

Impactos dos Recursos Energéticos Distribuídos nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Djalma M. Falcão

COPPE
UFRJ



**Impactos dos Recursos Energéticos Distribuídos
sobre o Setor de Distribuição, FIRJAN, 22/05/2016**

Alteração no Paradigma do Setor Elétrico

- Substituição das fontes tradicionais (fóssil e hidro) por **fontes alternativas intermitentes** (eólica e solar)
- Deslocamento da geração centralizada para **geração distribuída**
- Maiores requisitos de **confiabilidade e qualidade**
- Demanda **gerenciada** / armazenamento / veículos elétricos

Maior Variabilidade

**Menor
Previsibilidade**

**Menor
*Despachabilidade***

Brasil

■ Geração Hidrelétrica

- Grandes projetos na Amazônia
- Usinas a fio d'água
- Sazonalidade acentuada
- Transmissão a longa distância (>2500 km)
- *Multiple DC Infeed* no SE/CO

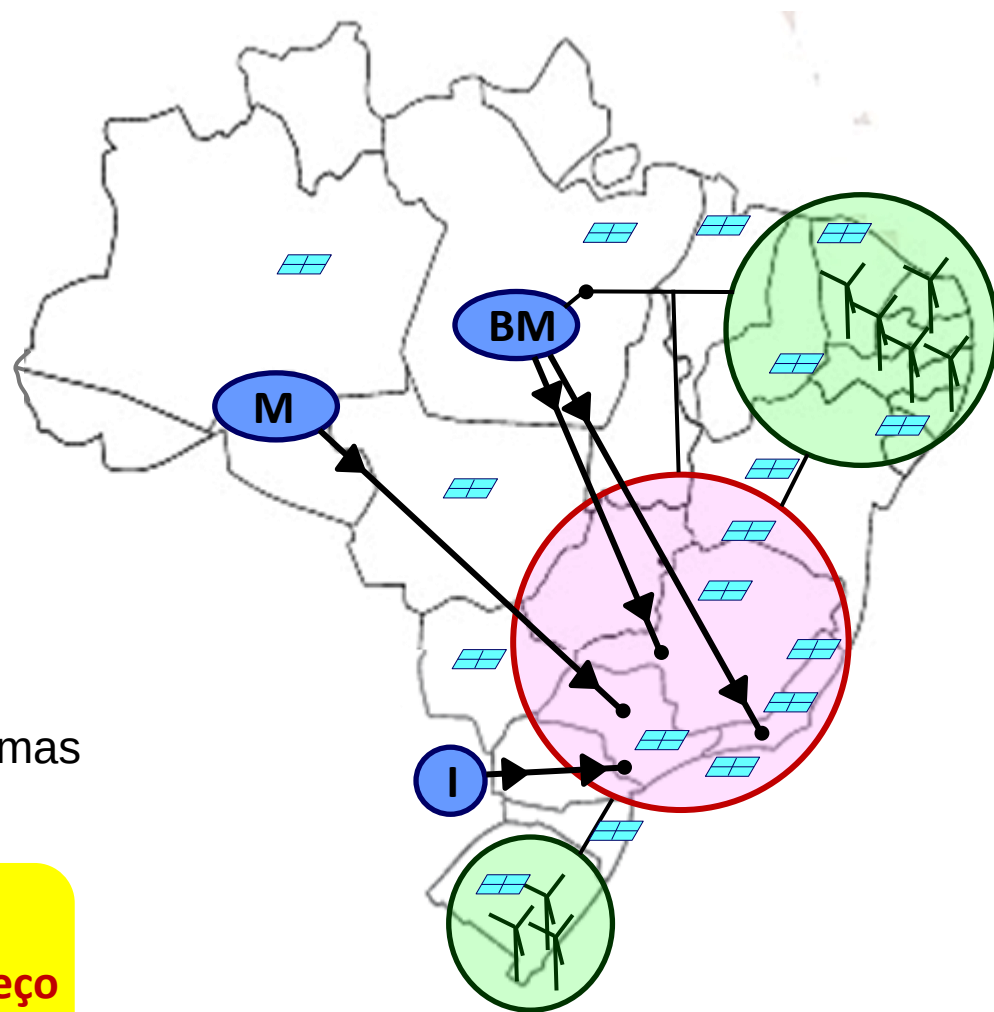
■ Geração Eólica

- Concentrada no NE e S
- No NE deve atingir parcela considerável da demanda

■ Geração Solar

- Ainda incipiente
- Grande porte não é competitiva mas tem aparecido em leilões incentivados

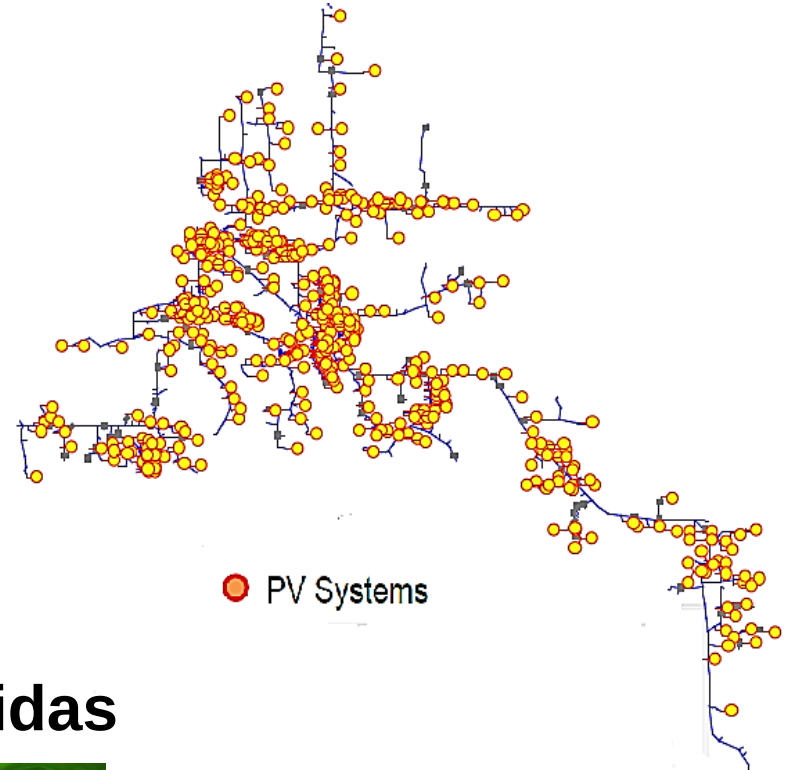
• **Microgeração (roof top) e minigeração têm chance de deslançar devido ao elevado preço da energia, redução de custos e mudanças regulatórias**



