh
<b>SIGFI30</b>	1000	4 kWh
<b>SIGFI45</b>	1500	6 kWh
<b>SIGFI60</b>	2000	8 kWh
<b>SIGFI80</b>	2666	11 kWh

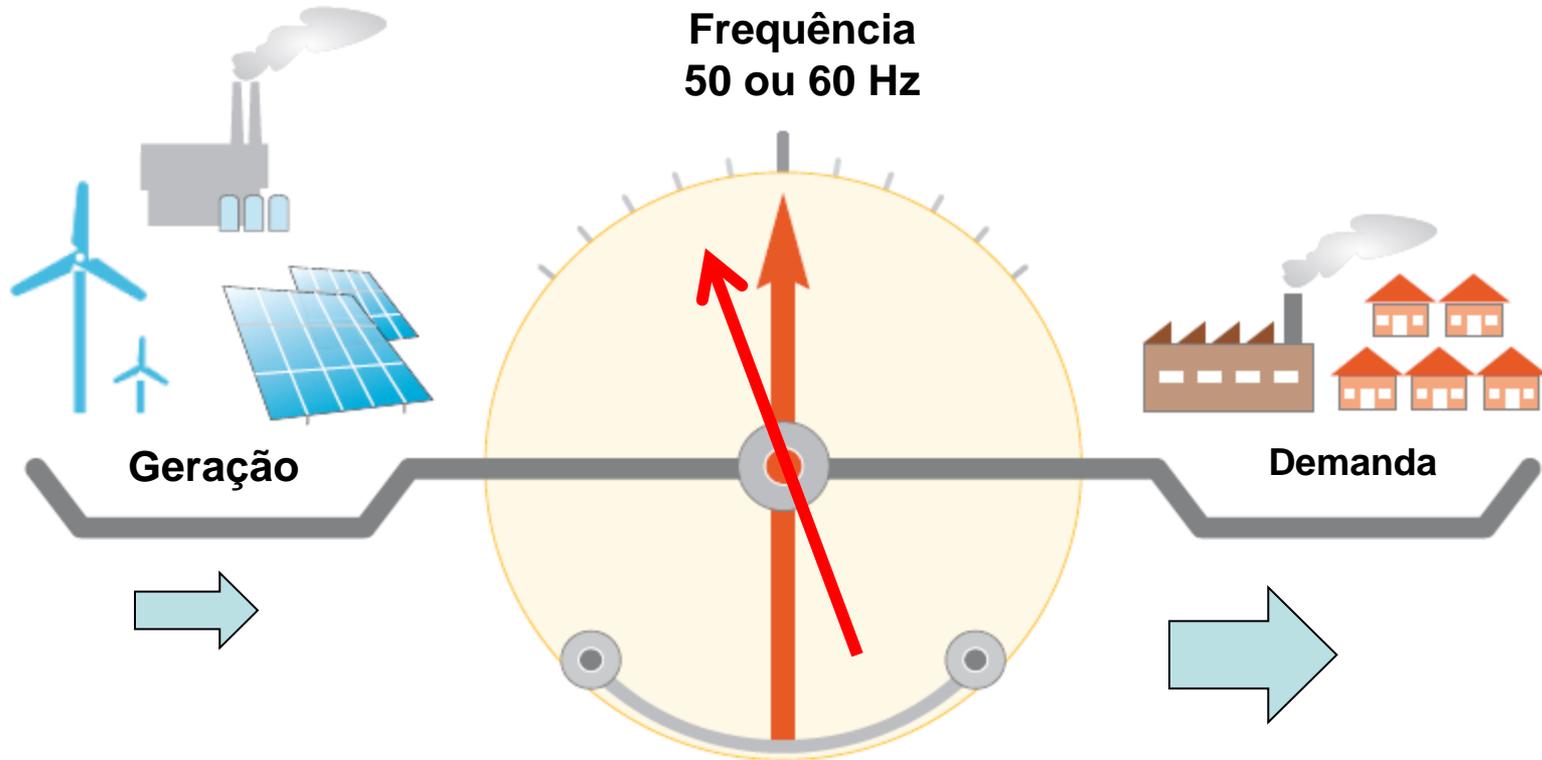
- **Situação atual: contextualização**

Integração de fontes Intermitentes (eólica e fotovoltaica)



