

Redes Elétricas Inteligentes

0313562 - Cidades Inteligentes

Giovanni Manassero Junior

11 de Setembro de 2022

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas

Escola Politécnica da USP

A indústria de Samuel Insull

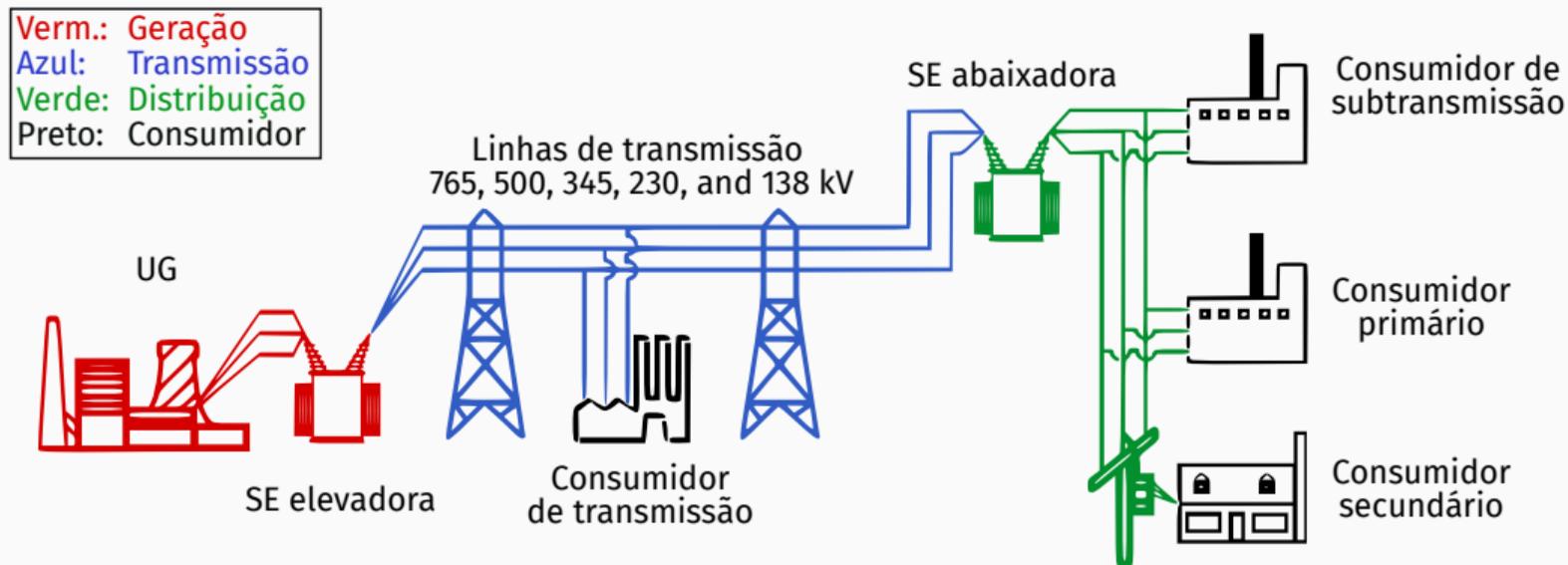
A maior máquina construída pelo homem



Os pilares de indústria de Insull

- Consumo de massa: consumidores ligados a uma rede elétrica interconectada e confiável
- Economia de escala: aumento na produção de energia elétrica e aumento da eficiência dos sistemas
- Estratégia de *marketing*: descontos proporcionais ao consumo de energia elétrica (*sell more and charge less*)
- Regulação: estabilidade de investimentos a uma indústria de capital intensivo e grande interação política

Sistemas interligados de grande porte



Sistema interligado nacional

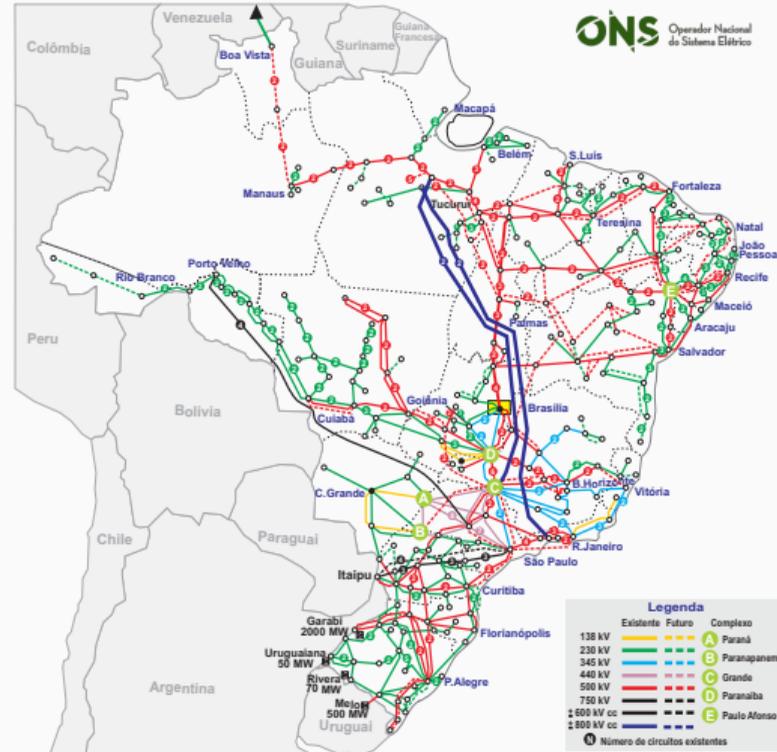
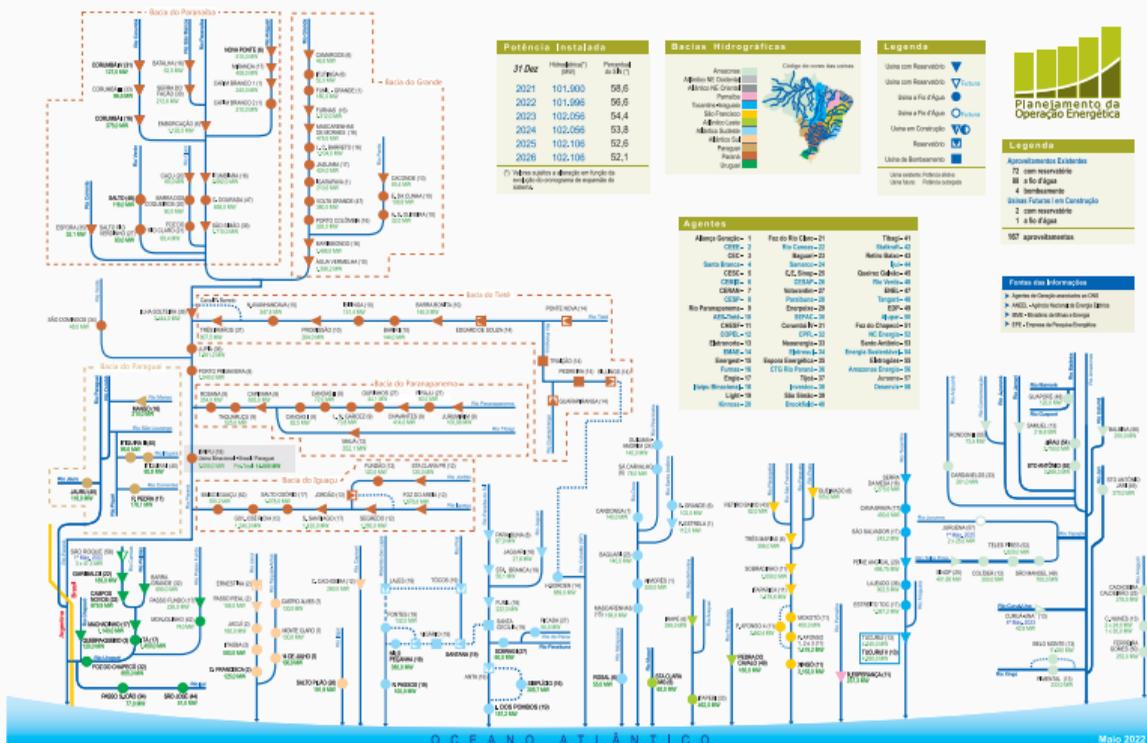


