

# Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica (LSEE)

Prof. José Carlos de Melo Vieira Júnior

2020

# O LSEE



# LSEE – Professores e Alunos

- ➔ ***Prof. Dr. Denis Vinicius Coury***
- ➔ ***Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior***
- ➔ ***Prof. Dr. Mário Oleskovicz***
  
- ❖ **Cerca de 30 alunos de pós-graduação (Mestrado e Doutorado)**
  
- ❖ **Cerca de 10 alunos de iniciação científica**

# LSEE – Principais Linhas de Pesquisa

- ➔ **Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência**
  - ➔ Responsável: Prof. Dr. Denis V. Coury
- ➔ **Distribuição de Energia Elétrica e Geração Distribuída**
  - ➔ Responsável: Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Jr.
- ➔ **Qualidade da Energia Elétrica**
  - ➔ Responsável: Prof. Dr. Mário Oleskovicz

# Distribuição de Energia Elétrica: Desafios e Perspectivas para os Próximos Anos

*Redes Elétricas  
“Inteligentes”*



# Sistemas de Energia Elétrica



## GERAÇÃO

Grandes centrais  
(centenas/milhares  
de MW)



## TRANSMISSÃO

Grandes distâncias  
Tensões elevadas  
( $\geq 138$  kV)



## DISTRIBUIÇÃO

Consumidores finais  
Média e baixa tensões  
(138 kV a 127 V)

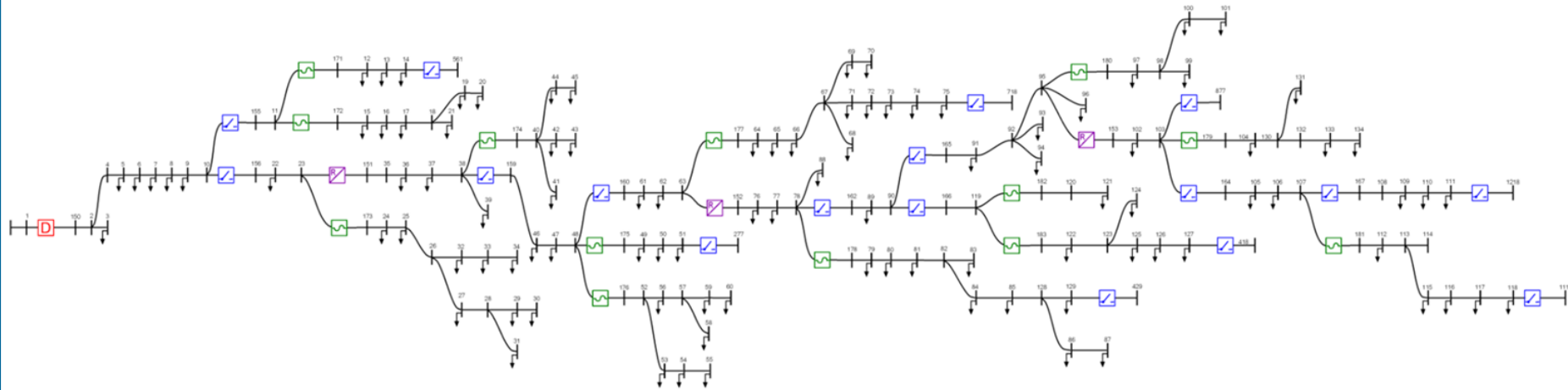
# Sistemas de Energia Elétrica: Presente

- ⇒ **Geração centralizada de grande porte localizada distante dos grandes centros de carga.**
- ⇒ **Médio/alto nível de automatização e monitoramento de sistemas de transmissão e de geração.**
- ⇒ **Baixo nível de monitoramento e automatização em sistemas de distribuição de energia elétrica.**
- ⇒ **O consumidor final é passivo.**
- ⇒ **Poucas oportunidades para a proposição de novos serviços.**



# Sistemas de Energia Elétrica: Presente

## Sistemas de Distribuição



- ⇒ **Sistema radial**
- ⇒ **Planejamento e operação de baixa complexidade**
- ⇒ **Proteção dos equipamentos também de baixa complexidade**
- ⇒ **Fluxo de energia unidirecional**



# Cenário *Atual*



Crescente aumento da  
demanda por energia  
elétrica



Interesses econômicos e  
governamentais



Necessidade de  
diversificação da matriz  
energética



Confiabilidade e  
qualidade da energia  
elétrica



Necessidade da redução  
da emissão de gases  
estufa (CO<sub>2</sub>)



Consumidores mais  
exigentes

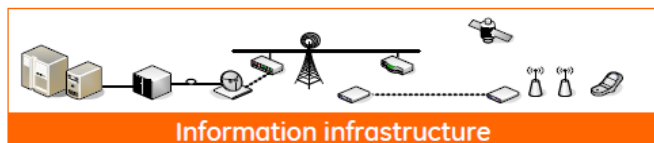
**Como lidar com estes fatos?**

# Cenário *Futuro*

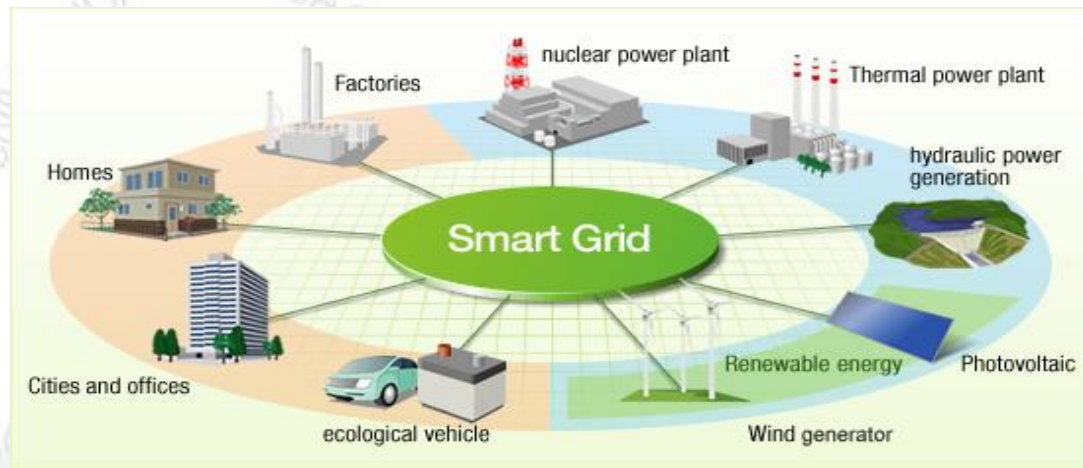
## Redes Eléctricas Inteligentes (*Smart Power Grids*)



+



Sources: UtilityPoint by Ethan Cohen, EPRI Intelligrid



Source: Environmental activities hitachi.com

Um sistema eléctrico de potência contendo vários sensores interligados por modernos sistemas de comunicação e aquisição de dados. Este sistema proverá análises em tempo real por meio de computação distribuída permitindo ações preditivas em vez de corretivas a problemas que ocorrem na rede eléctrica (*The Electric Power Research Institute - EPRI*).