Desafios para Empresas de Distribuição

■ Novas Tecnologias e Modelos de Negócios

- Recursos Energéticos Distribuídos
- Gerenciamento da Demanda
- Eficiência Energética



■ Questões ainda não resolvidas

- Perdas Comerciais
- Estrutura regulatória



Recursos Energéticos Distribuídos (RED)

■ Micro e Minigeração Distribuída (< 5 MW)

- Conectada à MT ou BT
- Principalmente fotovoltaica (*rooftop*)

■ Geração Distribuída (< 30 MW)

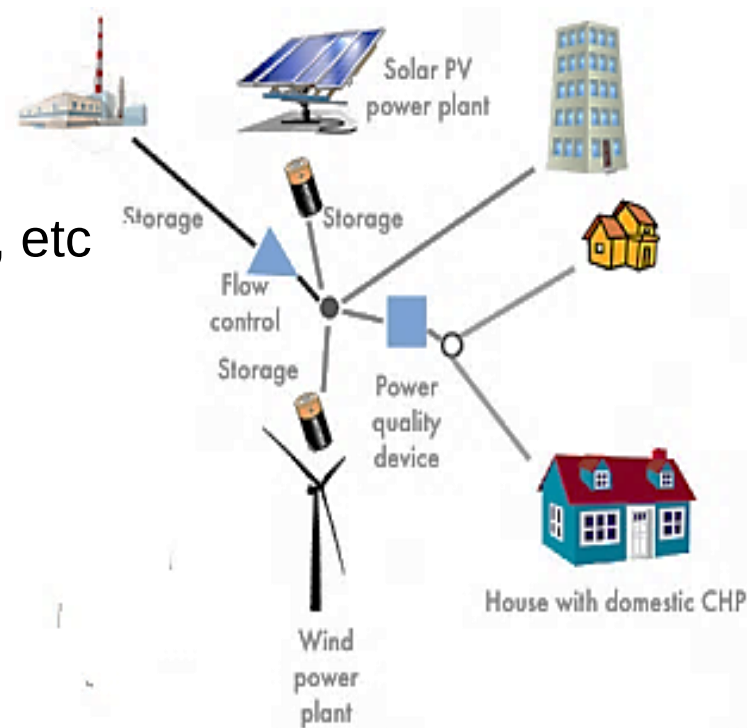
- Conectada à MT ou AT
- PCH, Biomassa, Eólica, Fotovoltaica, etc

■ Armazenamento

- Baterias
- Usinas reversíveis, flywheel, ar comprimido, hidrogênio, etc.
- Capacitores, supercapacitores, etc.

■ Veículos Elétricos

- Vehicle-to-grid (V2G)



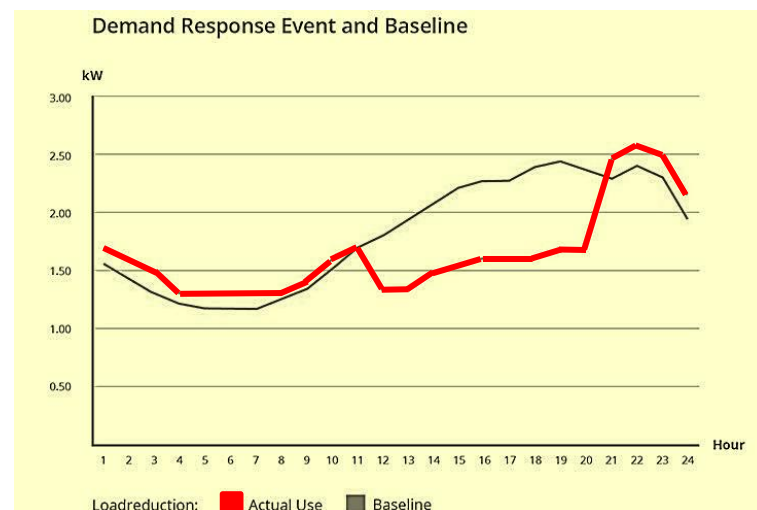
Gestão da Demanda (GeD) e Eficiência Energética (EE)

■ Gestão da Demanda

- **Indispensável** para sistemas com elevada participação de fontes intermitentes
- Programas de resposta da demanda
- Cargas controláveis
- Equipamentos inteligentes
- Internet das coisas (IoT)