Diagrama esquemático das usinas hidroelétricas do SIN - (2022-2026)



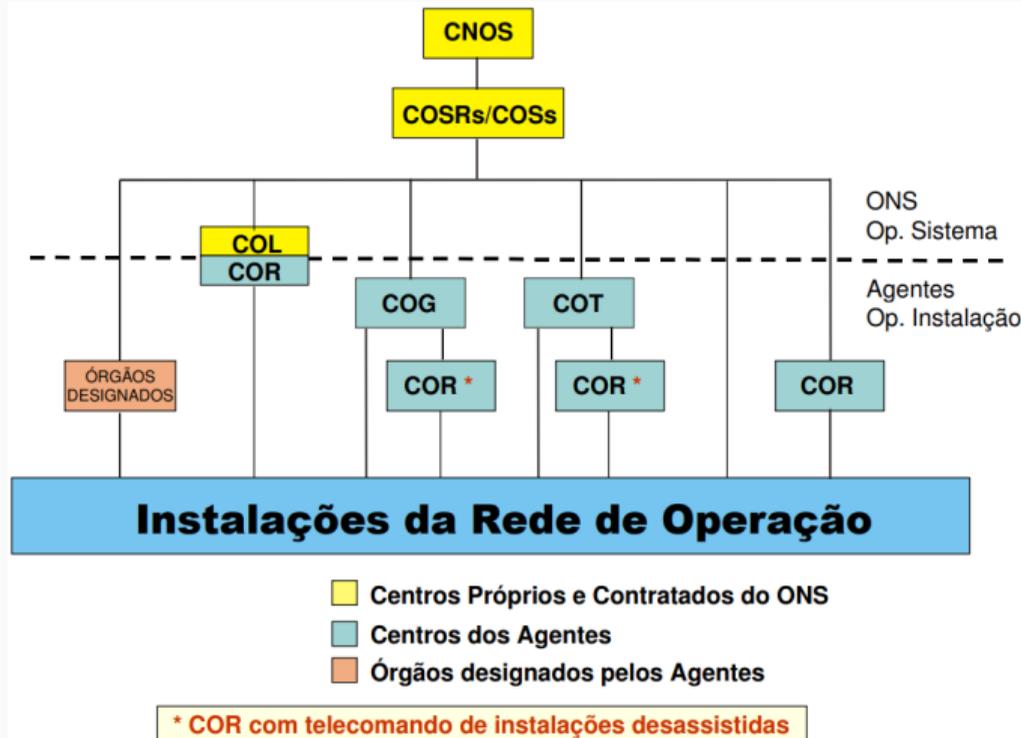
Redes elétricas não são *smart*?

- Em meados da década de sessenta, a indústria de energia elétrica iniciou o uso da eletrônica analógica e digital para efetuar o monitoramento, a automação e o controle dos sistemas elétricos de potência
- Além disso, os avanços na tecnologia da computação permitiram a elaboração e utilização de ferramentas computacionais para a simulação dos sistemas elétricos de potência, de modo a planejar sua operação durante contingências
- Atualmente, a utilização de equipamentos e ferramentas computacionais para esse fim é bastante difundida nas usinas de geração de energia elétrica, bem como nos sistemas de transmissão e, em menor escala, nas redes de distribuição

Operação dos sistemas interligados

- A tarefa de manter esse grande sistema operando adequadamente, sem entrar em colapso frente às perturbações a que é submetido continuamente, não é trivial
- Para se alcançar o grau de confiabilidade exigida para operação do sistema interligado é necessário um sofisticado sistema de supervisão, controle, automação e proteção da rede elétrica
- Esse sistema provê os meios para a coordenação da operação do sistema elétrico de potência visto de forma global e, para tanto, é constituído por vários níveis hierárquicos