# Smart Grids: Características Principais



**Auto-Recuperação**



**Elevados Índices de  
Confiabilidade e de QEE**



**Medidores  
Eletrônicos/Inteligentes**



**Geração distribuída e  
armazenadores de  
energia**

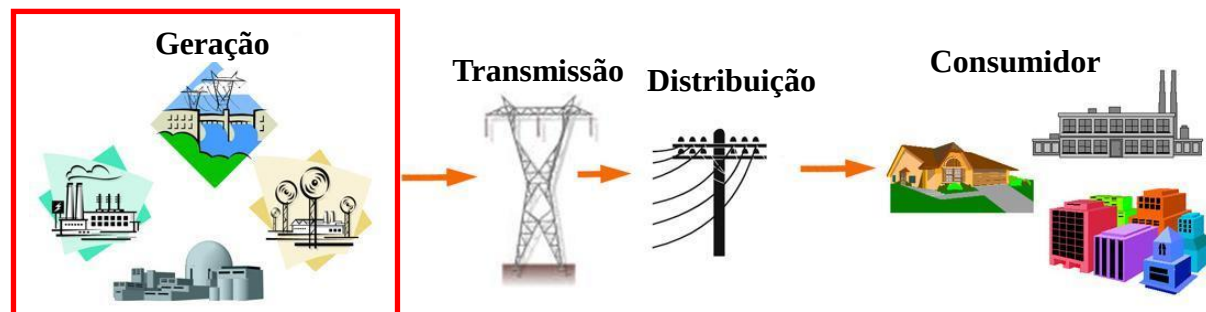


**Consumidor Ativo**



**Novos modelos de  
negócio**

# Potenciais Mudanças nos Sistemas Atuais



Impacto nos sistemas de geração: **Moderado**

Fontes: Argonne US National Laboratory, CISCO

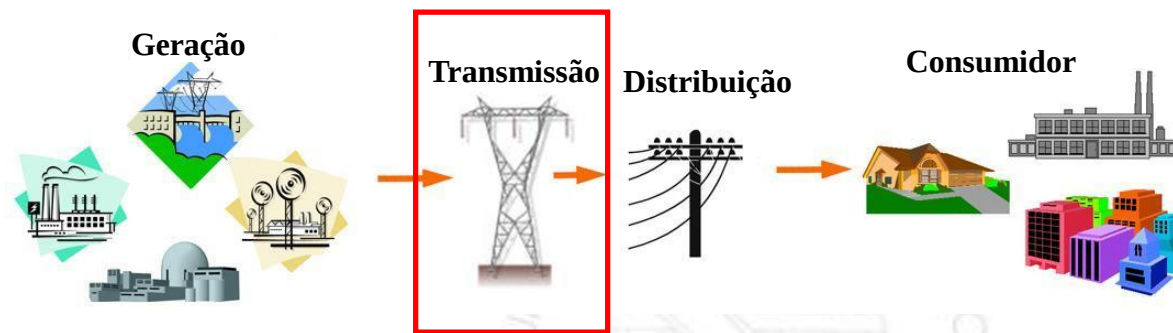
## Passado/Presente:

- Principalmente geração centralizada de grande porte

## Futuro (potencial):

- Geração centralizada de grande porte combinada com a geração distribuída (principalmente envolvendo fontes renováveis – eólica e solar)

# Potenciais Mudanças nos Sistemas Atuais



Impacto nos sistemas de transmissão: **Moderado**

Fontes: Argonne US National Laboratory, CISCO

## Passado/Presente:

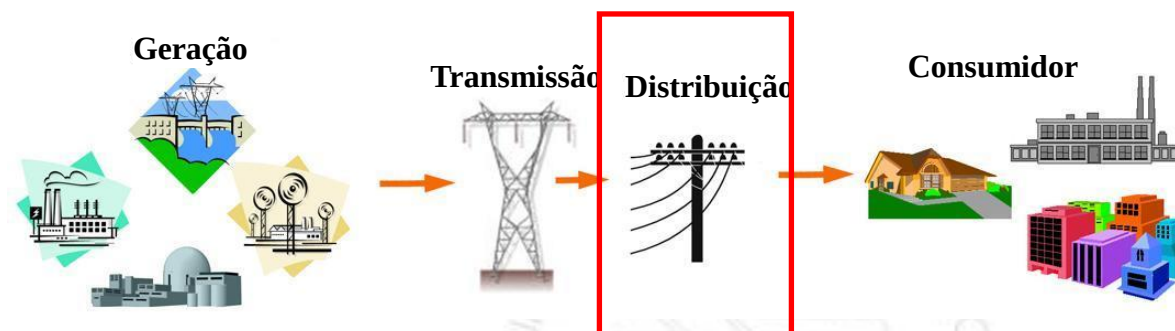
- Boa parte dos equipamentos monitorados manualmente
- Limitadas opções de controle durante contingências (defeitos)
- Não opera de forma proativa para diagnosticar potenciais problemas (atuação reativa)
- Restauração manual

## Futuro (potencial):

- Monitoramento automático e remoto
- Novas tecnologias de medição e de monitoramento
- Mais flexibilidades de controle via eletrônica de potência (FACTS, HVDC)
- Restauração automática, “*self-healing*”



# Potenciais Mudanças nos Sistemas Atuais



Impacto nos sistemas de distribuição: **Alto**

Fontes: Argonne US National Laboratory, CISCO

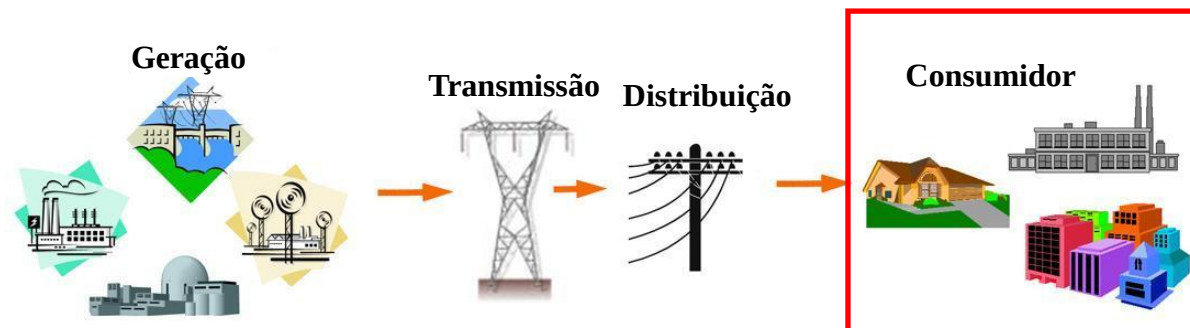
## Passado/Presente:

- Monitoramento manual
- Proteção limitada e localizada
- Reduzida capacidade de isolamento de faltas
- Furto de energia
- Perdas técnicas elevadas
- Rede passiva

## Futuro (potencial):

- Monitoramento remoto e automático
- Proteção adaptativa
- Monitoramento e informação do sistema em tempo real para o isolamento de faltas
- Monitoramento para reduzir o furto de energia
- Sistemas integrados para redução de perdas técnicas
- Geração distribuída

# Potenciais Mudanças nos Sistemas Atuais



Fontes: Argonne US National Laboratory, CISCO

## Passado/Presente:

- Cargas tradicionais (simples e bem comportadas)
- Impossibilidade em exercer controle direto sobre o uso de energia dos consumidores (pelas concessionárias). Respostas limitadas a programas de eficiência energética
- Falta de conhecimento sobre como os consumidores estão utilizando a energia (para redução e otimização do uso)
- Dificuldades em utilizar geração distribuída e sistemas de armazenamento de energia para melhor aproveitamento do sistema elétrico
- Interrupções no fornecimento de energia relativamente prolongadas e frequentes

## Futuro (potencial):

- Dispositivos digitais/microprocessados/eletrônicos
- Soluções de resposta à demanda com controle direto sobre a carga
- Infraestrutura avançada de medição
- Soluções para gerenciamento de energia residencial
- Soluções para integrar recursos associados a distribuição, geração e armazenamento de energia
- Sistemas de automação que permitem detecção antecipada ou mesmo prevenção de falhas/defeitos, reduzindo as interrupções

