



**PPE** PROGRAMA DE  
PLANEJAMENTO  
ENERGÉTICO  
COPE - USP

Inserção de Novas

## **Fontes Renováveis e Redes Inteligentes**

no Planejamento Energético Nacional

# Novas Tecnologias Limpas

Prof. Marciano Morozowski Filho

WeSee – Visão Dinâmica de Sistemas

Rio de Janeiro 19.09.2018

# Objetivos

- Novas tecnologias limpas
  - Recursos Energéticos Distribuídos (RED)
  - *Smart Grid* (SG)
- Cenários de difusão
  - Nível de maturidade
  - Trajetória de custo
  - Visão 2050
- Novos paradigmas
  - Planejamento
  - Operação

# Cenários de Difusão

- Resultados
  - Níveis de maturidade
  - Trajetórias de custo
- Fontes nacionais
  - Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro (CGEE)
  - Demanda de Energia 2050 (EPE)
- Fontes internacionais
  - World Economic Forum
  - MIT Energy Initiative

# Recursos Energéticos Distribuídos (RED)

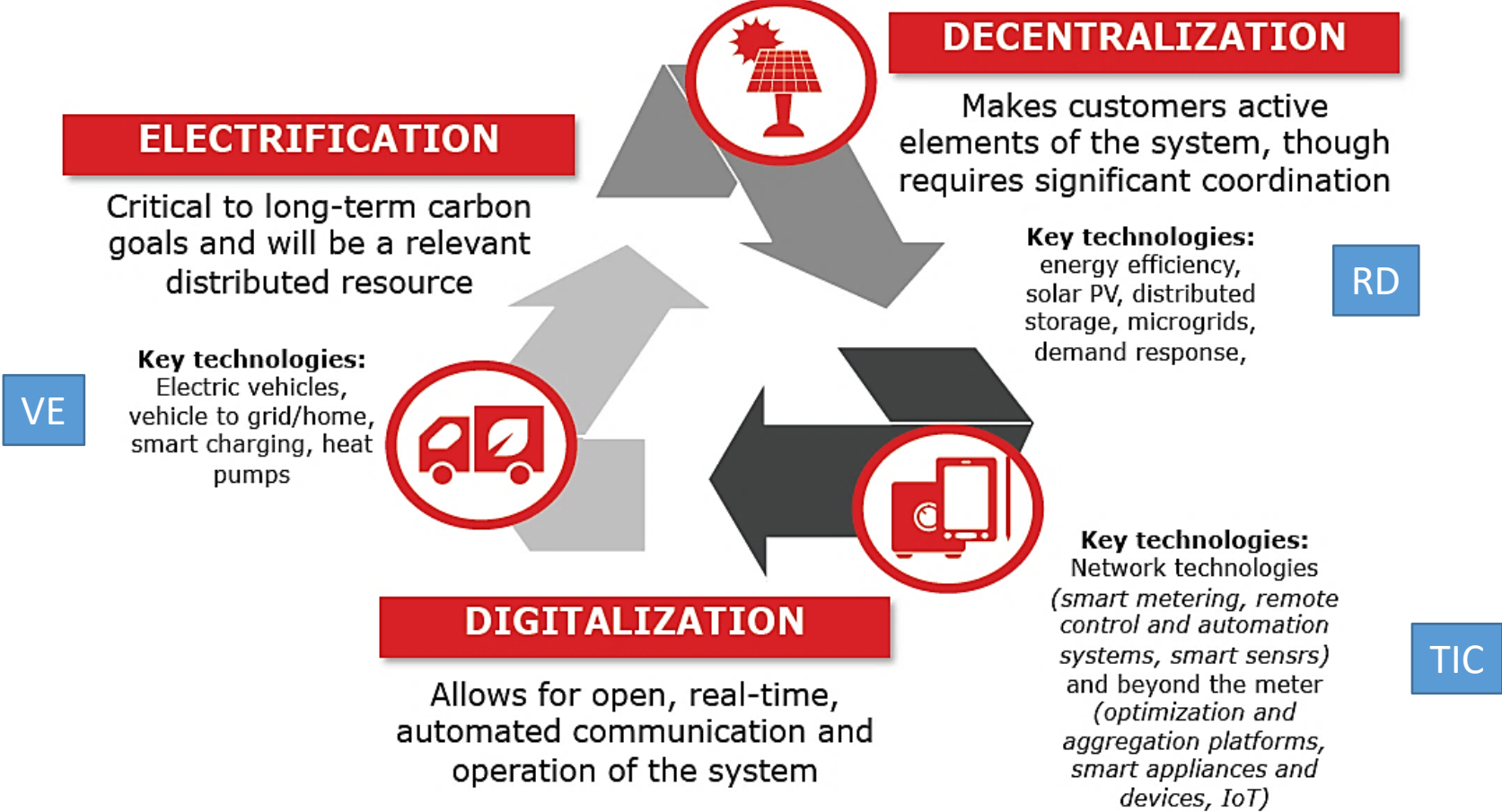
- Armazenamento Distribuído (AD)
- Resposta da Demanda (RD)
- Geração Distribuída (GD)
- Veículos Elétricos (VE)