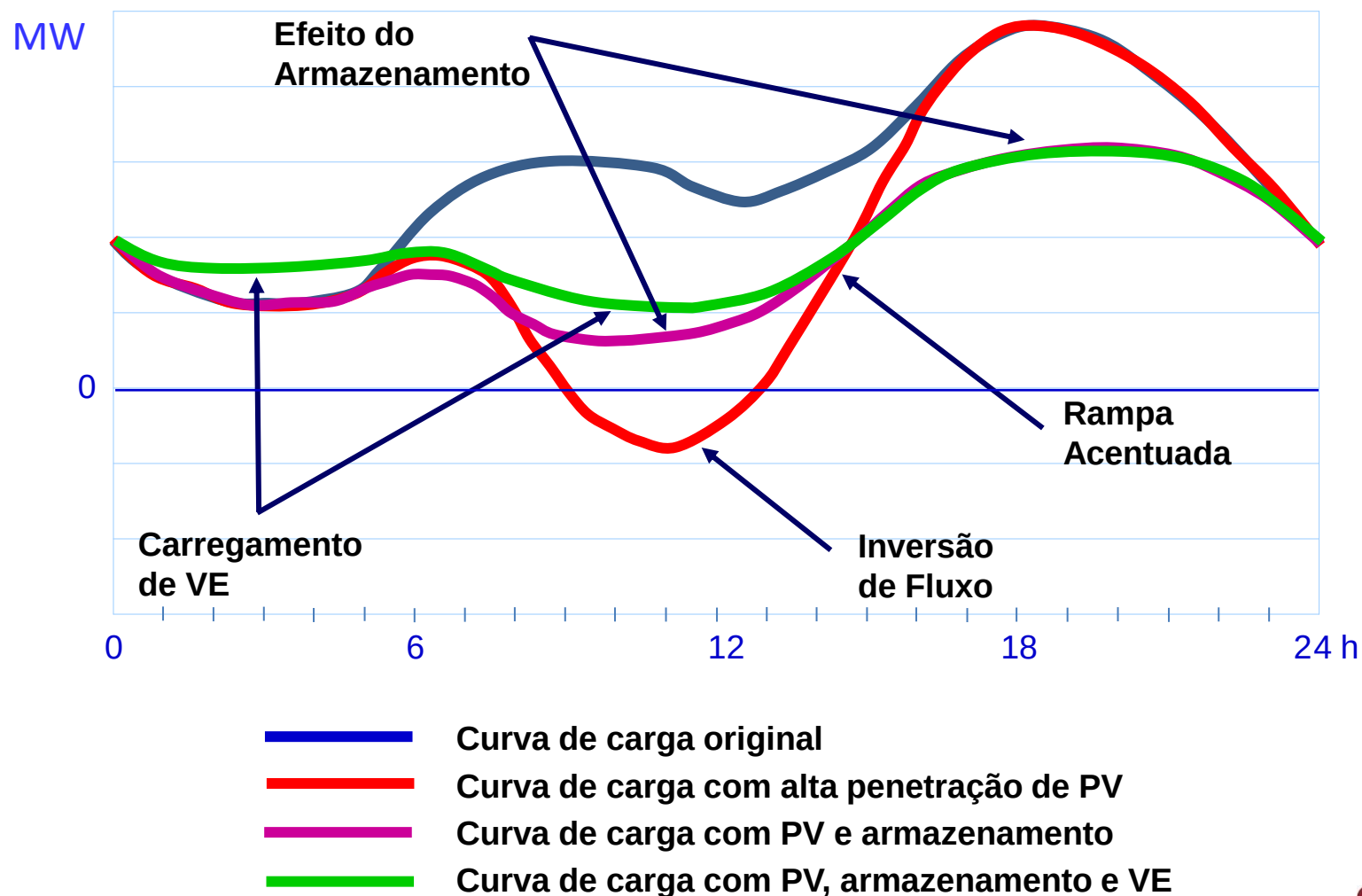
■ Eficiência Energética

- Equipamentos eficientes
- Edifícios inteligentes
- Gestão de energia
- Co-geração

