II Workshop de Energias Oceânicas e Fluviais

Microrredes com Fontes Renováveis

Luiz Ribeiro – IEE/UFMA

Luiz Ribeiro

- Graduação pela UFMA (1991)
- Mestrado pela UFCG (1993)
- Doutorado pela UFCG (1998)
- Pesquisador Visitante na Universidade de Wisconsin, EUA (2004 – 2006)
- Pesquisador Visitante na Universidade de Aalborg, Dinamarca (2015)
- Desde 2008 é Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMA
- Áreas de Pesquisa: sistemas de controle, conversores de potência, microrredes, acionamentos de máquinas elétricas, e fontes renováveis de energia.

São Luís - MA

- Capital do estado do Maranhão
- Ilha localizada no Nordeste do Brasil
- População: 1.014.837

São Luís - MA

Vista aérea

São Luís - MA

Vista aérea: parte velha

IEE/UFMA

INSTITUTO DE ENERGIA ELÉTRICA

- *Laboratório de Energias Renováveis*
- *Laboratório de Qualidade de Energia*
- *Laboratório de Eficiência Energética e Geração Distribuída*
- *Laboratório de Sistemas de Potência*

INEOF – INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA ENERGIAS OCEÂNICAS E FLUVIAIS

http://www.iee.ufma.br/site/

http://www.ineof.ufma.br/

Número de alunos	
IC	8
Mestrado	20
Doutorado	6

IEE/UFMA

- Instituto de Energia Elétrica
  - ✓ Gênese: Núcleo de Energias Alternativas - NEA (2000)
  - ✓ Financiado em 2005 pela Eletrobrás
  - ✓ Início de operação: 2009
- Áreas de Atuação
  - ✓ Energias Renováveis
  - ✓ Conversão de Energia
  - ✓ Eficiência e Qualidade de Energia Elétrica
  - ✓ Redes Elétricas Inteligentes

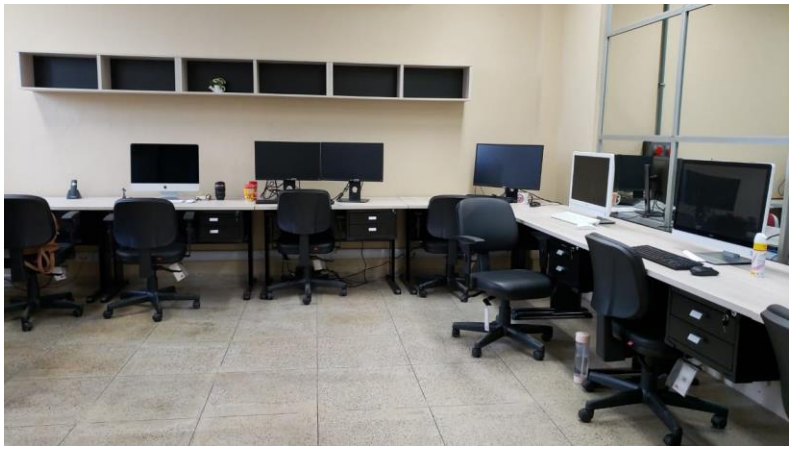
IEE/UFMA - Infraestrutura

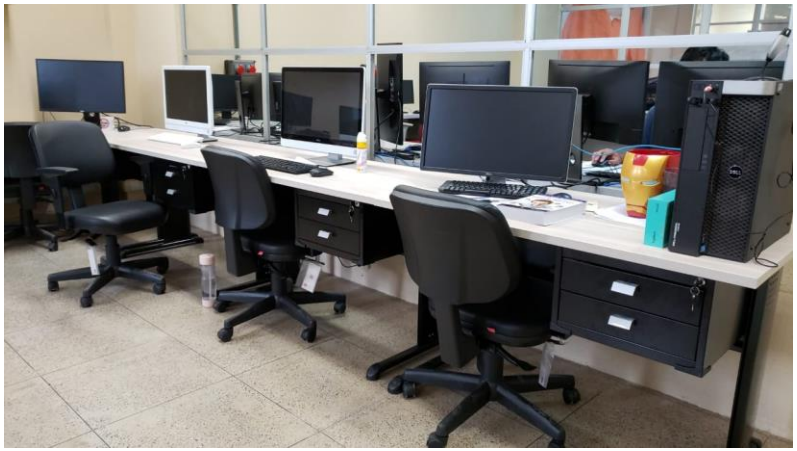
Sala dos Alunos

Lab. de Simulações

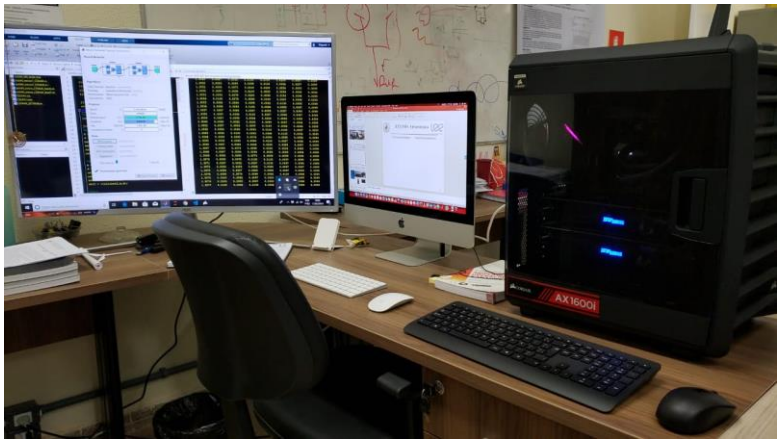
IEE/UFMA - Infraestrutura

Lab. de Técnicas inteligentes





Infraestrutura Computacional



IEE/UFMA - Infraestrutura

Turbina Eólica: 10 kW

PV: 15 kW

Baterias:240 V/ 300 Ah

Emulador de
Turbina Eólica: 15 kW

IEE/UFMA - Infraestrutura

Simulador de rede
35 kW (4 quadrantes)

Microrrede IEE em
desenvolvimento

IEE/UFMA - Infraestrutura

Protótipo: CFR – versão 2

Cabeça de série: CFR – 40kW

Projetos

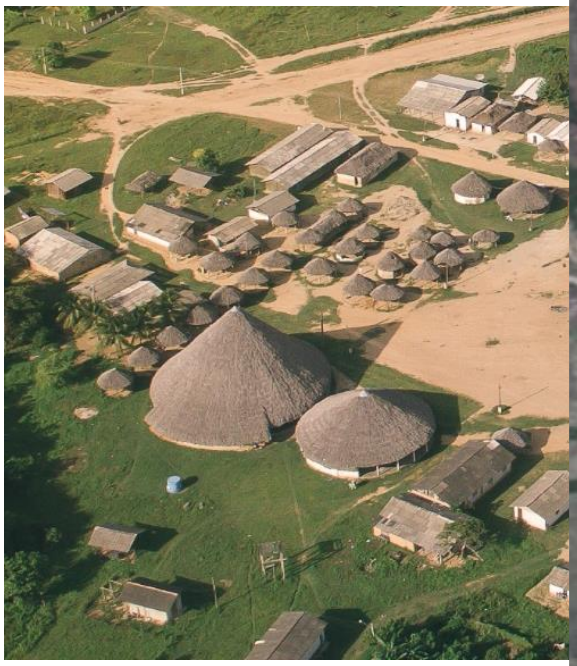
- Sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica da Ilha de Lençóis – Ministério de Minas e Energia: 2005 – 2012

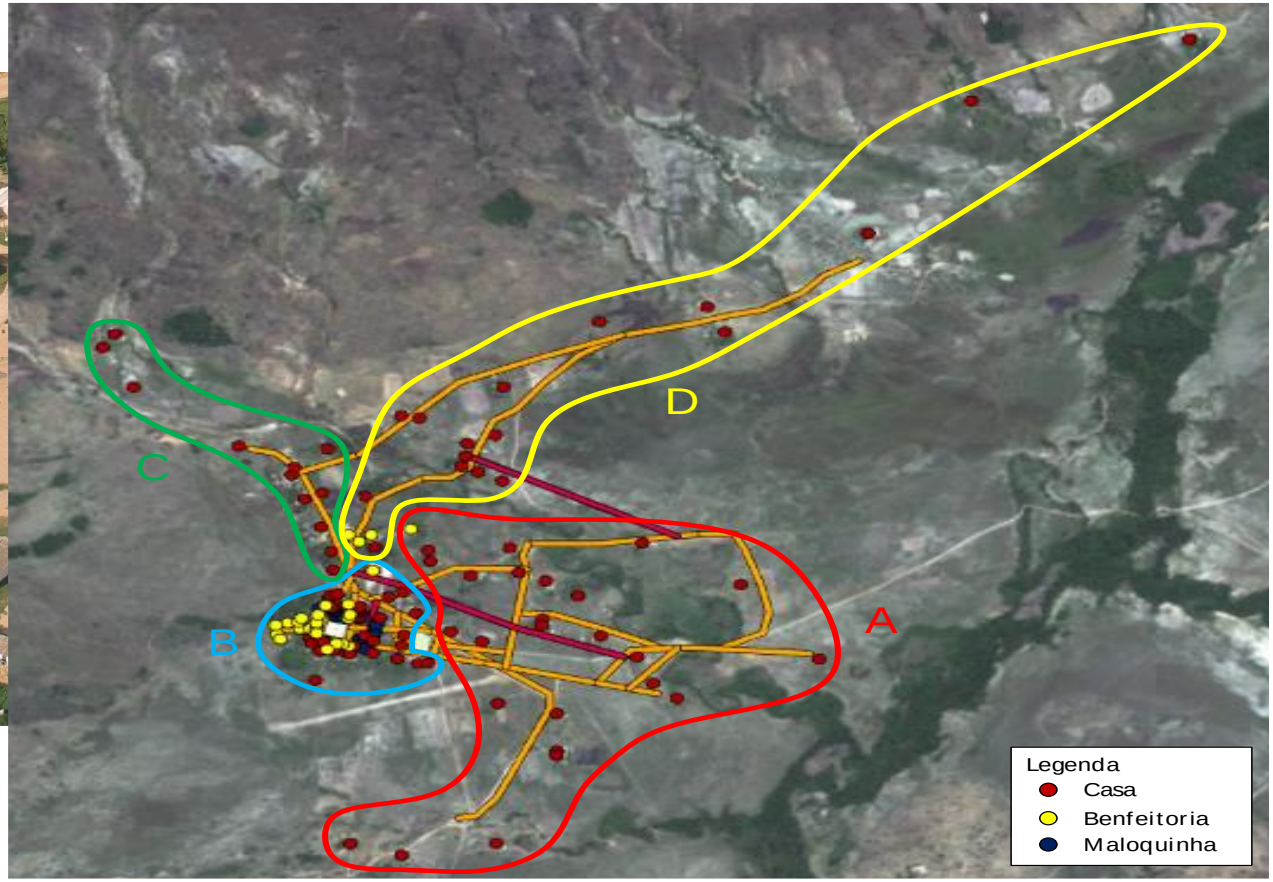
- Desenvolvimento de soluções, em software e hardware, para adequação de inversores de potência para sistemas de geração híbridos eólico-solar (2007 – 2009) – CP Eletrônica;

- Projeto de atendimento com fontes renováveis não convencionais à Ilhas do Estado do Maranhão – CEMAR: 2010 – 2011

Projetos

- Estudo de viabilidade de exploração de fontes solar e eólica para atendimento de comunidades isoladas: CIR e ISA: 2012 – 2014





Projetos

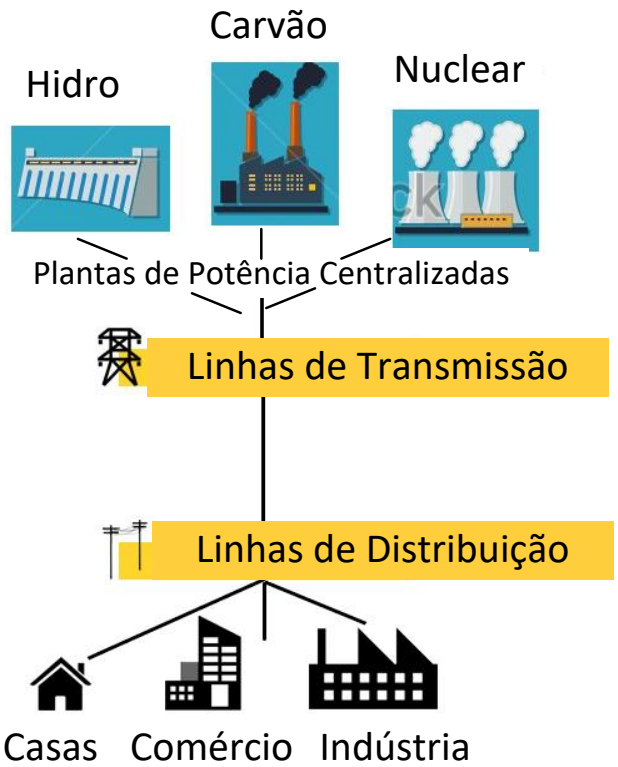
- Sistema Elétrico Modular para Atendimento Elétrico de Regiões Remotas Através de Fontes de Energia Renováveis – CEMAR: 2014 – 2016
- Conversor Bidirecional para Aplicações em Microrredes Baseadas em Fontes Renováveis e Banco de Baterias: cabeça de série – CEMAR: 2017 – 2019
- Controle ativo de pico de demanda através de conversores de potência – *Peak Shaving* - Schneider Electric/Brasil: 2018 - 2019

1. Geração Distribuída e Microrredes
2. Configurações de Microrredes
3. Controle de Microrredes
4. Estudos de Caso

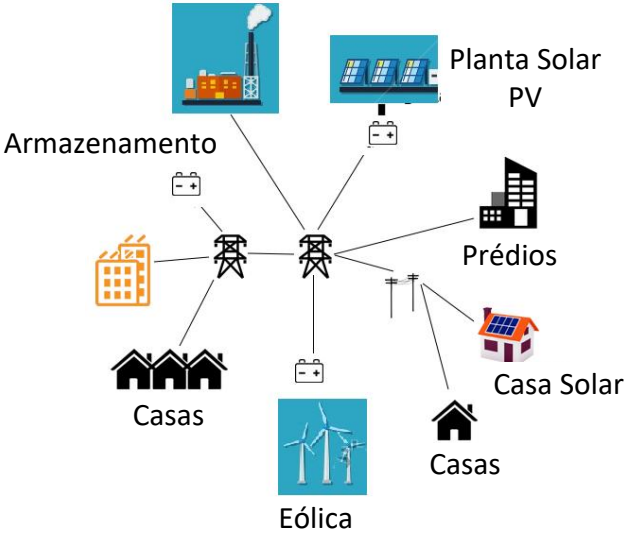
Geração Distribuída

- Vantagens gerais da geração distribuída (GD)
  - Redundância
  - Modularidade
  - Tolerância a faltas
  - Eficiência
  - Confiabilidade
  - Menor tamanho
  - Menor custo de projeto

Geração Centralizada



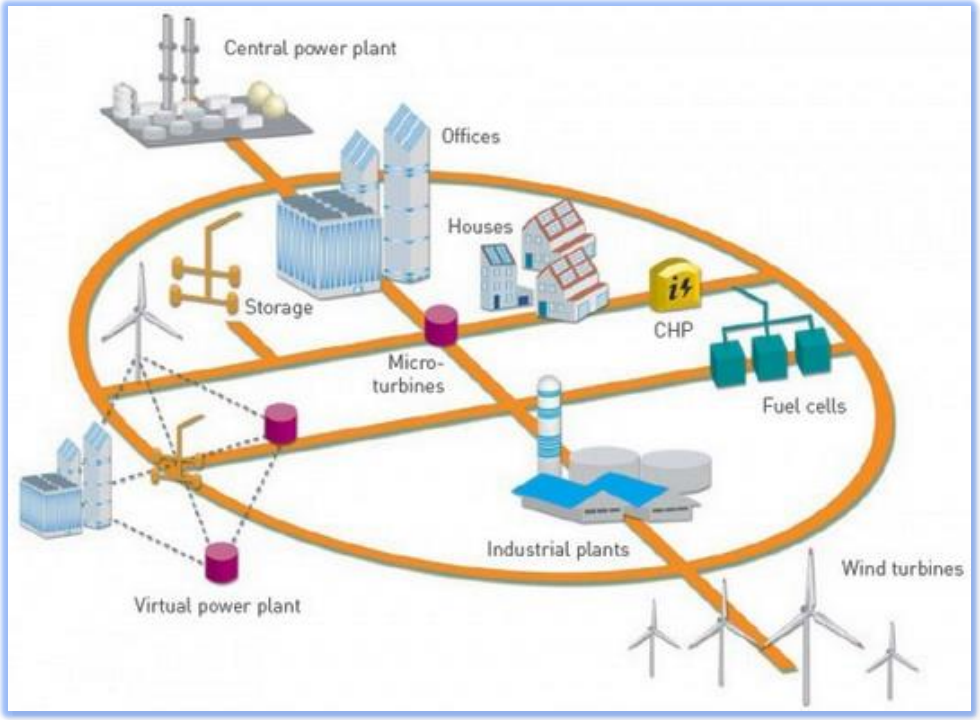
GD



Microrredes: definição

- Mudança de paradigma: geração centralizado ⇒ geração distribuída

O conceito de microrrede facilita o gerenciamento da GD



" **US-DOE definition**: "A group of interconnected loads and distributed energy resources within clearly defined electrical boundaries that acts as a single controllable entity with respect to the grid. A microgrid can connect and disconnect from the grid to enable it to operate in both grid-connected or island mode."

Microrredes: pesquisas iniciais

- Programas sistemáticos de pesquisa e desenvolvimento em microrredes começaram com:
  - ✓ CERTS (Consortium for Eletric Reliability Technological Solutions, nos EUA (1999) – considerado a origem do conceito de microrrede;
    - ✓ Motivação inicial estava relacionada com melhoria da resiliência (a capacidade de se recuperar de um problema rapidamente) e confiabilidade (a fração de tempo um nível aceitável de serviço está disponível) de instalações críticas (transporte, comunicação...)
  - Projeto MICROGRIDS, na Europa
    - Motivação relacionada as alterações climáticas e a necessidade de integrar grandes quantidades de geração de energia limpa e renovável na rede

Microrredes: benefícios

- Benefícios de se usar geração distribuída (GD) e microrredes:
  - ✓ **Suprimento de energia confiável:** falha em uma GD requer uma menor capacidade de reserva ou perda menor de carga;
  - ✓ **Perdas de transmissão menores:** instalação de GD próxima aos consumidores pode diminuir as perdas I^2R;
  - ✓ **Redução da capacidade do alimentador:** aumento da demanda não significa necessariamente aumento da capacidade do alimentador caso DG sejam usadas;
  - ✓ **Integração de fontes de energia renováveis (RES):** diminuição da emissão de gases poluentes;

Microrredes: benefícios

- Benefícios de se usar GD e microrredes:

  - ✓ **Microrredes:** cada microrrede aparece para a rede principal de distribuição como uma pequena fonte ou consumidor de eletricidade com a capacidade de modificar o perfil de carga da rede de forma a beneficia-la

Microrredes: desafios

- **Técnicos:** GD e Microrredes
  - ✓ **Qualidade de energia:** pode ser alterada pela penetração de DG que usam conversores - flutuações de tensão, distorção harmônica, variações de frequência ...;
  - ✓ **Mudança na tensão da rede:** a penetração de GD pode mitigar a queda de tensão num ponto remoto da rede.
    - ✓ Isso causa fluxo bidirecional de energia que requer esquemas de proteção complexos.
    - ✓ Pode variar o perfil de tensão devido a intermitência das RES

Microrredes: desafios

- **Técnicos:** GD e Microrredes

  - ✓ **Mudança no nível de falta da rede:** as GDs podem contribuir para o aumento da corrente de falta. Isso pode aumentar o custo dos equipamentos de proteção, caso tenham que ser atualizados;

  - ✓ **Estabilidade do Sistema:** a penetração de GD baseada em RES (geração intermitente) pode gerar perturbações transitórias elevadas, que são mais complexas e distribuídas que aquelas existentes no sistema convencional

Microrredes: desafios

- **Técnicos:** GD e Microrredes

  - ✓ **Modelagem dos componentes da rede:**

    - O comportamento dinâmico dos sistemas de potência tradicionais são analisados usando-se modelos fasorias variantes no tempo (modelos quase-estáticos), que assumem frequência constante dos sinais → modelos invariantes no tempo com pontos de operação bem definidos, que facilitam a análise;

    - A penetração de RES com seus respectivos conversores introduzem harmônicas nas tensões e correntes que podem exibir variações rápidas de amplitude e fase → o sistema pode não ser quase-estático em muitos casos, dificultando a análise.