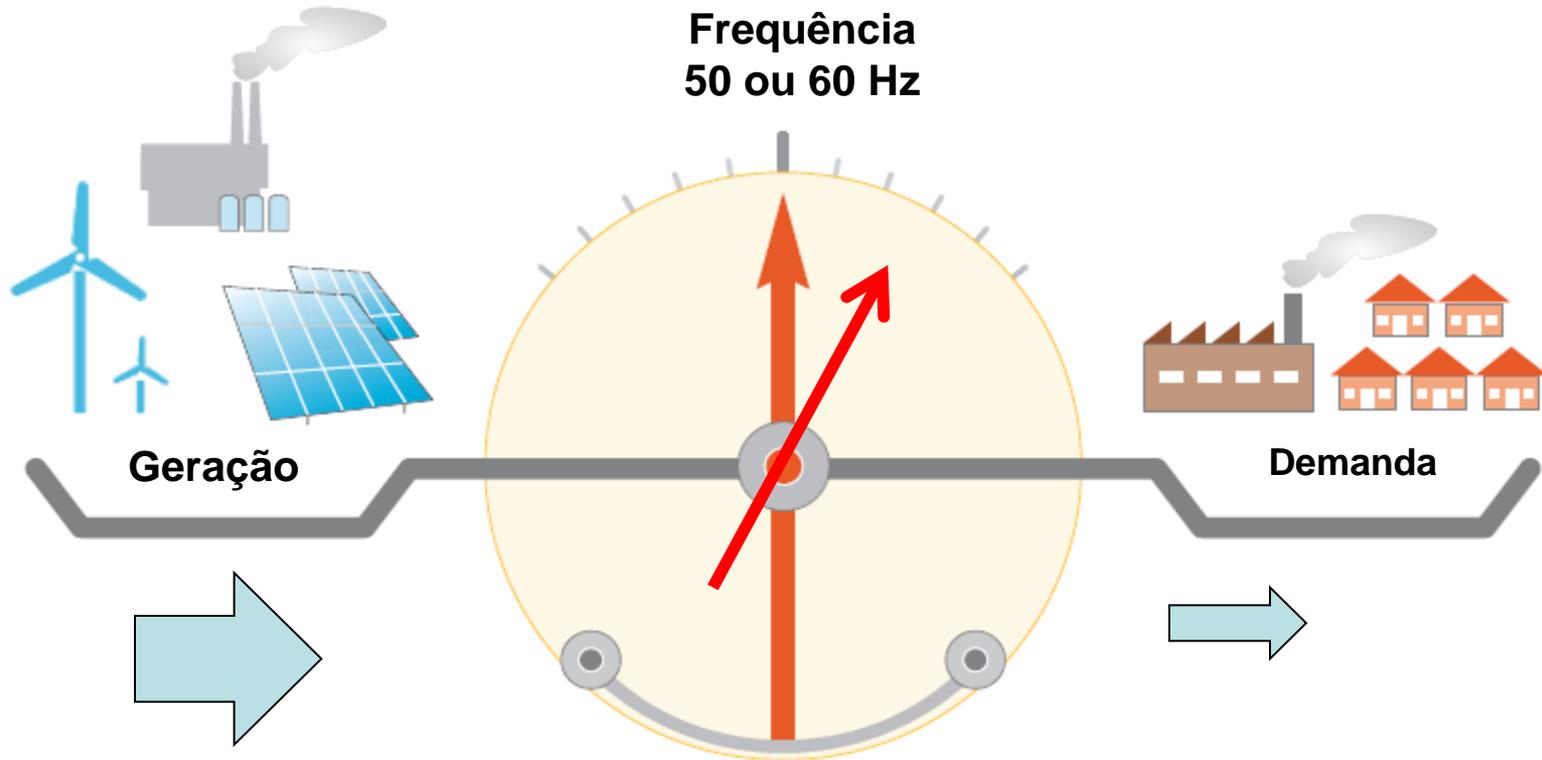
- **Situação atual: contextualização**

Integração de fontes Intermitentes (eólica e fotovoltaica)