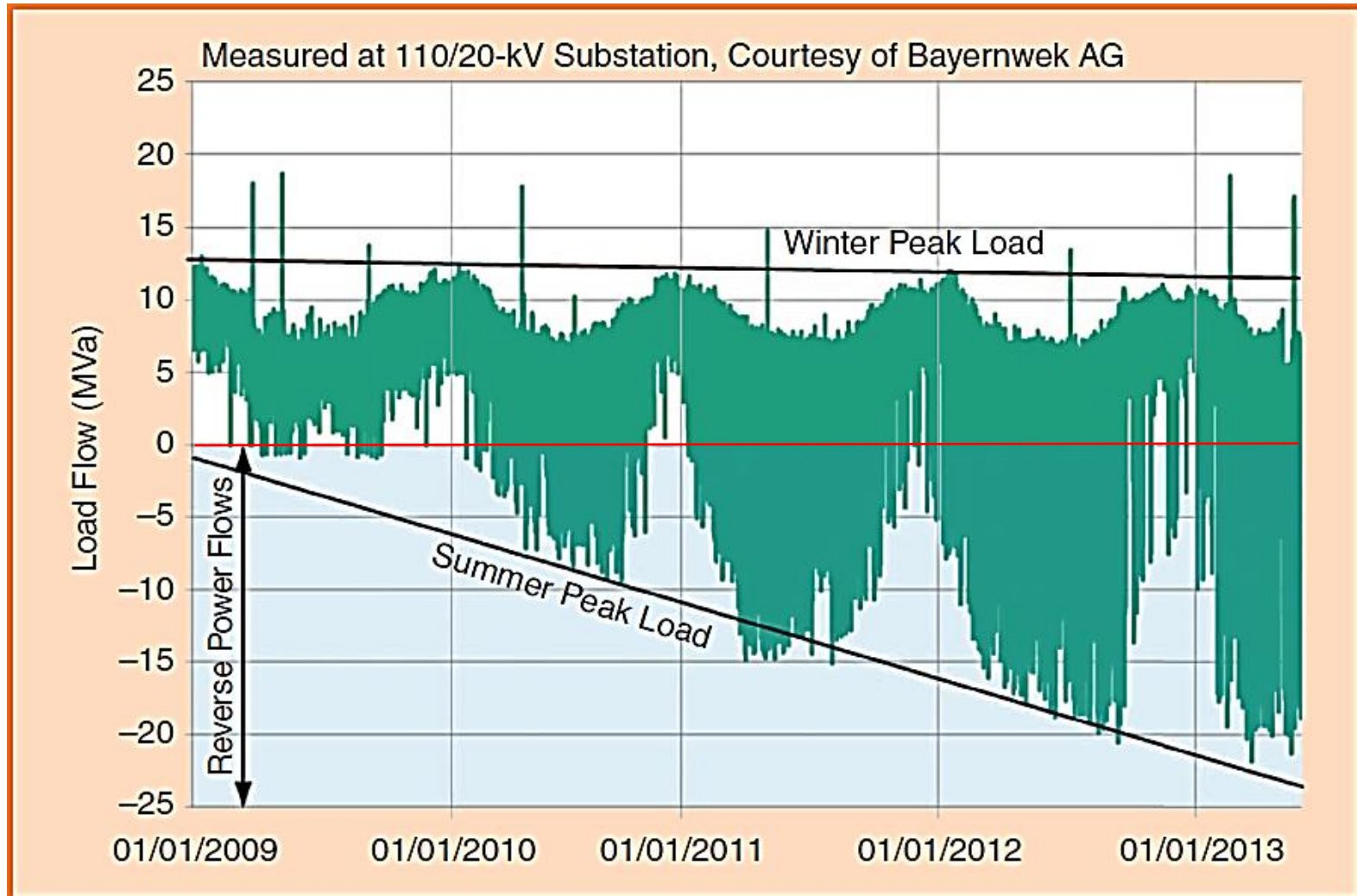


TIPO				
	COMUM	HALÓGENA	CFL	LED
	100 W	70 W	20 W	10 W
DURABILIDADE	1 ano	1-3 anos	6-10 anos	15-25 anos
ECONOMIA	×	até 30%	até 80%	até 95%

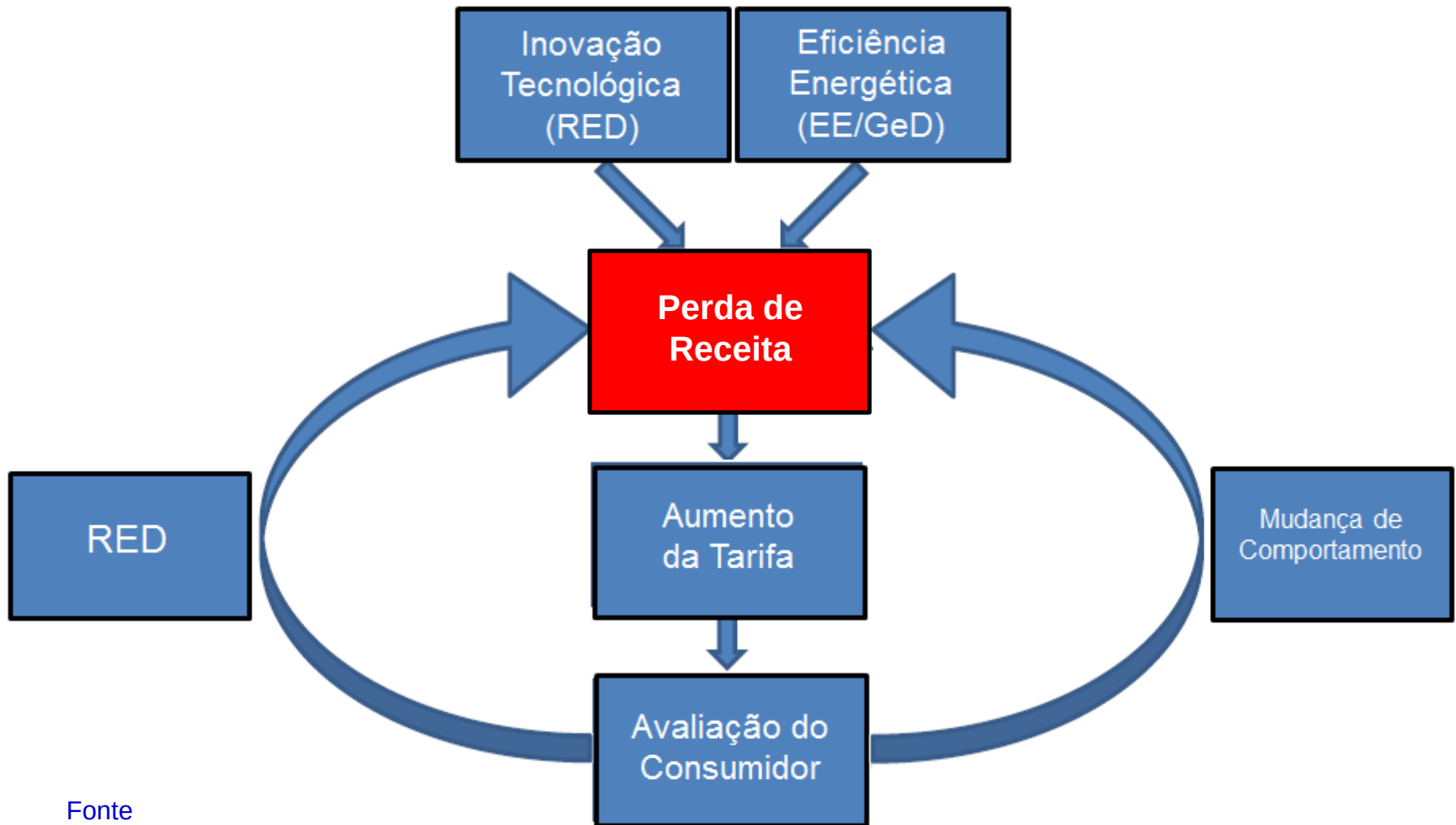
Impacto Técnico



Caso Real (Alemanha)



Equilíbrio Financeiro das Distribuidoras



Fonte

Impactos Técnicos da GD

■ Rede de Distribuição

- Carregamento dos alimentadores
- Perdas
- Controle de tensão
 - Flutuação da tensão
 - Harmônicos
- Proteção