# Tecnologias Digitais (*Smart Grid*)

- Sistemas avançados de medição (*smart meters*)
- Automação de redes de distribuição
  - Controle de tensão
  - Otimização de reativos
  - Auto-recuperação (FLISR\*)
- *Data Analytics*
- *Big Data*

\**Fault Location, Isolation, and Service Restoration*

# Novas Tecnologias: Sinergia



# Armazenamento: Tecnologias e Aplicações

- Tecnologias maduras (BR)
  - Baterias (BA)
  - Hidrelétricas reversíveis (HR)
- Aplicações no Sistema Interligado (SIN)
  - Reserva (HR)
  - Controle (BA+HR)
- Aplicações em Redes de Distribuição
  - Controlar tensão (BA)
  - Postergar investimentos (BA)
  - Compensar flutuações da GD (BA)

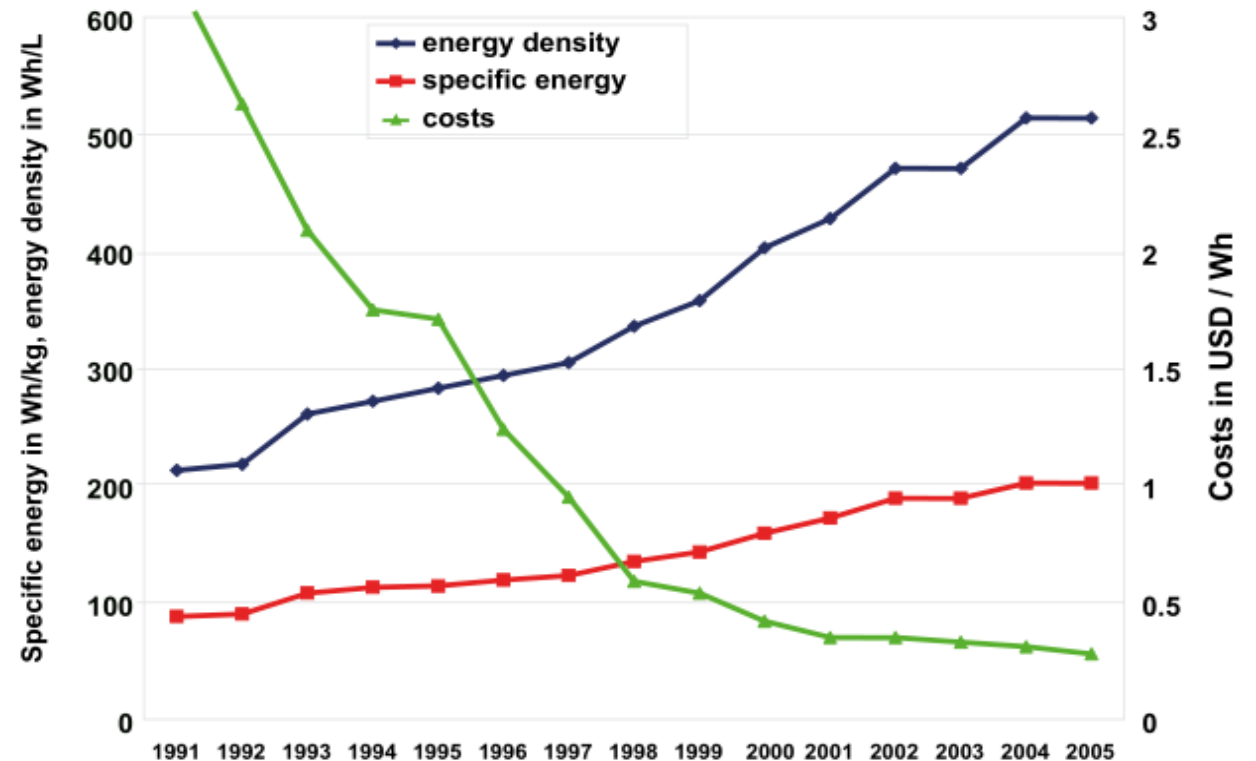
# Armazenamento Distribuído

- Desenvolvimento de baterias
  - Maior densidade energética
  - Melhoria de desempenho
  - Novas Tecnologias



