



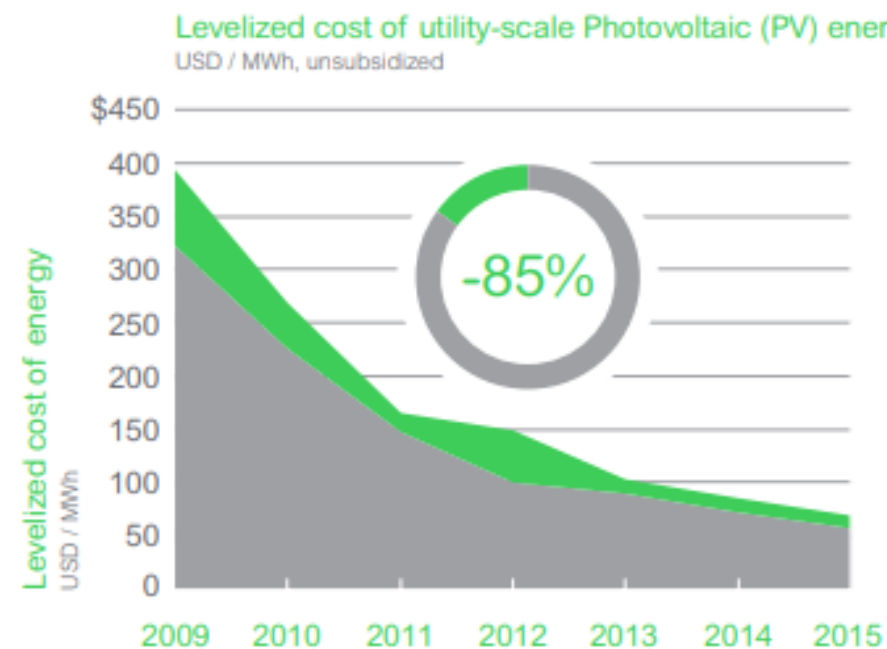
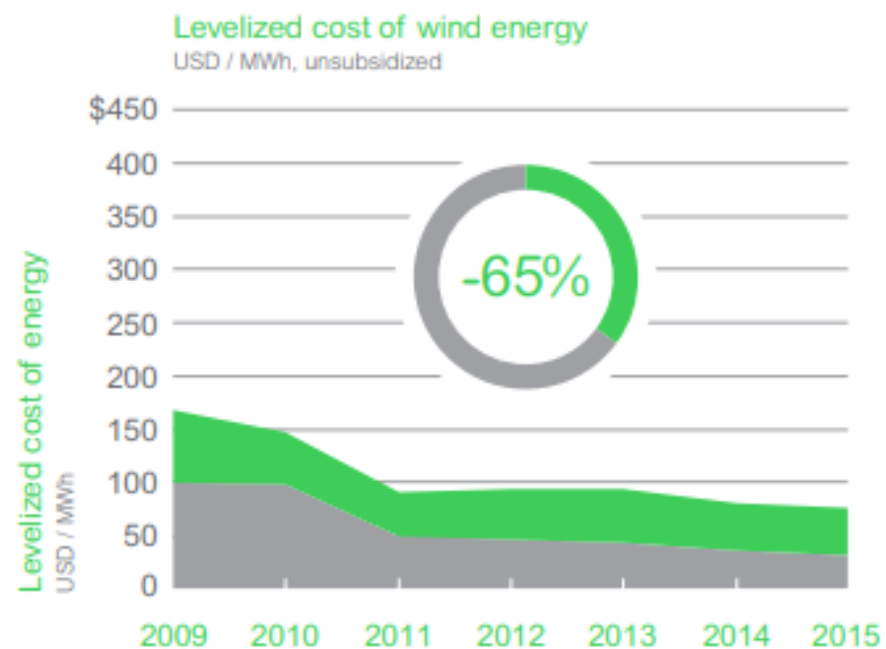
# Redes elétricas inteligentes – Smart Grids

Henrique Mitsuo Hokama

NUSP 9900549

# Contexto

- Aumento da complexidade dos sistemas elétricos de potência – consumidores também podem gerar energia elétrica (Geração Distribuída)
- Questões de sustentabilidade – maior demanda por energia limpa.
- Eficiência Energética
- Digitalização das indústrias