Microrredes: desafios

❑ Técnicos: GD e Microrredes

✓ Baixa Inércia:

- ❑ Em sistemas de geração convencionais com máquinas síncronas, a inércia pode suportar regulação de tensão e frequência por alguns segundos durante perturbações que levam a um desequilíbrio geração-demanda;

- ❑ A penetração de RES que tem pouca ou nenhuma característica inercial pode reduzir a inércia de toda a rede, causando flutuações de tensão e frequência durante distúrbios.

Microrredes: desafios

- **Não-Técnicos: GD e Microrredes**
  - ✓ **Incerteza jurídica e regulamentar:**
    - Uma identidade legal clara das microrredes é necessária para alcançar a certeza regulatória para tornar os projetos de microrredes "bancáveis" - caso contrário, os custos potenciais muito altos e benefícios muito incertos não justificam o investimento de tempo e dinheiro
  - ✓ **Política de interconexão com a rede:** em vários países não há requisitos padronizados para conexão de pequenos produtores independentes de energia à rede
    - Até recentemente, o foco principal da política de interconexão para GD, incluindo a norma IEEE 1547, estava voltada para garantir que esses recursos fossem desconectados em caso de falha de rede para proteger a segurança dos trabalhadores da linha.

Microrredes: desafios

- **Não-Técnicos: GD e Microrredes**

  - ✓ **Regulamento de Concessionária:**

    - Uma microrrede provavelmente será considerada uma corporação elétrica se tiver a intenção de atender a vários clientes varejistas, não relacionados, através de linhas de energia em vias públicas

    - Se uma agência reguladora de serviços públicos decidir que os serviços prestados por microrredes as qualificam como concessionárias, esse órgão pode regular as tarifas cobradas pela eletricidade e decidir se aprova a construção de instalações, etc. , que têm implicações importantes para desenvolvedores e proprietários de microrredes.

Microrredes: desafios

- **Não-Técnicos: GD e Microrredes**
  - ✓ **Oposição da Concessionária:**
    - autoconsumo de energia gerada por microrredes poderia corroer a base de receita que tradicionalmente paga pelos investimentos em infraestrutura de serviços públicos.
    - Há também relutância em adicionar grandes quantidades de recursos energéticos distribuídos à rede devido a percepção dos desafios de gerenciamento, segurança e proteção.
    - Como um resultado, muitas concessionárias estão tentando impor taxas adicionais aos proprietários de GD

Microrredes: desafios

- **Não-Técnicos: GD e Microrredes**
  - ✓ **Preço:**
    - Microrredes com qualidade de energia enfrentarão barreiras significativas ao competir com as soluções existentes de qualidade de energia (DVR, UPS ...) devido à percepção do consumidor contra a exposição de cargas críticas a perturbações e o desafio de fornecer um nível de qualidade de energia comparável as soluções existentes.
    - Alcançar tempo de resposta de 1/4 de ciclo ou mais rápido é difícil com arquiteturas de microrredes conectadas por causa da GD, que interfere na comutação forçada da chave estática.

Microrredes: funções

- **Funções de Valor das Microrredes**
  - ✓ **Confiabilidade:** refere-se à continuidade de serviço
  - ✓ **Arbitragem de Energia**
    - qualquer coisa com objetivo de fornecer valor econômico à operação de microrredes conectadas tais como Peak Shaving, integração de RES, CHP **...**
  - ✓ **Qualidade de Energia**
    - melhor qualidade de energia refere-se principalmente à compensação de afundamentos de tensão de curta duração, isto é, a funcionalidade de UPSs

1. Geração Distribuída e Microrredes
2. **Configurações de Microrredes**
3. Controle de Microrredes
4. Estudos de Caso

Modos de Operação

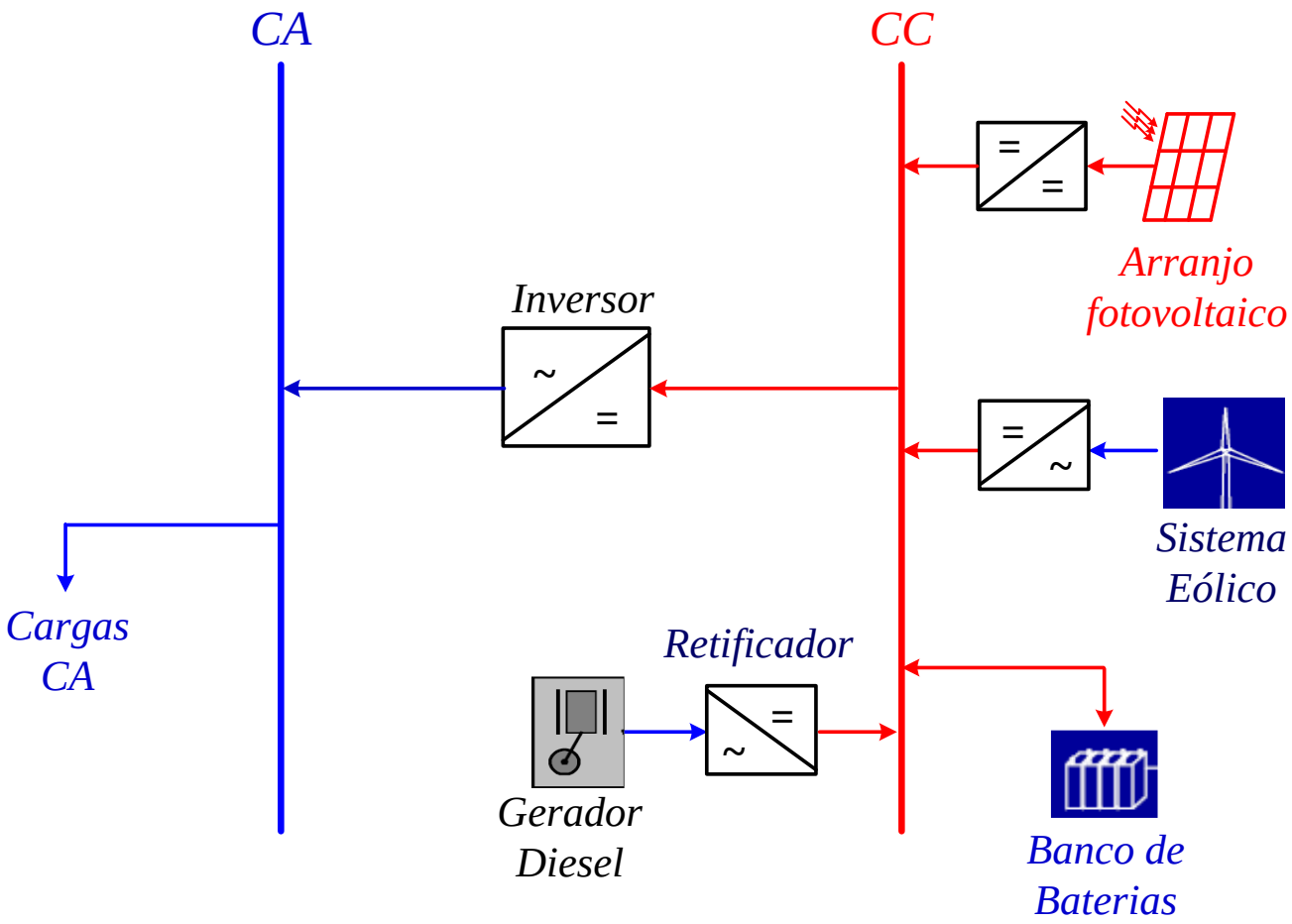
Conectada à Rede

- Conversores no modo de controle de corrente
- Estratégia MPPT
- Estratégia de Anti-Ilhamento
- PLL para sincronização com a rede

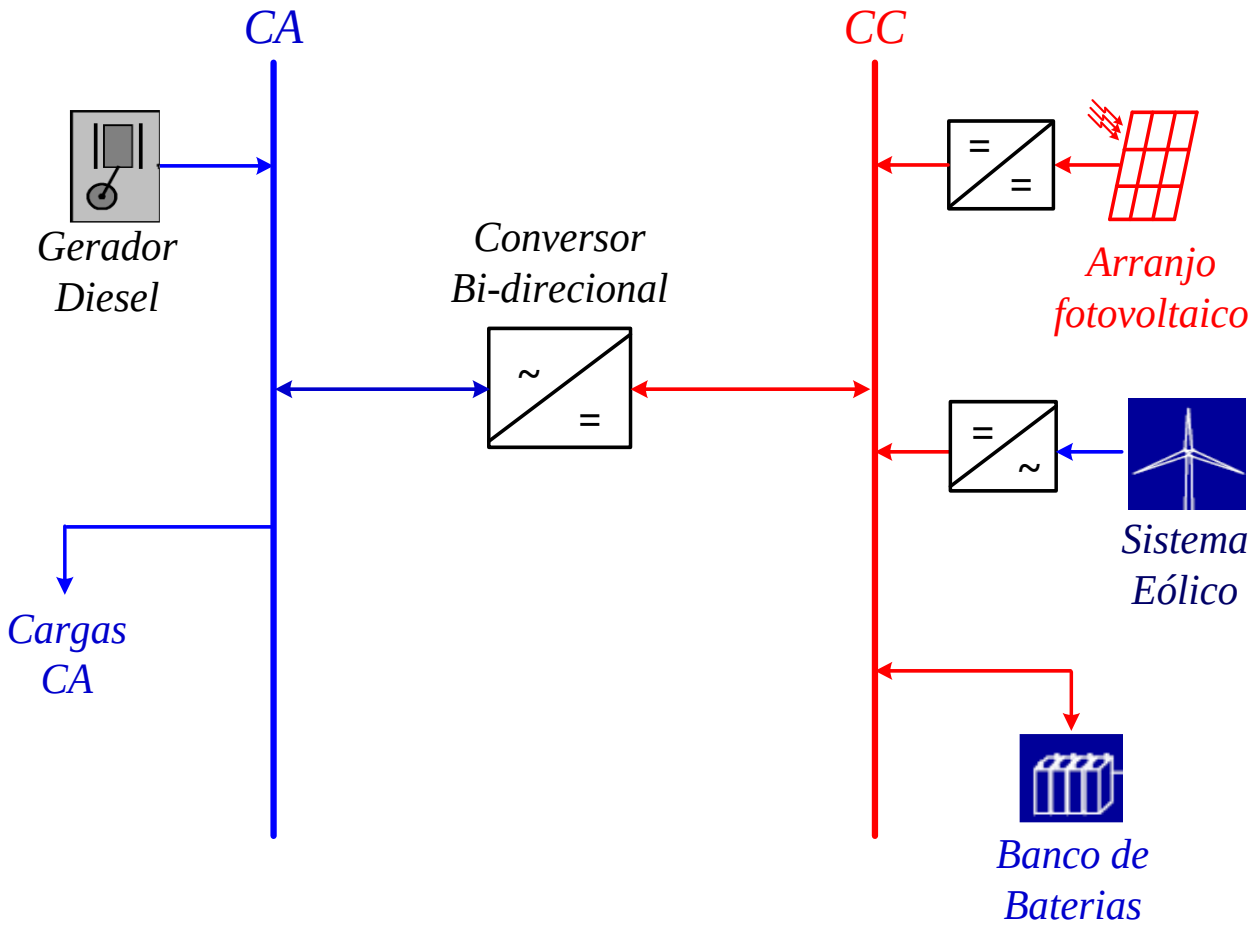
Isolada

- Conversores no modo de controle de tensão
- Controle de tensão e frequência
- Não pode operar conectada à rede
- PLL para sincronização com a rede para quando houver operação em paralelo de conversores ou a transição para o modo conectado à rede

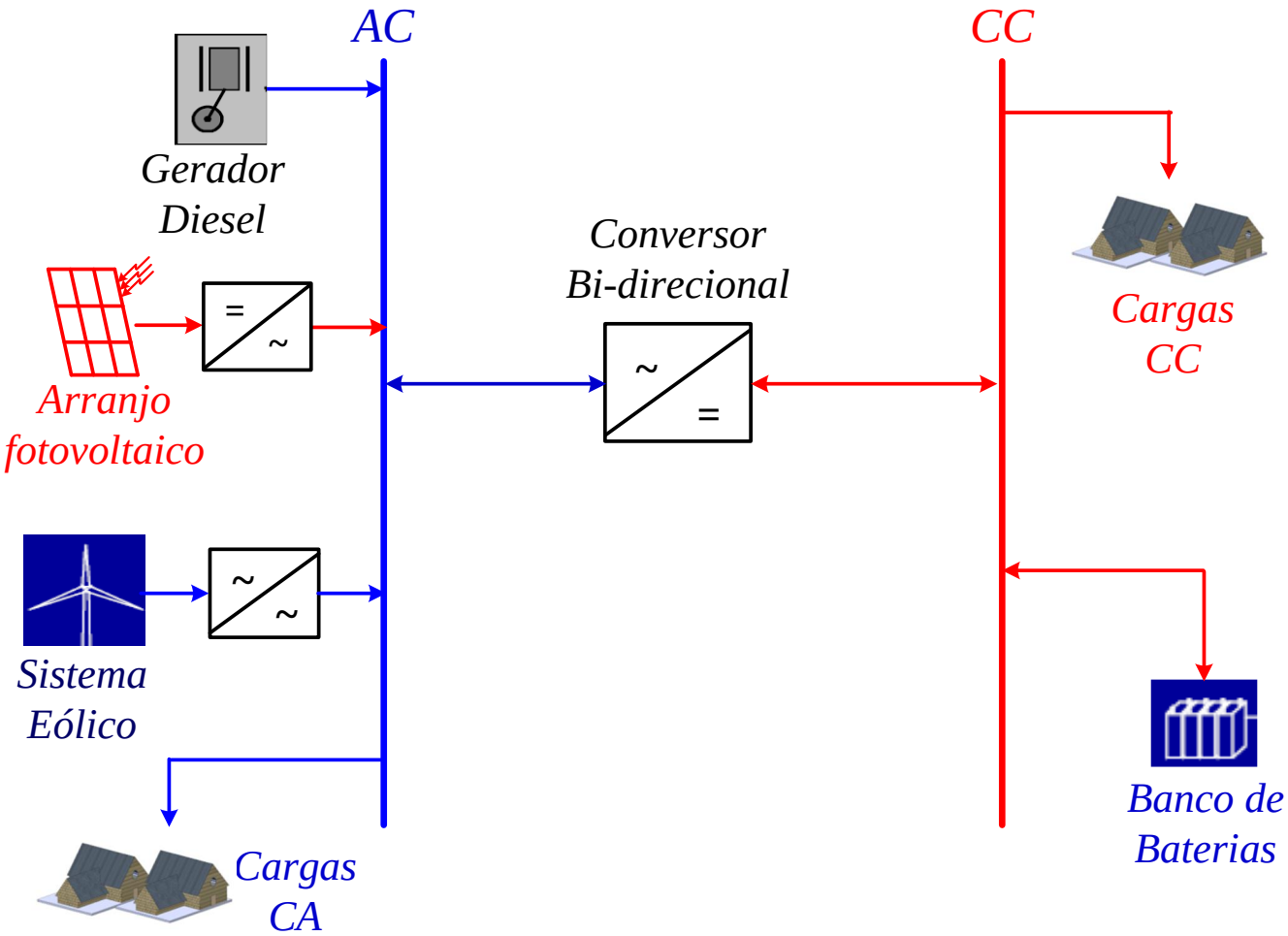
Microrredes Isoladas: geração e diesel conectada ao barramento CC



Microrredes Isoladas: geração conectada ao barramento CC, diesel conectado ao barramento CA



Microrredes Isoladas: geração e diesel conectada ao barramento CA



1. Geração Distribuída e Microrredes
2. Configurações de Microrredes
3. **Controle de Microrredes**
4. Estudos de Caso

Controle de Microrredes

- **Nível local:**
  - Os conversores de potência devem ser controlados adequadamente para fazerem as funções para as quais os mesmos foram projetados

- **Nível sistêmico:**
  - O balanço de energia (geração = demanda + energia armazenada + perdas) dentro da microrrede deve ser mantido de tal forma que uma operação estável seja atingida. O sistema de gerenciamento de energia deve atuar em cada conversor de uma maneira coordenada

Modos de Controle de Microrredes

- **Centralizado**
  - Um controle totalmente centralizado depende os dados reunidos em um controlador central dedicado que executa os cálculos e determina as ações de controle para todas as unidades, exigindo ampla comunicação entre o controlador central e as unidades controladas (caro devido à extensa comunicação e necessidades de computação).
- **Descentralizado**
  - em um controle totalmente descentralizado, cada unidade é controlada por seu controlador local, que recebe apenas informações locais e não está totalmente ciente das variáveis de todo o sistema nem de outros controladores ações.