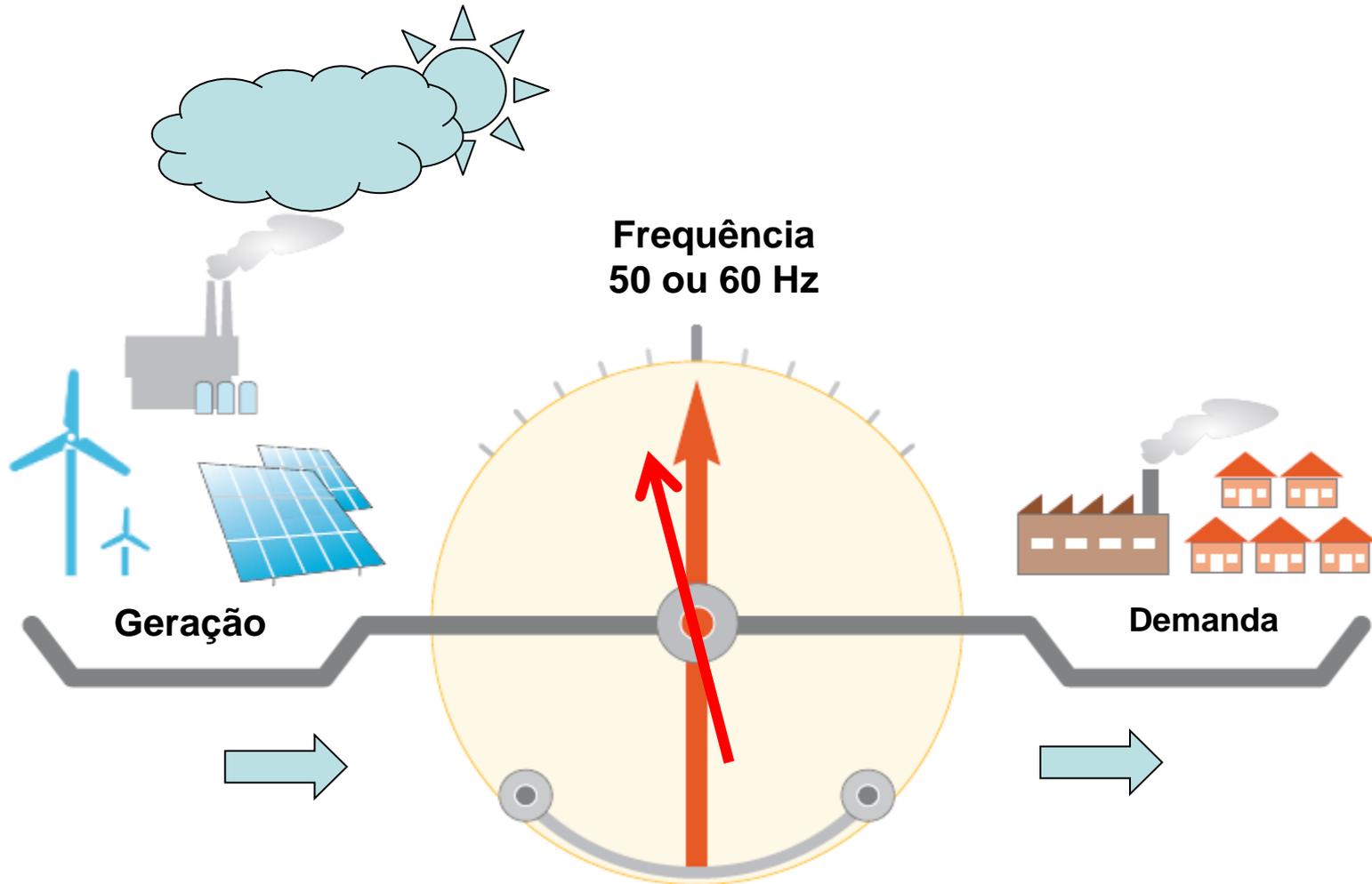
- **Situação atual: contextualização**

Integração de fontes Intermitentes (eólica e fotovoltaica)