Redução de custos da tecnologia

- Visão prospectiva
  - Difusão de fontes renováveis
  - Impulsiona tecnologia AD



Diversificação da matriz elétrica:

- Gama de sistemas de armazenamento
- Mitigação de efeitos da intermitência das FRE
- Requisitos: qualidade, eficiência e economicidade



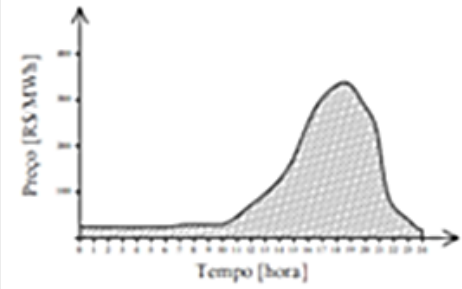
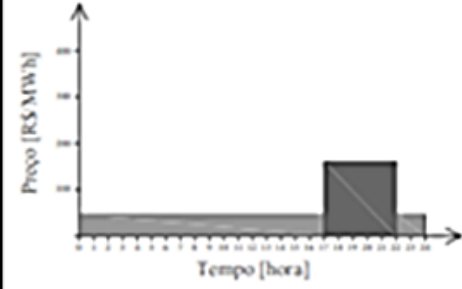
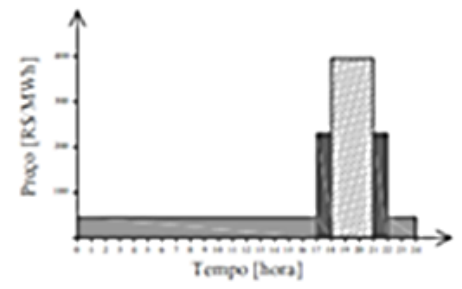
# Armazenamento: Impactos

- Experiência internacional
  - Componente chave de flexibilidade
  - Integração de FRE em redes MT-
  - Baterias de íons de lítio (~ 70%)
- Capacidade instalada (redes MT-)
  - Instalações menores (<10 kW): ~20%
  - Instalações médias (10 kW-2 MW): ~50%
  - Instalações maiores (2-6 MW): ~30%
- Impacto na distribuição
  - Internacional: poucos resultados relatados
  - Nacional: resultados ainda não divulgados