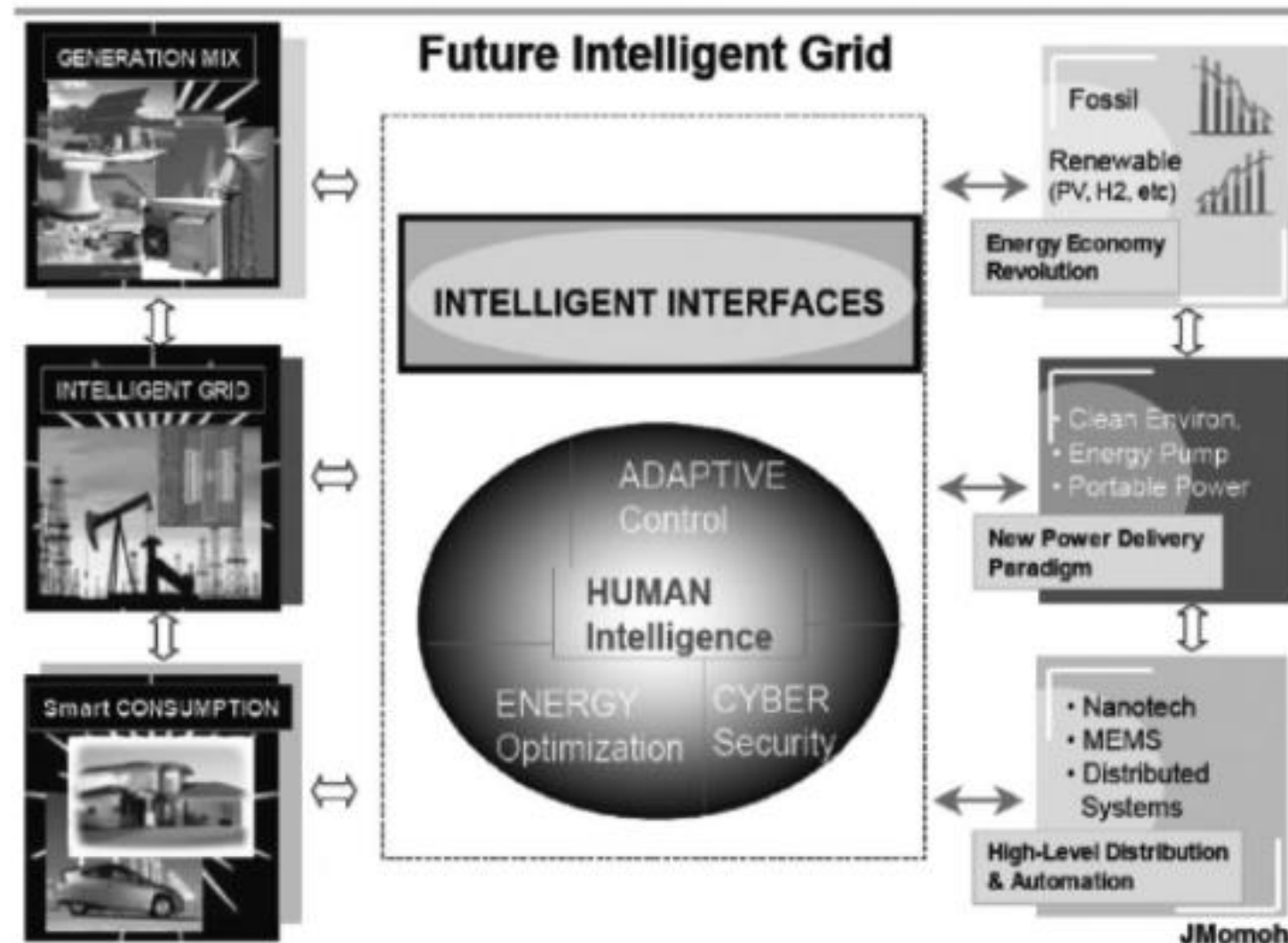


Fonte: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=998-20256456\\_GMA-US](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=998-20256456_GMA-US)

# Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grids)



- “As redes elétricas inteligentes (Smart Grids) geralmente se referem a um conjunto de tecnologias usadas para trazer os sistemas de fornecimento de energia elétrica para o século 21, fazendo uso de controle remoto e níveis aumentados de automação. Esses sistemas são possíveis graças à tecnologia de comunicação bidirecional e ao processamento de computadores, usado há décadas em outros setores.”