- **Situação atual: contextualização**

Integração de fontes Intermitentes (eólica e fotovoltaica)



## FORNECIMENTO DE SERVIÇOS ANCILARES COM SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS COM ALTA PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

### ✓ Objetivos:

O objetivo principal do projeto consiste em prover subsídios técnicos, normativos e regulatórios para a integração de sistemas de armazenamento de energia com bateria à rede elétrica para o fornecimento de serviços ancilares associados com a penetração de fontes intermitentes, em particular a fotovoltaica.



# Infraestrutura em fase de implantação para estudo se serviços ancilares

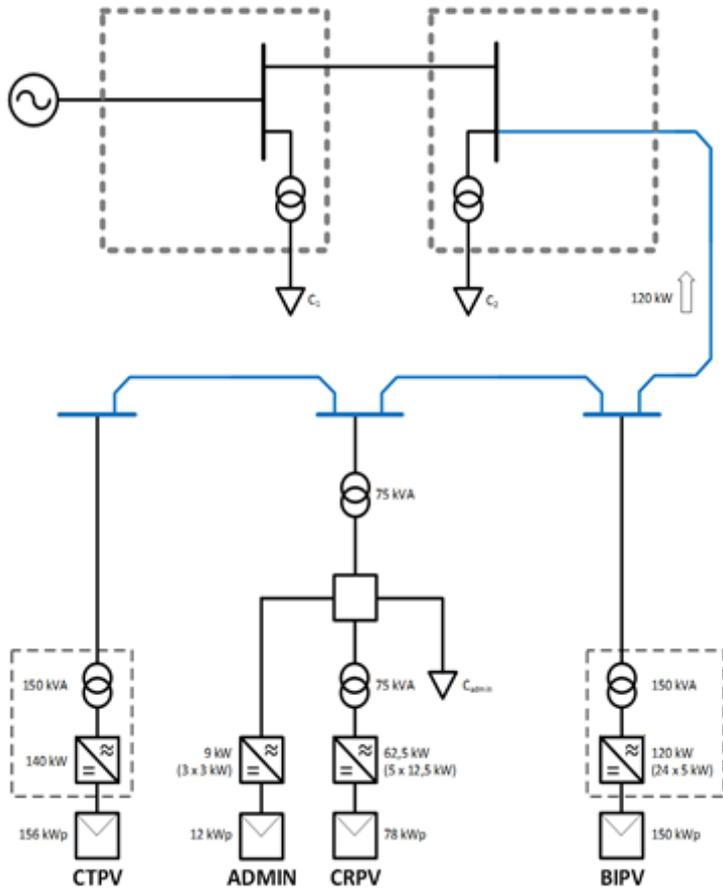
---

## ✓ Meta física no IEE-USP:

- **Instalação do protótipo desenvolvido: capacidade de 100 kWh e conversor bidirecional de 100 kVA.**