Hierarquia de operação do SIN



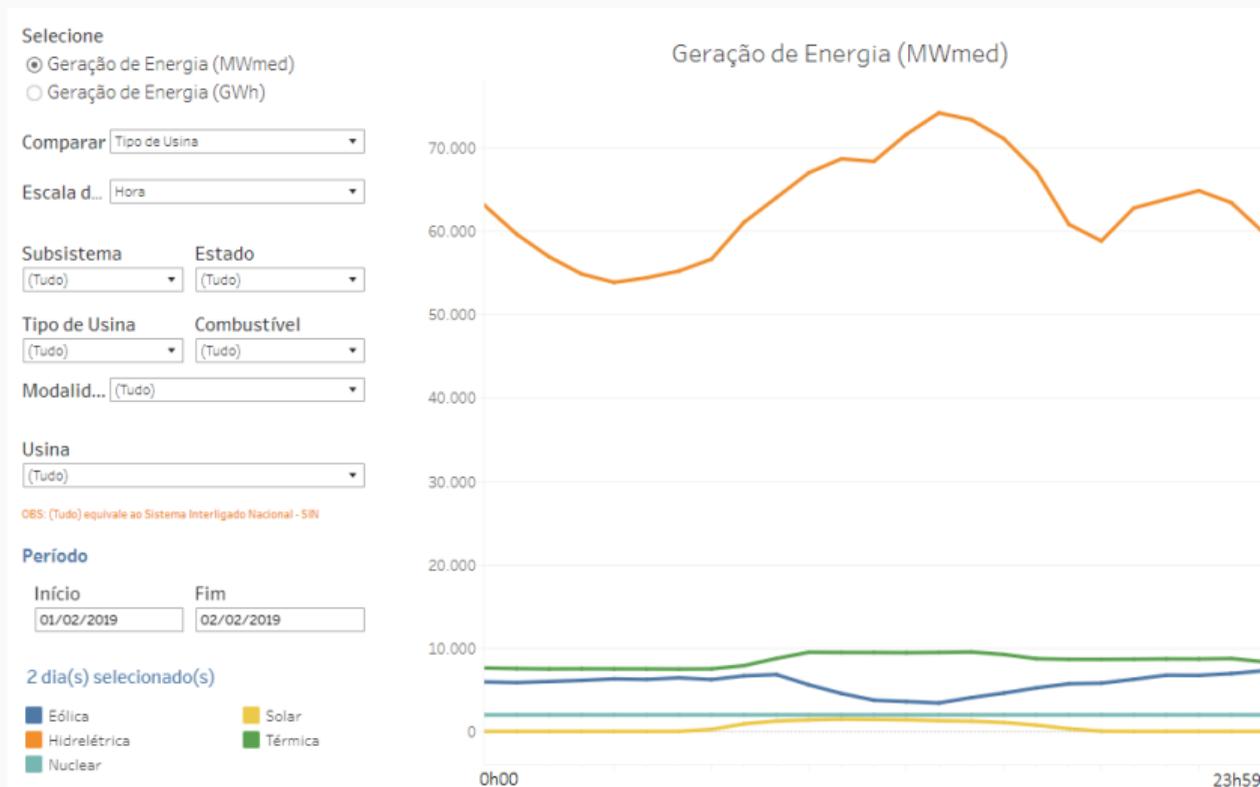
CNOS – Centro Nacional de Operação do Sistema

- A rede de atuação do CNOS é toda a rede de operação. Entretanto, a atuação do CNOS está concentrada, primordialmente, na rede de operação sistêmica e nas interligações internacionais
- Cabe ao CNOS coordenar, supervisionar e controlar a rede de operação, as interligações internacionais e a operação dos sistemas de reservatórios
- Cabe ao CNOS delegar aos níveis hierárquicos inferiores a operação da rede de operação regional/local

Sistema hierárquico de supervisão, controle, automação e proteção do SIN

- Nos centros de operação regionais e o centro nacional encontram-se as funções de alto nível que fornecem as informações necessárias para a operação adequada e segura do sistema. Algumas dessas funções são
 - Fluxo de potência
 - Estimadores de estado
 - Análise de segurança/confiabilidade
 - Previsão de carga
 - Programação hidro-energética dos reservatórios
 - Recomposição do sistema, etc