# Exemplos de Aplicações

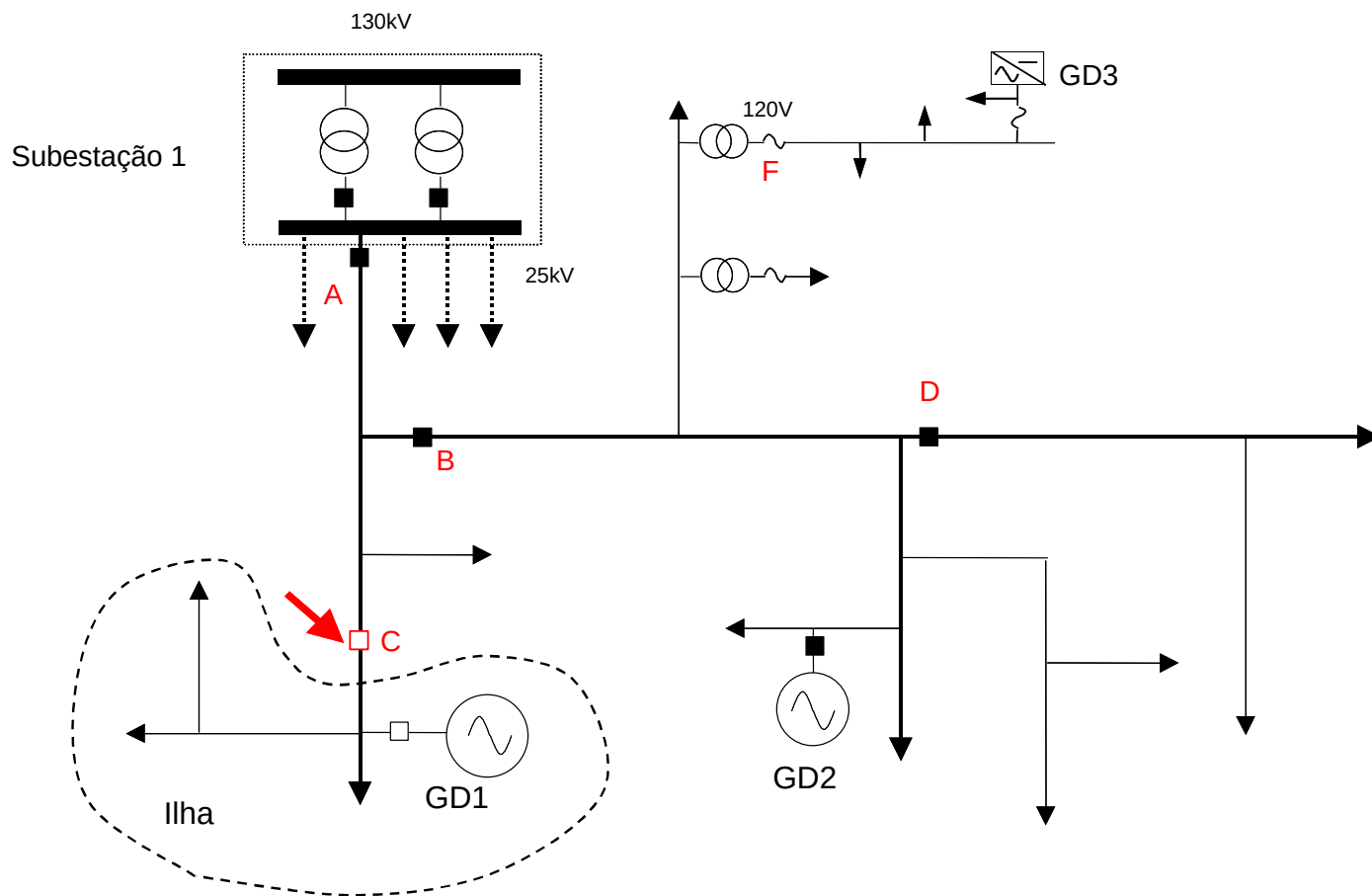




# **Detecção de Ilhamento de Geradores Distribuídos Empregando Redes Neurais Artificiais**

# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

## O que é ilhamento?

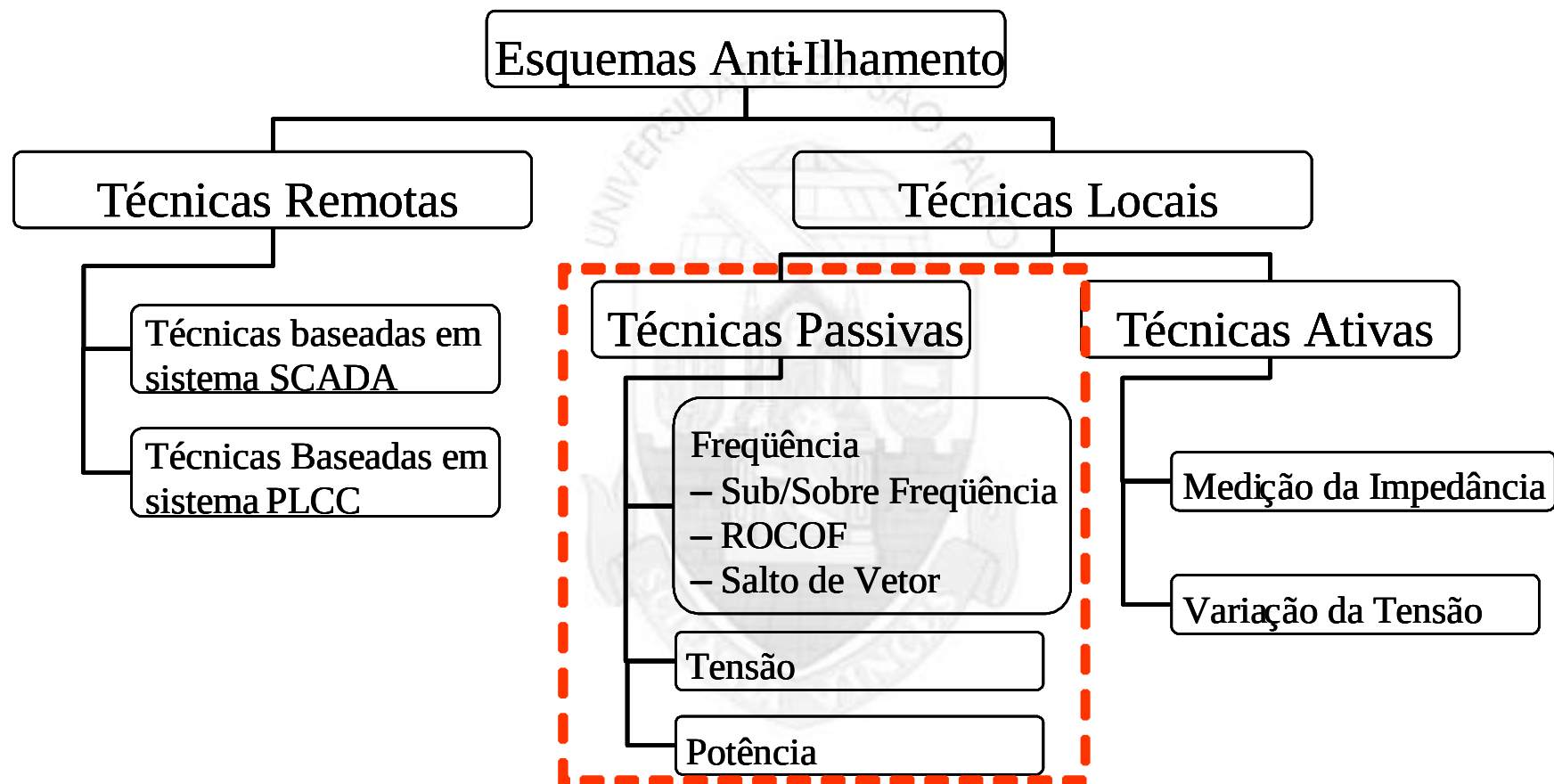


# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

- Atualmente, as concessionárias determinam a imediata desconexão do gerador distribuído da rede elétrica. Tipicamente, tempos inferiores a 2 segundos!
- **Mas qual o problema em deixar a carga alimentada pelo gerador?**
  - ⇒ Riscos à segurança do pessoal da equipe de manutenção da concessionária.
  - ⇒ Possível deterioração da qualidade da energia fornecida aos consumidores "ilhados".
  - ⇒ Perda da eficiência da coordenação entre os dispositivos de proteção contra sobrecorrente.
  - ⇒ Religamento automático fora de sincronismo.



# Detecção de Ilhamento Empregando RNA



# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

## Métodos passivos tradicionais

- Relés de frequência
- Relés de taxa de variação da frequência
- Relés de tensão

## Problemas

- Quando a carga da ilha é igual à geração, estes dispositivos podem não atuar.
- Se ajustados sensíveis demais, eles podem atuar indevidamente.