# Infraestrutura em fase de implantação para estudo se serviços ancilares



## ATUALMENTE:

- Gerador FV (total): 396 kWp
- Inversor FV (total): 331 kW

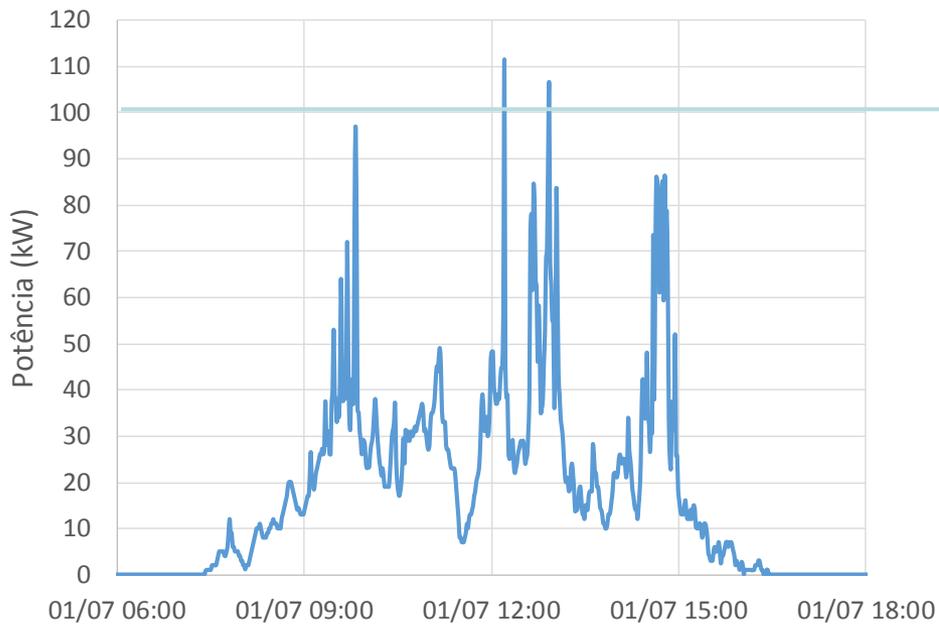
## PROPOSTA:

- Gerador FV: 150 kWp
- Inversor FV: 120 kWp
- Ajuste da geração fotovoltaica à demanda
- Geração modular (24 inversores)
- Simulação de diferentes níveis de penetração
- Inversor bidirecional: 100 kVA
- Banco de baterias: 100 kWh
- Sistema de controle

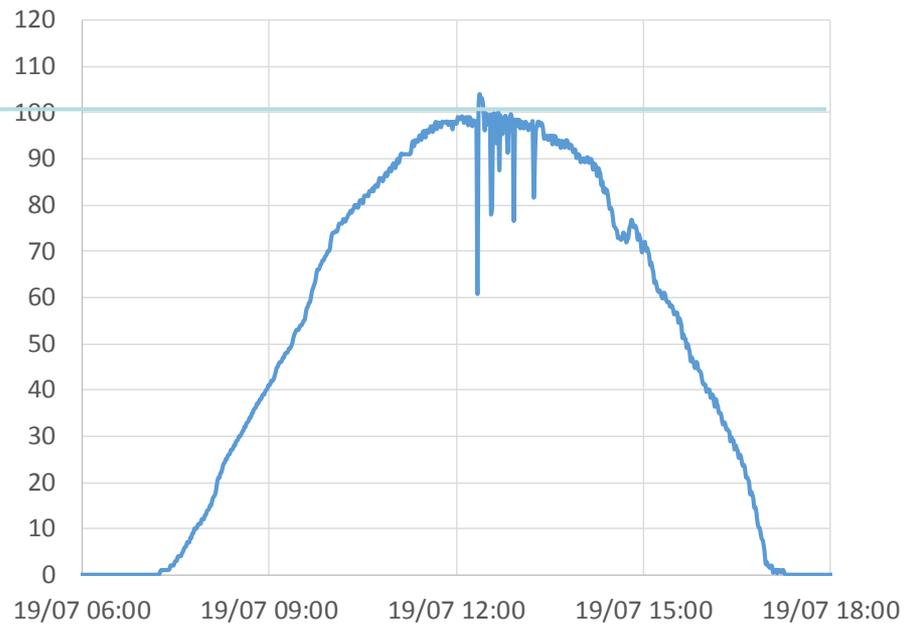
# Infraestrutura em fase de implantação para estudo se serviços ancilares