# Resposta da Demanda: Modalidades

- Via tarifas e preços
  - Tarifação em tempo real (*Real Time Pricing* – RTP)
  - Tarifação de ponta (*Critical Peak Pricing* - CPP)
  - Período de uso (*Time of Use* – TOU)
- Via incentivos financeiros
  - Controle direto da demanda (*Direct Load Control* – DLC)
  - Interrupção consentida da demanda (*Interruptible / Curtailable Service* – I/C)
  - Redução da demanda em emergência (*Emergency Demand Response*)
  - Oferta de redução da demanda (*Demand-Side Bidding*)

# Resposta da Demanda: Tipologia

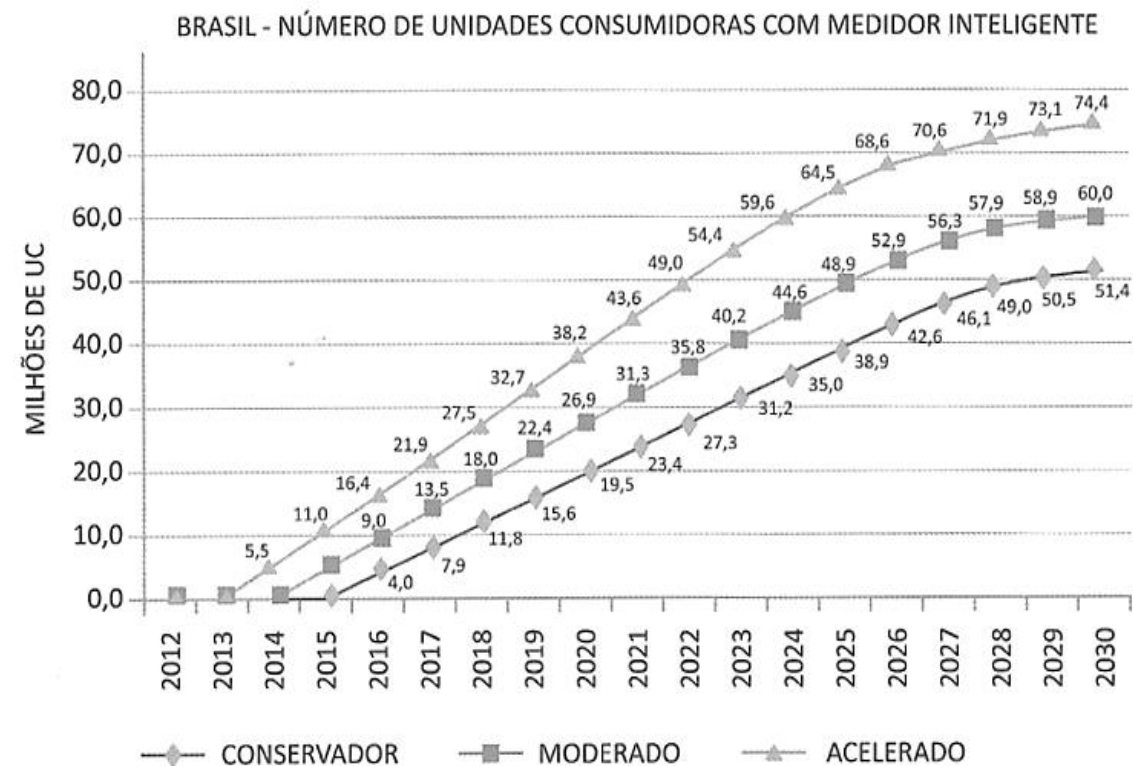
PRD Pro- priedade	Tarifação em Tempo Real <i>Real-Time Pricing (RTP)</i>	Tarifação por Tempo de Uso <i>Time-of-Use (TOU)</i>	Tarifação de Ponta <i>Critical Peak Pricing (CPP)</i>
Ilustração da Variação de Preços			
Forma de Variação dos Preços	24 períodos (horária)	Usualmente 2 ou 3 períodos (denominados fora ponta, intermediário e ponta). Existem aplicações com inúmeros períodos, diferenciando as tarifas por dias da semana ou estações do ano.	2 ou 3 períodos
Prazo para Divulgação dos Preços	Usualmente divulgada 24 horas antes. Em alguns casos, a divulgação ocorre horas antes.	Estabelecida anualmente para todos os períodos.	Programa híbrido, onde os preços da ponta acompanham o mercado (análogo ao RTP) e o restante dos preços é divulgado anualmente (análogo a TOU).