Controle Hierárquico

- Um compromisso entre os sistemas de controle centralizados e descentralizados pode ser conseguido por meio de um sistema de controle hierárquico que consiste em três níveis:
    1. Primário
    2. Secundário
    3. Terciário
- Esses níveis de controle diferem:
    - na sua velocidade de resposta e no período de tempo em que operam
    - nos requisitos de infra-estrutura (por exemplo, requisitos de comunicação)

Controle Hierárquico

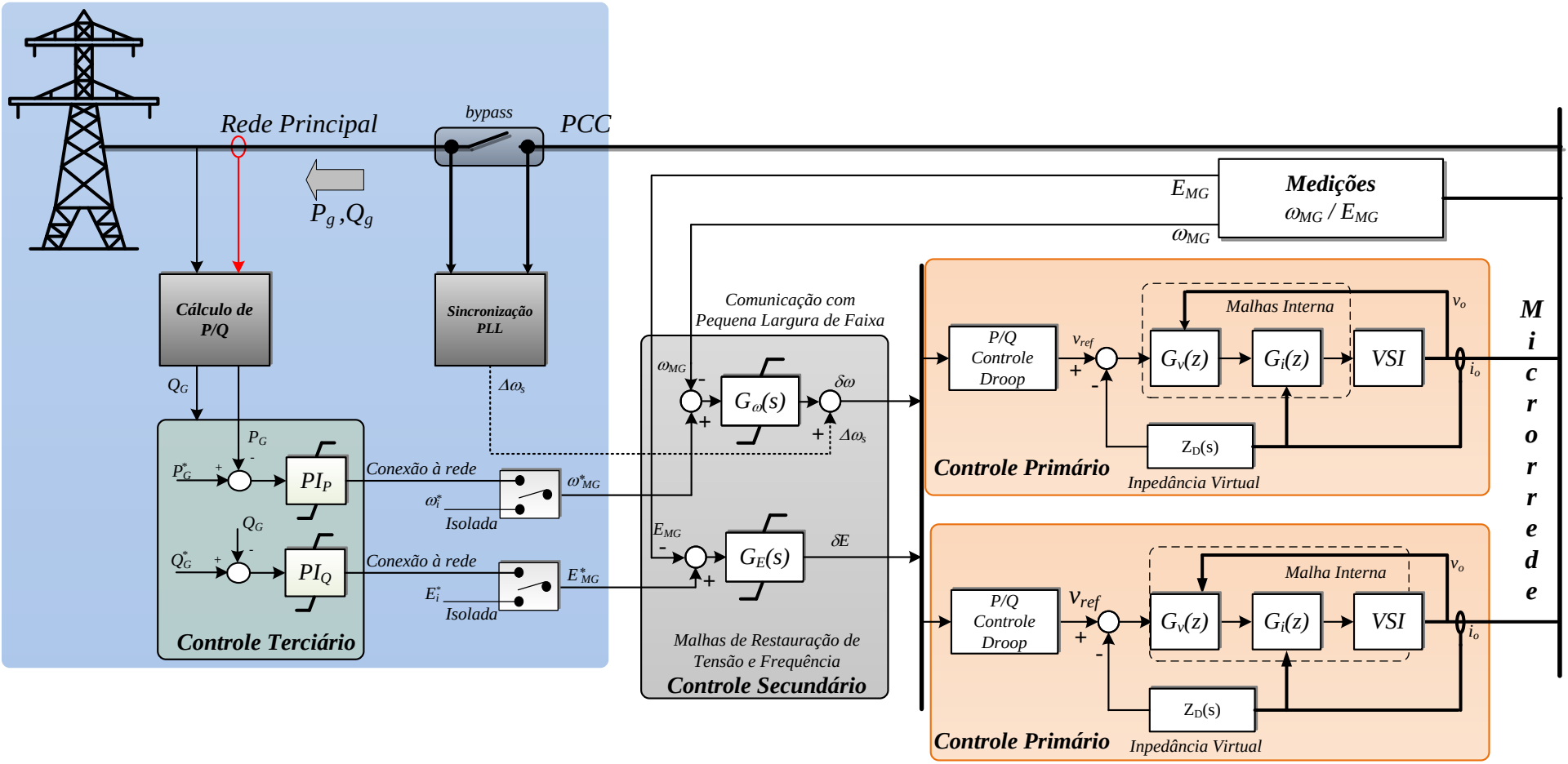
- **Controle Primário:**
  - Este controle é baseado em medições locais, não requer comunicação e é aquele de resposta mais rápida:
    - ✓ Detecção de ilhamento, PLL, controle de tensão e corrente dos conversores, compartilhamento de carga, impedância virtual, inércia virtual...

- ***Controle Secundário: chamado de sistema de gerenciamento de energia (EMS)***
  - Responsável pela operação confiável, segura e econômica da microrrede em modo conectado à rede ou autônomo.
  - Restauração de f/V (modo isolado)
  - Sincronização (transição do modo isolado para o modo conectado à rede)
  - É o nível hierárquico mais alto em microrredes isoladas

Controle Hierárquico

- **Controle Terciário:**
  - Define pontos de ajuste de longo prazo, tipicamente "ótimos“, dependendo dos requisitos do sistema de energia ao qual a microrrede está conectada.
  - É responsável por coordenar a operação de múltiplas microrredes interagindo no sistema e necessidades ou requisitos de comunicação com a rede (suporte de tensão, regulação de frequência, etc.).
  - Normalmente opera na escala de vários minutos, fornecendo referências de controle para o nível secundário.
  - Responsável pela importação/exportação de energia com a rede

Controle Hierárquico

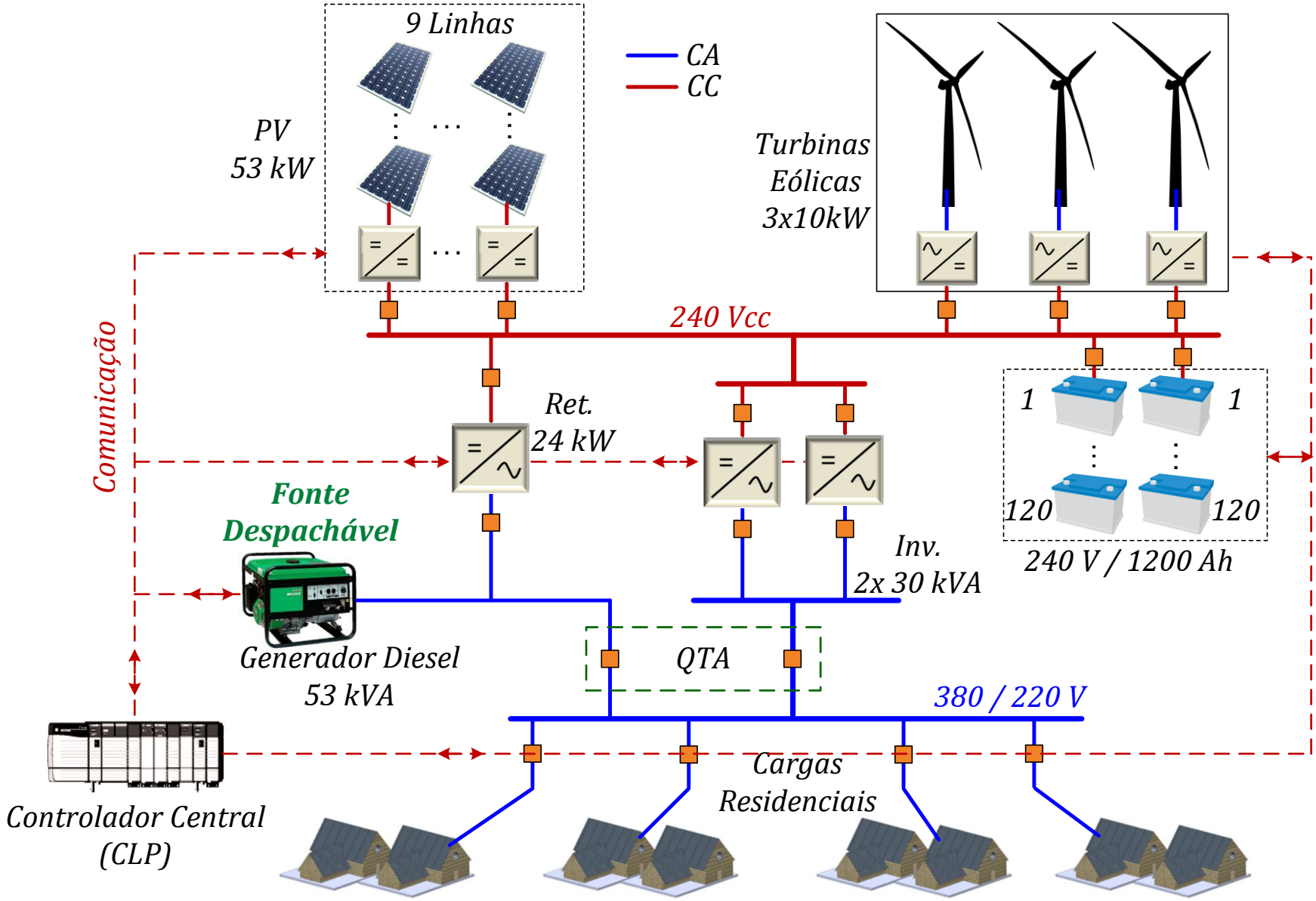


Adaptado de: J.M. Guerrero, J.C. Vasquez, J. Matas, L.a, L.G. de Vicuna, and M. Castilla, "Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids-A General Approach Toward Standardization," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 58, no. 1, pp. 158172, 2011.

Microrredes

1. Geração Distribuída e Microrredes
2. Configurações de Microrredes
3. Controle de Microrredes
4. **Estudo de Caso**

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis



Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

- Controle Primário dos conversores:
  - Malhas internas de corrente e tensão
  - MPPT
  - Compartilhamento de carga
  - Proteção
- Controle secundário (gerenciamento de energia)
  - Garantir o balanço de energia

$$Geração = Consumo + Perdas \pm Armazenamento$$

  - Religar o sistema após falha (curto-circuito, ...)
    - Tenta ligar os inversores 3 vezes
    - Se não funcionar, tenta ligar o gerador diesel

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

- Controle secundário (gerenciamento de energia)
  - Trocar a operação dos inversores: a cada semana desliga um e liga o outro
  - Colocar os inversores em paralelo sempre que a carga fica maior que 50% da potência nominal individual: devido ao desbalanceamento e corrrente de inrush de cargas
  - Ligar o gerador diesel:
    - ✓ Sempre que a DOD atingir 50% (1,96 V por elemento)
    - ✓ Sempre que a geração por fontes renováveis não for suficiente para carregar o banco até 90% do seu SOC
    - ✓ Periodicamente (20 dias) para carregar o banco até 100% do seu SOC.
    - ✓ Define a hora de ligar o gerador para que ele nunca trabalhe com pouca carga

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

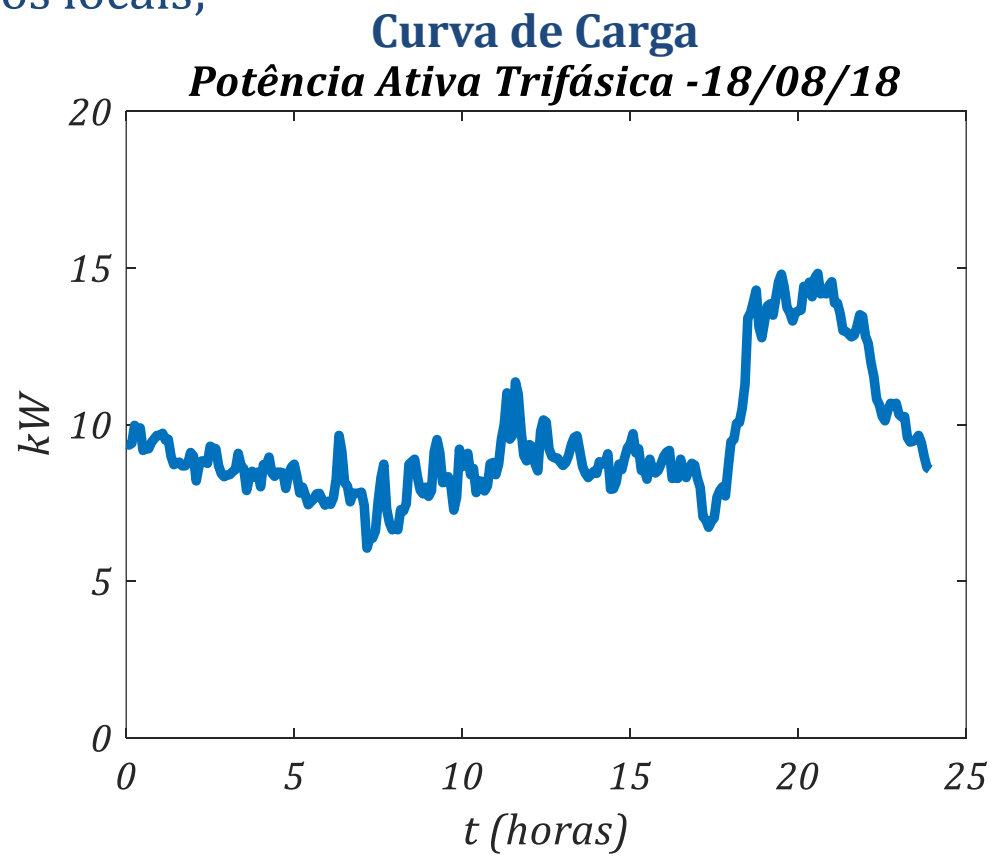
Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

Microrrede Isolada: Ilha de Lençóis

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

❑ Comunidade/Carga Atendida

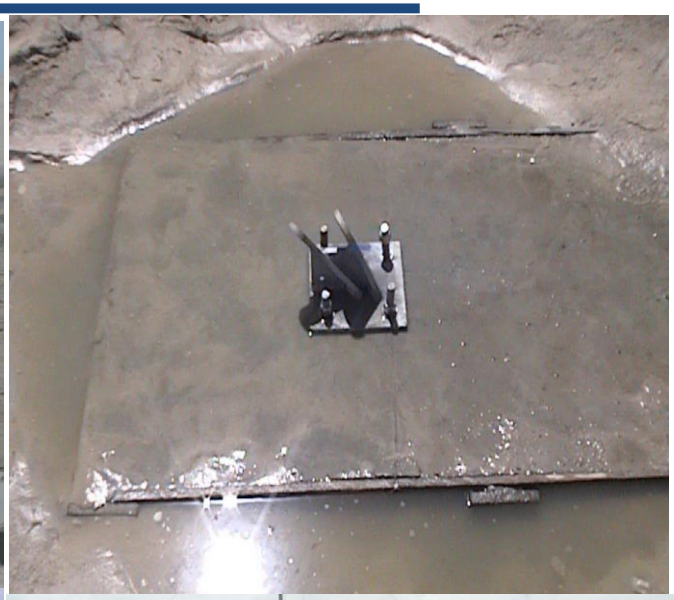
- ✓ Comunidade com aproximadamente 90 famílias e 300 pessoas;
- ✓ Posto de saúde e Escola;
- ✓ 3 pequenos comércios locais;



Consumo médio por UC:
70 kWh/mês

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis



Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Problemas Práticos:
  - Coordenação de Proteção
  - Grau de proteção dos equipamentos
  - Desbalanceamento de carga entre fases
  - Corrente de *Inrush* na energização do sistema
  - Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Histórico
  - Desde a instalação o sistema está em operação ininterrupta:
  - Troca do banco de baterias em 2012 e 2015;
  - Manutenção de inversores;
  - Manutenção das torres eólicas e rede de distribuição;
- Sistema transferido da UFMA/MME para a CEMAR em 2015;
- O sistema passou por atualizações e melhorias no projeto original:
  - Troca da rede de distribuição para cabos de cobre isolados multiplexados;
  - Melhoria da Interface de monitoramento (P&D)
  - Novos inversores trifásicos mais robustos (P&D)
  - Desenvolvimento de novos conversores para as turbinas (P&D)
  - Desenvolvimento de novos controladores de carga para painéis solares (P&D)

Conclusões

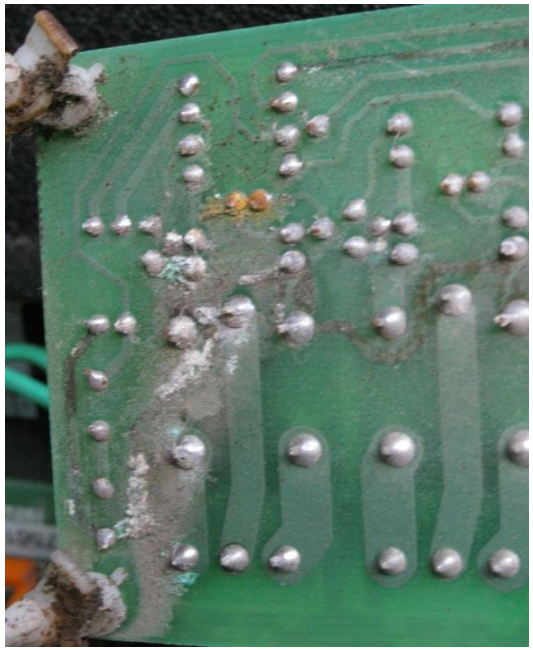
- Microrredes são importantes para integrar fontes renováveis e não convencionais
- Podem operar de forma isolada ou conectada com a rede
- Microrredes isoladas são interessantes principalmente em aplicações em regiões remotas e ilhas
- Há várias microrredes em laboratórios e aplicações reais no mundo. Governos estão interessados neste novo conceito
- Conversores de potência são fundamentais para a aplicação deste novo conceito
- O controle adequado dos conversores de potência é essencial para que a microrrede faça as tarefas pré-estabelecidas
- A implementação de microrredes requer uma proposta sistêmica e não somente uma mera interconexão de componentes de geração distribuída
- Área em desenvolvimento: muita pesquisa a ser feita

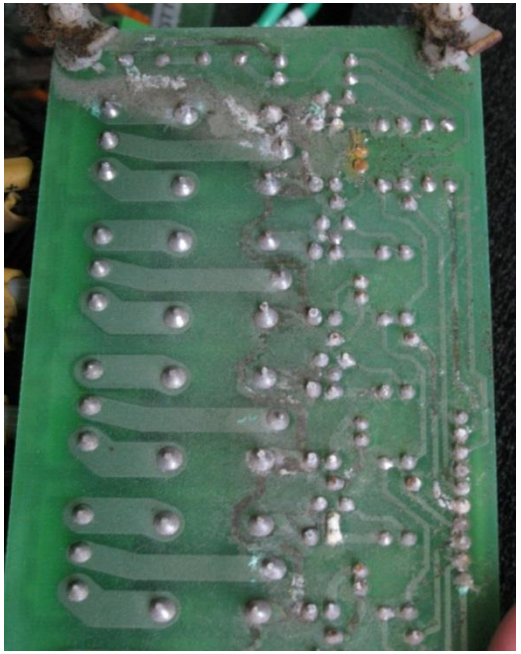
Obrigado!

Perguntas?