## Geração do sistema BIPV

### Céu parcialmente nublado

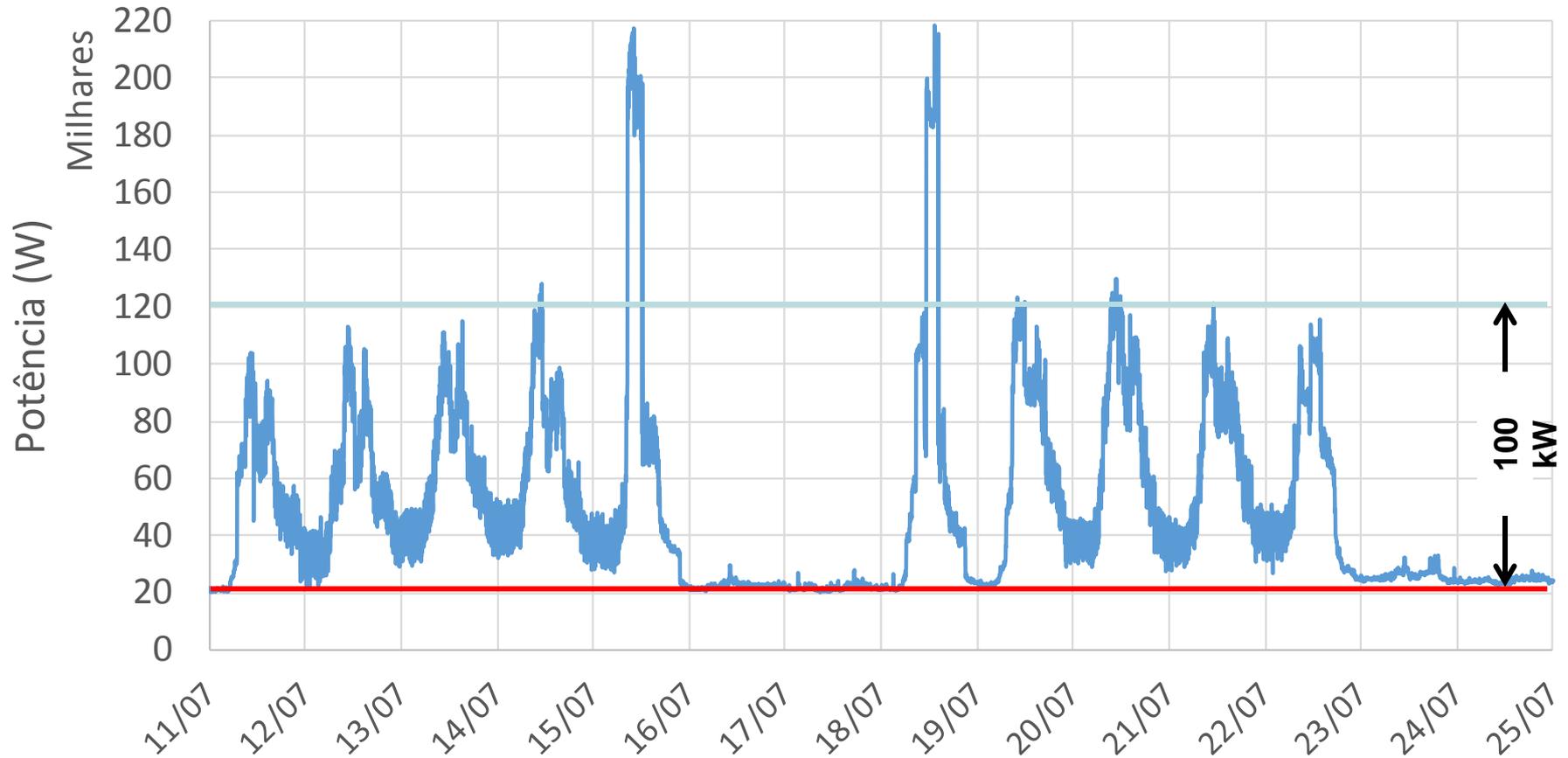


### Céu claro



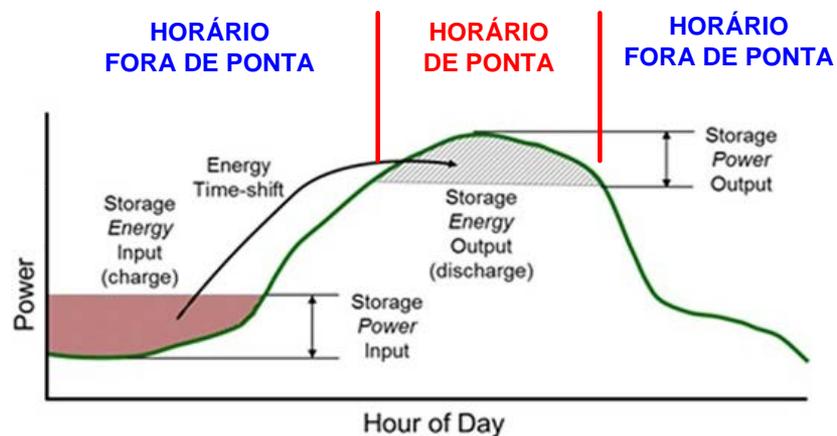
# Infraestrutura em fase de implantação para estudo se serviços ancilares

## Demanda do IEE (subestação “altas tensões”)

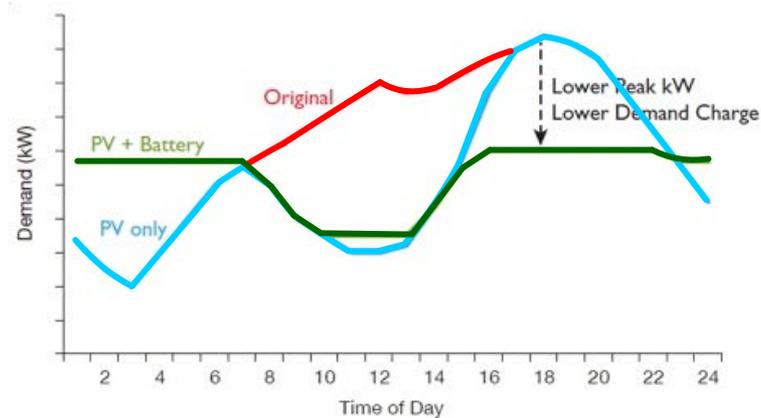


- **Gestão ativa da demanda/armazenamento.**

*time-shifting*



*peak-shaving*





# Infraestructura Laboratorial para Estudios de Minirredes Híbridas Inteligentes

- (a) Microgrid Central Controller MGCC.
- (b) Sistema monofásico 1.
- (c) Sistema trifásico 1.
- (d) Sistema monofásico 2.
- (e) Sistema trifásico 2.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

- **ST1**

- Principais componentes do ST1

- 8 x Geradores fotovoltaicos , totalizando 6,71 kWp;
- 6 x Inversores de conexão à rede;
- 3 x Inversores bidirecionais;
- 2 x Controladores de carga;
- 1 x Banco de baterias VRLA de 48 V / 490 Ah (**23,5 kWh**);
- 1 x *multicluster*.

- **Características do sistema**

- Acoplamento misto;
- Geração distribuída no lado da carga no *multicluster*;
- Grupo Moto-Gerador de 40 kVA;