- MOMOH, James A. Smart grid: fundamentals of design and analysis. John Wiley & Sons, 2012.



ESTADOS UNIDOS

Grau Mediano de  
Automação do  
Sistema

Quantidade  
Crescente Unidades  
de Geração  
Distribuída  
Conectadas ao  
Sistema



EUROPA

Médio/Alto Grau de  
Automação do  
Sistema

Aumento Intensivo  
de Unidades de  
Geração Distribuída  
Conectadas ao  
Sistema

Aumento Intensivo  
de Unidades de  
Microgeração  
Conectadas ao  
Sistema



JAPÃO

Alto Grau de  
Automação do  
Sistema

Aumento Intensivo de  
Unidades de Geração  
Distribuída  
Conectadas ao  
Sistema

Aumento Intensivo de  
Unidades de  
Microgeração  
Conectadas ao  
Sistema

Fonte: NAPREI – Smart Grid no Contexto da Geração e Distribuição – Nelson Kagan (2013) -  
<https://site.ieee.org/bahia/files/2013/10/Palestra-Prof-Nelson-Kagan.pdf>

# PMUs (Phasor Measurements Units) - Sincronofasores

- Fornecem medições em tempo de real de tensões e correntes com base na transformada discreta de Fourier
- Benefícios: Facilita a análise da qualidade da energia; Análise de pós-faltas melhoradas devido à sincronização GPS; Maior confiabilidade nas ações de controle e proteção; localização de falta precisa, etc.

<i>Attribute</i>	<i>SCADA</i>	<i>PMUs</i>
Measurement	Analogue	Digital
Resolution	2-4 samples per cycle	Up to 60 samples per cycle
Observability	Steady State	Dynamic/Transient
Monitoring	Local	Wide- Area
Phasor Angle Measurement	No	Yes