# Resposta da Demanda

- Comportamento do consumidor
  - Importância crescente
  - Penetração de FRE
- Tecnologia imatura
  - Estágio inicial
  - Projetos-piloto
- Potencial de desenvolvimento
  - Vinculado à implementação de *smart grids*
    - Sistemas de medição inteligentes
    - Sistemas de comunicação abrangentes
- Visão Prospectiva
  - Cenários de Desenvolvimento de *Smart Grids* no Brasil



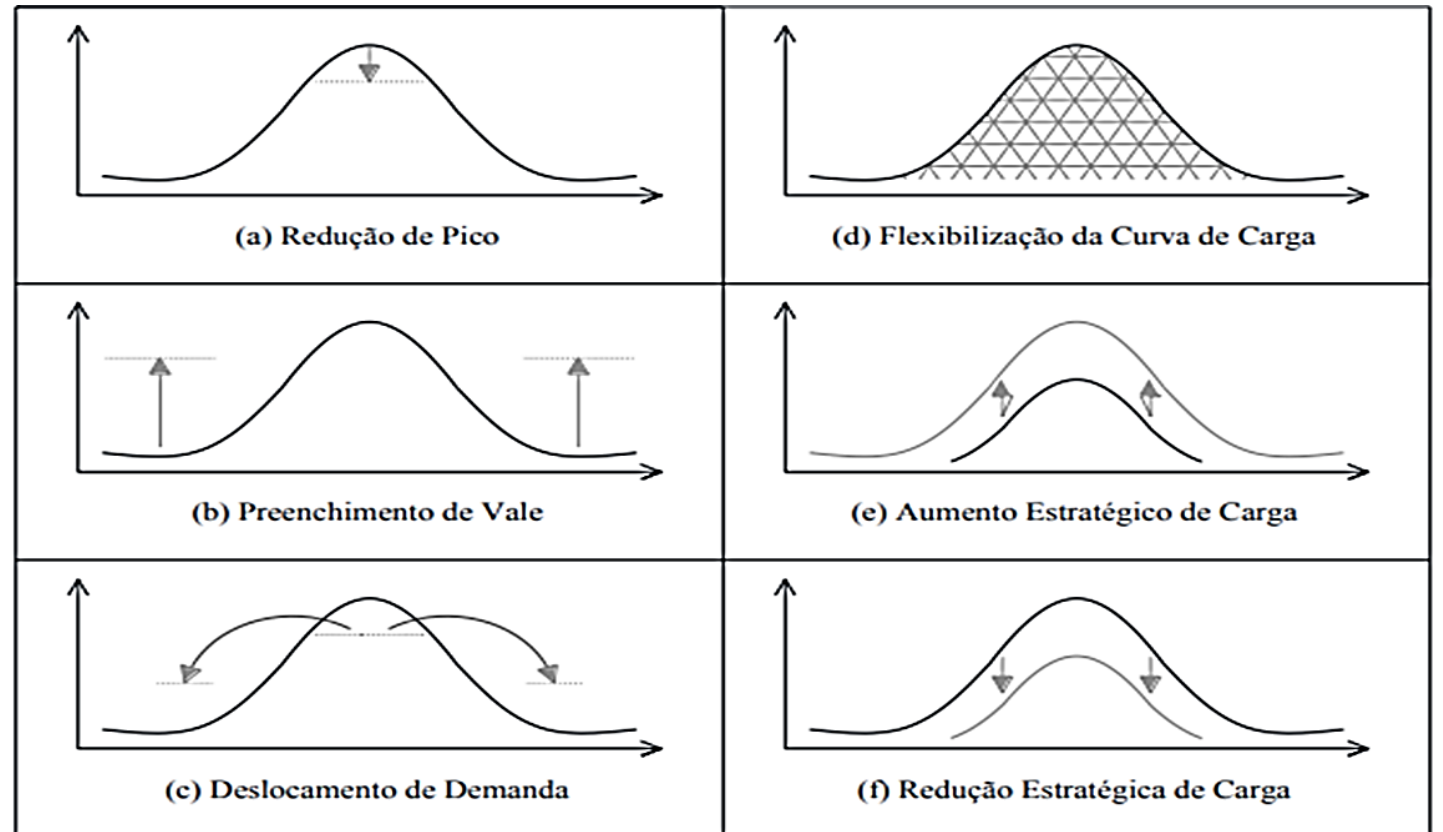
\* Redes Elétricas Inteligentes no Brasil - Análise de Custos e Benefícios de um Plano Nacional de Implantação - Nelson Kagan (2013)