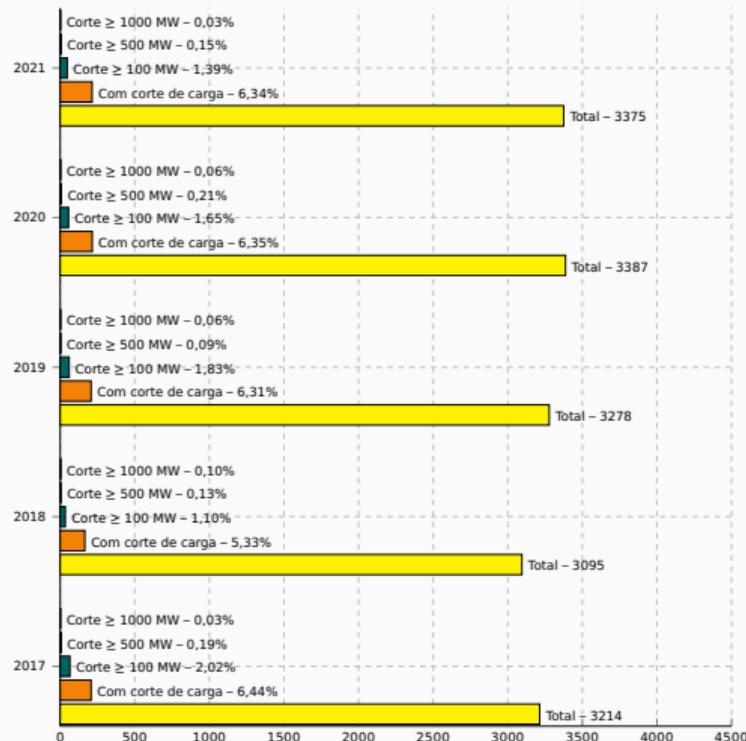
Composição de despacho



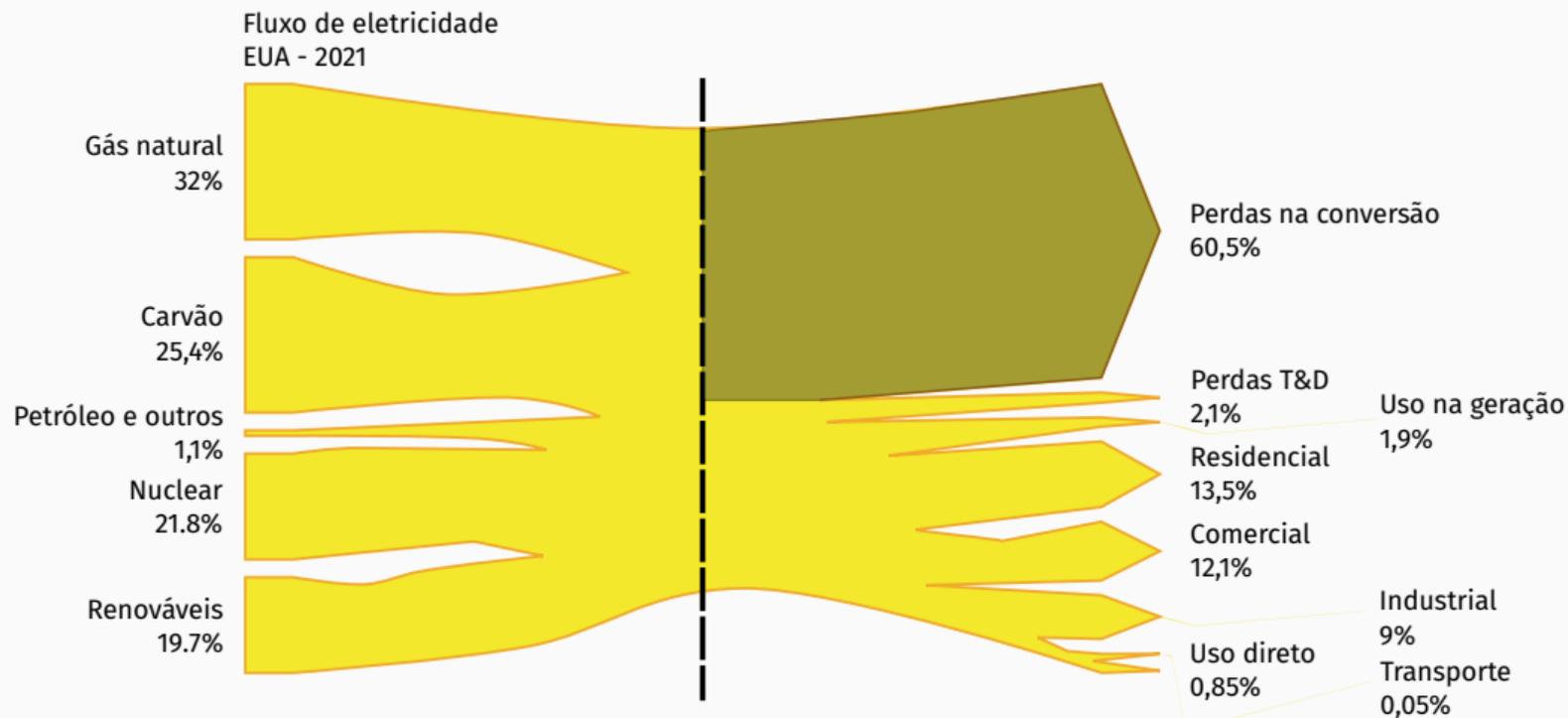
O dia a dia

- Para realizar essas funções, os sistemas de supervisão, controle, automação e proteção demandam uma enorme quantidade de informações sobre todos os componentes e equipamentos que constituem o sistema interligado
- Além disso, eles têm que comandar, controlar e proteger equipamentos, tais como, disjuntores, seccionadoras, taps de transformadores, reguladores de tensão e velocidade de geradores, etc
- No SIN, os COR e o CNOS
 - Comandam cerca de 50 mil intervenções por dia
 - Recebem cerca de 10 mil informações por segundo
 - Gravam aproximadamente 10 milhões de registros por dia

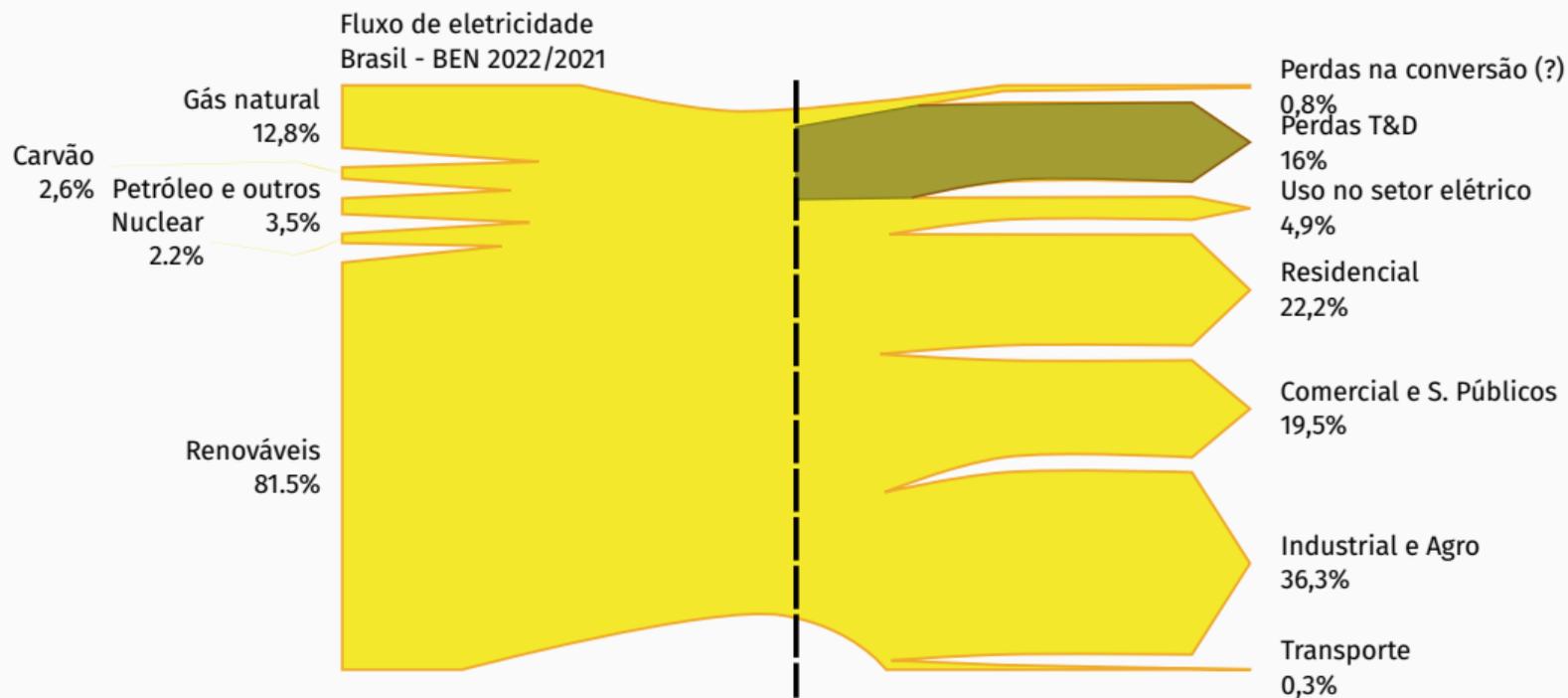
Perturbações no sistema interligado nacional



Onde estamos?



E o Brasil?



O fim de uma era?

A última estação para fornecimento em corrente contínua

City Room



November 14, 2007, 12:53 PM

Off Goes the Power Current Started by Thomas Edison

By JENNIFER B. LEE

Today, Con Edison will end 125 years of [direct current](#) electricity service that began when Thomas Edison [opened his Pearl Street power station on Sept. 4, 1882](#). Con Ed will now only provide [alternating current](#), in a final, vestigial triumph by [Nikola Tesla](#) and [George Westinghouse](#), Mr. Edison's rivals who were the main proponents of alternating current in the AC/DC debates of the turn of the 20th century.