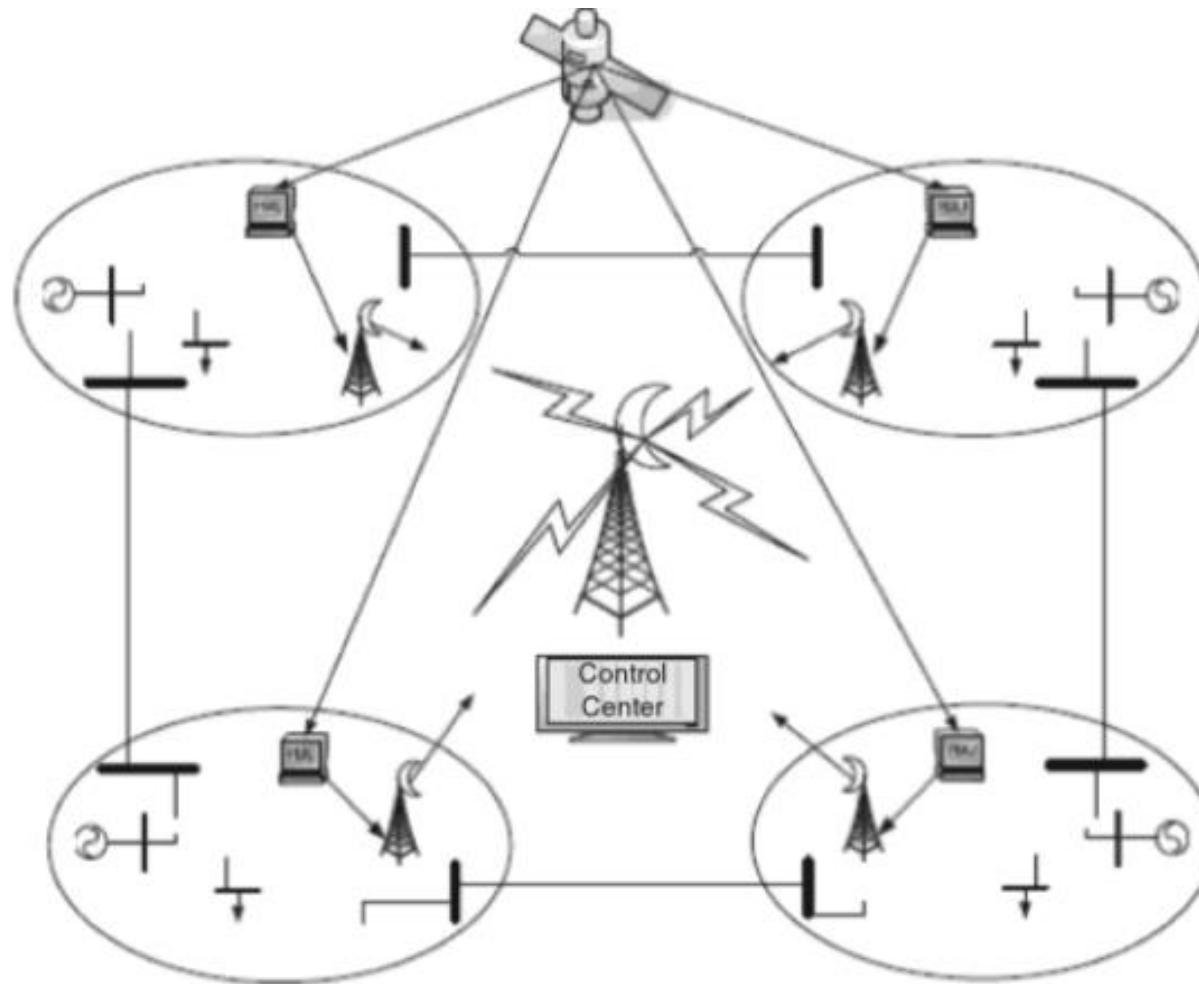
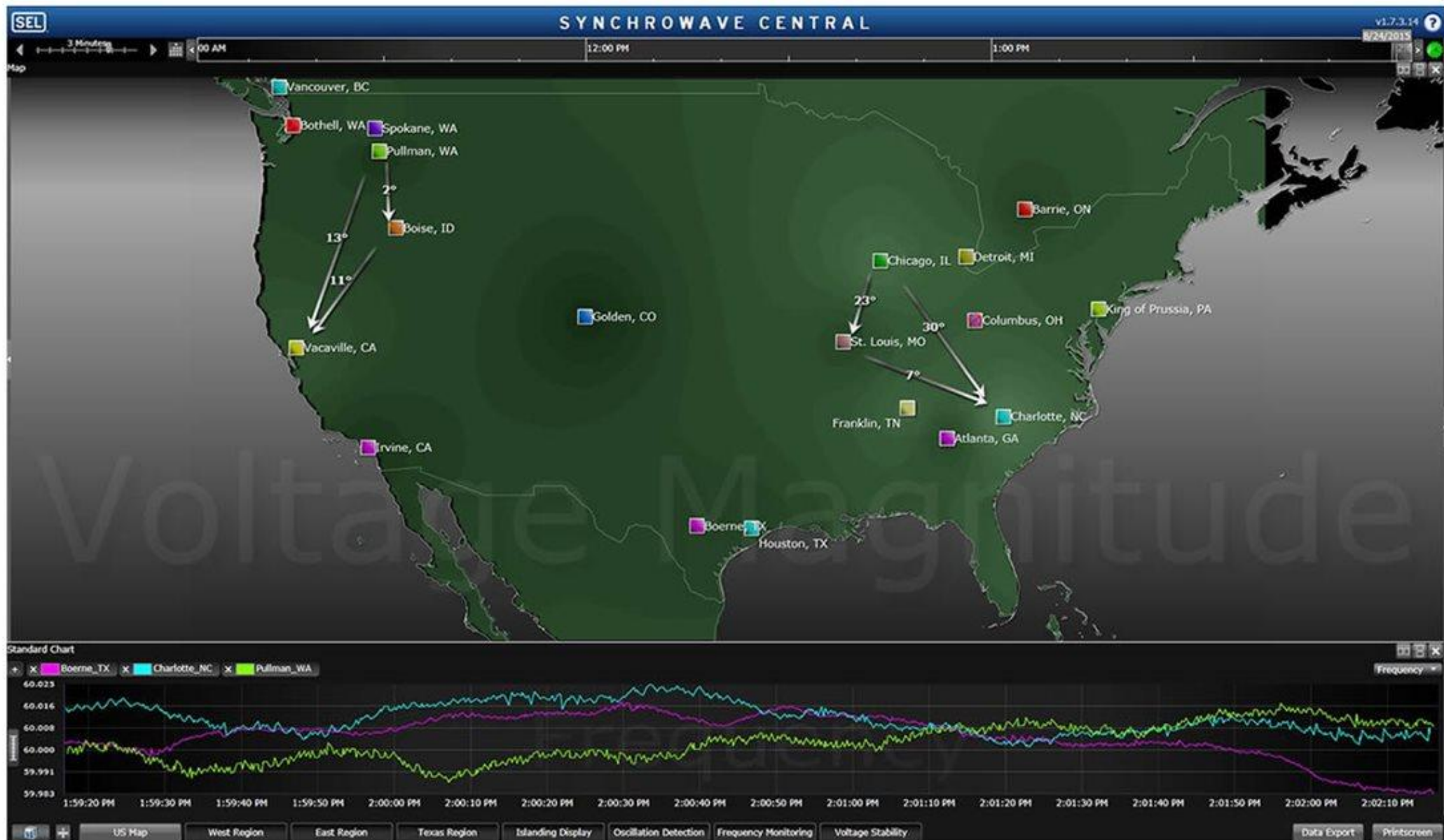