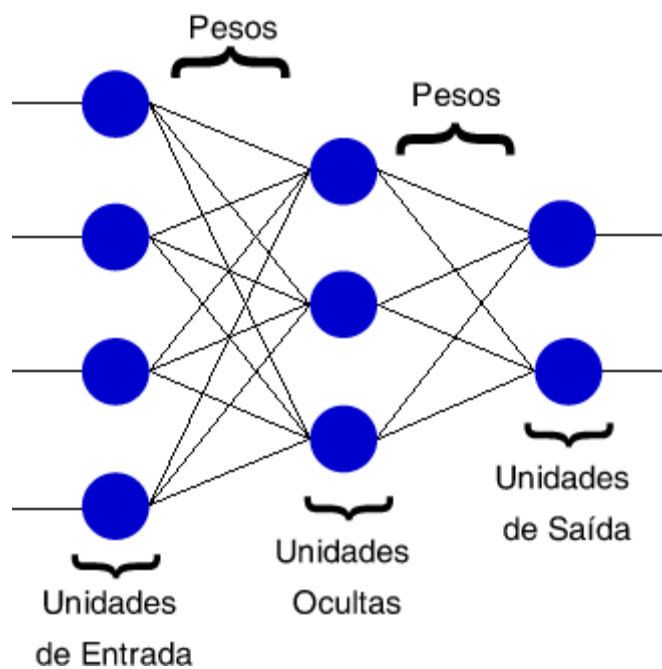
# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

**Potencial solução para este problema: uso de redes neurais artificiais (RNA)**

**Redes neurais artificiais são métodos computacionais inspirados no cérebro humano para solucionar determinados tipos de problemas. Estas redes simulam as conexões neurais que existem no cérebro de seres dotados de inteligência, adquirindo conhecimento com o aprendizado.**

# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

## Exemplo de arquitetura de uma RNA



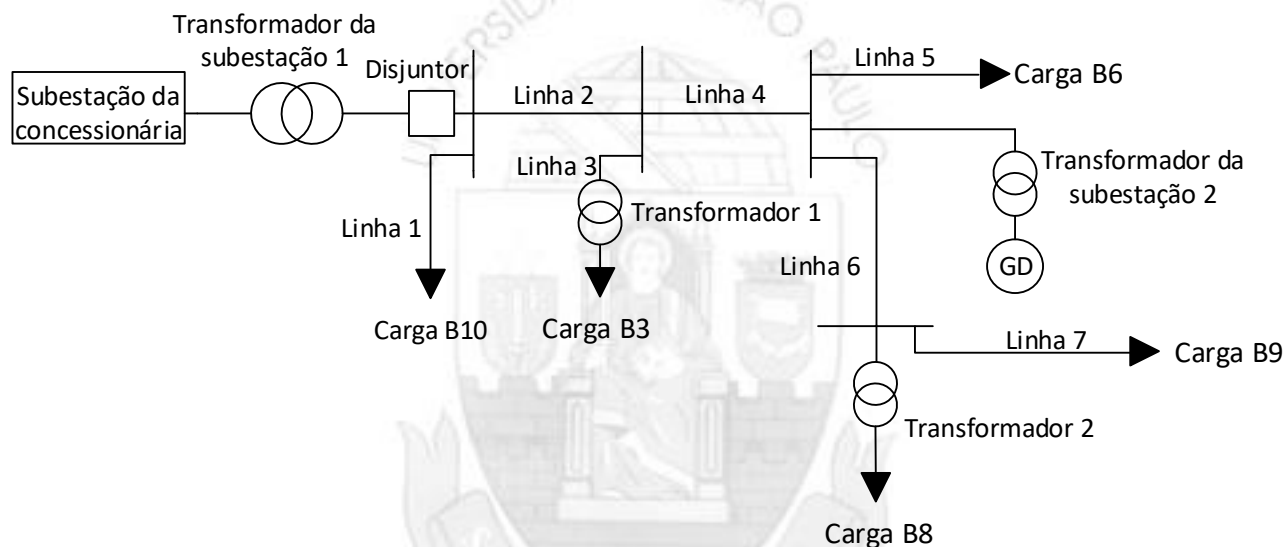
**Unidades de Entrada:** os padrões são apresentados à rede;

**Camadas Intermediárias ou Ocultas:** realizam a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas; podem ser consideradas como extratoras de características;

**Unidades de Saída:** o resultado final é concluído e apresentado.

# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

## Aplicação



Simulações  
computacionais  
de ilhamento e  
chaveamento de  
carga



Amostragem



Treinamento



Classificação

# Detecção de Ilhamento Empregando RNA

## Resultados

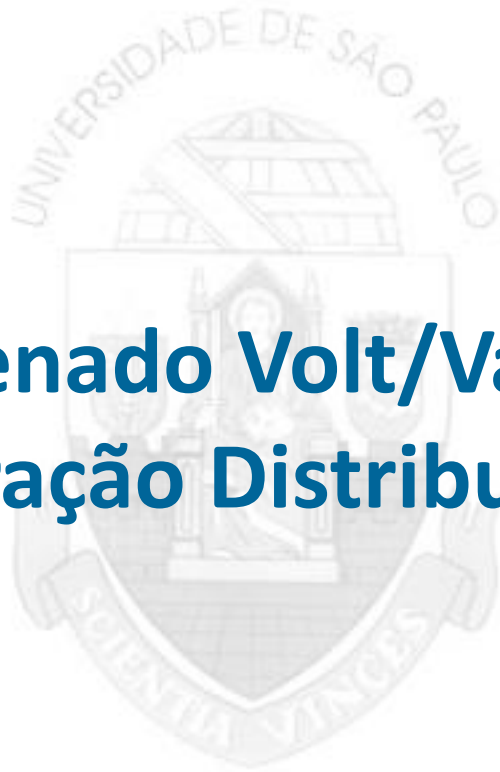
| Eventos              | N. de casos avaliados | Acertos(%) |
|----------------------|-----------------------|------------|
| Ilhamento            | 369                   | 99,20      |
| Chaveamento de carga | 1971                  | 99,39      |

## Desafios

Comparação de desempenho com as proteções convencionais

Embarcar o algoritmo em *hardware* para avaliar desempenho e rapidez

Melhorar taxa de acertos



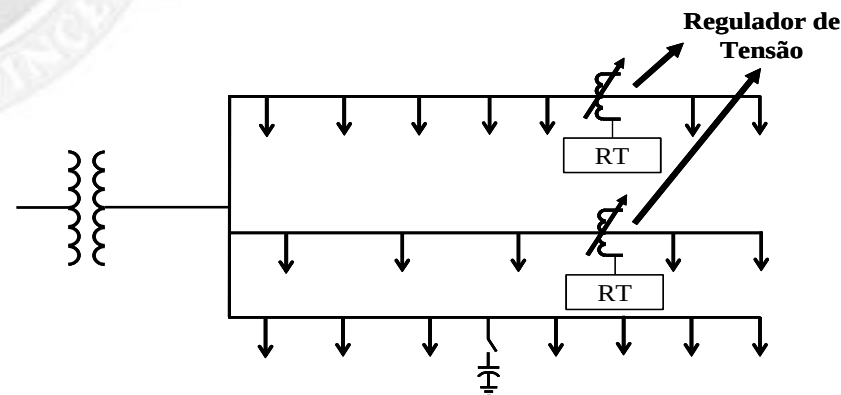
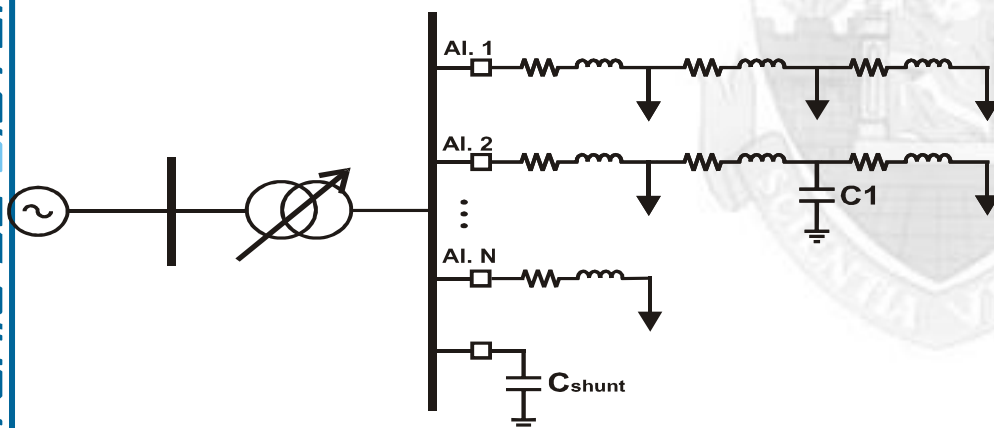
# **Controle Coordenado Volt/Var Considerando Geração Distribuída**