- Conexão com à rede elétrica.

- **SM1**

- Principais componentes do SM1

- 3 x Geradores fotovoltaicos , totalizando 1,28 kWp;
- 2 x Inversores de conexão à rede;
- 1 x Inversores bidirecionais;
- 1 x Controladores de carga;
- 1 x Banco de baterias VRLA de 48 V / 200 Ah (**9,6 kWh**);

- **Características do sistema**

- Acoplamento misto;
- Grupo Moto-Gerador de 40 kVA;
- Conexão com à rede elétrica;
- Possibilidade de fluxo reverso de potência para à rede elétrica.

## • ST2

### – Principais componentes do ST2

- 1 x Gerador fotovoltaico , totalizando 2,8 kWp;
- 3 x Inversores bidirecionais;
- 1 x Controladores de carga;
- 2 x Banco de baterias VRLA de 48 V / 200 Ah (**9,6 kWh**);
- 1 x *X-Connect*.

### • Características do sistema

- Acoplamento c.c.;
- Grupo Moto-Gerador de 40 kVA;
- Conexão com à rede elétrica.

## • SM2

### – Principais componentes do SM2

- 1 x Gerador fotovoltaico , totalizando 2,8 kWp;
- 1 x Inversores bidirecionais;
- 1 x Controladores de carga;
- 1 x Banco de baterias VRLA de 24 V / 200 Ah (**4,8 kWh**);
- 1 x *XW Power Distribution Painel*.