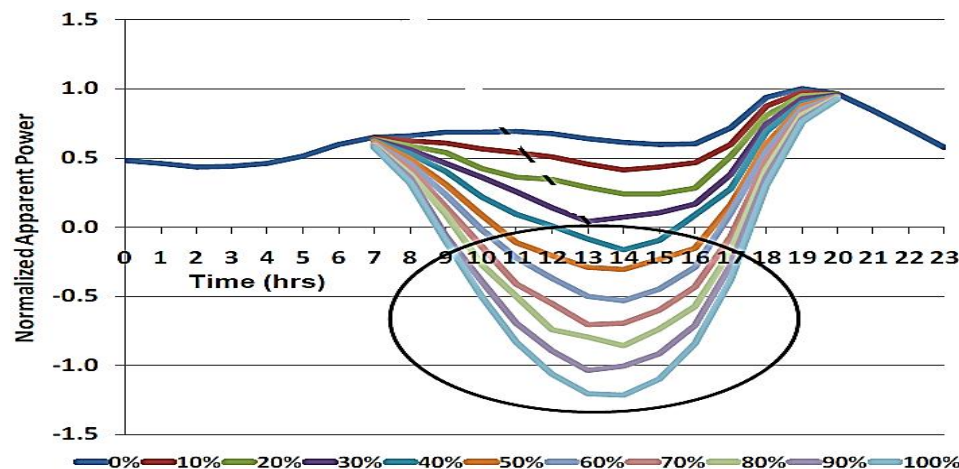
■ Sistema Interligado

- Controle de frequência
- Despacho de geração
- Blecautes



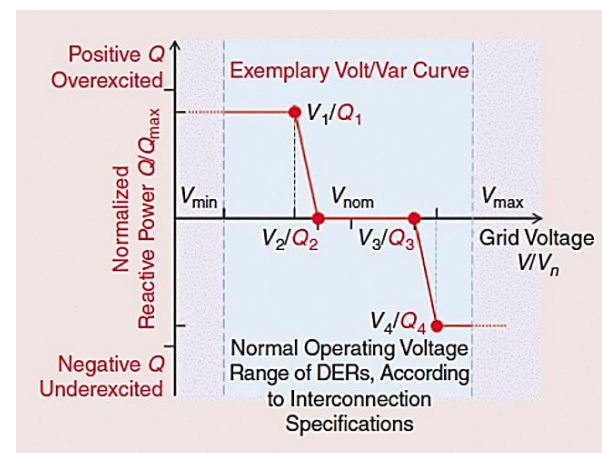
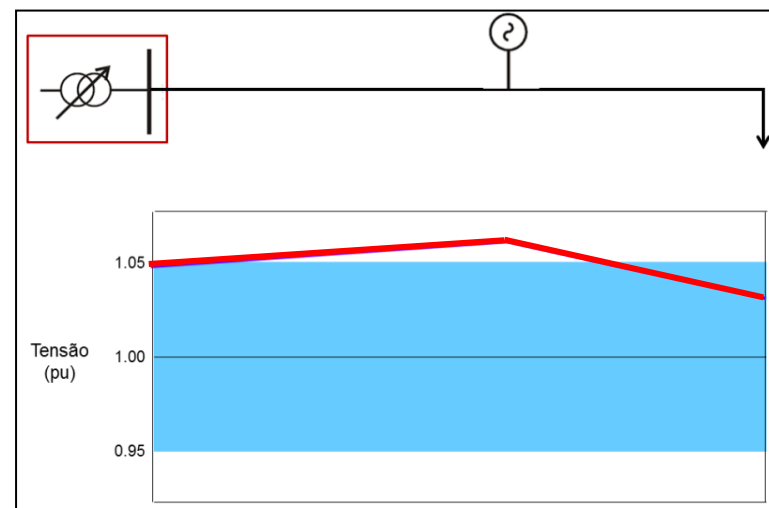
Carregamento e Perdas

- GD é instalada próxima das cargas
- Em geral, o efeito é reduzir o carregamento e perdas
- Efeito é maximizado quando a GD está na própria instalação dos consumidores (*Roof Top PV*, co-geração, etc.)
- Fluxo reverso pode alterar esta situação
- Análise deve cobrir ciclo de carga completo
- No caso das perdas, análise deve incluir as 8760 h do ano



Controle de Tensão

- Manter a tensão dentro de limites: nominal $\pm 5\%$
- GD altera a tensão ao longo do alimentador
- GD intermitente (ex. PV) causa alteração imprevisível
- Afeta equipamentos de regulação de tensão (LTCs, reguladores de tensão, capacitores, etc.)
- Inversor pode ser usado para ajudar a regular a tensão
- Interação entre a GD e dispositivos de controle de tensão
- Análise no tempo com adequada modelagem de equipamentos



Confiabilidade

- Em sistemas de distribuição, é uma medida do número (frequência) e duração (min/h) das interrupções no fornecimento de energia aos consumidores

Índices de Sistema:

FEC Frequência Equivalente de Interrupção
por Unidade Consumidora

[Interrupções/consumidor ano]

DEC Duração Equivalente de Interrupção por
Unidade Consumidora
[horas/consumidor ano]

Índices para Pontos de Carga:

FIC Frequência de Interrupção [falhas/ano]
Individual por Unidade
Consumidora

DIC Duração de Interrupção [horas/ano]
Individual por Unidade
Consumidora

r Duração da Falha [horas]

EENS Energia Esperada Não
Suprida [kWh/ano]