# Controle Coordenado Volt/Var com GD

⇒ Dispositivos de regulação de tensão existentes em redes de distribuição:

- Bancos de capacitores
- Reguladores automáticos de tensão de alimentadores
- Transformadores reguladores de tensão localizados na subestação

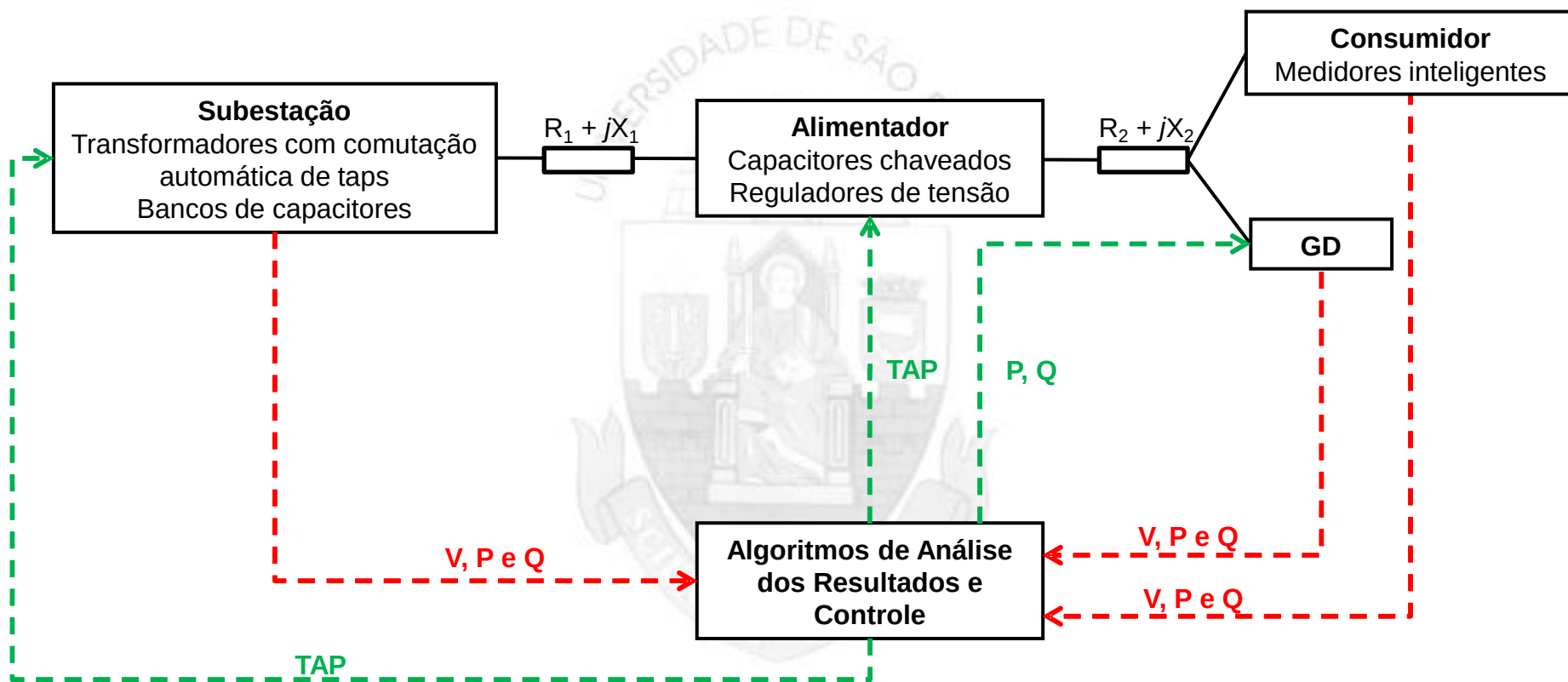


# Controle Coordenado Volt/Var com GD

- ⇒ A inserção de GD altera o fluxo de potência ativa e reativa nos sistemas de distribuição causando alterações na operação dos dispositivos reguladores de tensão.
- ⇒ Estas alterações podem melhorar ou prejudicar o desempenho das redes de distribuição.
- ⇒ **Proposta:** controle coordenado e centralizado entre GD e reguladores de tensão para minimizar os desvios de tensão nas cargas.