- Nível de maturidade de PRD:
  - Variável entre países
    - Políticas e programas
    - Esquemas de implantação

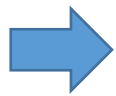
# Resposta da Demanda: Impactos

- Similar à combinação GD + AD
- Reduz ou desloca picos de carga
- Curvas de demanda mais planas



# GD: Energia Solar Fotovoltaica

- Crescente penetração
- Desenvolvimento contínuo
  - Módulos
  - Inversores
  - BoS
- Visão Prospectiva
  - Cenário 1: otimista (novas políticas)

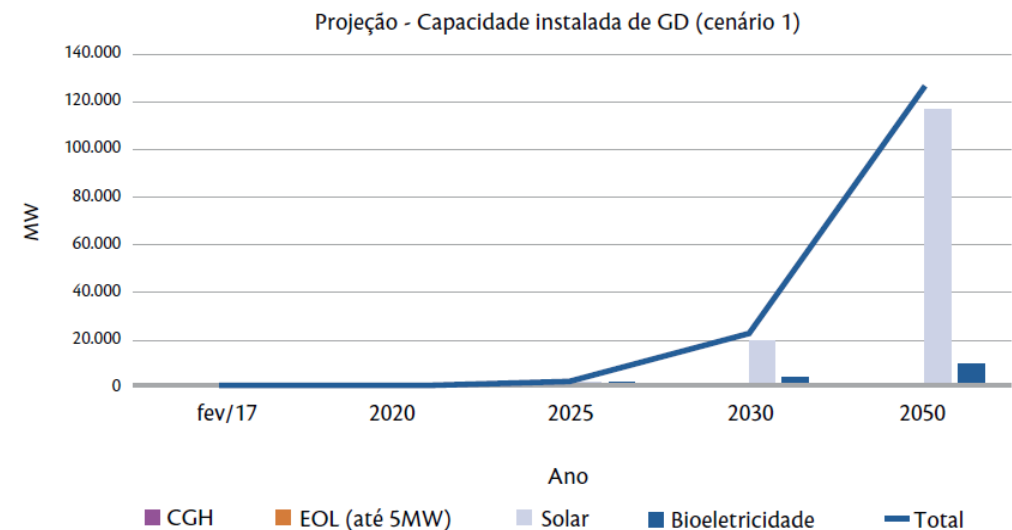
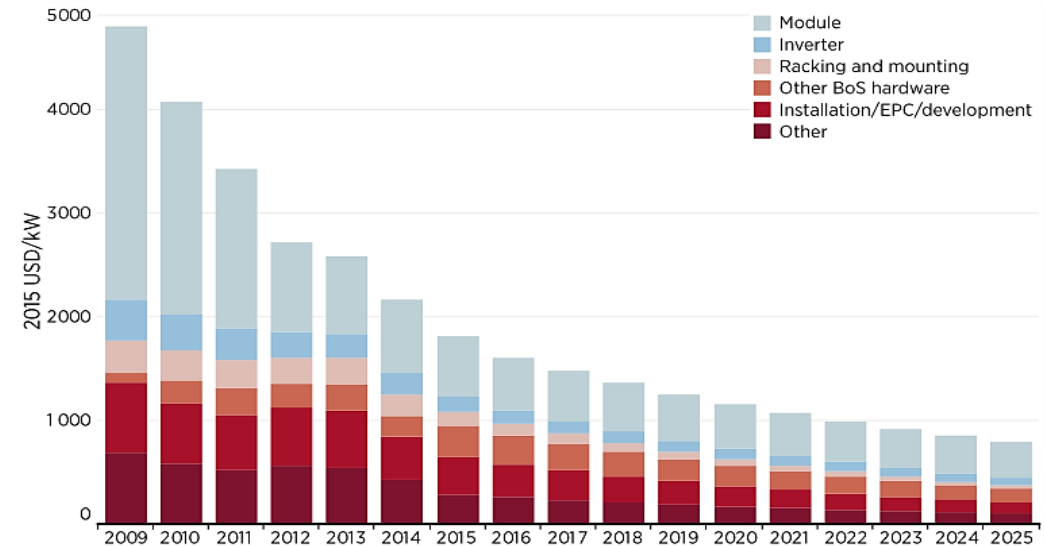