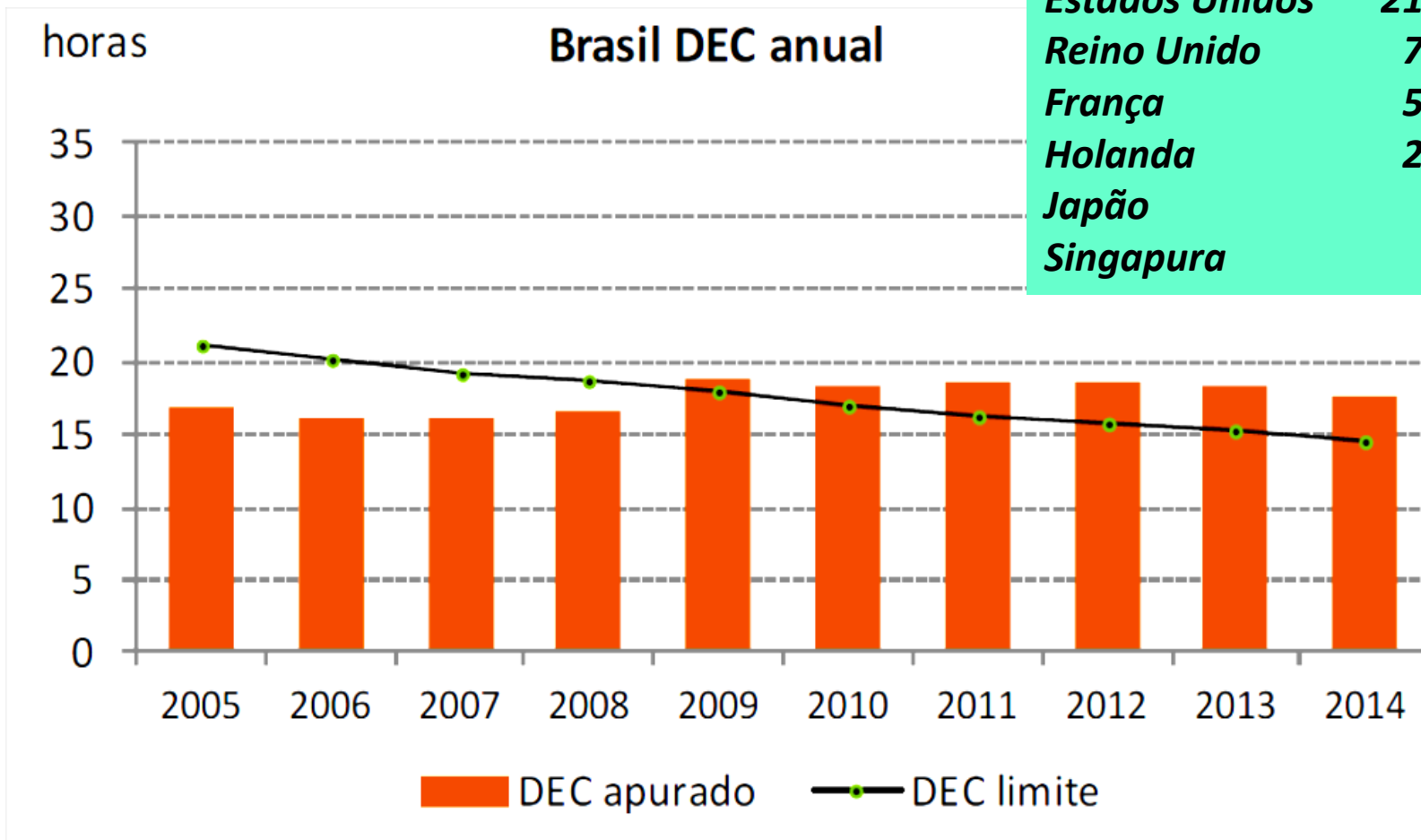
SAIFI: System Average
Interruption Frequency

SAIDI: System Average
Interruption Duration Index

Qualidade do Suprimento

DEC no Mundo
(**minutos**)

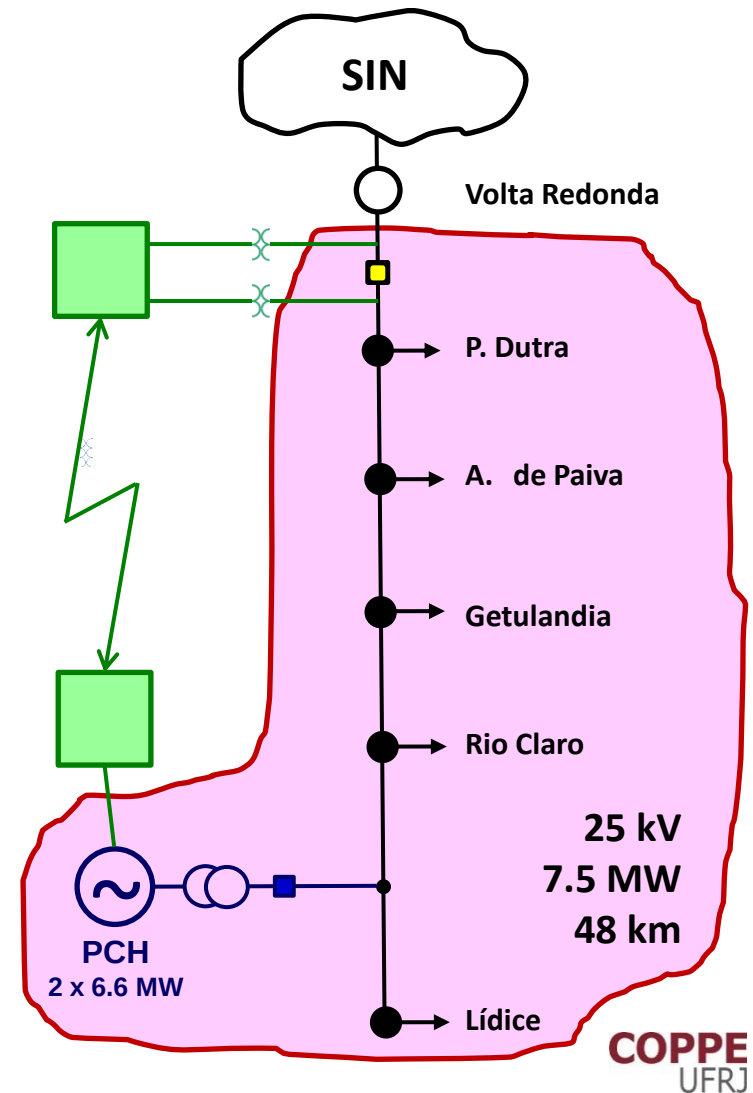
<i>Estados Unidos</i>	214
<i>Reino Unido</i>	70
<i>França</i>	53
<i>Holanda</i>	29
<i>Japão</i>	6
<i>Singapura</i>	2



Fonte: ANEEL, Informações Gerenciais, Dezembro de 2015

Melhoria na Confiabilidade

- GD tem potencial para melhorar o desempenho da rede
- Depende de
 - Ser despachável
 - Possibilidade de operação ilhada
- Exemplo
 - Estudo de ilhamento de um alimentador com GD em caso de interrupção programada ou emergência
 - Simulação indica a possibilidade de religamento desde que seja implementado esquema de automação
 - Implementação pode melhorar consideravelmente o DEC