The last snip of Con Ed's direct current system will take place at 10 East 40th Street, near the Mid-Manhattan Library. That building, like the thousands of other direct

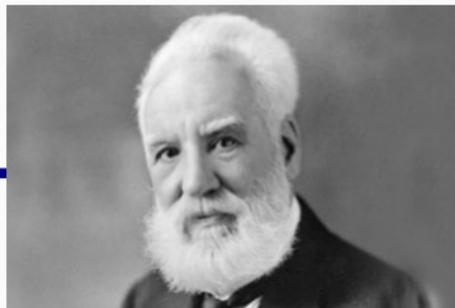


Con Edison's original power plant on Pearl Street. (Illustration: Consolidated Edison)

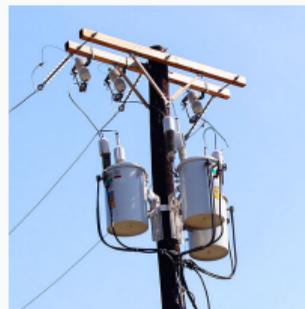
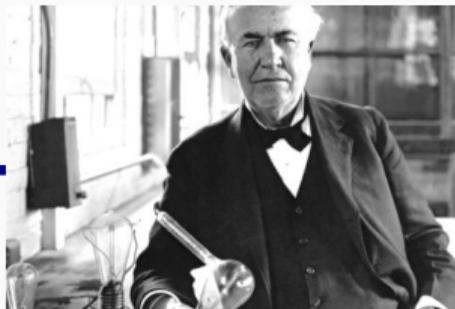
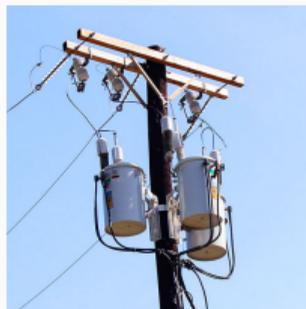
Qual o tamanho do setor elétrico no Brasil?

- A malha de transmissão da rede básica possui 170 mil quilômetros de linhas, considerando os níveis de tensão a partir de 230kV
- A capacidade instalada é de 177GW
 - Hidráulica: 62,6%
 - Térmica: 21,7%
 - Eólica: 11,9%
 - Solar: 2,6%
 - Nuclear: 1,2%
- As redes de distribuição possuem malhas ainda maiores que a rede básica
- A receita das concessionárias de distribuição é de cerca de 160 bilhões de reais

Porque Smart Grids?



Alexander Graham Bell
1876

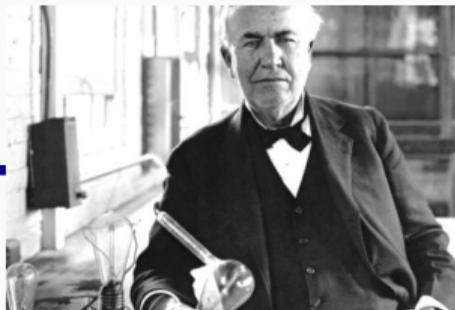
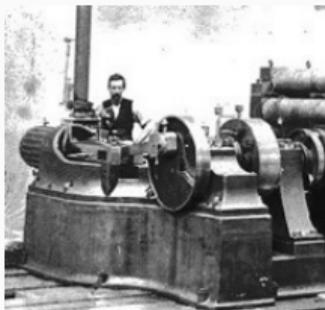