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Problemas Práticos:
  - Grau de Proteção contra atmosfera salina
    - Inicialmente: IP11 (basicamente sem proteção)
    - Atualmente: IP 54 (poeira e água)





Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Problemas Práticos:
  - Grau de Proteção contra atmosfera salina
    - Inicialmente:

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

❑ Problemas Práticos:

✓ Grau de Proteção contra atmosfera salina

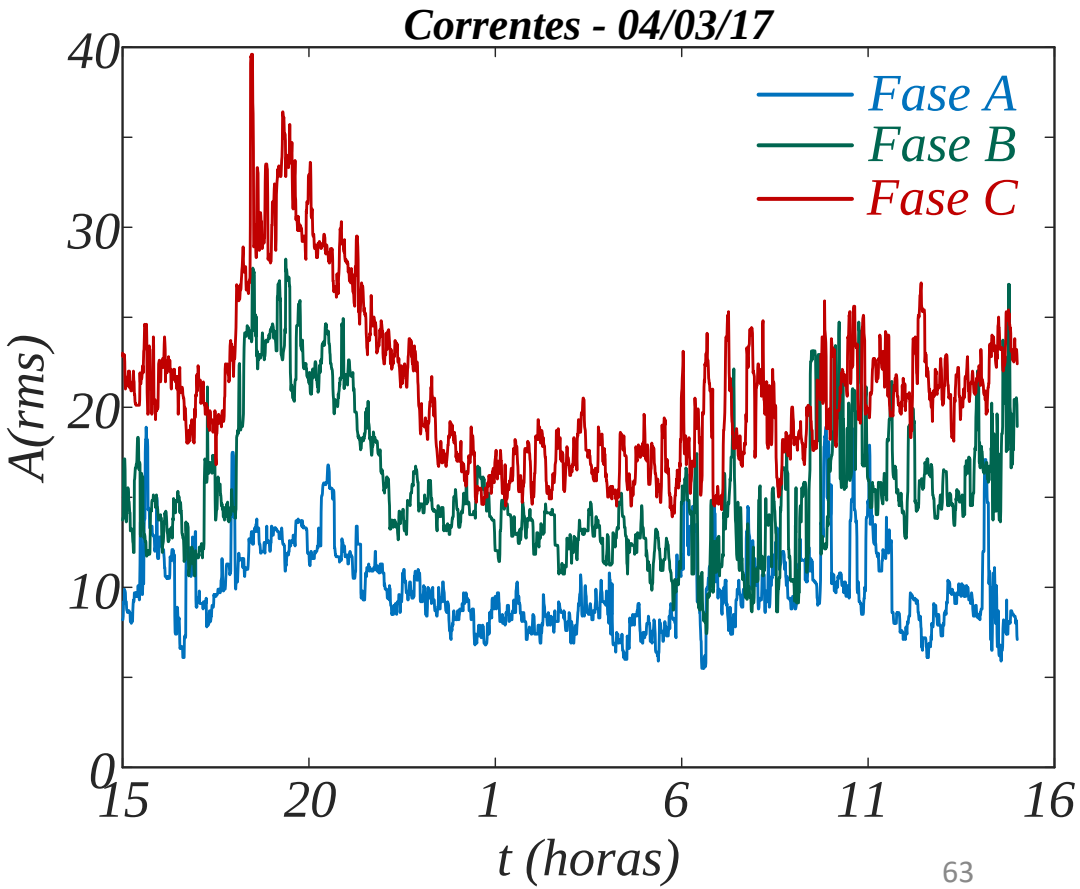
- Atualmente:

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

❑ Problemas Práticos:

✓ Desbalanceamento entre fases

- Sincronização dos inversores: dependendo do desbalanceamento não entram em paralelo
- Sobrecarga de determinada fase, com atuação da proteção



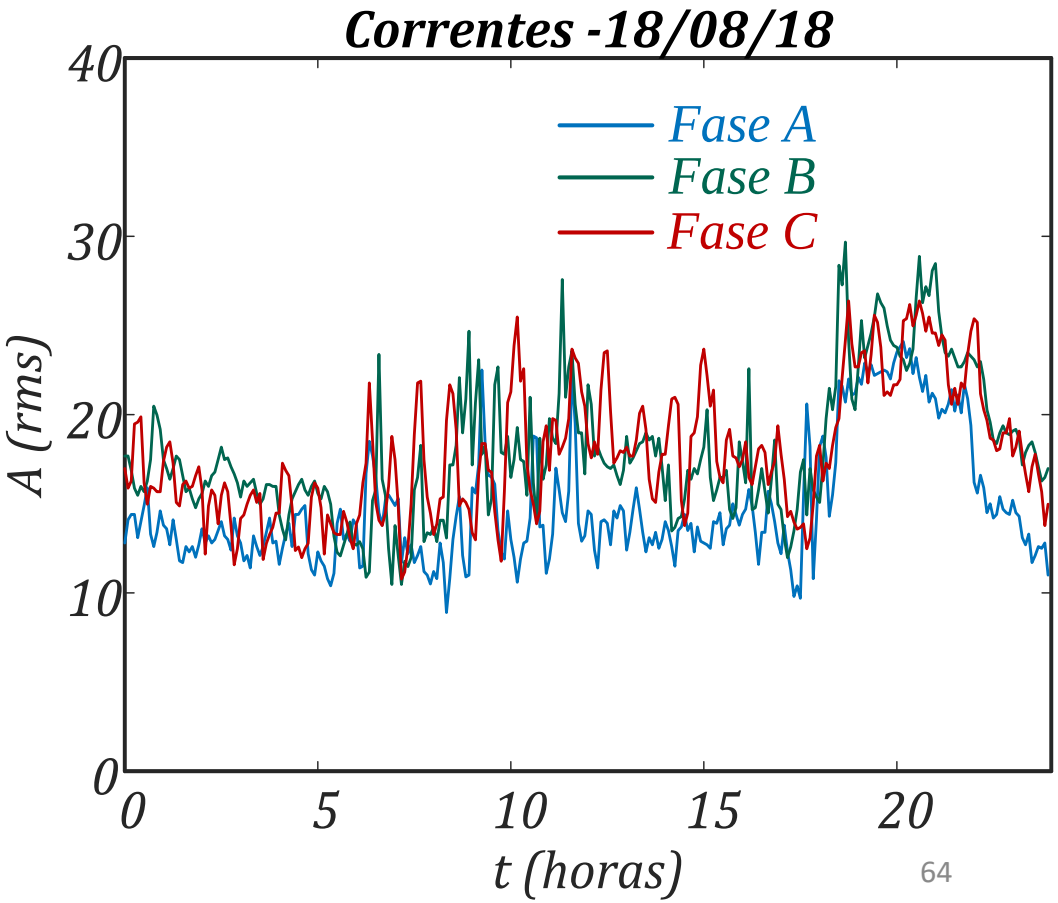
Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

❑ Problemas Práticos:

✓ Desbalanceamento entre fases

Difícil de ser corrigido devido ao pequeno número de unidades consumidores

Atualmente está praticamente balanceado



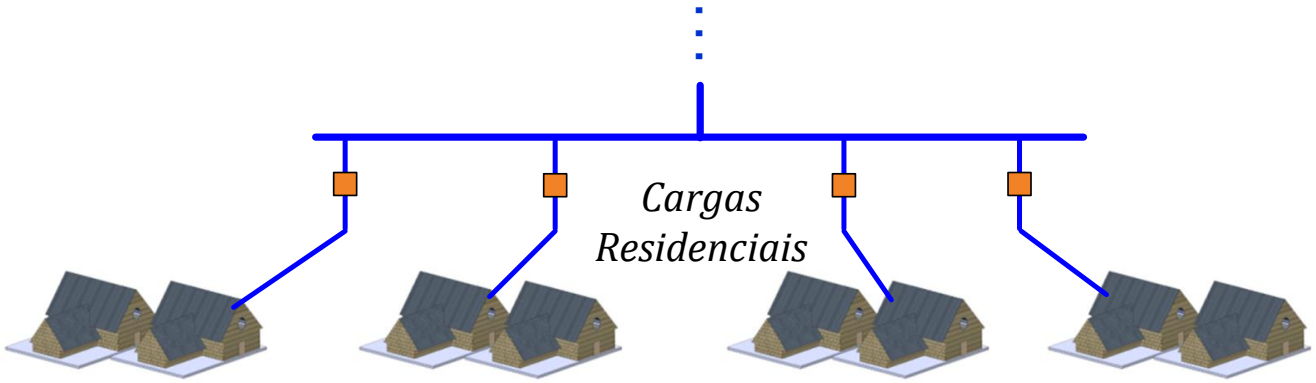
Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

❑ Problemas Práticos:

✓ Corrente de *Inrush* na energização do sistema

- Solução:

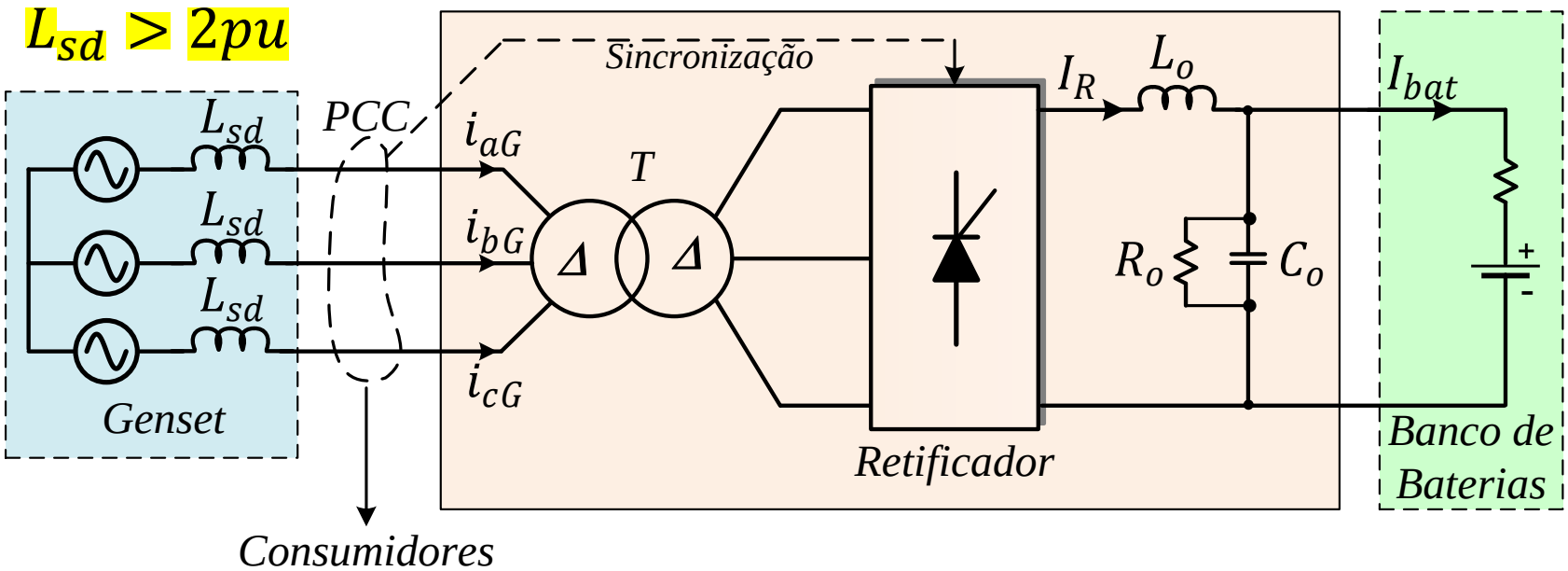
  ➢ Seccionar a rede de distribuição em 4 setores e temporizar a energização de cada setor



Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

❑ Problemas Práticos:

✓ Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador



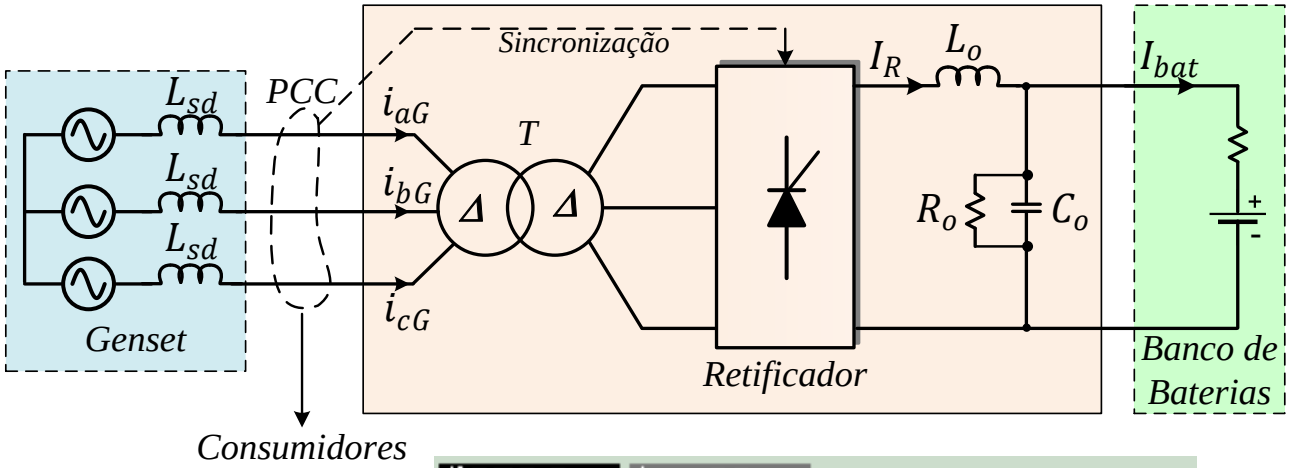
✓ Harmônicas nas correntes de linha;

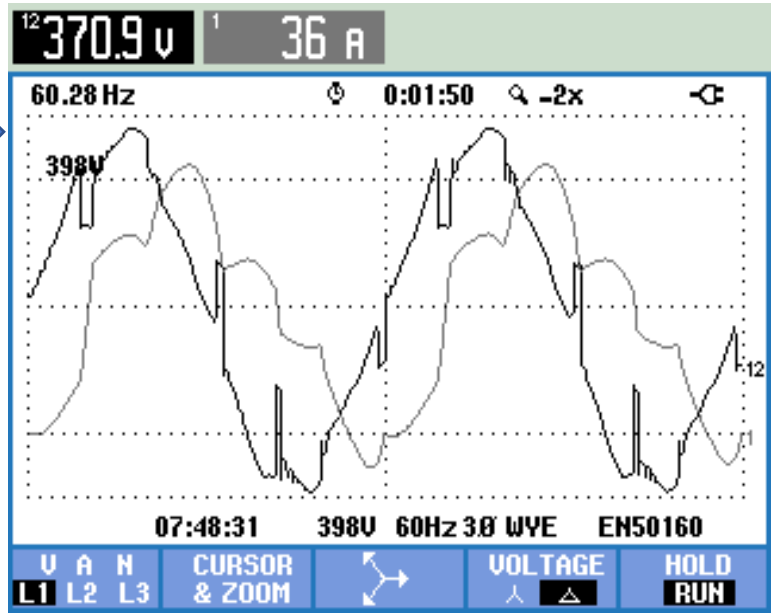
✓ Distorção de tensão no PCC devido ao alto valor de L_{sd};

✓ "Buracos (notch)" de tensão no PCC.

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

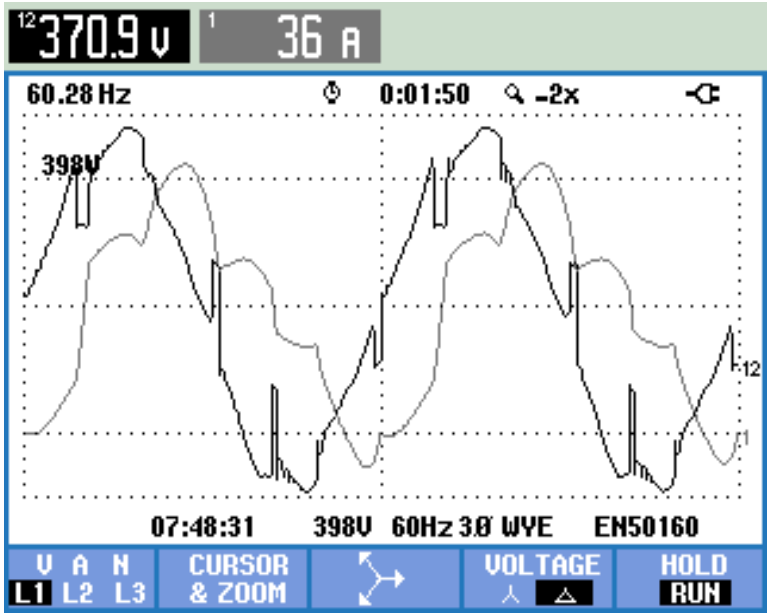
- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador





Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

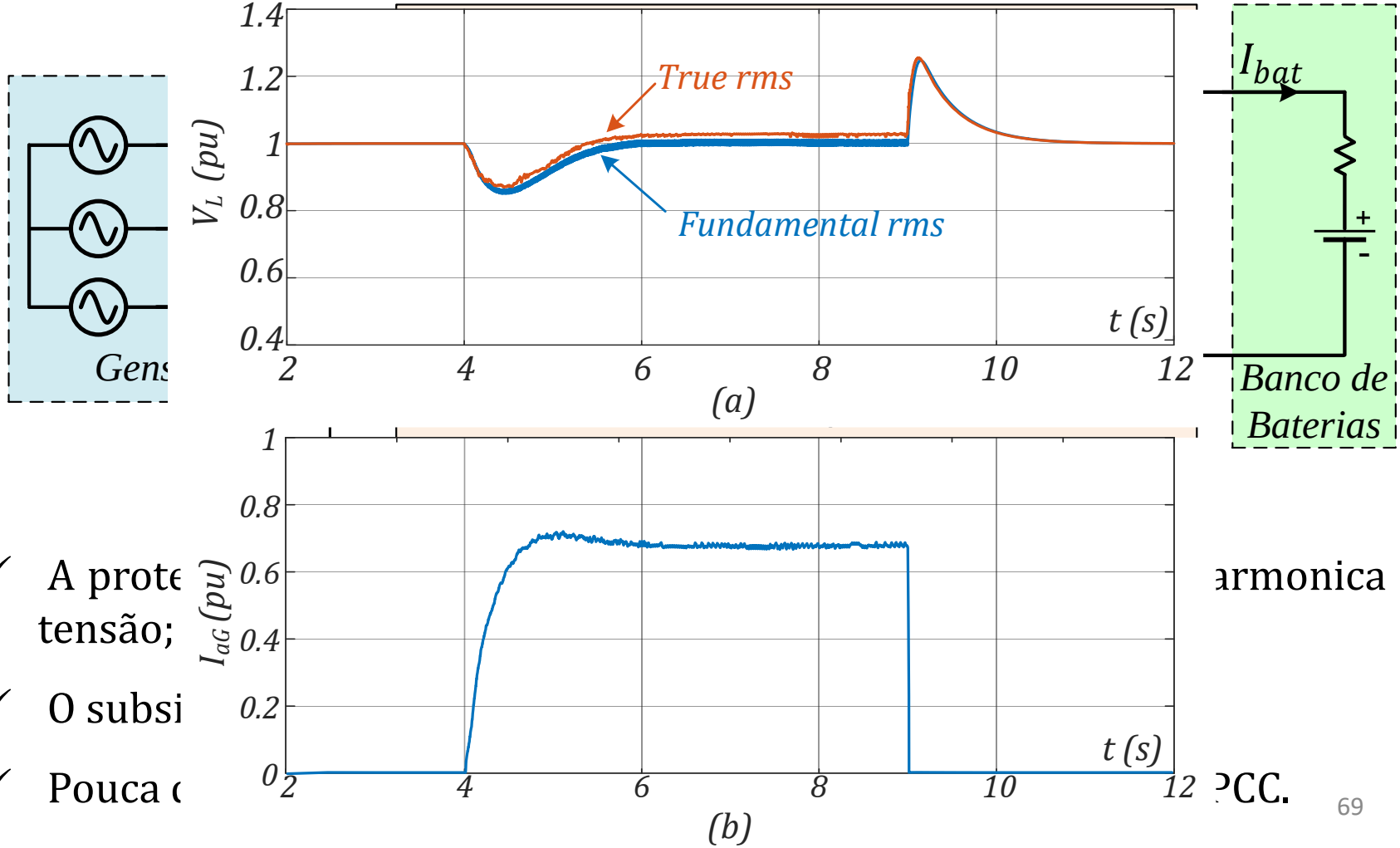
- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador
  - A tensão rms do gerador diminui
  - O controlador de tensão do gerador aumenta a sua corrente de campo para restabelecer o nível de tensão
  - A proteção do retificador inibe os pulsos dos SCRs devido a perda de sincronismo e distorção da tensão (THD > 20%)
  - A distorção de tensão desaparece pois o retificador (carga para o gerador) para de funcionar



  - O valor rms da tensão é restabelecido ao nível normal
  - O retificador volta a funcinar e tudo se repete

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

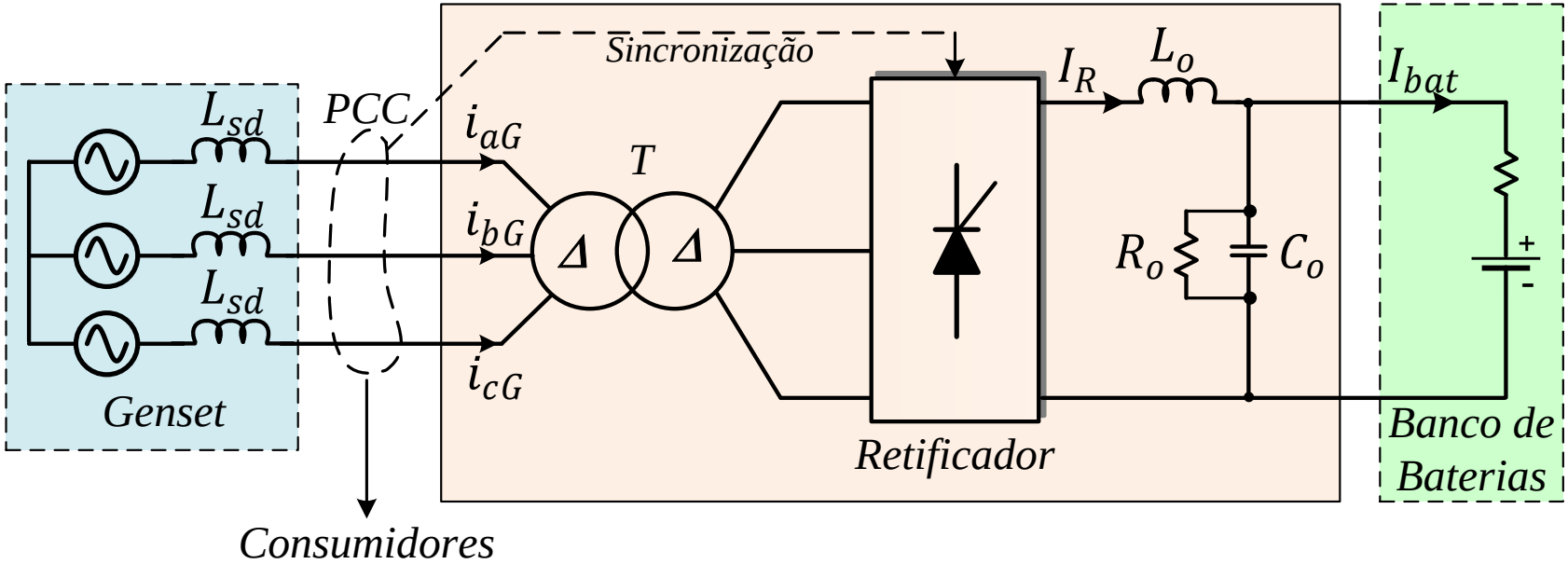
- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador



- ✓ A prote armonica da tensão;
- ✓ O subsi
- ✓ Pouca (PCC.