Proteção

- **GD pode impactar os esquemas de proteção devido:**
 - Alteração na corrente de defeito devido ao gerador (síncrono, indução, etc.)
 - Corrente de defeito muito pequena (gerador conectada através de inversor)
 - Ilhamento
- **A conexão de GD em um alimentador exige refazer o estudo de coordenação da proteção**
- **Em alguns casos, não é possível encontrar um ajuste da proteção adequado para todas as condições operativas**
- **Esquemas de Proteção Adaptativo**

Análise de Redes de Distribuição com GD

- A prática usual em estudos de redes de distribuição tem sido a utilização de um programa de fluxo de potência, executado em vários pontos da curva diária de carga/geração
- Deficiência da abordagem
 - Dificuldade em determinar pontos importante da curva de carga
 - Análise deve contemplar “todos” os pontos da curva de carga/geração
 - Fluxo de potência não permite modelar aspectos cronológicos dos dispositivos de controle e proteção

Caraterísticas

- **Modo de simulação quase-dinâmico, no qual a evolução temporal do sistema elétrico seja modelada com a precisão exigida pelo estudo**
- **Modelagem trifásica**
- **Facilidade de inclusão de novos modelos para permitir a correta representação dos mais diferentes tipos de fontes e dispositivos**
- **Representação de séries temporais de carga e geração intermitente**

Tipos de Simulação

■ Curtíssimo Prazo (ms)

Desempenho de dispositivos de eletrônica de potência

■ Curto Prazo (seg)

- Estabilidade transitória interação de dispositivos de eletrônica de potência e máquinas rotativas

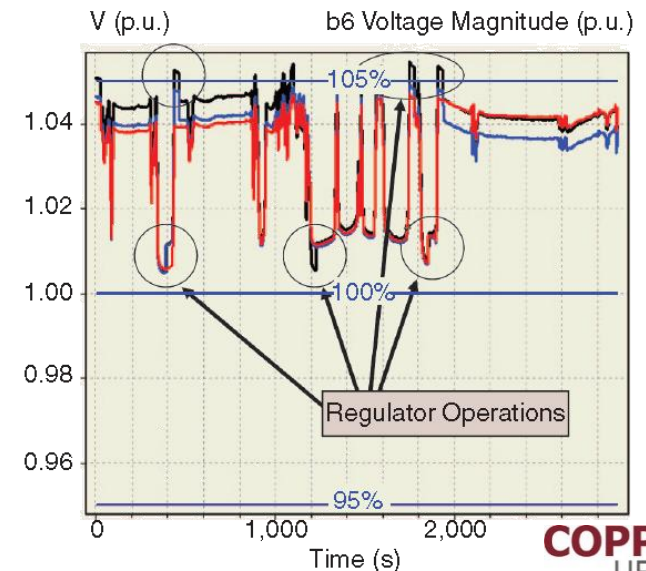
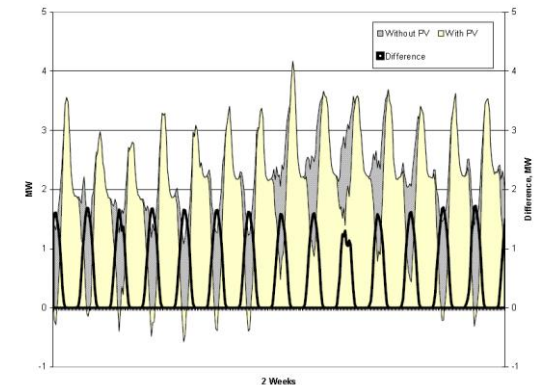
■ Médio Prazo (min)

- Interação da geração intermitente e dispositivos de controle lentos (LTCs, reguladores de tensão, chaveamento de banco de capacitores, etc.)

■ Longo Prazo (horas-ano)

- Contabilização do número de operações dos dispositivos de controle, das perdas, carregamento médio de alimentadores, desvios da tensão nominal, etc.

Solar PV Simulation



Ferramenta de Simulação

- **Simulador para Redes Elétricas com Geração Distribuída**
- Simulação estática e dinâmica
- Representação trifásica, monofásica e mista
- Simulação de múltiplas ilhas e microrredes
- Modelagem da minigeração e microgeração (fotovoltaica) e recursos de Smart Grid
- **Produto Comercial**
 - Inserção de Mercado / Lote Pioneiro
 - Trabalho conjunto envolvendo
 - Fundação Coppetec (Coppe)
 - Light S.E.S.A.
 - Axxiom (Light + Cemig)



Estudo de Geração de Ponta

■ Situação

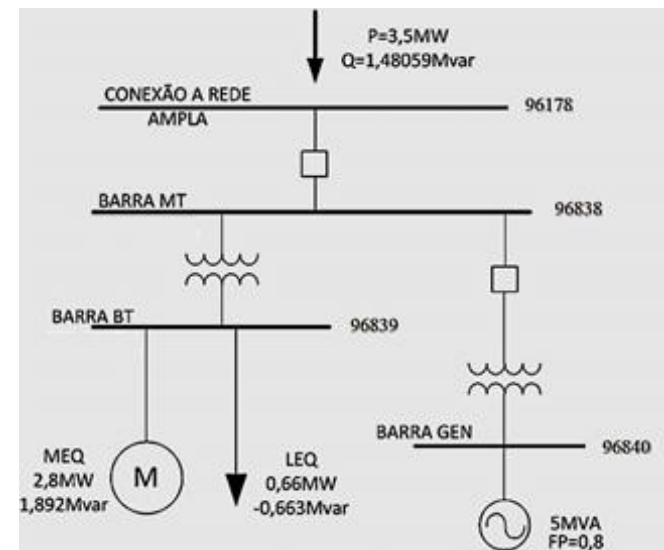
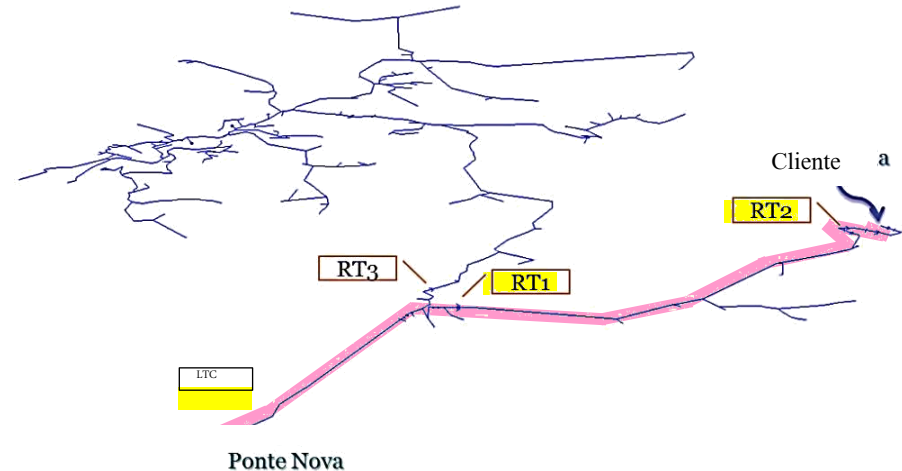
- Grande cliente industrial
- Conectado a um alimentador longo e de capacidade relativamente pequena
- Consumidor instalou gerador para reduzir/eliminar demanda na ponta