Figure 2.1. Conceptual diagram of a synchronized phasor measuring system [9].

MOMOH, James A. Smart grid: fundamentals of design and analysis.  
John Wiley & Sons, 2012.





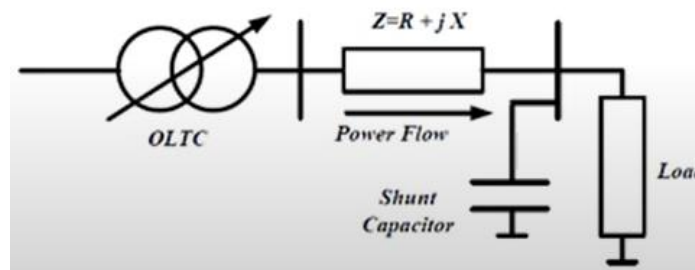
<https://selinc.com/pt/solutions/synchrophasors/>

# Otimização Volt/Var

- Problema: Perdas de 3% a 9% da potência fornecida
- Fontes das perdas: Perdas nos transformadores; Perdas nos condutores ( $I^2R$ ); Potência reativa (VAr).
- Uma solução: Otimização Volt-Var
  - Instalar capacitores próximos a cargas reativas
  - Instalar disjuntores para os capacitores com comunicação para comando
  - Instalar um Volt-Var Software (Volt-Var Measurement Software)