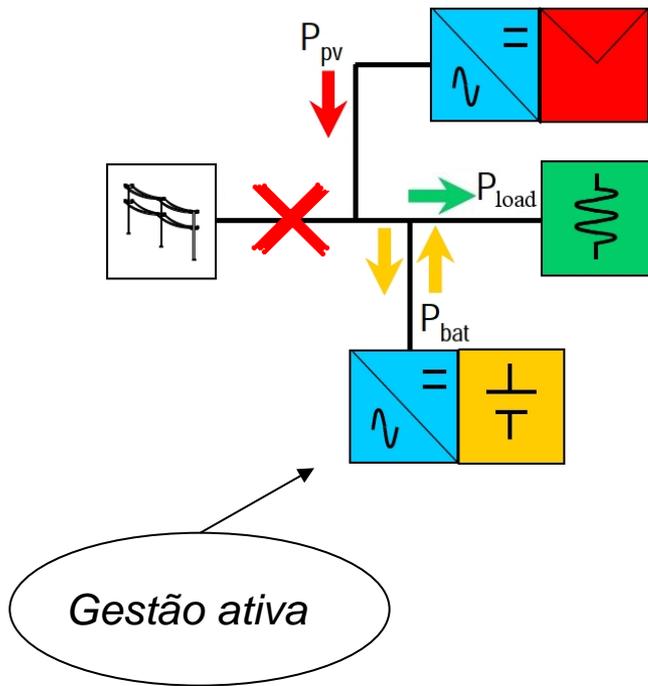
### • Características do sistema

- Acoplamento c.c.;
- Grupo Moto-Gerador de 40 kVA;
- Conexão com à rede elétrica;
- Possibilidade de fluxo reverso de potência para à rede elétrica.

## Minirredes do LSF, IEE-USP

	Gerador FV	Banco de Baterias	Inversores Bidirecionais
Sistema Trifásico 1	6,71 kWp	23,5 kWh	15 kVA
Sistema Trifásico 2	2,8 kWp	19,2 kWh	18 kVA
Sistema Monofásico 1	1,28 kWp	9,6 kWh	5 kVA
Sistema Monofásico 2	0,4 kWp	4,8 kWh	4 kVA

# GESTÃO ATIVA DA GERAÇÃO/DEMANDA



Fator de autoconsumo

FV as cargas      FV as baterias

$$\xi = \frac{E_{pv,load} + E_{bat,load}}{E_{load}}$$

$\xi = 0$  → Não há geração local

$\xi = 1$  → Não se extrai eletricidade da rede

- A aplicação em grande escala de topologias inteligentes de minirredes ainda tem que superar dificuldades e barreiras.
- A possibilidade de simular um ambiente em que os “prosumers” possam interagir ativamente com a rede comprando, vendendo e até mesmo colocando os preços sobre a energia que estariam dispostos a negociar fornecerá informações úteis sobre a operação de tais ambientes.

**1995**



**2017**



**“...não há nada mais difícil de executar e perigoso de manejar (e de êxito duvidoso) do que a instituição de uma nova ordem de coisas. Quem toma tal iniciativa adquire a inimizade de todos os que são beneficiados pela ordem antiga, e é defendido sem muito calor por todos os que seriam beneficiados pela nova ordem – falta de calor que se explica em parte pelo medo dos adversários, que têm as leis de seu lado, e em parte pela incredulidade dos homens. Estes, com efeito, não acreditam nas coisas novas até que as experimentam; portanto, aqueles que as rejeitam todas as vezes que podem atacá-las o fazem com empenho, e os que as defendem, defendem-nas tepidamente, de modo que a seu lado se tem uma posição pouco firme”**

**Nicolau Maquiavel, O Príncipe (Cap VI)**

---

**OBRIGADO PELA ATENÇÃO**



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Roberto Zilles

[zilles@iee.usp.br](mailto:zilles@iee.usp.br)