■ Problema

- Desligamento da carga do cliente produz elevação abrupta da tensão
- Reguladores de tensão ao longo do alimentador respondem de forma lenta

■ Dados

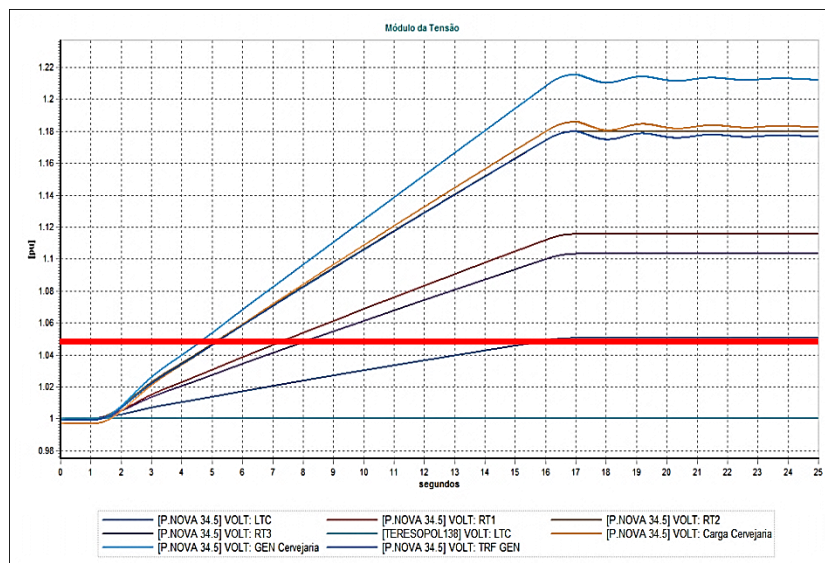
- Carga (80% capacidade do alimentador)
3,5 MW (2,8 MW motores)
- Gerador: 5 MVA (fp 0,8)
- Reguladores de tensão ajustado para atuação em 30 / 40 / 50 segundos



Resultados

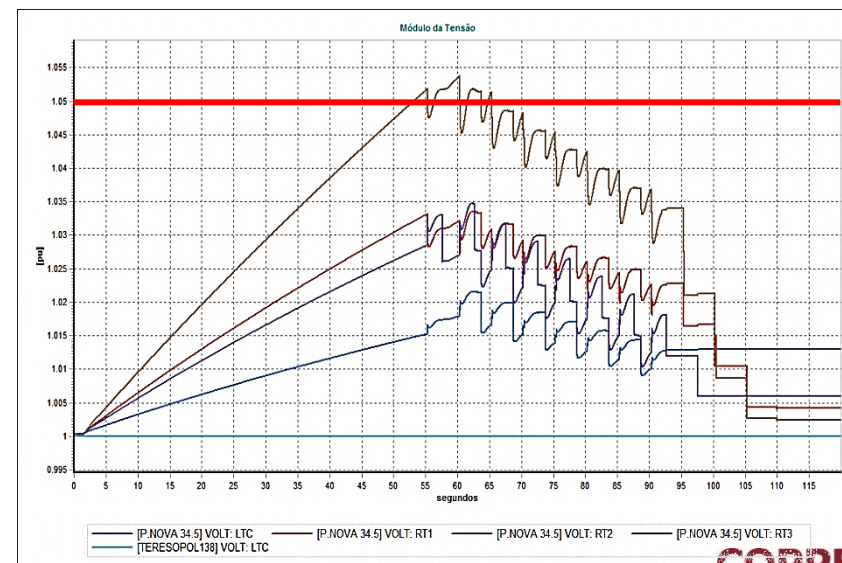
■ Condição Atual

- Rampa de carga do gerador : **15 s**
- Depois, desconexão da rede Ampla
- Reguladores de tensão
 - LTC : 30 s Banda Morta $\pm 1\%$
 - RT1 : 40 s 5 s entre mudanças
 - RT2 : 50 s de tapes



● Possível Solução

- Rampa de carga do gerador : **90 s**
- Depois, desconexão da rede Ampla
- Reguladores de tensão
 - LTC : 30 s Banda Morta $\pm 1\%$
 - RT1 : 40 s 5 s entre mudanças
 - RT2 : 50 s de tapes



Impacto no Sistema Interligado

- Elevada penetração da GD eleva a incerteza em relação à demanda no curto-prazo (minutos)
- Perturbações no sistema interligado (tensão, frequência) podem produzir o desligamento de parte da GD
- Desligamento em massa da GD representa aumento instantâneo da demanda tornando a emergência ainda mais severa

The 50.2-Hz Risk

- Frequência de *cutoff* dos inversores dos geradores PV na Alemanha
- Perturbações com elevação da frequência acima desses valores quase provocaram blecautes
- Necessidade de *retrofit* de 315.000 instalações de geração fotovoltaica

Obrigado

Djalma M. Falcão

falcao@nacad.ufrj.br

COPPE/UFRJ

Programa de Engenharia Elétrica

Caixa Postal 68504

21941-972 Rio de Janeiro RJ