**Redução de custos da tecnologia**

**26,5% da demanda em 2050 (480 MW)**

- Cenário 2: referência (limitado)

**17,3% da demanda em 2050 (480 MW)**



# GD: Impactos

## • Riscos Técnicos

- Fluxo reverso
  - Sobrecarga de alimentadores
  - Controle de tensão
  - Ajuste da proteção
  - Perdas elétricas
- Intermitência de fontes
  - Depreciação acelerada de ativos
  - Ciclos de carga não planejados
- Ilhamento
  - Intencional: confiabilidade
  - Não intencional: detecção
- Qualidade de energia
- Segurança pessoal
- Manutenção

## ▪ Riscos Regulatórios

- Distribuidora: perda de receita
- Rede: maior dispêndio (adequação)
- Consumidores sem GD: tarifa maior
- GD crescente:
  - Redução de custos e/ou
  - Ganhos de escala

# GD: Maturidade Tecnológica

- Impactos técnicos e externalidades
  - Até 2025: impactos técnicos moderados
  - Após 2030: ações corretivas recorrentes
  - Até 2050: novas tecnologias aceleram tendência de evolução
- Ferramentas de análise e modelagem
  - Até 2025: ferramentas off-line
  - Após 2030: ferramentas online (controle central)
- Técnicas de controle da GD
  - Até 2030: técnicas de controle local
  - A partir de 2030: controle central e coordenado