# Controle Coordenado Volt/Var com GD

## ⇒ Esquema idealizado



# Controle Coordenado Volt/Var com GD

⇒ **Formulação do problema**

**Min Power Losses OR Voltage Deviation**

**Subjected to:**

Power flow equations

Taps within limits

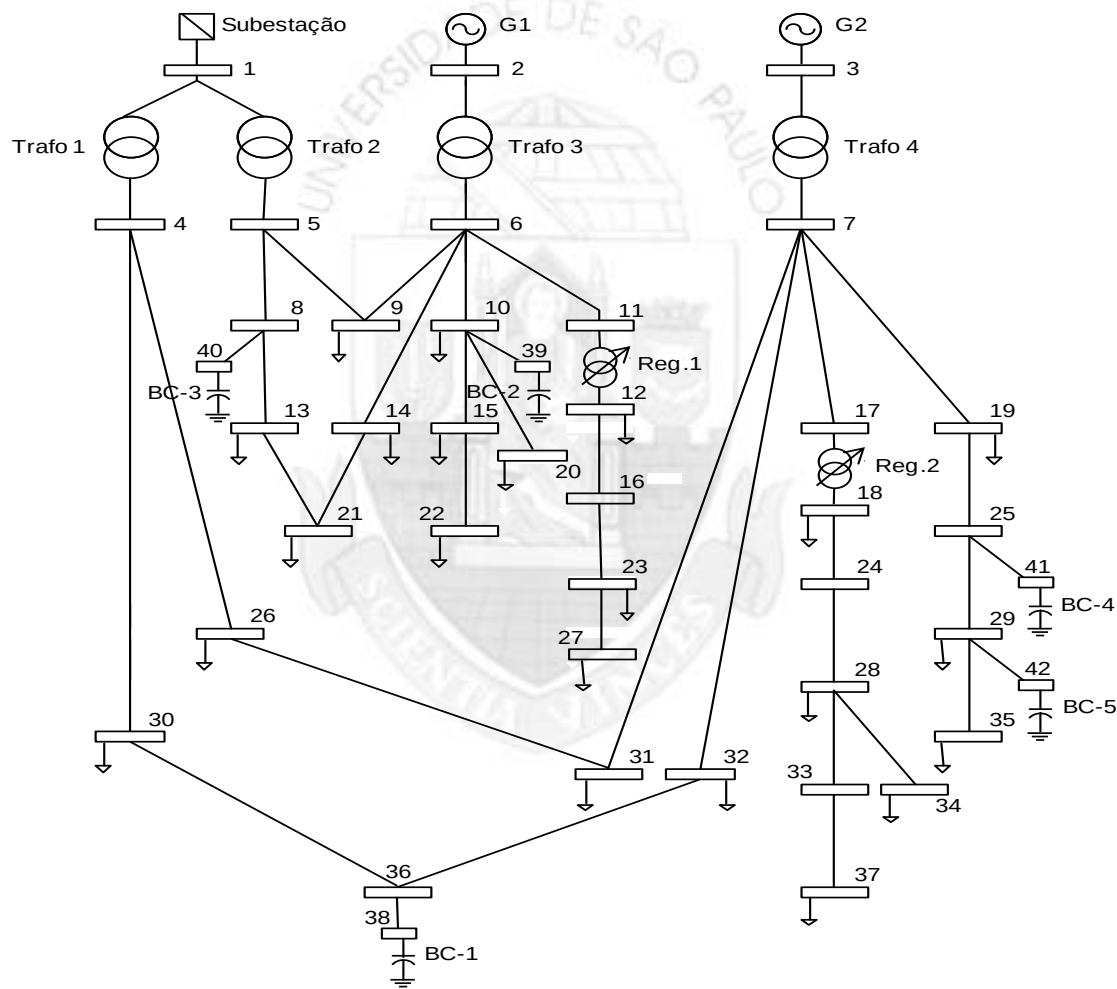
DGs cannot be overloaded

Power factor within limits

etc

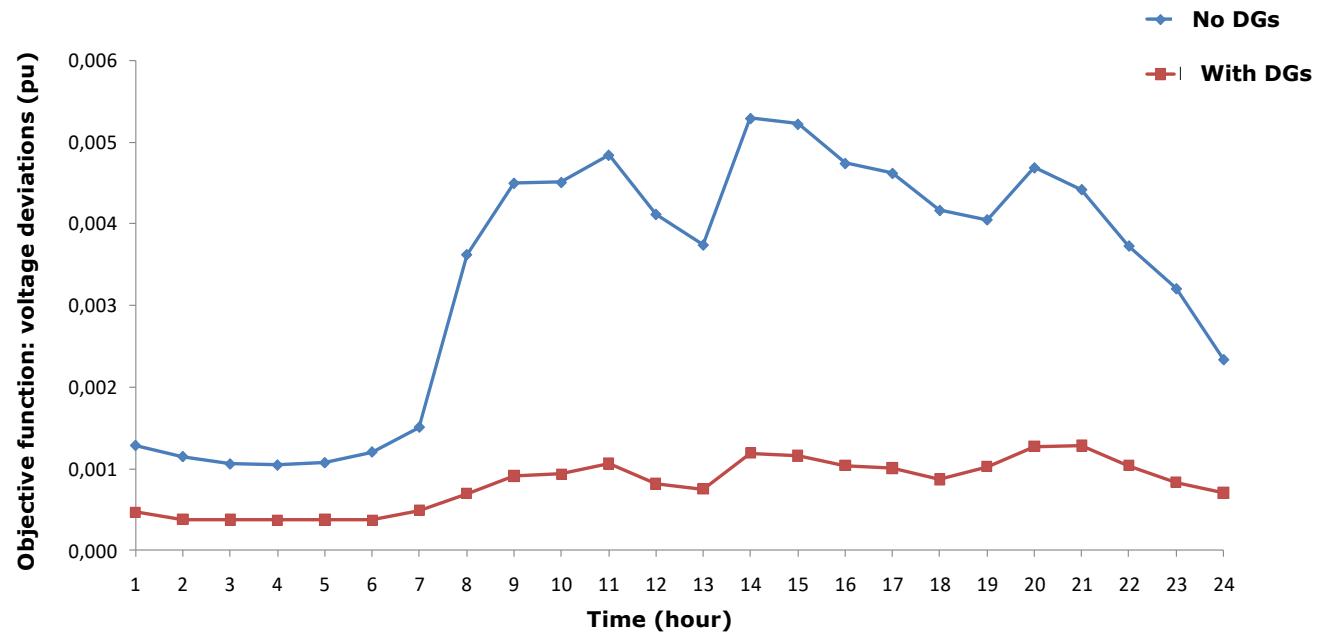
# Controle Coordenado Volt/Var com GD

## ⇒ Aplicação



# Controle Coordenado Volt/Var com GD

## ⇒ Aplicação - Resultados



| Caso          | Perdas em 24h (em MWh) |
|---------------|------------------------|
| Sem geradores | 8,16                   |
| Com geradores | 6,74                   |

# Controle Coordenado Volt/Var com GD

## ⇒ Desafios

Desenvolvimento e implantação da infraestrutura de comunicação

Incorporar a minimização das alterações de tap na formulação do problema

Desenvolver e implementar algoritmos eficientes para execução em tempo real



# **Deteção e Localização de Fontes de Perdas Não Técnicas (PNT)**



# Detecção e Localização de PNT

- ⇒ As **perdas não técnicas** ou **perdas comerciais** são um grave problema enfrentado pelas concessionárias.
- ⇒ Implicam em energia não faturada, logo em menores investimentos para melhorar a operação e planejamento das redes elétricas.



# Detecção e Localização de PNT

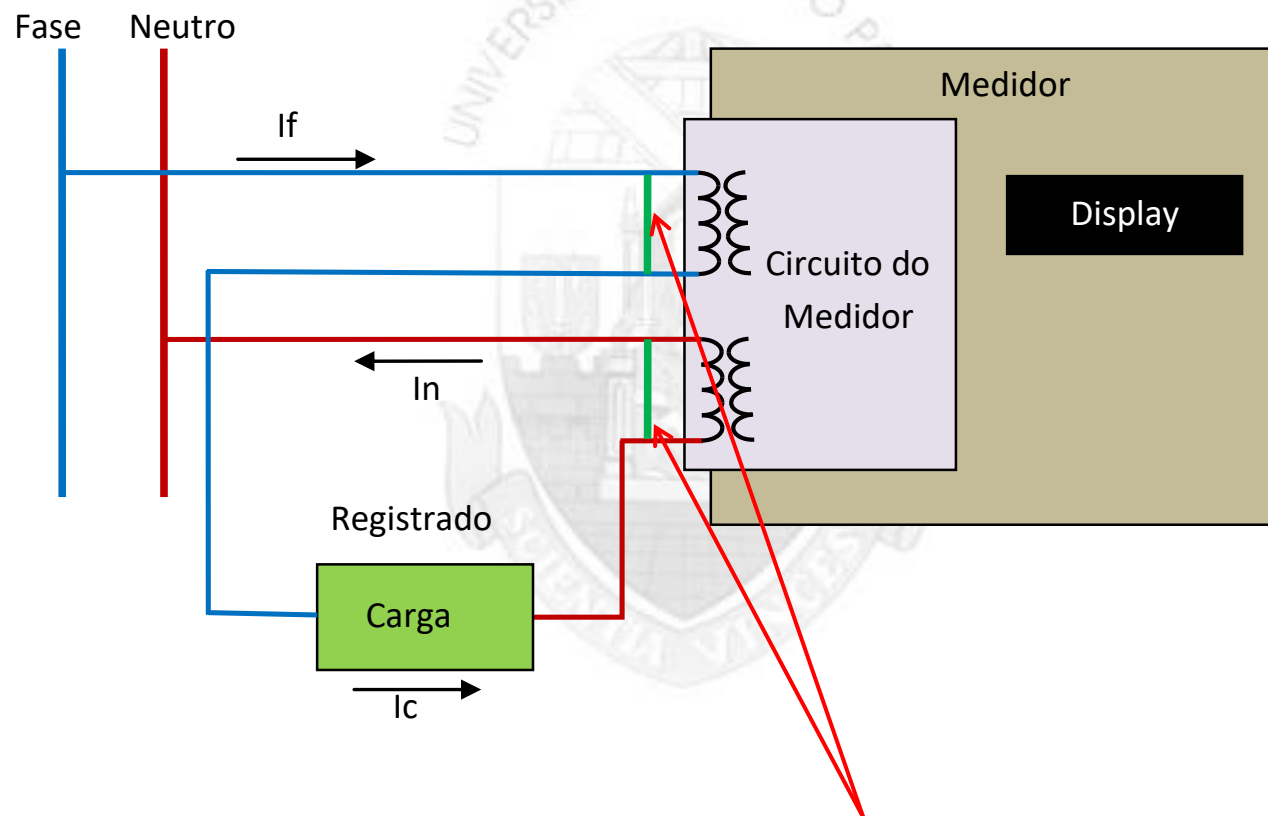
⇒ **Tipos de perdas não técnicas:**

- **Adulteração nas medidas**
- Conexões ilegais
- Irregularidades nas cobranças
- Inadimplência