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador

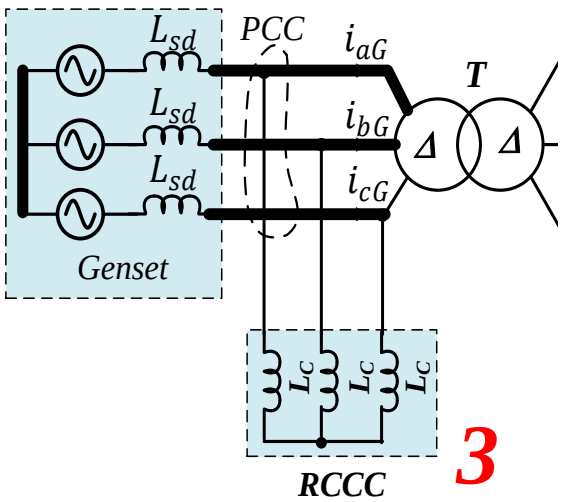


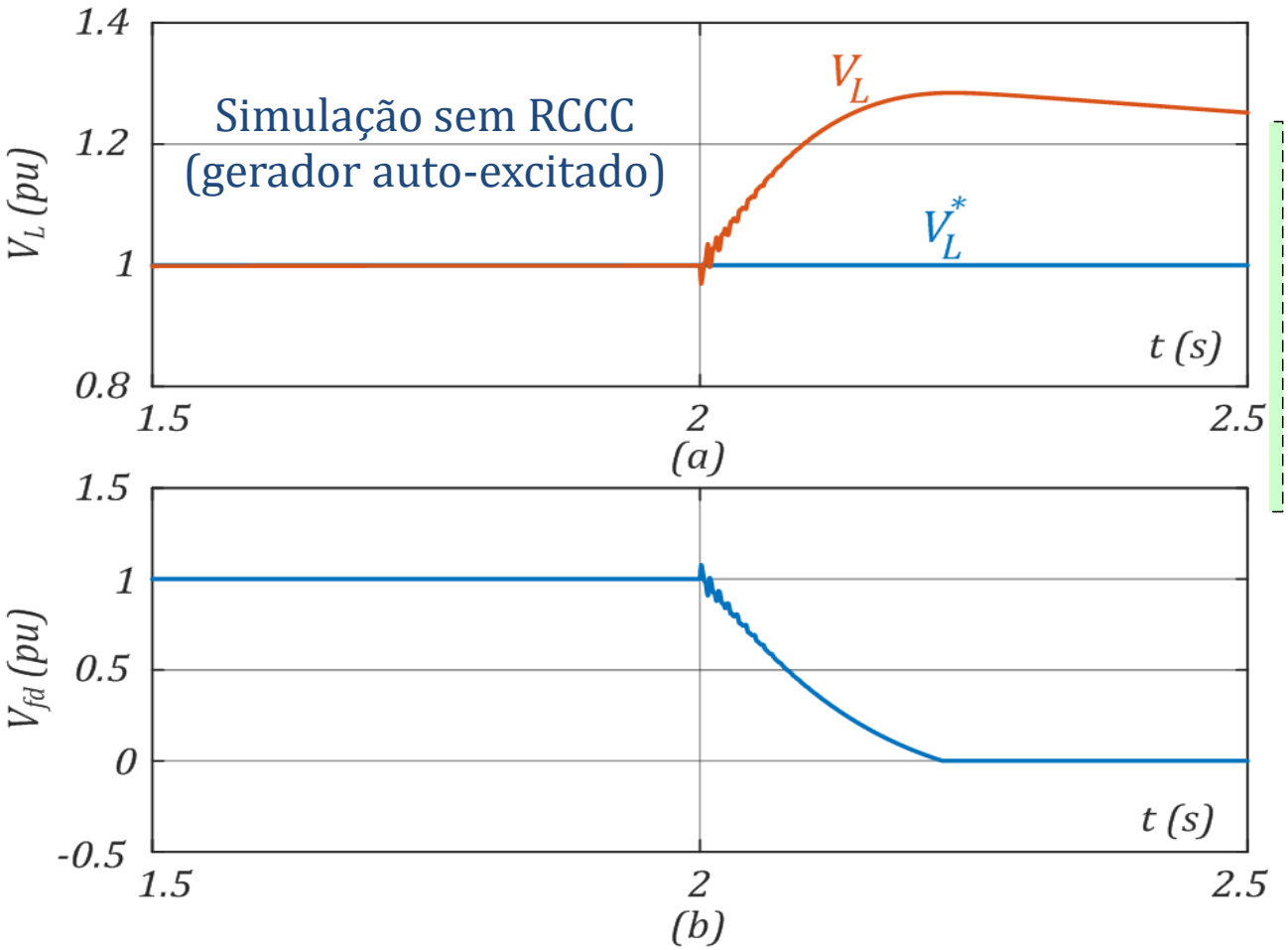
- ✓ Uma solução para este problema seria usar geradores a diesel de potência nominal muito superior à potência nominal do retificador. Uma prática comum é usar um gerador com potência nominal até 5 vezes maior que a do retificador.
  - Consumo aproximadamente 44% maior
- ✓ Outra possibilidade seria usar Retificadores PWM: onde compra-los?

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador: solução

  - Solução prop

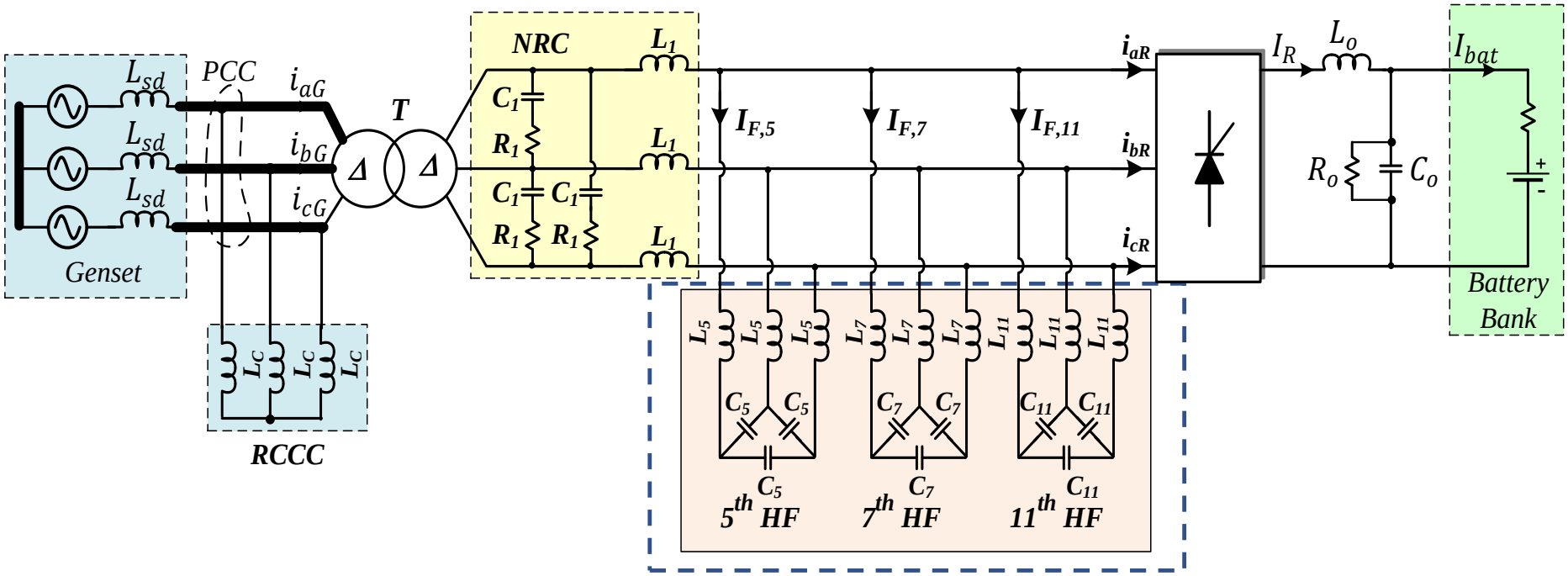




1. Filtros de harmor
2. Circuito de redu
3. Circuito de compensação de potência reativa capacitive (3).

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

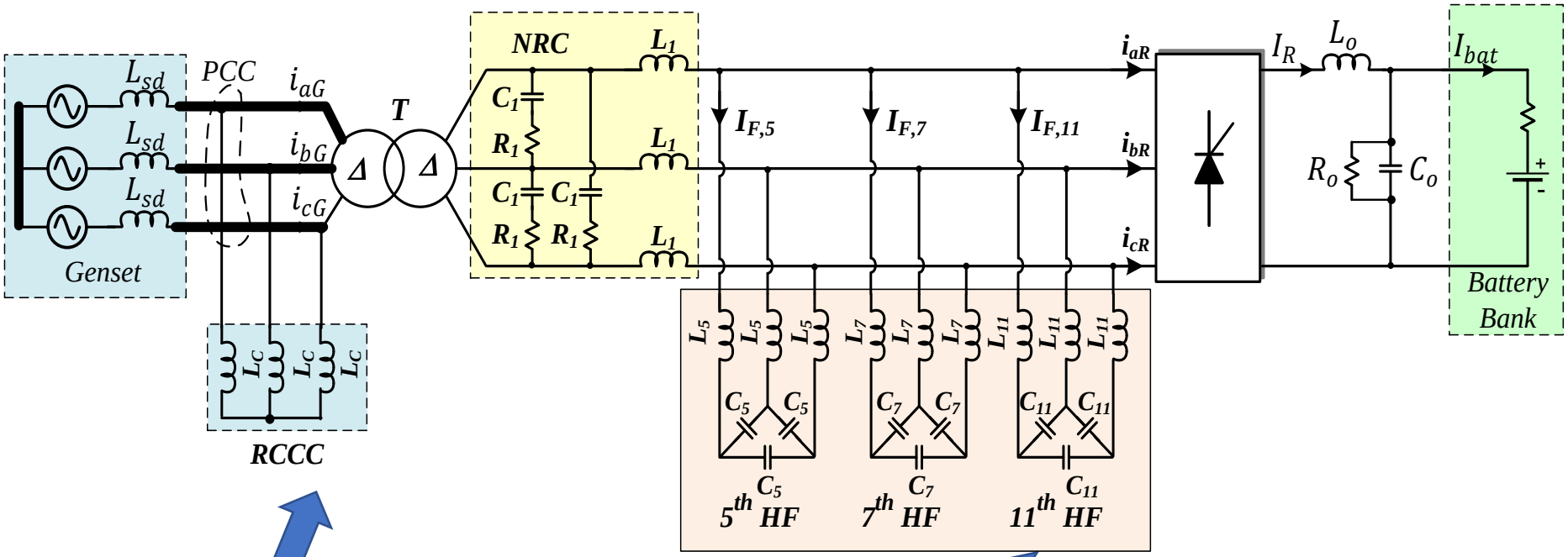
- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador: solução
  - Solução proposta



$$L_h C_h = \frac{1}{3} \times \frac{1}{4\pi^2 f_1^2 h^2}$$

Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Instabilidade na operação do gerador diesel + retificador: solução



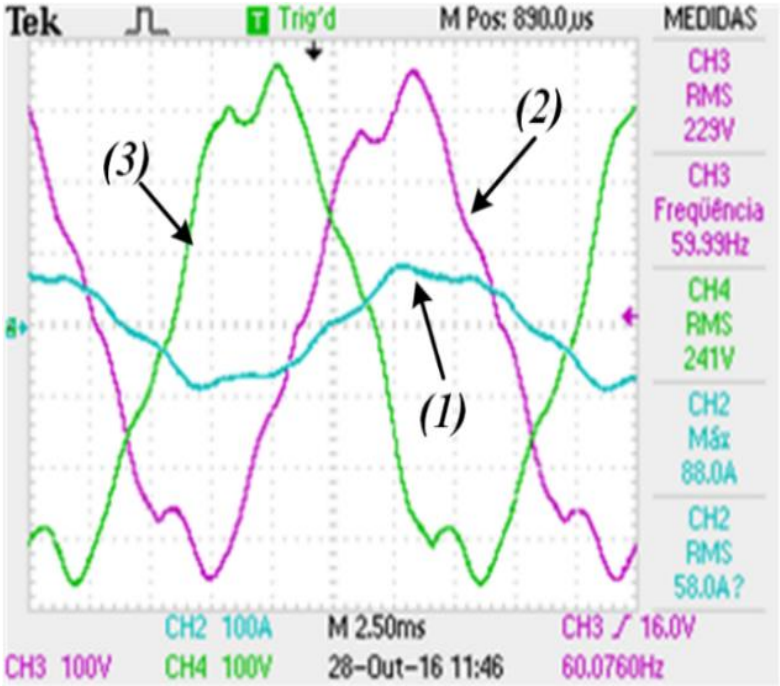
$$L_C = \frac{1}{2\pi f_1} \times \frac{V_{LL1}^2}{Q_C}$$

$$Q_C = 3 \times \left(\frac{V_{LL2}^2}{X_{C1}} + \sum \frac{V_{LL2}^2}{X_{Ch}} \right), h = 5, 7, 11, \ldots$$

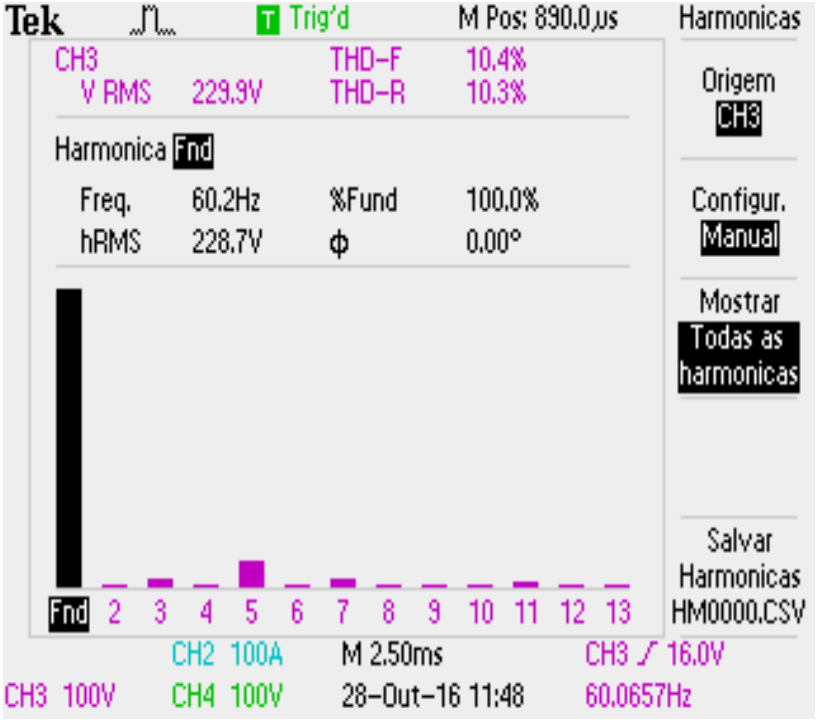
Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

- Resultados: com 5º, 7º, 11º filtros, NCR e RCCC

Tensões de fase (1) e (2), e corrente de linha (3) no PCC do gerador



Espectro harmônico da tensão de fase no PCC

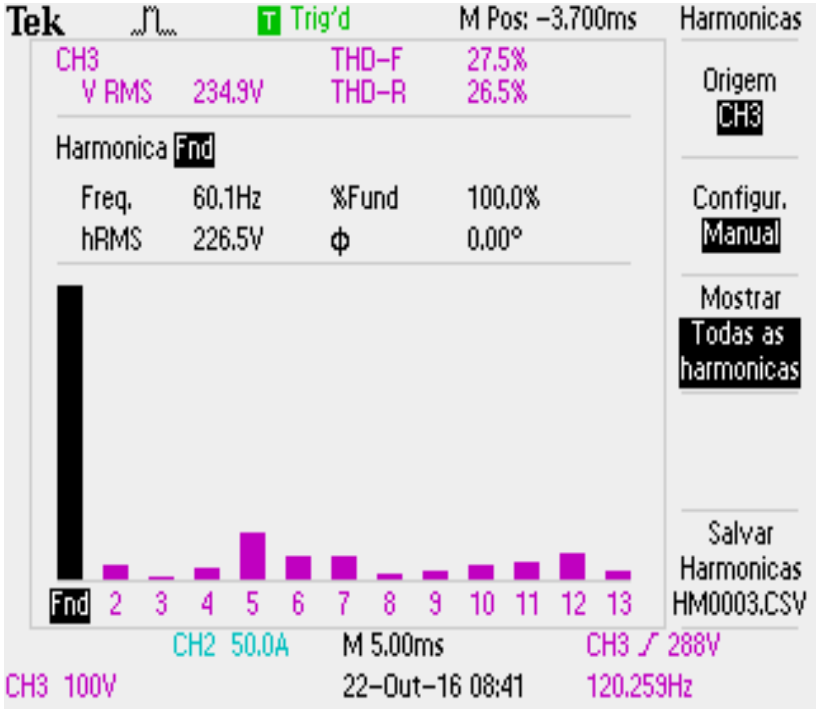


Microrrede Isolada: ilha de Lençóis

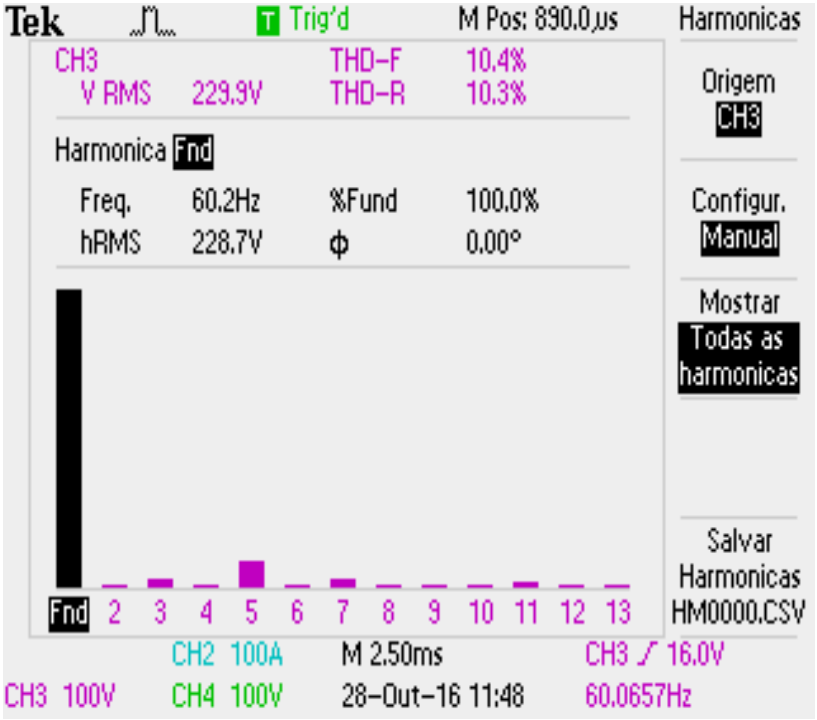
- Resultados: com 5º, 7º, 11º filtros, NCR e RCCC