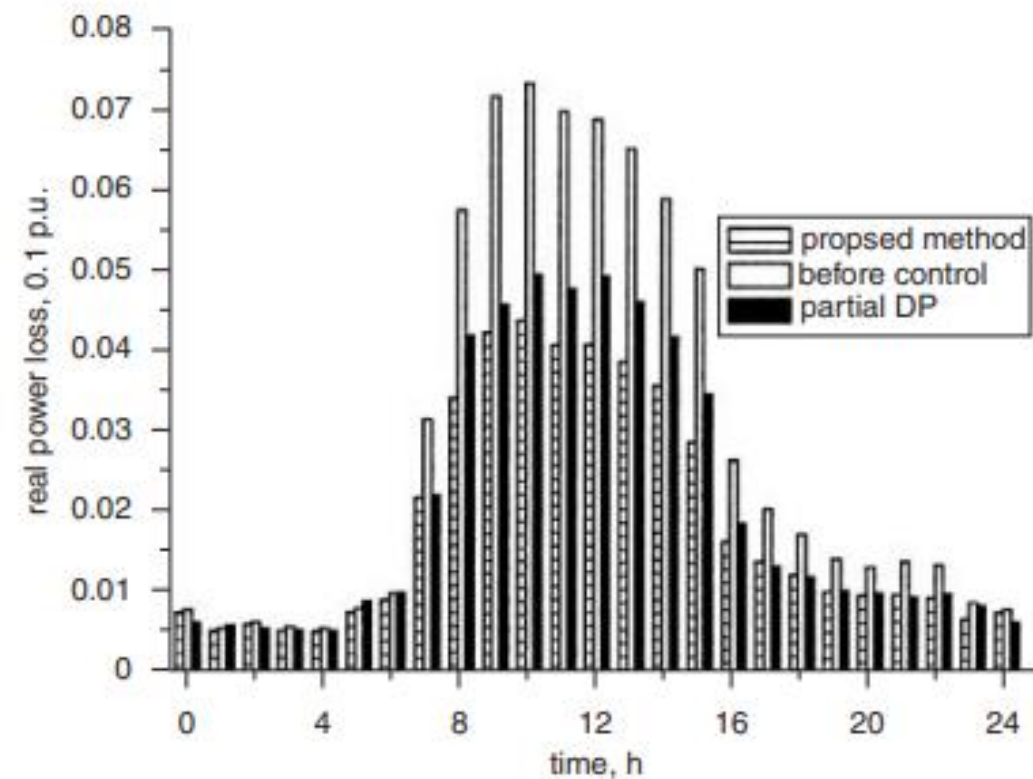
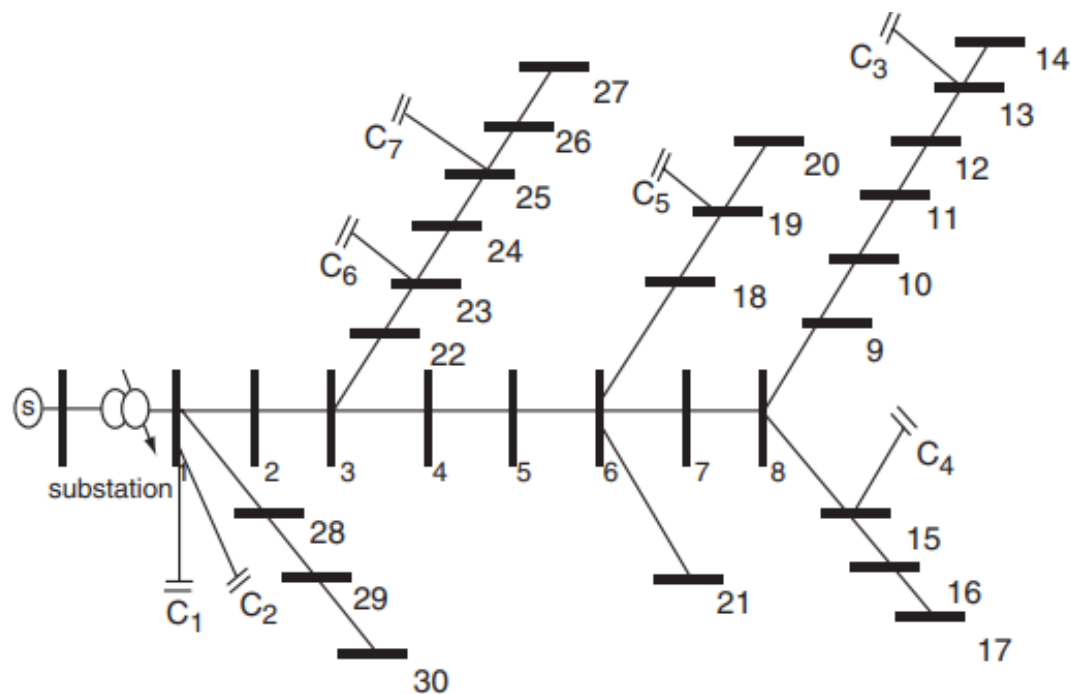
**OLTC,  
ABB**