Thomas Alva Edison
1882

Nem tudo é o que parece



Antonio Santi Giuseppe Meucci
1856

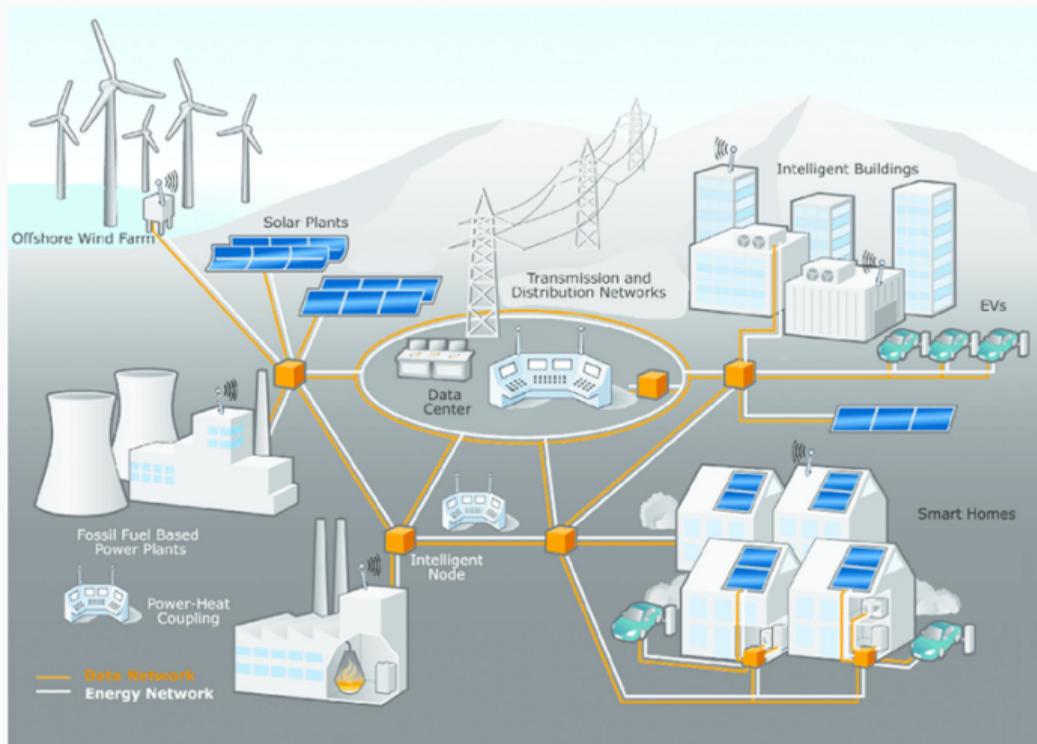


Thomas Alva Edison
1882

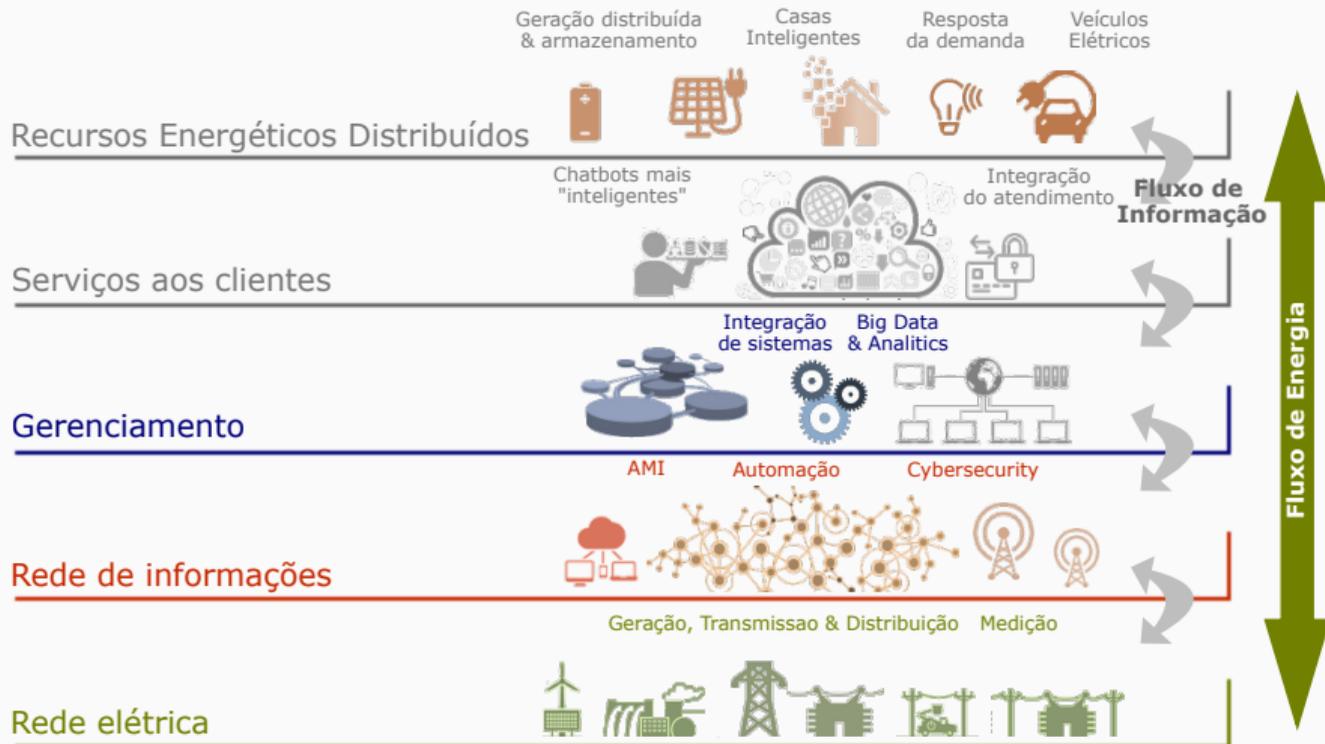


Redes eléctricas inteligentes

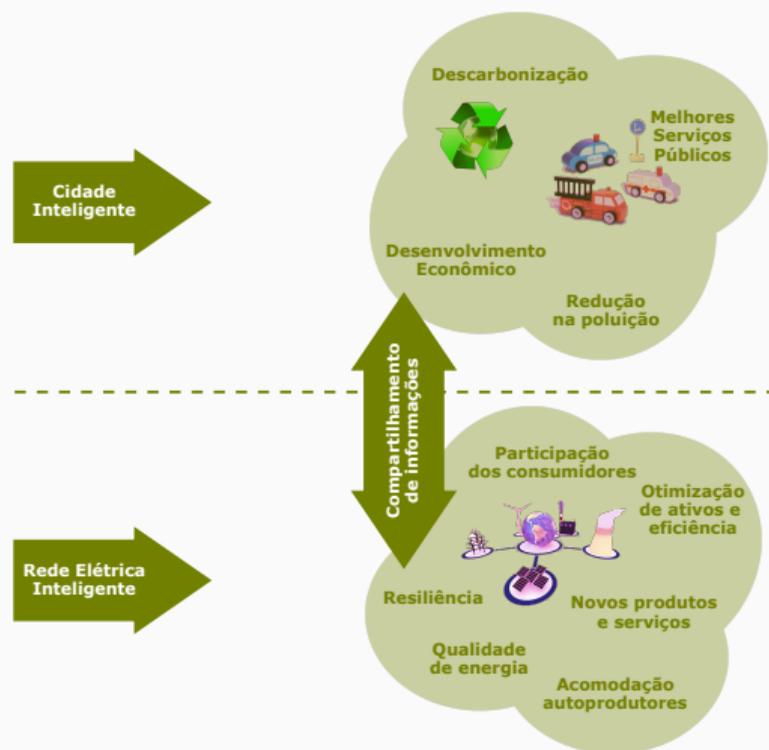
Cenário futuro?



Aspectos das redes inteligentes



Como as redes inteligentes se integram às cidades inteligentes?



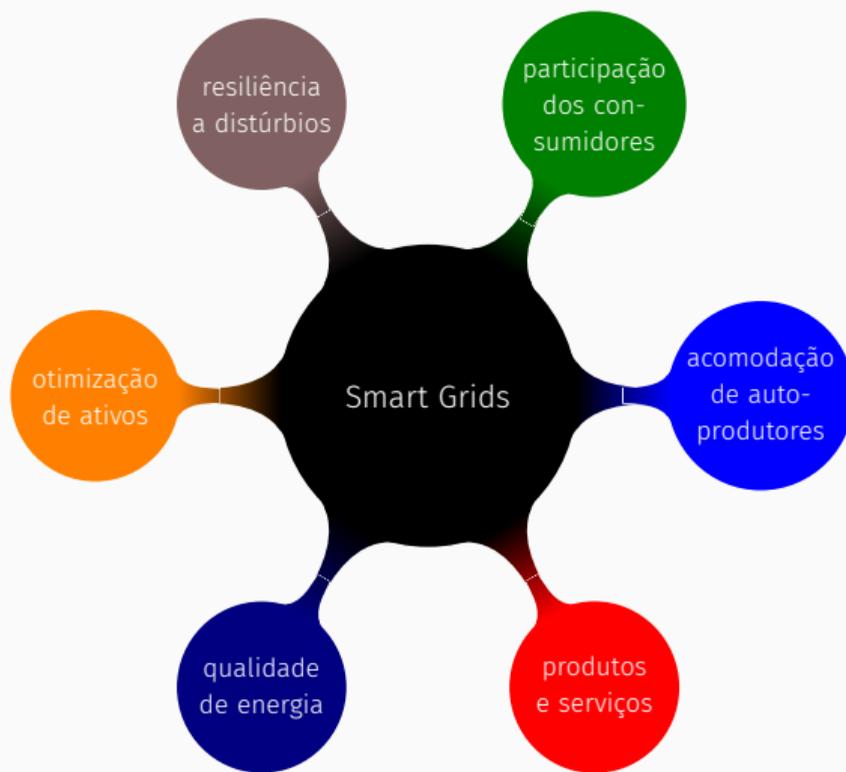
Como definir o conceito de redes elétricas inteligentes?