Comparação dos Espectros harmônico da tensão de fase no PCC

Antes



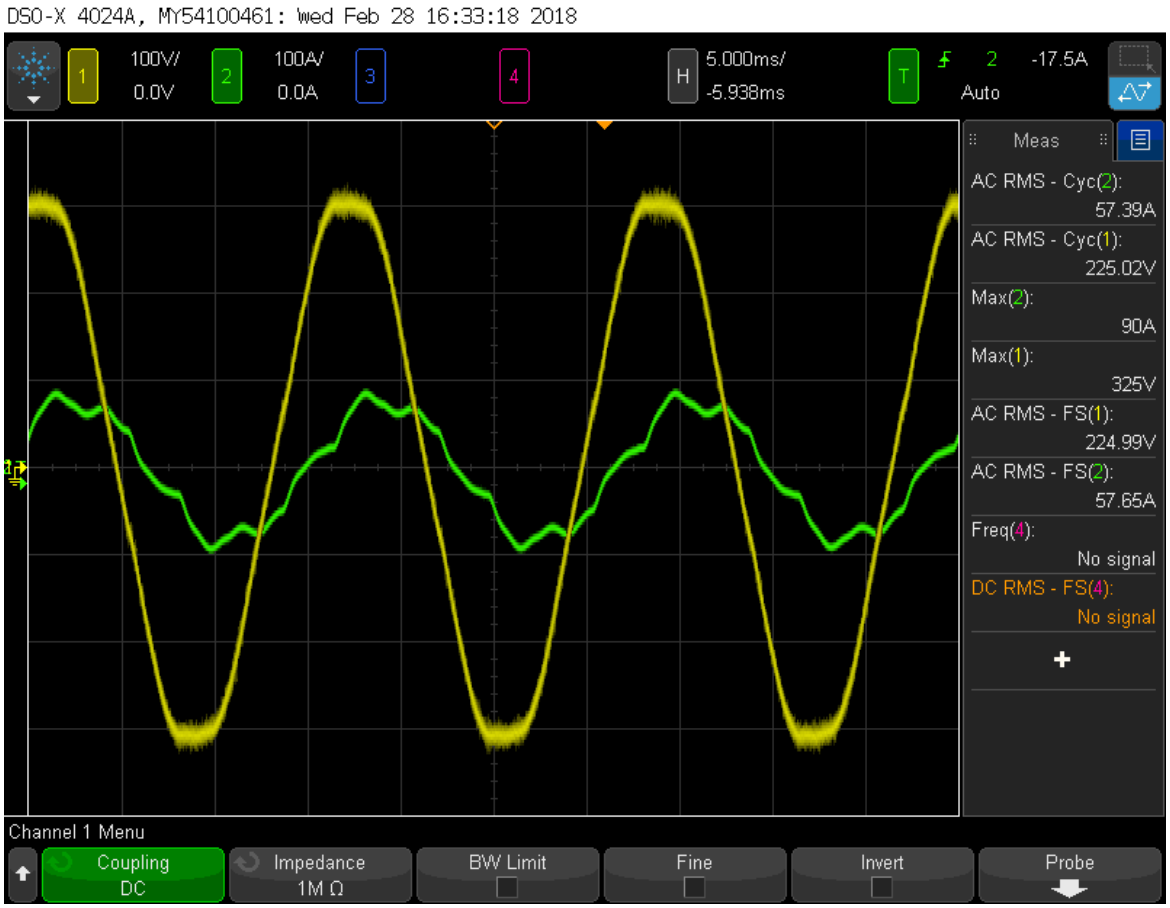
Depois



Microrrede Isolada: ilha Grande

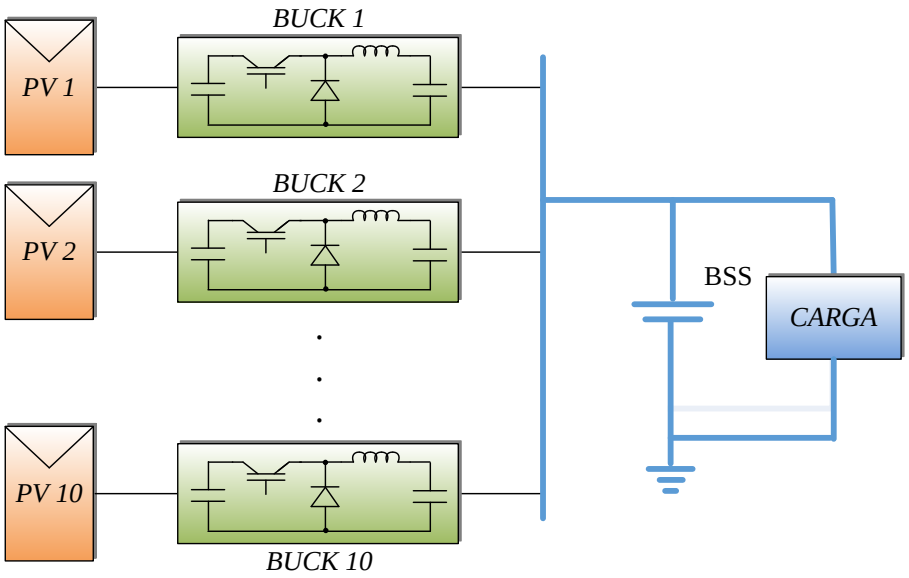
INSTITUTO DE ENERGIA ELÉTRICA

❑ Resultado na Ilha Grande

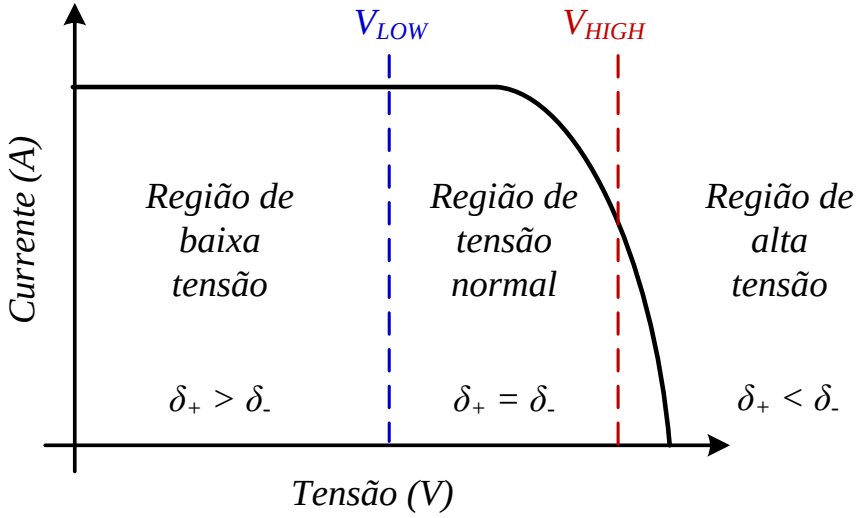


➢ Conversores CC-CC para carregamento de baterias

Topologia: 35 kW com 10 conversores *buck* independentes, operando em paralelo

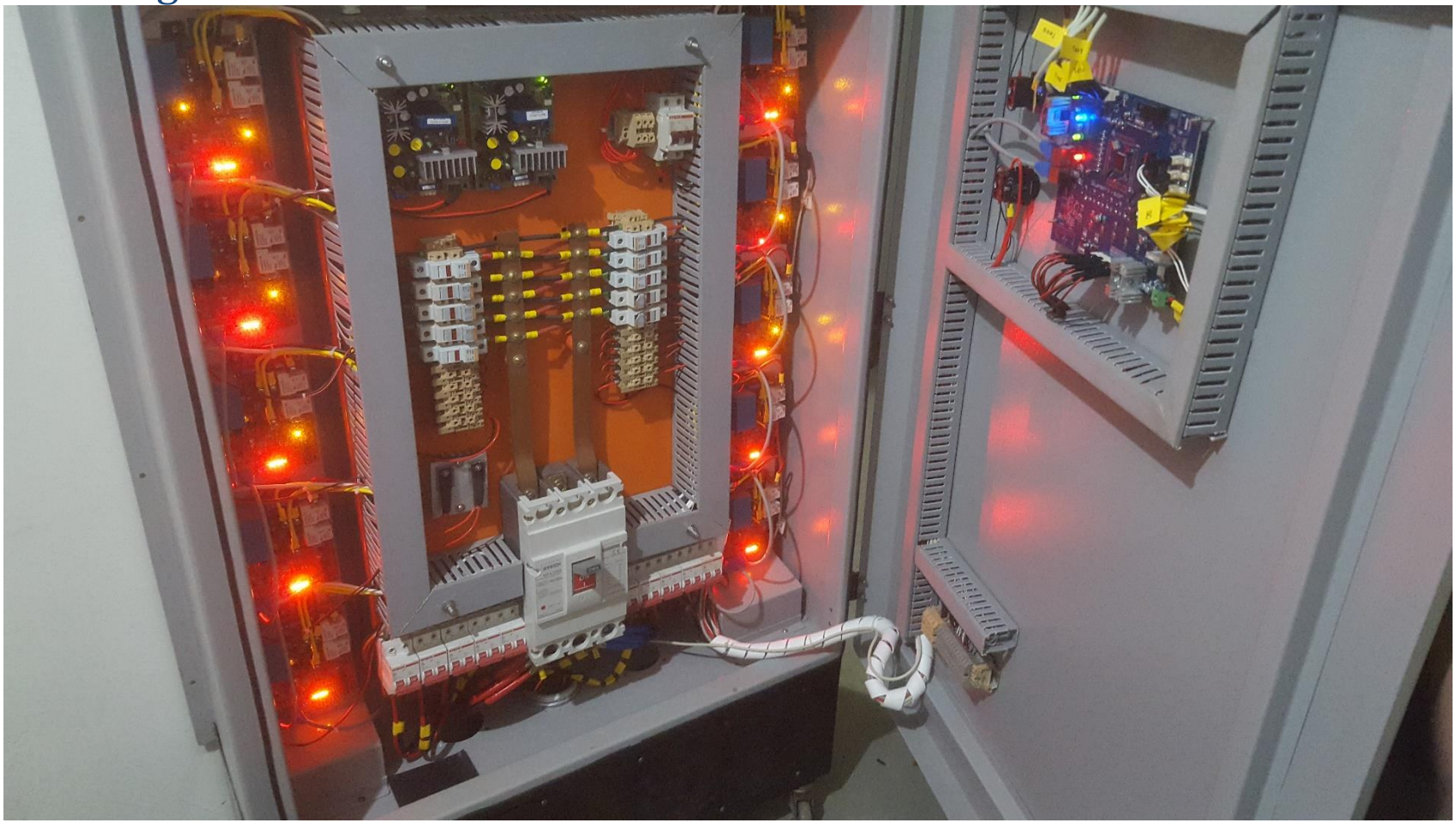


Estratégia MPPT Modificada



Conversores Fotovoltaicos

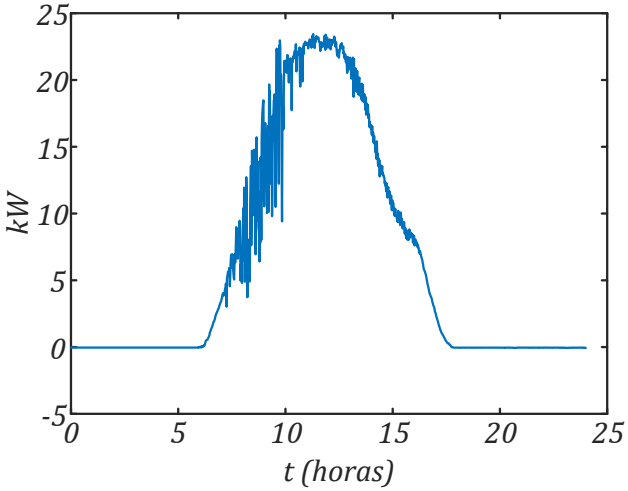
- **10 Conversores CC/CC (3kW cada), conectados em paralelo:** carregamento de baterias



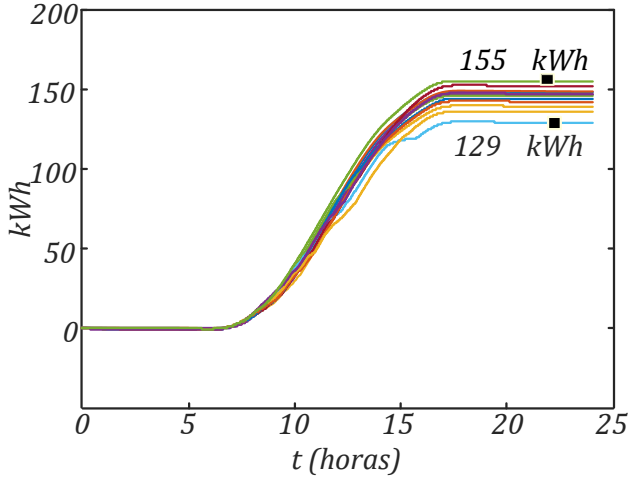
INSTITUTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Medições – Ilha Grande

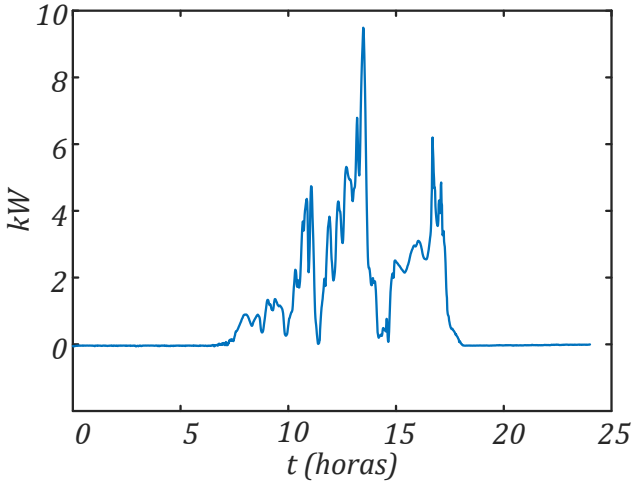
Potência CC gerada – 3/09/16



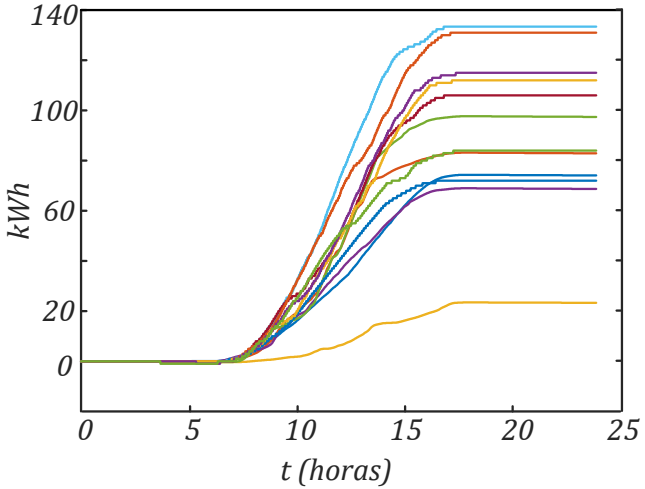
Energia CC gerada - 3 a 14 / set / 16



Potência CC gerada – 9/01/17

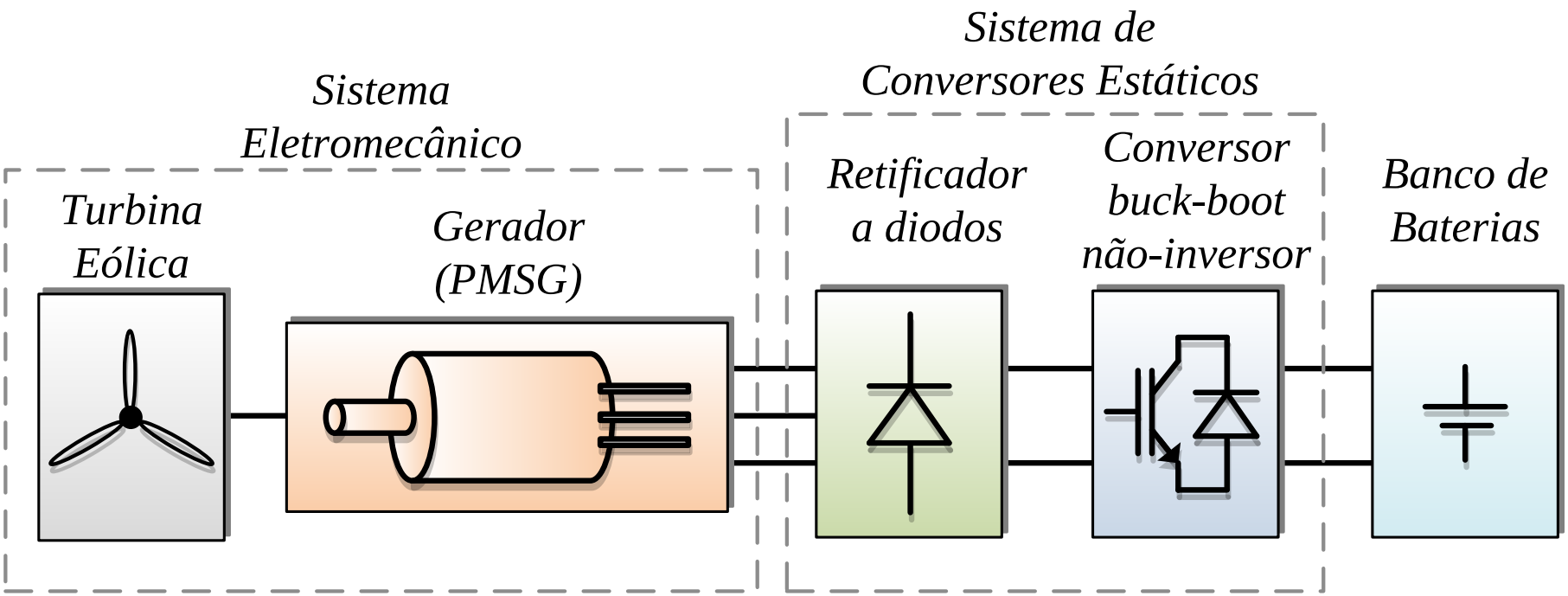


Energia CC gerada: 6 a 18 / jan / 17



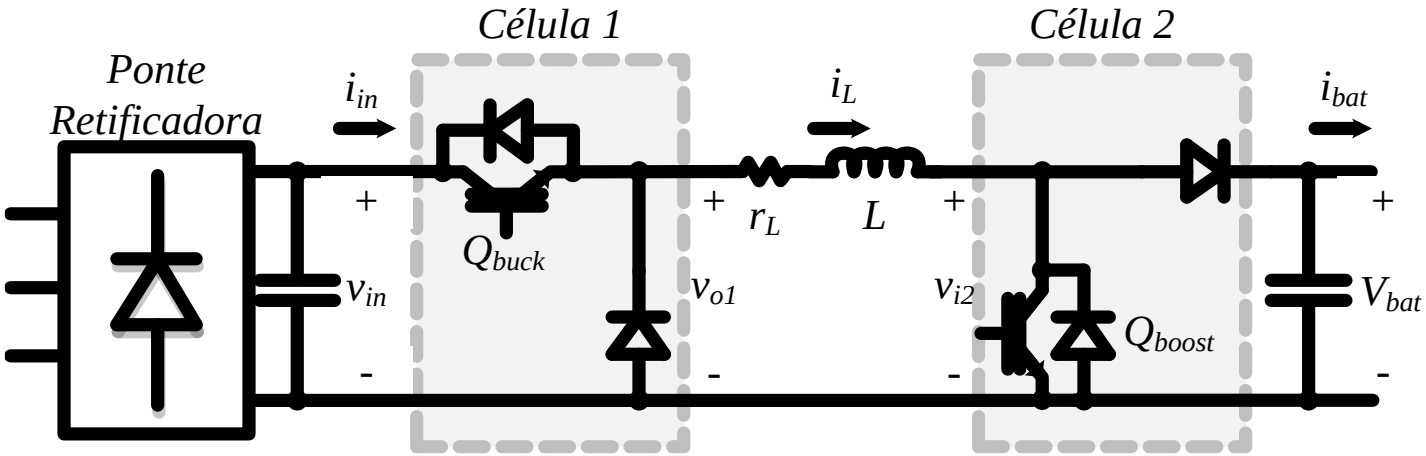
Conversores – Turbinas Eólicas

- Conversores para carregamento de banco de baterias a partir de Turbinas Eólicas: 10 kW (Ilha de Lençóis)