# Algoritmo Volt/Var (ABB)

1. Coletar dados de carga em tempo real
2. Avaliar a tensão para objetivos de controle
3. Avaliar a carga (Fator de potência) para objetivos de controle
4. Determinar e priorizar as oportunidades de controle
5. Excluir dispositivos não disponíveis
6. Calcular os melhores dispositivos de compensação
7. Comando via rede de comunicação
8. Confirmar operação pelo feedback do dispositivo
9. Confirmar a operação do capacitor através de medições (no capacitor, alimentadores, transformadores)
10. Confirmar a operação do LTC (Load Tap Change) através de medições.
11. Gravar resultados no central de dados
12. Repetir processo continuamente para melhorar a eficiência do circuito em tempo real.

Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=Yw-bFhdKCbA&ab\\_channel=ABBCustomerWorld](https://www.youtube.com/watch?v=Yw-bFhdKCbA&ab_channel=ABBCustomerWorld)



HU, Zechun et al. Volt/VAr control in distribution systems using a time-interval based approach. **IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution**, v. 150, n. 5, p. 548-554, 2003.

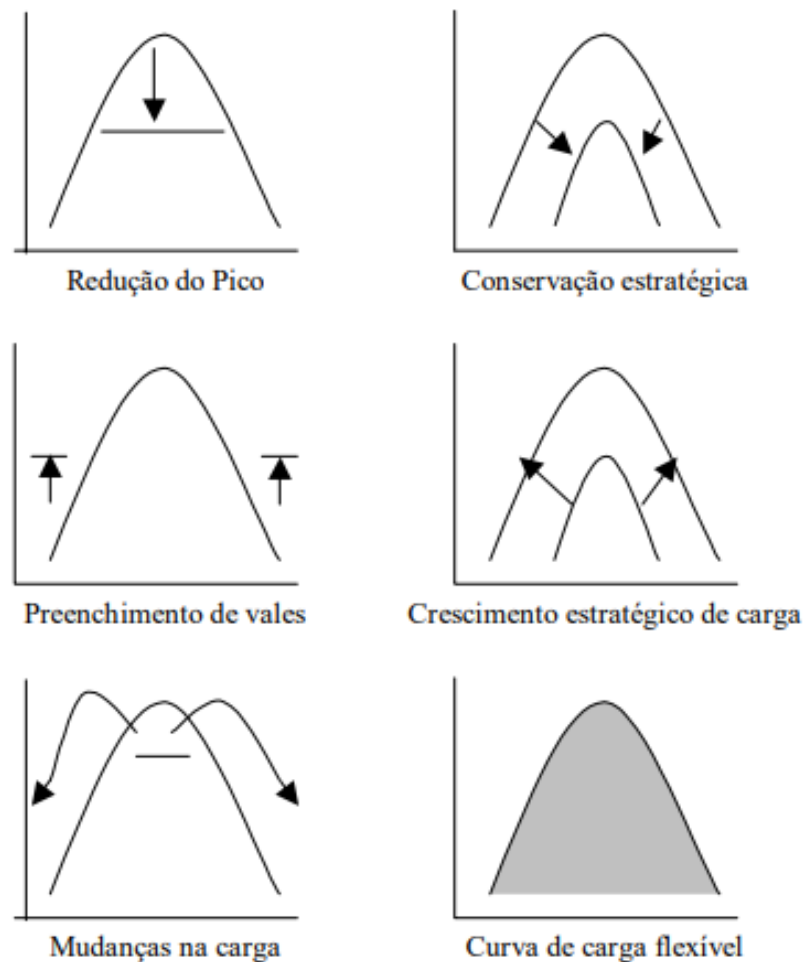
# Gerenciamento pelo lado da demanda

- Ações de incentivo na alteração das curvas de carga dos sistemas elétricos, de modo a otimizar o uso da infraestrutura elétrica;
- Requer um relacionamento estreito entre concessionárias e consumidores;