- Redes elétricas inteligentes são redes que utilizam extensivamente
 - Novos materiais
 - Dispositivos eletrônicos inteligentes
 - Sistemas de comunicação
 - Ferramentas computacionais
- Com o objetivo de ampliar o seu desempenho, no que se refere à produtividade, eficiência energética, qualidade e desempenho ambiental

Em direção às *smart grids*

- A modernização das redes elétricas de potência é necessária para garantir o crescimento da sociedade industrial
- O processo de modernização das redes elétricas é baseado nas seguintes premissas
 - Antecipação dos problemas e capacidade de suportar distúrbios
 - Tolerância a ataques físicos e cibernéticos
 - Segurança para as pessoas que manuseiam a rede
 - Operação sob regras de oferta e demanda e gerenciamento adequado das reservas de energia
 - Redução das perdas, aumento no rendimento da geração e melhoria na gestão dos ativos
 - Diminuição do impacto ambiental produzido pelo setor

Quais são as características desejáveis?



Participação dos consumidores

- Para que seja possível garantir a participação dos consumidores de energia elétrica deve-se permitir a troca de informações e de energia
- Atualmente, a tecnologia que possibilita essa troca é a infraestrutura de medição avançada (AMI – *Advanced Metering Infrastructure*)
- A troca de informações e energia possibilita a implantação de programas de resposta da demanda e o *peak shaving*

Medidores inteligentes



Capacidade de acomodação de autoprodutores

- Normas e procedimentos para a interconexão de autoprodutores de energia elétrica
- A acomodação de um grande número de autoprodutores requer estudos para determinação do impacto de sua indisponibilidade nos índices de confiabilidade dos sistemas elétricos convencionais
- Deve-se levar em consideração também o aspecto econômico e as questões ambientais
- Incentivos fiscais e/ou econômicos para a instalação de geração distribuída e unidades de armazenamento de energia pode resultar em crescimento no interesse dos investidores

A cidade pode produzir a energia que consome?



Tecnologias integradas



Viabilização de novos produtos/serviços

- A viabilização de novos produtos e serviços depende da consolidação das políticas, regulamentações, tecnologias, incentivos e financiamentos
- Dentre produtos e serviços pode-se ressaltar
 - Veículos elétricos
 - Paineis fotovoltaicos
 - Sistemas de armazenamento
 - Projetos para painéis e sistemas de armazenamento
 - Arbitragem(?)

Nos perdemos?



In 1897, the bestselling car in the US was an electric vehicle

Armazenamento



Qualidade de energia

- Nem todos os consumidores possuem os mesmos requisitos no que se refere à qualidade da energia elétrica entregue pelas concessionárias
- Equipamentos eletrônicos são mais susceptíveis às variações nos níveis de tensão, mesmo que momentâneas, e à presença de conteúdo harmônico
- Microrredes e DER podem contribuir para mitigar esse problema (p. ex. a geração distribuída pode contribuir com a manutenção dos níveis de tensão nas redes e as microrredes podem operar de maneira independente da infraestrutura de distribuição)

O que são problemas de qualidade de energia? Interrupções?

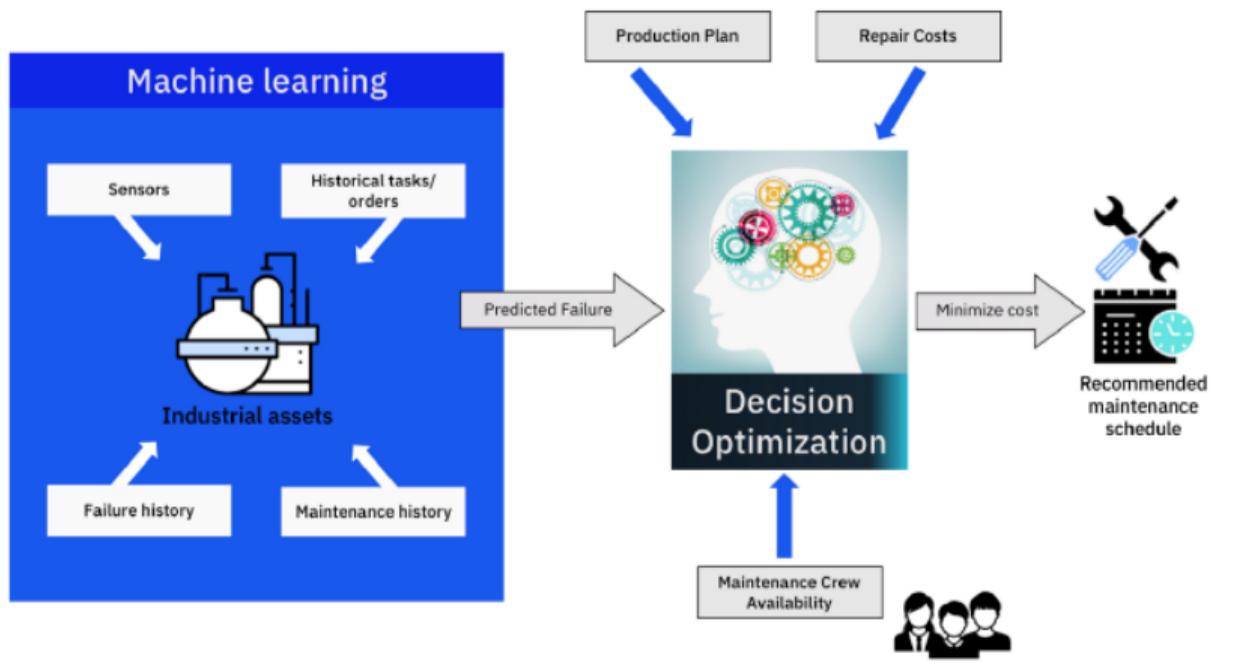
| Example waveshape or RMS variation | Causes | Sources | Effects | Examples of power conditioning solutions |
|---|---|---|---|---|
|  | Impulsive transients (Transient disturbance) | <ul style="list-style-type: none"> - Lightning - Electrostatic discharge - Load switching - Capacitor switching | <ul style="list-style-type: none"> - Destroys computer chips and TV regulators | <ul style="list-style-type: none"> - Surge arresters - Filters - Isolation transformers |
|  | Oscillatory transients (Transient disturbance) | <ul style="list-style-type: none"> - Line/cable switching - Capacitor switching - Load switching | <ul style="list-style-type: none"> - Destroys computer chips and TV regulators | <ul style="list-style-type: none"> - Surge arresters - Filters - Isolation transformers |
|  | Sags/swells (RMS disturbance) | <ul style="list-style-type: none"> - Remote system faults | <ul style="list-style-type: none"> - Motors stalling and overheating - Computer failures - ASDs shutting down | <ul style="list-style-type: none"> - Ferroresonant transformers - Energy storage technologies - Uninterruptible power supply (UPS) |
|  | Interruptions (RMS disturbance) | <ul style="list-style-type: none"> - System protection - Breakers - Fuses - Maintenance | <ul style="list-style-type: none"> - Loss production - Shutting down of equipment | <ul style="list-style-type: none"> - Energy storage technologies - UPS - Backup generators |
|  | Undervoltages/overvoltages (steady-state variation) | <ul style="list-style-type: none"> - Motor starting - Load variations - Load drooping | <ul style="list-style-type: none"> - Shorten lives of motors and lightning filaments | <ul style="list-style-type: none"> - Voltage regulator - Ferroresonant transformers |
|  | Harmonic distortion (steady-state variation) | <ul style="list-style-type: none"> - Nonlinear loads - System resonance | <ul style="list-style-type: none"> - Overheating transformers and motors - Fuses blow - Relays trip - Meters misoperate | <ul style="list-style-type: none"> - Active or passive filters - Transformers with cancellation of zero sequence components |
|  | Voltage flicker (steady-state variation) | <ul style="list-style-type: none"> - Intermittent loads - Motor starting - Arc furnaces | <ul style="list-style-type: none"> - Lights flicker - Irritation | <ul style="list-style-type: none"> - Static VAR systems |