Conversores – Turbinas Eólicas

➢ Conversores para carregamento de banco de baterias a partir de Turbinas Eólicas: 10 kW (Ilha de Lençóis)



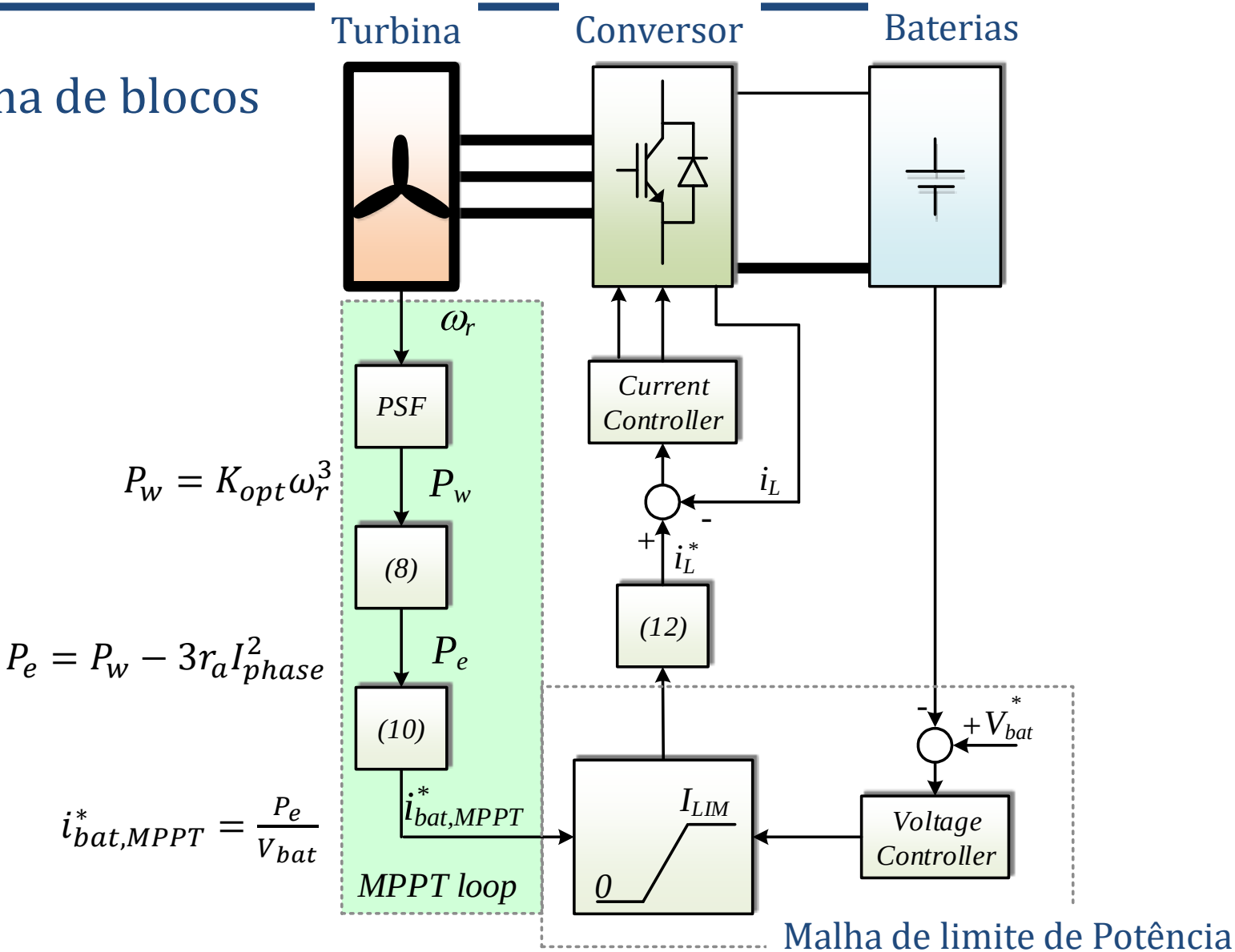
Sistema de Controle

$$D_{buck} v_{in} - (1 - D_{boost}) V_{bat} = L \frac{di_L}{dt} + r_L i_L \qquad (1)$$

$$D_{buck} = \begin{cases} D_C, & 0 \le D_C < 1 \\ 1, & 1 \le D_C \le 2 \end{cases} \qquad (2) \qquad D_{boost} = \begin{cases} 0, & 0 \le D_C < 1 \\ D_C - 1, & 1 \le D_C \le 2 \end{cases} \qquad (3)$$

Conversores – Turbinas Eólicas

- Diagrama de blocos



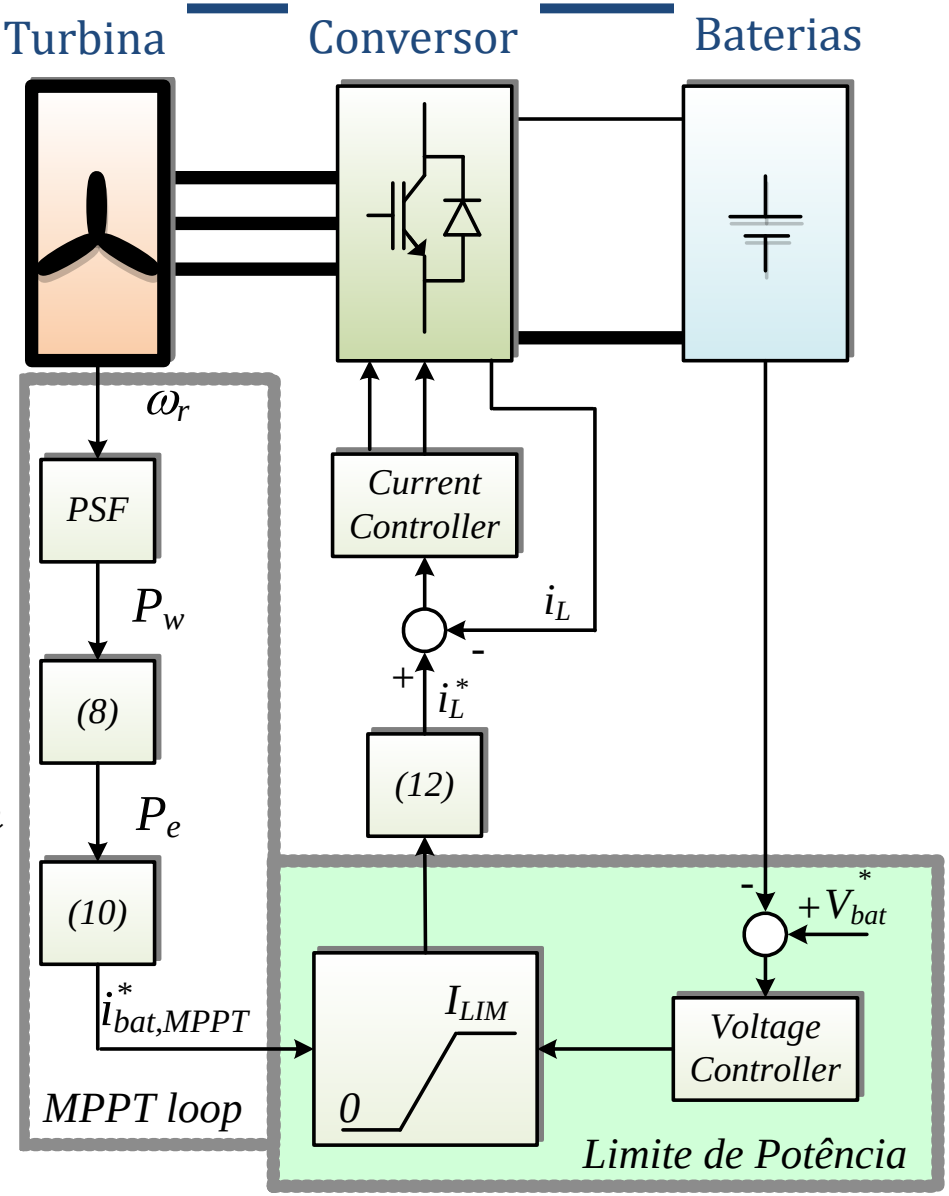
$$P_w = K_{opt}\omega_r^3$$

$$P_e = P_w - 3r_a I_{phase}^2$$

$$i^*_{bat,MPPT} = \frac{P_e}{V_{bat}}$$

Conversores – Turbinas Eólicas

- Diagrama de blocos



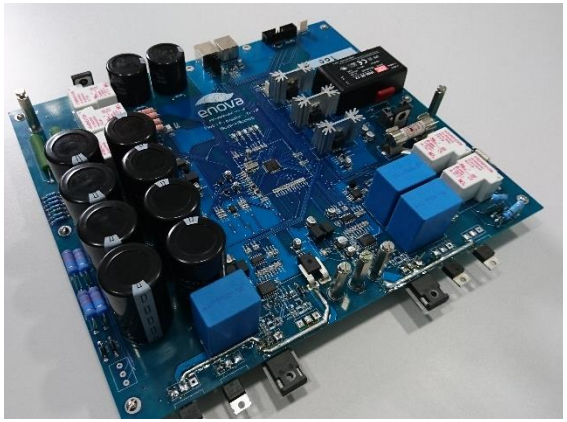
$$i^*_{bat} = \begin{cases} i^*_{bat,MPPT}, & i^*_{bat,MPPT} \leq i_{bat,lim} \\ i_{bat,lim}, & i^*_{bat,MPPT} > i_{bat,lim} \end{cases}$$

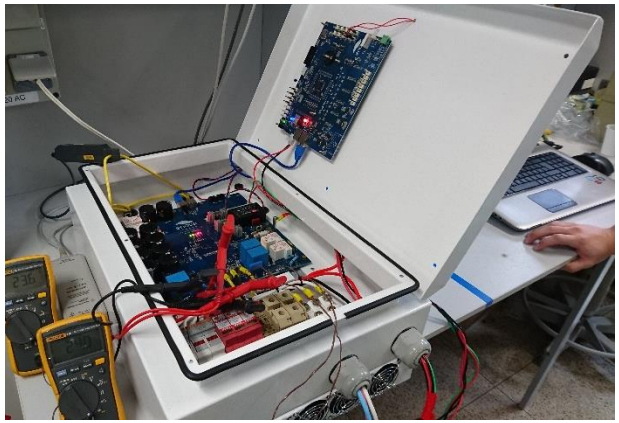
Conversores – Turbinas Eólicas

- Conversores instalados na Ilha de Lençóis

Potência: 10kW

Saída: 240Vcc/40A





Conversores – Turbinas Eólicas

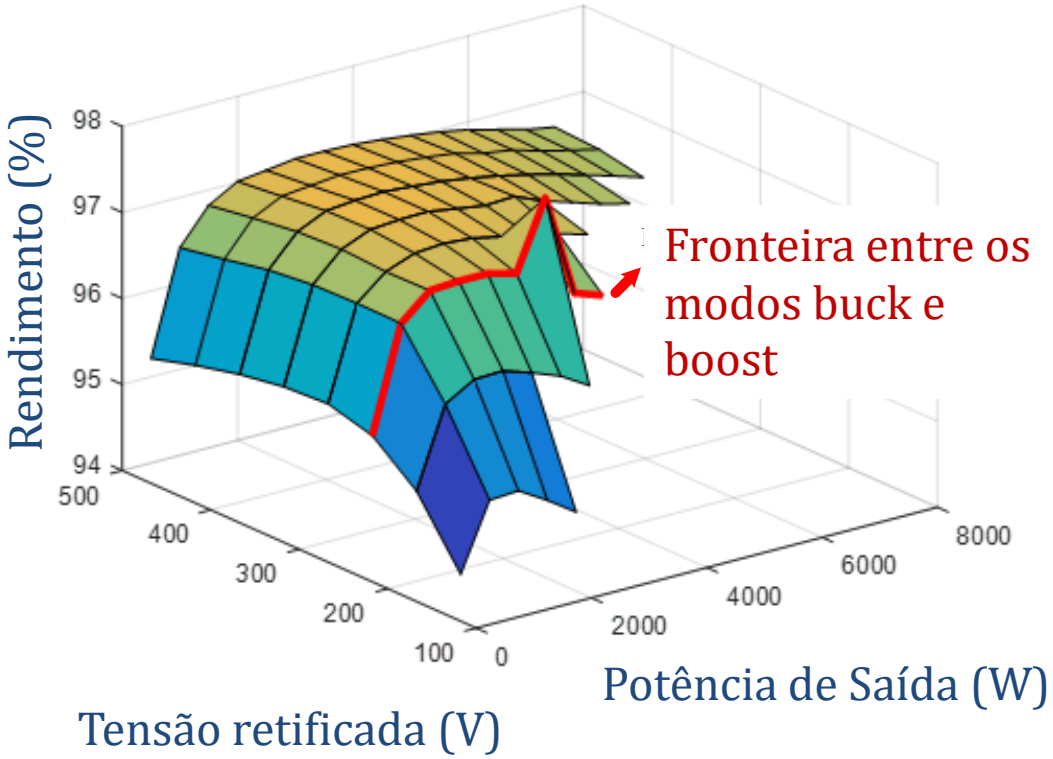
Eficiência do Sistema (potências dos sistemas de refrigeração e controle incluída)