# Detecção e Localização de PNT

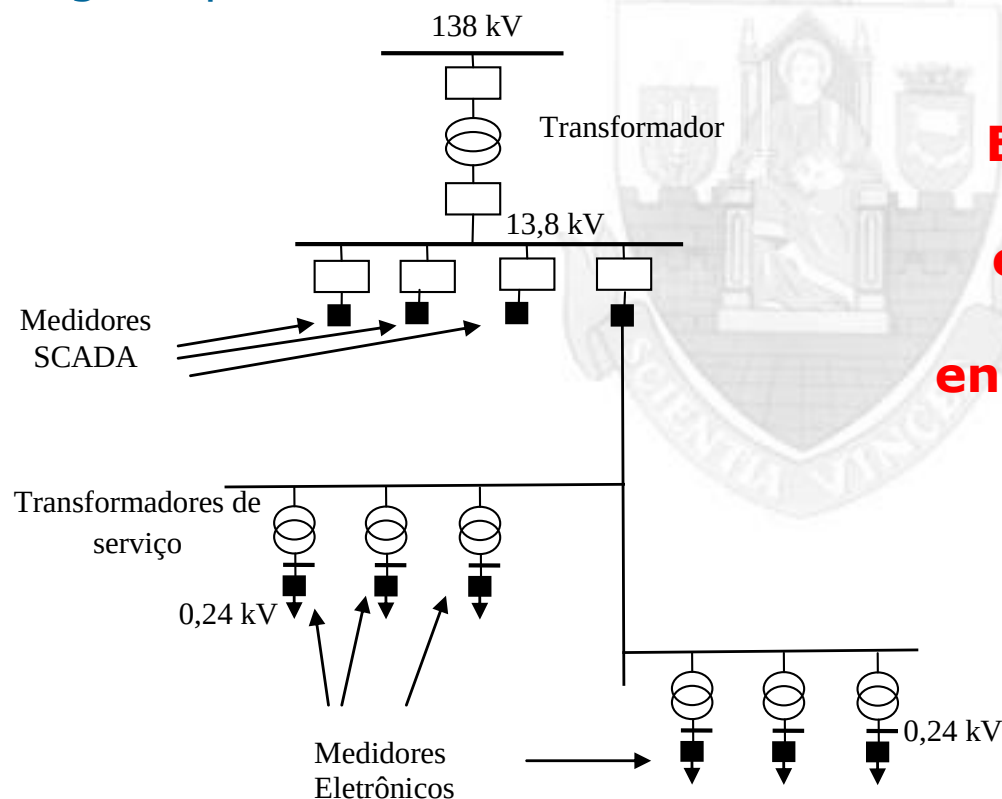
## ⇒ Adulteração nas medidas



**By-pass no medidor**

# Detecção e Localização de PNT

- ⇒ Os **medidores eletrônicos/inteligentes** podem auxiliar a combater as PNTs.
- ⇒ **Estratégia 1: Balanço de Energia** – auxilia a identificar a região que contém consumidores fraudulentos



**Energia entregue =  
energia consumida  
+  
energia perdas técnicas**

# Detecção e Localização de PNT

- ⇒ **Estratégia 2: Comparação dos valores medidos e calculados dispondo dos dados do medidor do cliente:** auxilia a identificar consumidores suspeitos
- Embora o by-pass do medidor altere as leituras de potência, não é possível alterar as leituras de tensão. Logo, esta variável é um forte indicador do furto de energia.
- **Em consumidores normais**      ➤ **Em consumidores fraudadores**

$$V = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{I}$$

$$V \neq \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{I}$$

# Detecção e Localização de PNT

## ⇒ Desafios

Desenvolver medidores com canal de comunicação confiável para o Centro de Operação da Distribuição

Desenvolver metodologias sistematizadas e eficientes de análise para identificar consumidores fraudadores com base nos dados medidos

Tratamento dos erros de medida (precisão dos medidores) e incertezas nos parâmetros do sistema elétrico

# EnerTracker

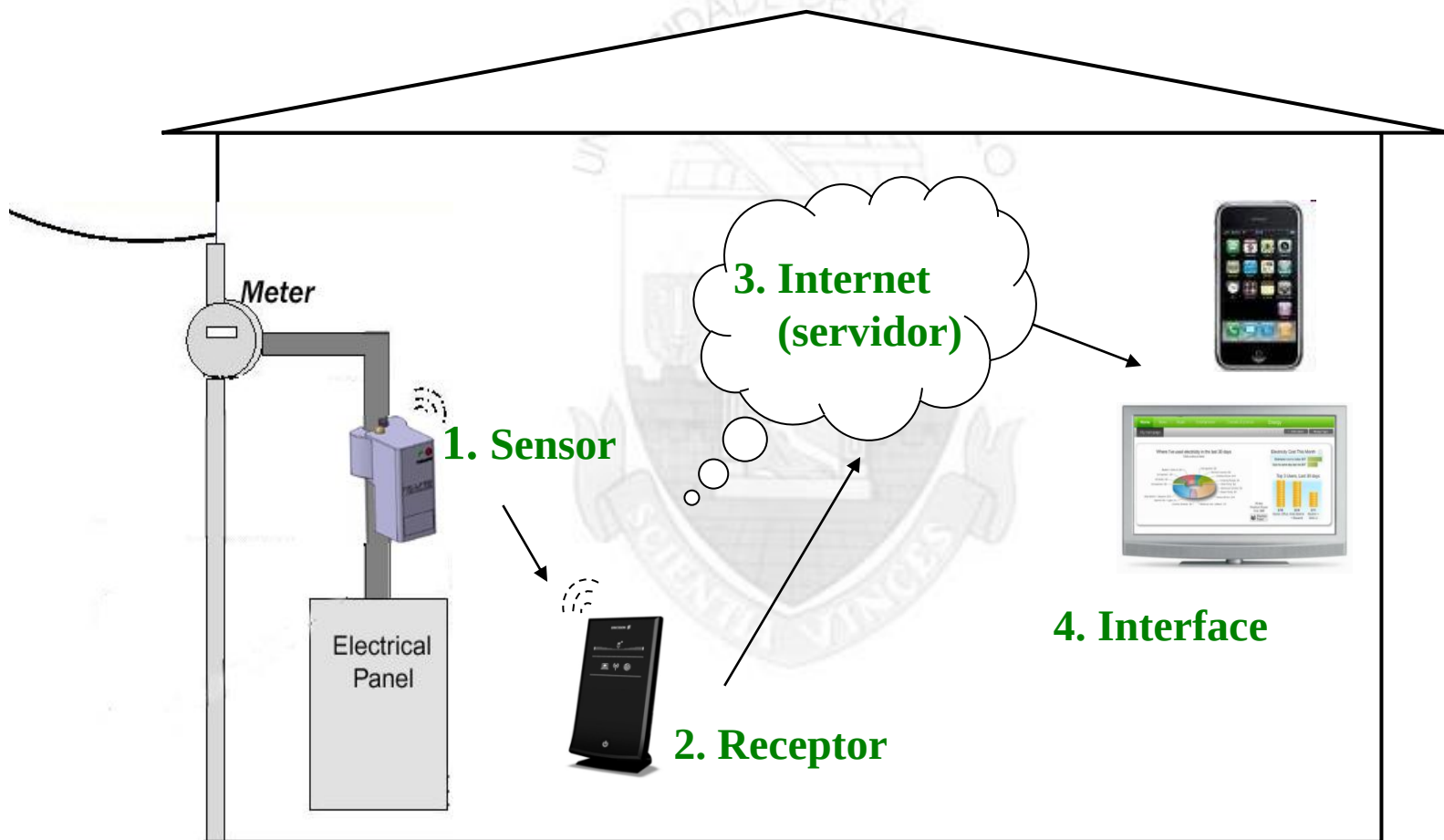
## Monitoramento de Energia para Residências e Estabelecimentos Comerciais