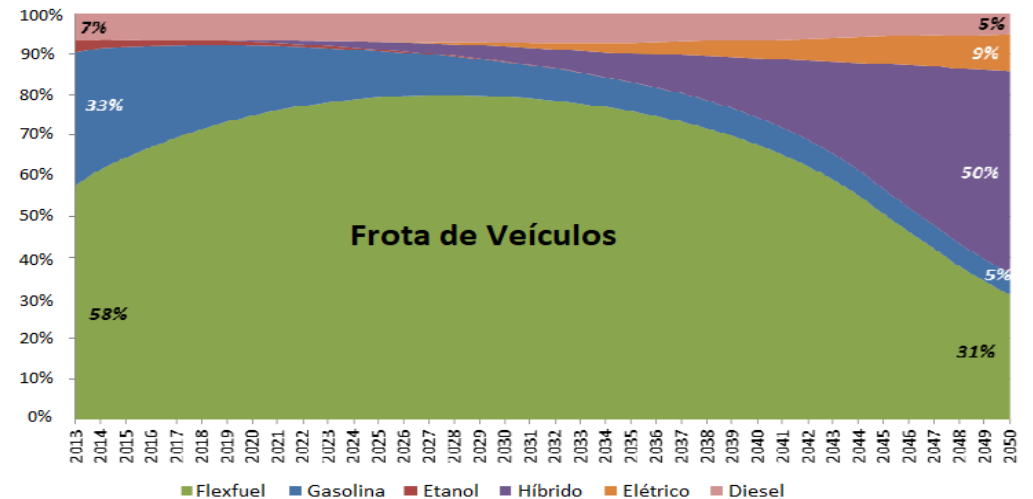
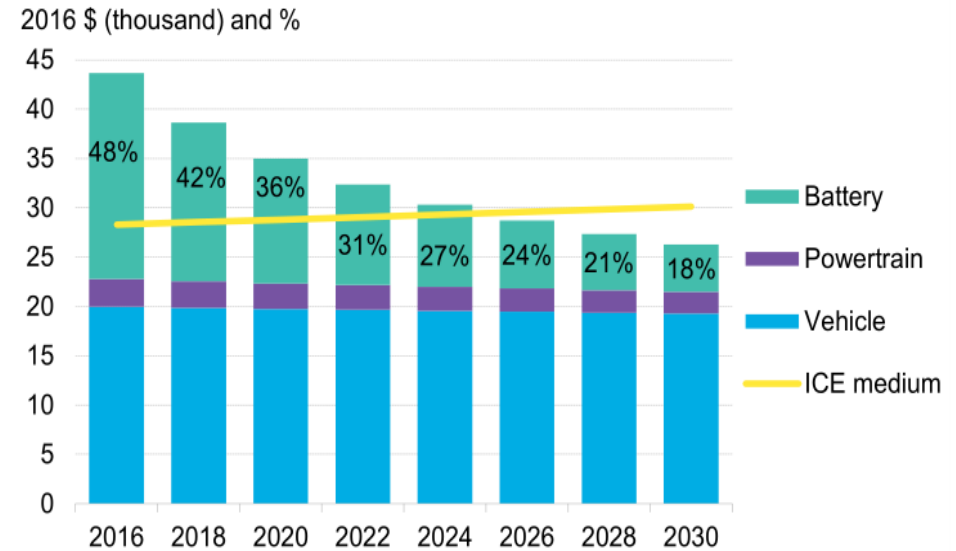


# Veículos Elétricos

- Níveis de maturidade
  - Infraestrutura de recarga
  - Novos modelos de negócio
- Prevenção de impactos
  - A partir de 2025: metodologias para projeção
  - Plano de ação: reduzir impactos na distribuição
- Trajetória de custos
  - Desenvolvimento de baterias (custo predominante)

## Previsão de redução dos custos associados

- Visão Prospectiva
  - Entre 2025 e 2030
    - Marco disruptivo: VE competitivo
  - Barreiras
    - Pontos de recarga públicos
    - Nível socioeconômico da população



# Veículos Elétricos: Impactos

- Tipos de recarga
  - Doméstica (lenta): 3 kW (BT)
  - Eletroposto (rápida): 50 kW (MT)
- Localização
  - Problema similar à GD
  - Aleatório: análise socioeconômica
- Mitigação
  - Reforço da infraestrutura de rede
  - Tarifas horosazonais ou dinâmicas

# Constatações

- RED no Grid Edge (borda da rede)
  - Profunda alteração no paradigma de operação das redes
- Digitalização de Redes Elétricas (*Smart Grid*): imprescindível
- Sinergia e complementaridade entre RED e Smart Grid
  - Núcleo de processo tecnológico
  - Potencial disruptivo nas redes de distribuição
- Situação no Brasil
  - GD: crescimento rápido e participação significativa em 2050
  - Demais tecnologias RED:
    - Estágio inicial de desenvolvimento
    - Dependem de incentivos para crescer

Muito obrigado!...

[marciano@weseeng.br](mailto:marciano@weseeng.br)