Otimização dos ativos e eficiência energética

- A busca pela eficiência energética passa necessariamente pelos consumidores de energia elétrica, bem como pelas concessionárias do setor
- Consumidores que possuem uma certa quantidade de informações podem contribuir ativamente com a redução do desperdício de energia elétrica, por meio de mudanças em seus hábitos de consumo
- No caso das concessionárias, a eficiência energética pode ser obtida com a substituição, ainda que gradual, dos equipamentos e sistemas menos eficientes, bem como com a utilização de técnicas de controle que possam contribuir com a redução das perdas técnicas e do congestionamentos das redes elétricas

Deep learning e a otimização dos ativos

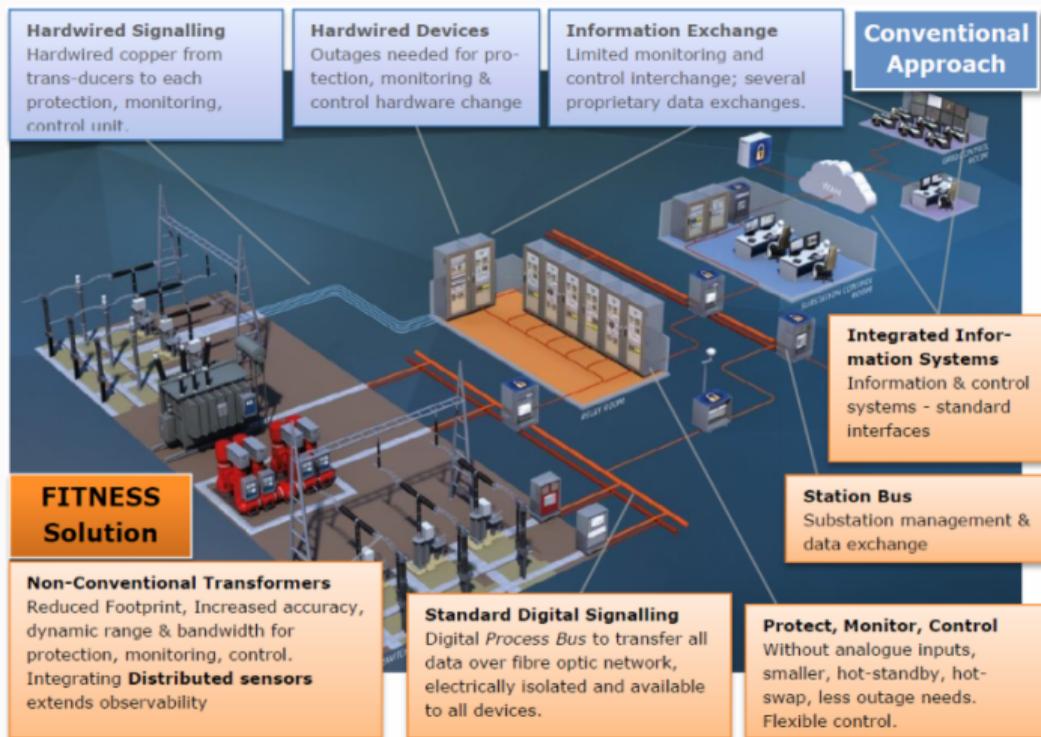
Maintenance Scheduling: ML and DO Work Best Together



Operação resiliente a distúrbios

- Diz-se que uma rede elétrica é resiliente a distúrbios quando é capaz de isolar rapidamente as regiões afetadas pelos distúrbios, sem interromper o fornecimento de energia elétrica às outras regiões
- O processo de automação das subestações, das linhas de transmissão e das redes de distribuição pode contribuir para aumentar a sua resiliência

Subestação 4.0



Pilares e características

Onde queremos chegar?

| Metric No. | Metric Name | Enables Informed Participation by Customers | Accommodates All Generation & Storage Options | Enables New Products, Services, & Markets | Provides Power Quality for the Range of Needs | Optimizes Asset Utilization & Efficient Operation | Operates Resiliently to Disturbances, Attacks, & Natural Disasters |
|------------|----------------------------|---|---|---|---|---|--|
| 1 | Dynamic Pricing | Emphasis | Mention | Mention | | | Mention |
| 2 | Real-Time Data Sharing | | | | | Mention | Emphasis |
| 3 | DER Interconnection | Mention | Emphasis | Mention | | Mention | |
| 4 | Regulatory Policy | | | Emphasis | | | |
| 5 | Load Participation | Emphasis | | | Mention | Mention | Mention |
| 6 | Microgrids | | Mention | Mention | Emphasis | | Mention |
| 7 | DG & Storage | Mention | Emphasis | Mention | Mention | Mention | Mention |
| 8 | Electric Vehicles | Mention | Mention | Emphasis | | | Mention |
| 9 | Grid-responsive Load | Mention | Mention | Mention | Mention | | Emphasis |
| 10 | T&D Reliability | | | | | | Emphasis |
| 11 | T&D Automation | | | | Mention | Emphasis | Mention |
| 12 | Advanced Meters | Emphasis | Mention | Mention | | | Mention |
| 13 | Advanced Sensors | | | | | Mention | Emphasis |
| 14 | Capacity Factors | | | | | Emphasis | |
| 15 | Generation, T&D Efficiency | | | | | Emphasis | |
| 16 | Dynamic Line Rating | | | | | Emphasis | Mention |
| 17 | Power Quality | | | Mention | Emphasis | | |
| 18 | Cyber Security | | | | | | Emphasis |
| 19 | Open Architecture/Std | | | Emphasis | | | |
| 20 | Venture Capital | | | Emphasis | | | |

Futuro(?)

Quais são as tendências



Obrigado!

Prof. Dr. Giovanni Manassero Junior

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas

manassero@usp.br