- • **Corte de pico:** redução das cargas durante os picos de utilização de energia elétrica;
- • **Preenchimento de vales:** preenchimento de cargas durante o período fora de pico;
- • **Transferência de carga:** movimentação de cargas para horários fora de pico;
- • **Conservação Estratégica:** diminuição da demanda de carga em todos os períodos, aumentando a eficiência do uso de energia (troca de iluminação por iluminação eficiente) e mudanças nos padrões de uso (redução da duração dos banhos de chuveiros elétricos);
- • **Crescimento estratégico da carga:** aumento do uso de energia elétrica por estratégias como a substituição de combustíveis fósseis (carros elétricos, bombas de calor), melhorando a produtividade dos consumidores e a qualidade de vida;
- • **Carga flexível:** contratos específicos e tarifas com a possibilidade de flexibilidade no controle de equipamentos de consumidores (controle direto de aquecedores de água)



Figura 1: Alterações básicas nas curvas de carga, atendendo a programas de GLD



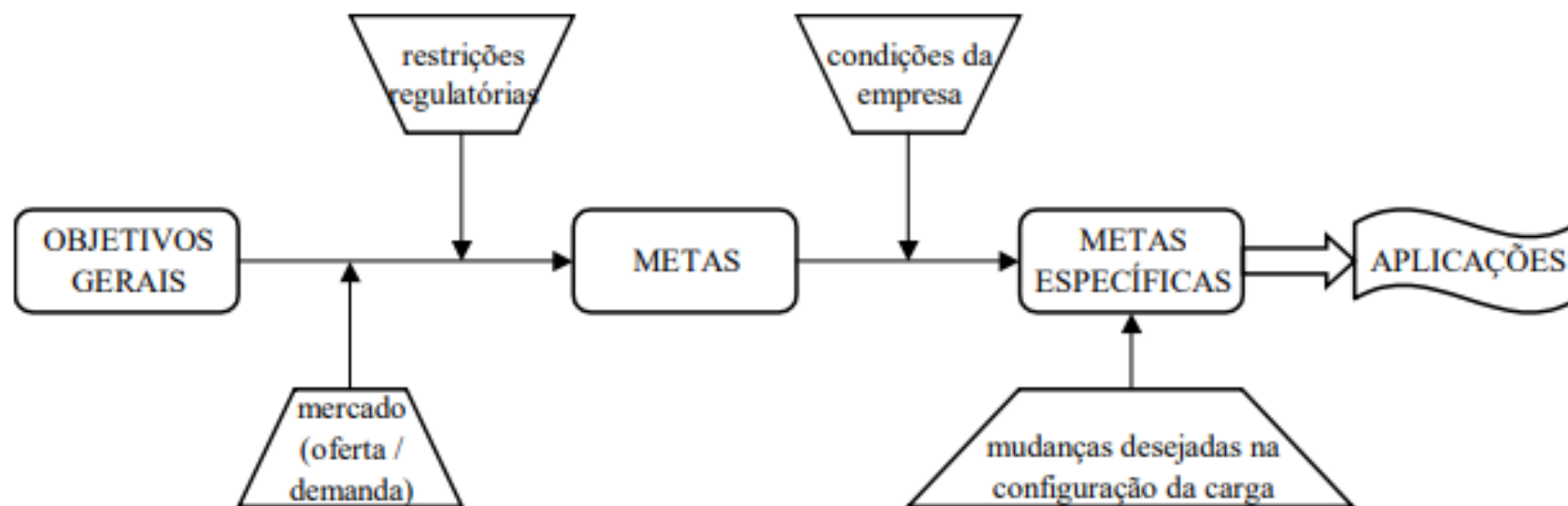
Fonte: Gellings (1985)

- CAMPOS, A. Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso. 2004. 94p. Dissertação (mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.



- Interruptores horários – desliga carga elétrica durante determinado período
- Limitadores de corrente – limita a corrente e conseqüentemente o fator de carga
- Controladores cíclicos
- Controlador de demanda – Monitora e limita a demanda de um consumidor

Figura 2: Etapas de criação de um programa de GLD segundo Gellings e Chamberlin (1993)



- CAMPOS, A. Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso. 2004. 94p. Dissertação (mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

# Referências no tema

Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes da USP – Nelson Kagan

<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot9547.pdf>