**Desenvolvido por pesquisadores da *University of Alberta* (Canada) em cooperação com pesquisadores da UNICAMP**



# EnerTacker

⇒ Esboço da tecnologia desenvolvida



# EnerTacker

## Benefícios

**Desmembramento da conta de energia por aparelho eletrodoméstico**

**O custo associado a cada uso de determinado aparelho**

**O desempenho energético de um aparelho específico em relação a aparelhos similares de outros consumidores**

**A potencial redução na conta de energia se determinado aparelho for usado de forma diferente**

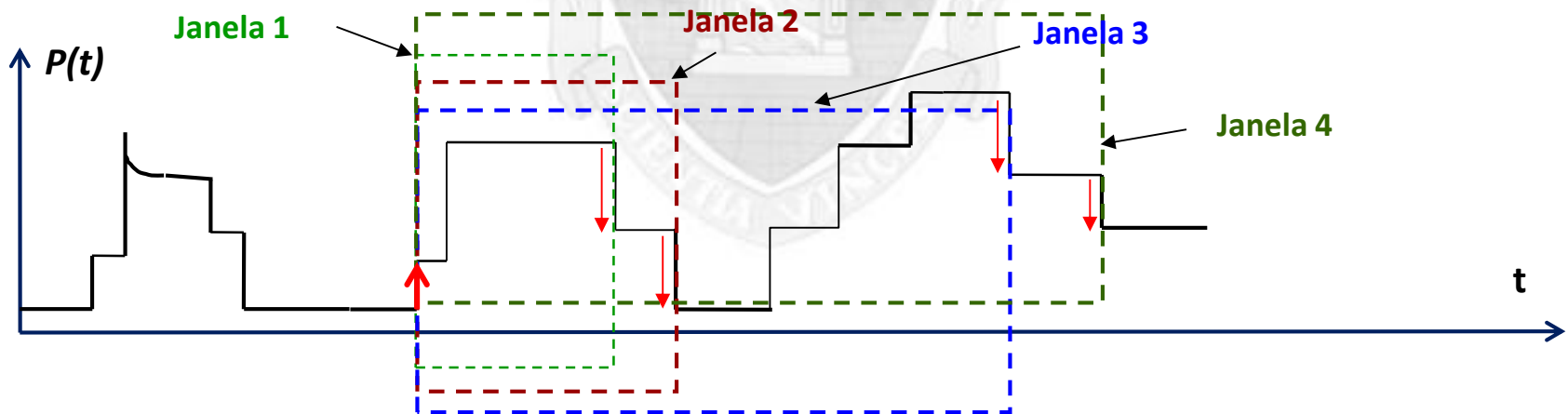
**Monitoramento do status dos aparelhos (portão da garagem fechado, fogão elétrico desligado, ...)**

**Diagnóstico da eficiência de um aparelho**

# EnerTacker

## Abordagem Baseada em Janela-Evento

- Uma janela-evento é uma sequência de eventos iniciando com uma borda de subida e terminando com uma borda de descida (aumento e redução da potência)
- Uma das janelas cobrirá todo o período de operação de determinado eletrodoméstico
- O problema se torna como associar corretamente determinada janela ao respectivo eletrodoméstico



# EnerTacker: Interface Web

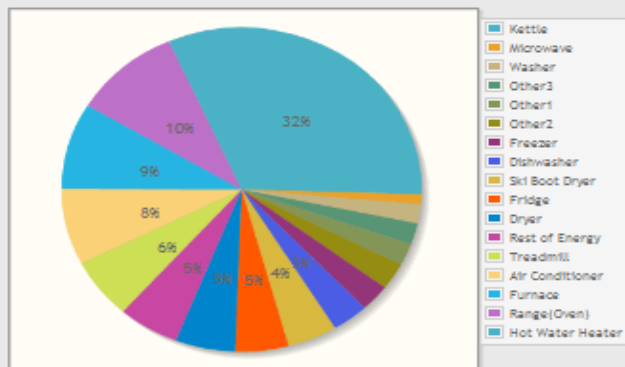
## Bill Breakdown

This page shows the electric cost of your registered appliances for each month.

**EnerTracker**

Month:

| Appliance        | Energy use | Energy cost | Cost per use | Percentage of total energy use |
|------------------|------------|-------------|--------------|--------------------------------|
| Microwave        | 2.2 kWh    | \$0.22      | \$0.00       | 1.0%                           |
| Range(Oven)      | 21.4 kWh   | \$2.14      | \$0.01       | 9.7%                           |
| Kettle           | 1.0 kWh    | \$0.10      | \$0.00       | 0.5%                           |
| Dishwasher       | 7.3 kWh    | \$0.73      | \$0.00       | 3.3%                           |
| Washer           | 4.2 kWh    | \$0.42      | \$0.00       | 1.9%                           |
| Dryer            | 11.8 kWh   | \$1.19      | \$0.01       | 5.4%                           |
| Fridge           | 10.5 kWh   | \$1.06      | N/A          | 4.8%                           |
| Freezer          | 5.9 kWh    | \$0.59      | N/A          | 2.7%                           |
| Air Conditioner  | 18.8 kWh   | \$1.88      | N/A          | 7.8%                           |
| Furnace          | 18.9 kWh   | \$1.89      | \$0.01       | 8.6%                           |
| Hot Water Heater | 69.7 kWh   | \$6.98      | \$0.04       | 31.6%                          |
| Ski Boot Dryer   | 9.9 kWh    | \$0.99      | \$0.01       | 4.5%                           |
| Treadmill        | 13.3 kWh   | \$1.33      | \$0.01       | 6.0%                           |
| Other1           | 4.8 kWh    | \$0.48      | N/A          | 2.2%                           |
| Other2           | 5.9 kWh    | \$0.59      | N/A          | 2.7%                           |
| Other3           | 4.7 kWh    | \$0.47      | N/A          | 2.1%                           |
| Rest of Energy   | 12.1 kWh   | \$1.21      | N/A          | 5.5%                           |



- Home
- Past Record
- Registration
- Bill Breakdown
- Compare
- What If...
- Analysis
- Alert
- Logout

Monitoramento diário, semanal e mensal do consumo de uma casa

Especificação de aparelhos a serem monitorados

Divisão da conta de energia por equipamento (esta página)

Comparação do consumo de aparelhos similares de todos os usuários

Simulação de ideias para redução de consumo

Análise do consumo de energia

Envio de mensagens de alerta conforme especificações do usuário

# Considerações Finais



# Considerações Finais

Os sistemas de energia elétrica estão passando por profundas modificações, criando novas oportunidades e necessidades. Neste contexto, tem-se:

- ✓ **Ensino:** Necessidade de formar um novo tipo de engenheiro eletricista, mantendo a base sólida tradicional, mas também com bom conhecimento em energias renováveis, teoria da informação e comunicação, etc;
- ✓ **Mercado de trabalho:** Equipes multidisciplinares;
- ✓ **Governo:** Novos agentes (GD, veículo elétrico, *smart meters*) demandam novas regulamentações (incluindo incentivos ou não). É papel da universidade participar deste processo junto aos órgãos do governo.
- ✓ **Pesquisa:** Do ponto de vista de pesquisa, tem-se potencial para desenvolvimentos científicos e tecnológicos, entre outros, nos seguintes temas:
  - Metodologias para viabilizar a integração de elevada quantidade geração renovável não somente em sistemas de transmissão, mas sobretudo em sistemas de distribuição (MT e BT);
  - Metodologias para aplicação dos novos dados de medição (*smart meters*, PMUs, etc) disponíveis no gerenciamento dos sistemas de energia elétrica;
  - Desenvolvimento de tecnologias para gerenciamento do consumo de energia elétrica.....



**Obrigado**

**Contato: [jcarlos@sc.usp.br](mailto:jcarlos@sc.usp.br)**