Max eff.: 97,7%

@ 3500W / 250V

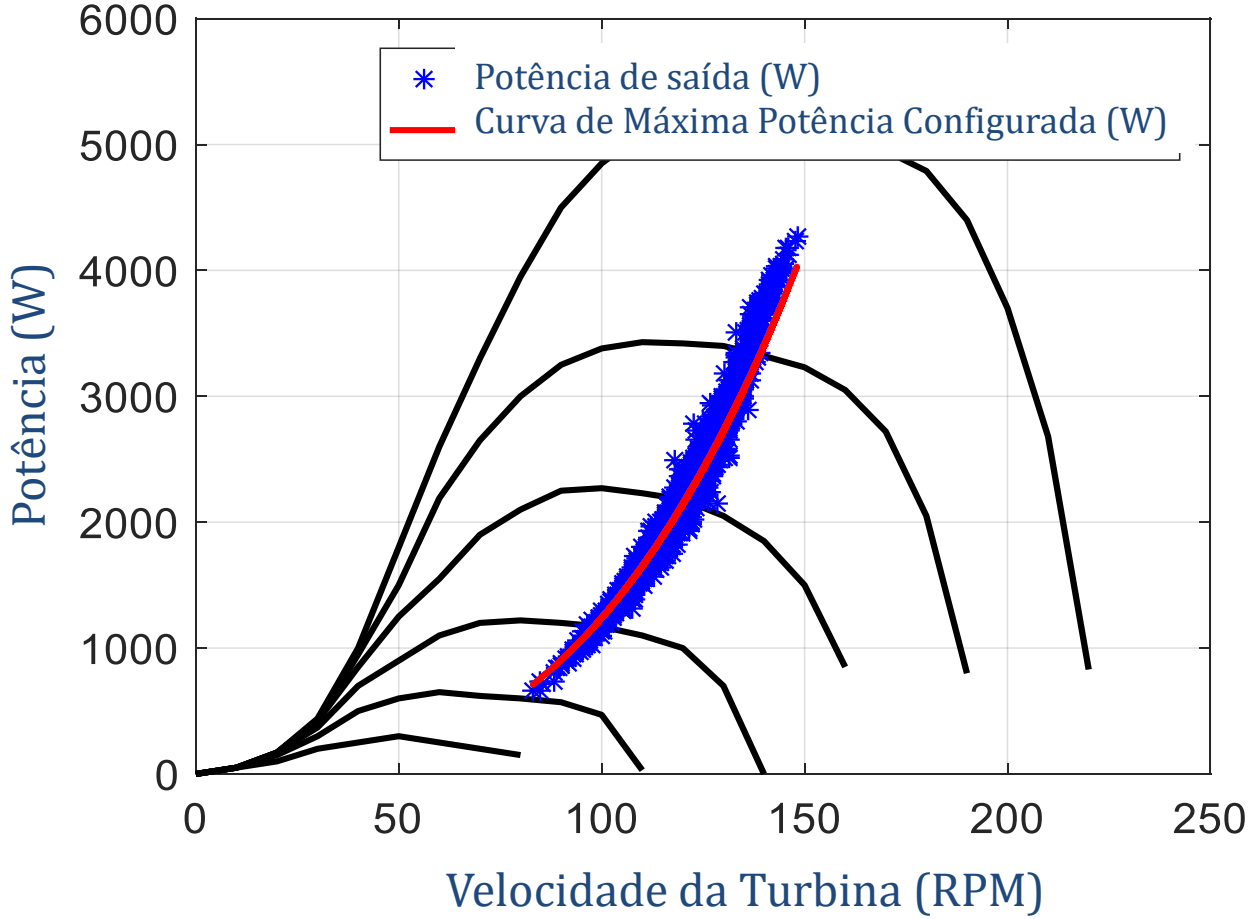
Min eff.: 94,3%

@ 500W / 150V



Conversores – Turbinas Eólicas

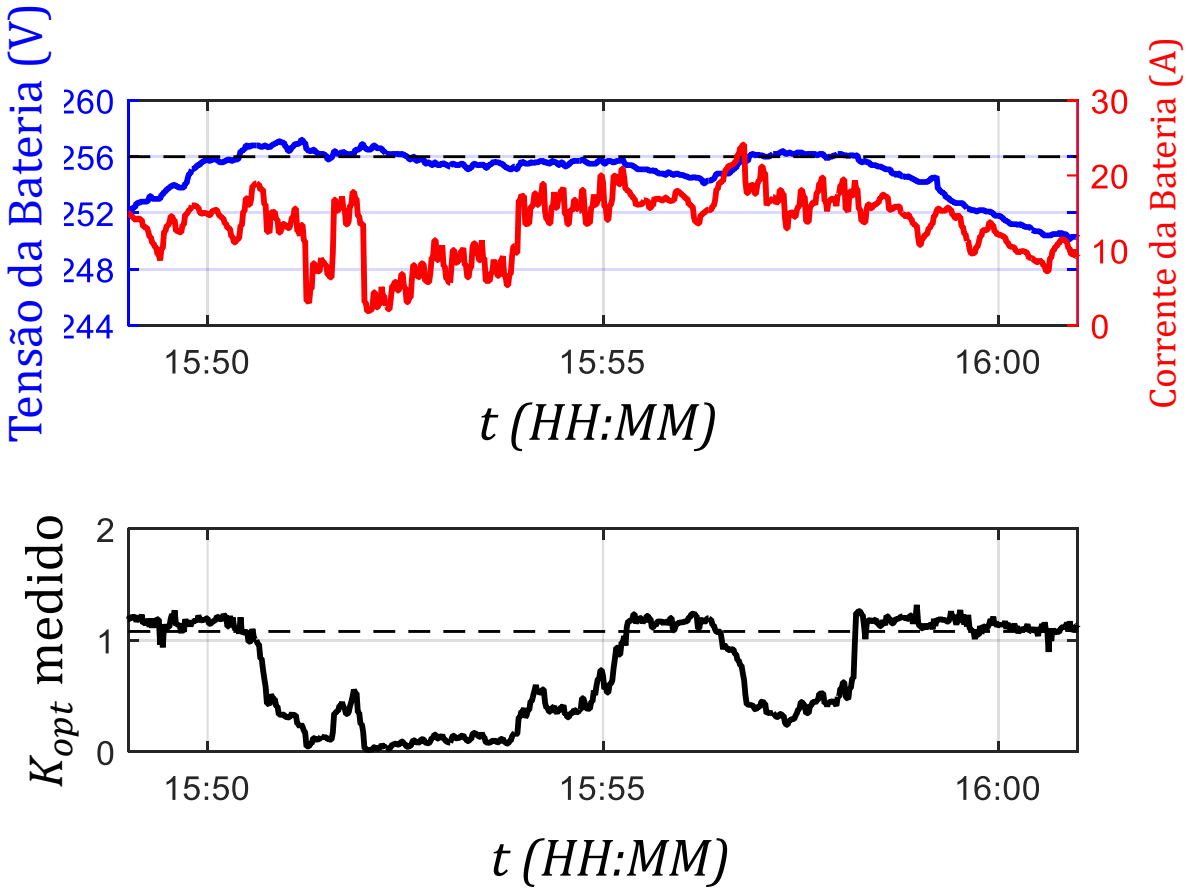
Operação em MPPT (pontos azuis): comparação com a curva de máxima potência configurada (curva vermelha) e as curvas de potência fornecidade pelo fabricante (curvas pretas)



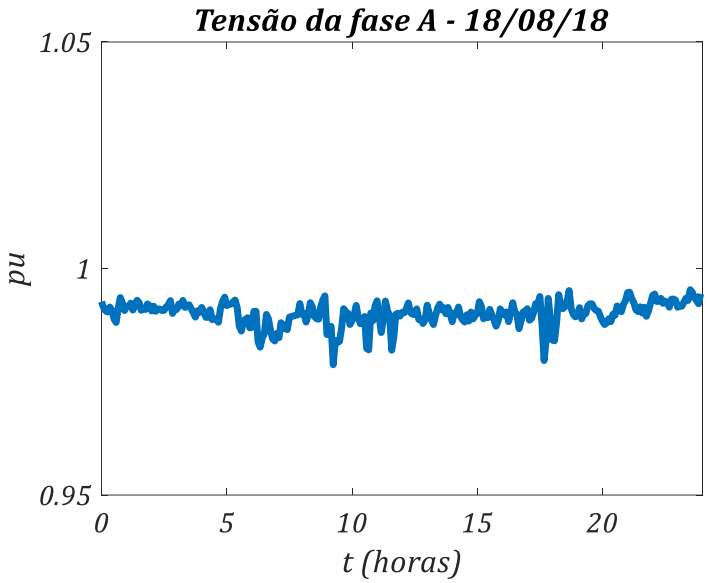
Conversores – Turbinas Eólicas

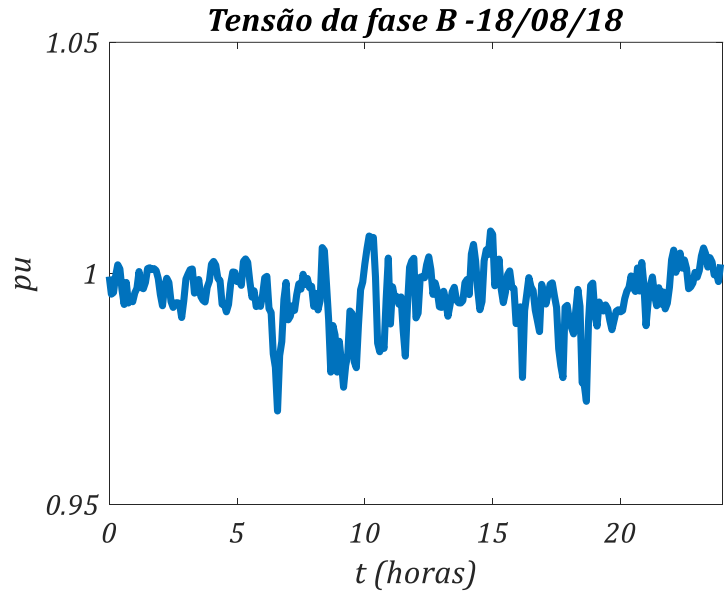
Transição entre os modos de operação em MPPT e limite de potência, com o parâmetro K_{opt} configurado para 1,08; Setpoint do BSS: 256V

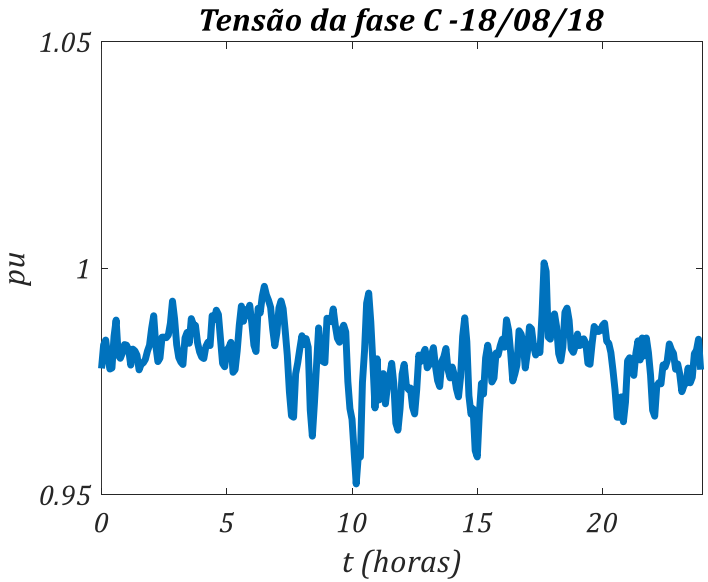
- Quando a tensão do BSS for maior que o setpoint, a corrente é limitada e, como consequência, o K_{opt} desvia-se do valor configurado de 1,08

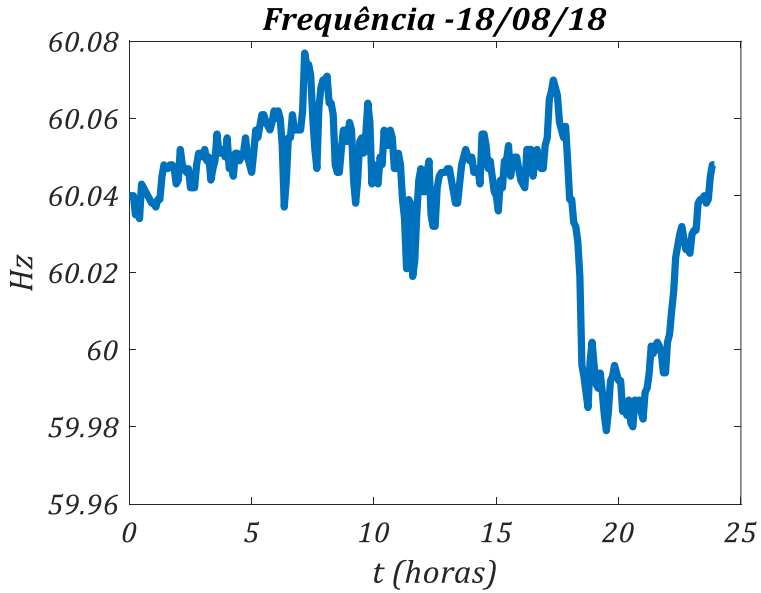


Medições: Ilha de Lençóis

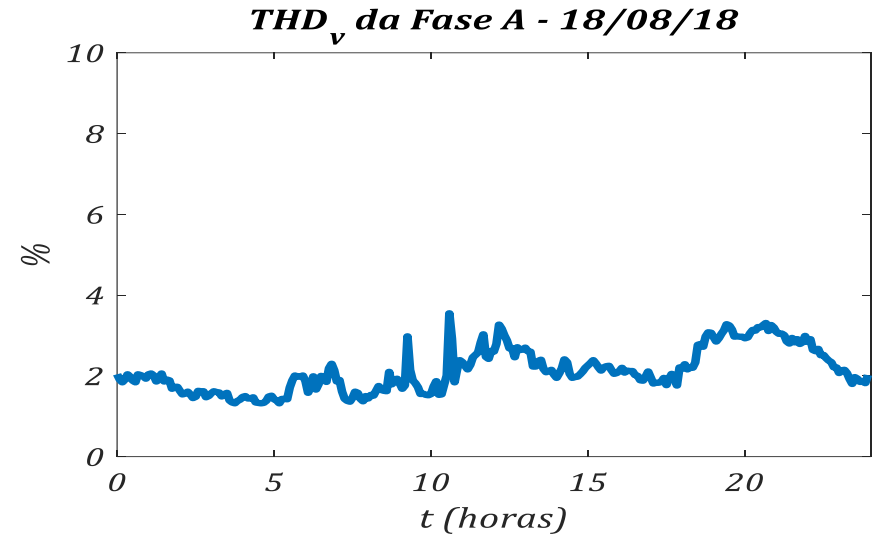


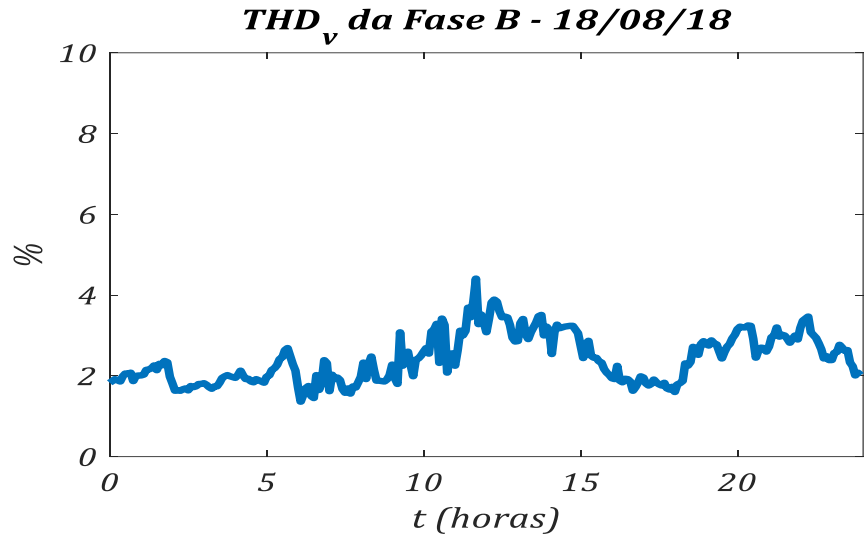


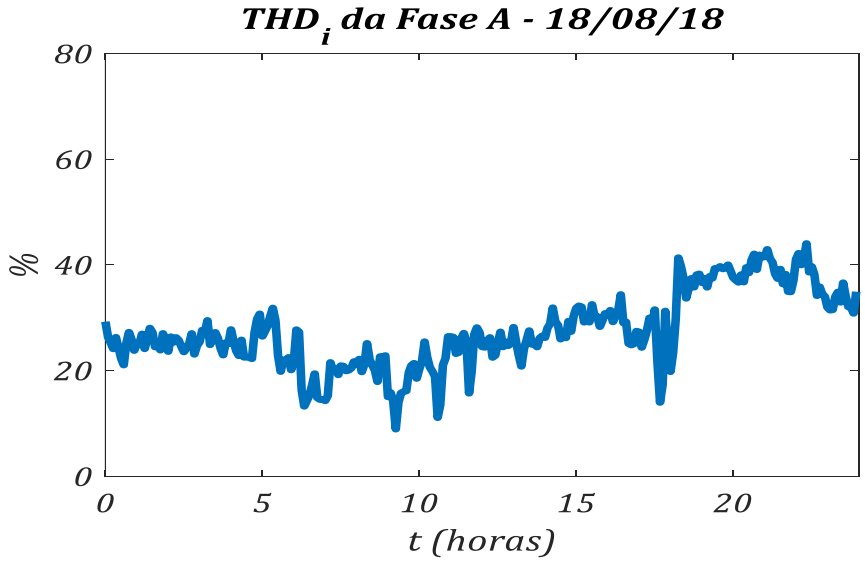


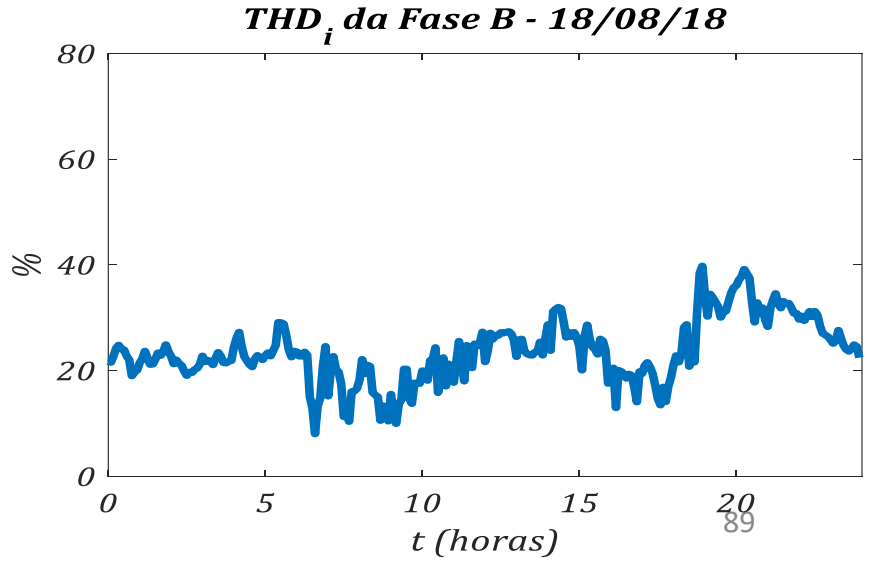


Medições: Ilha de Lençóis

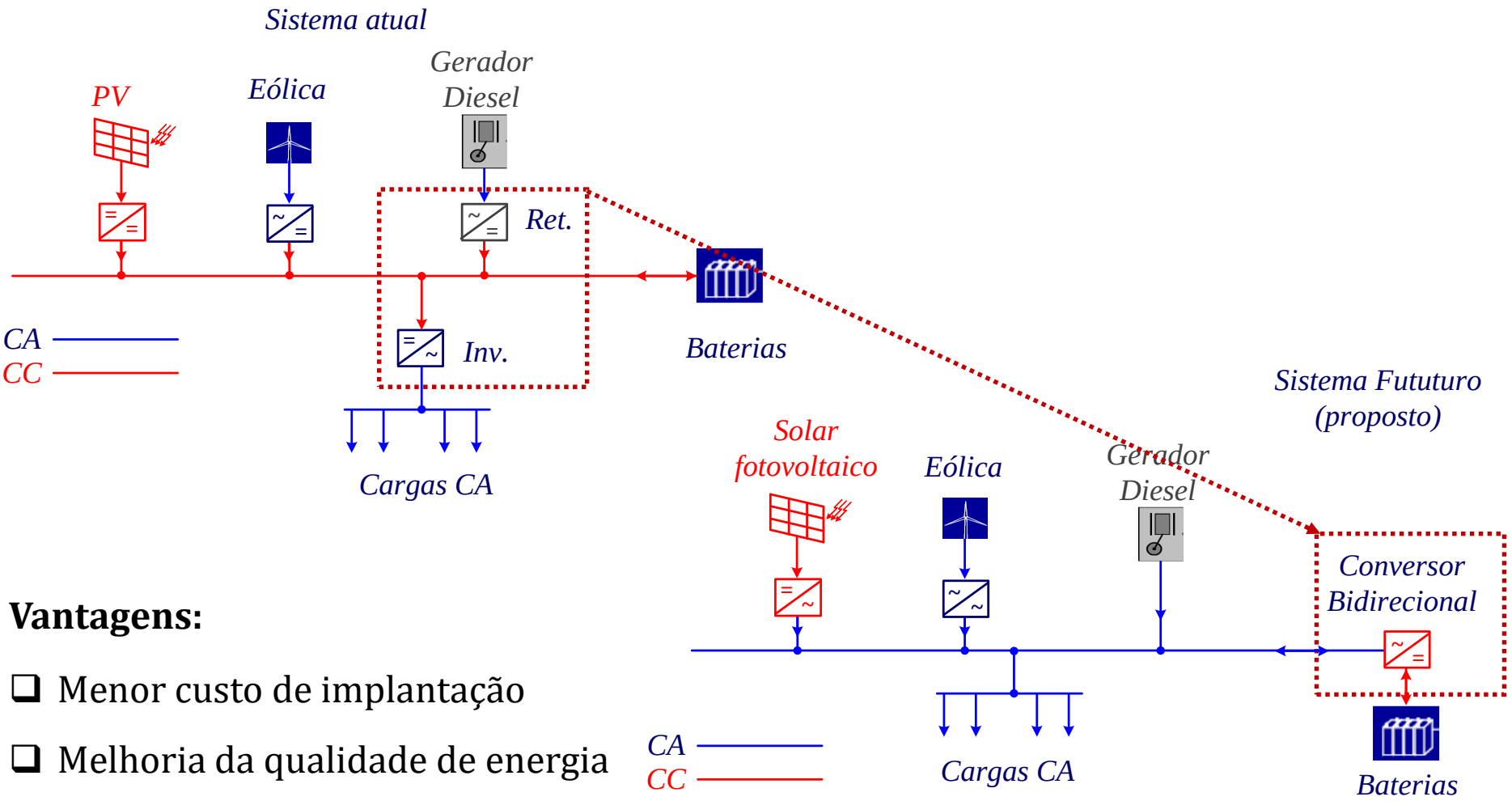








Sistema Atual x Sistema Futuro



Vantagens:

- ❑ Menor custo de implantação
- ❑ Melhoria da qualidade de energia
- ❑ Maior eficiência

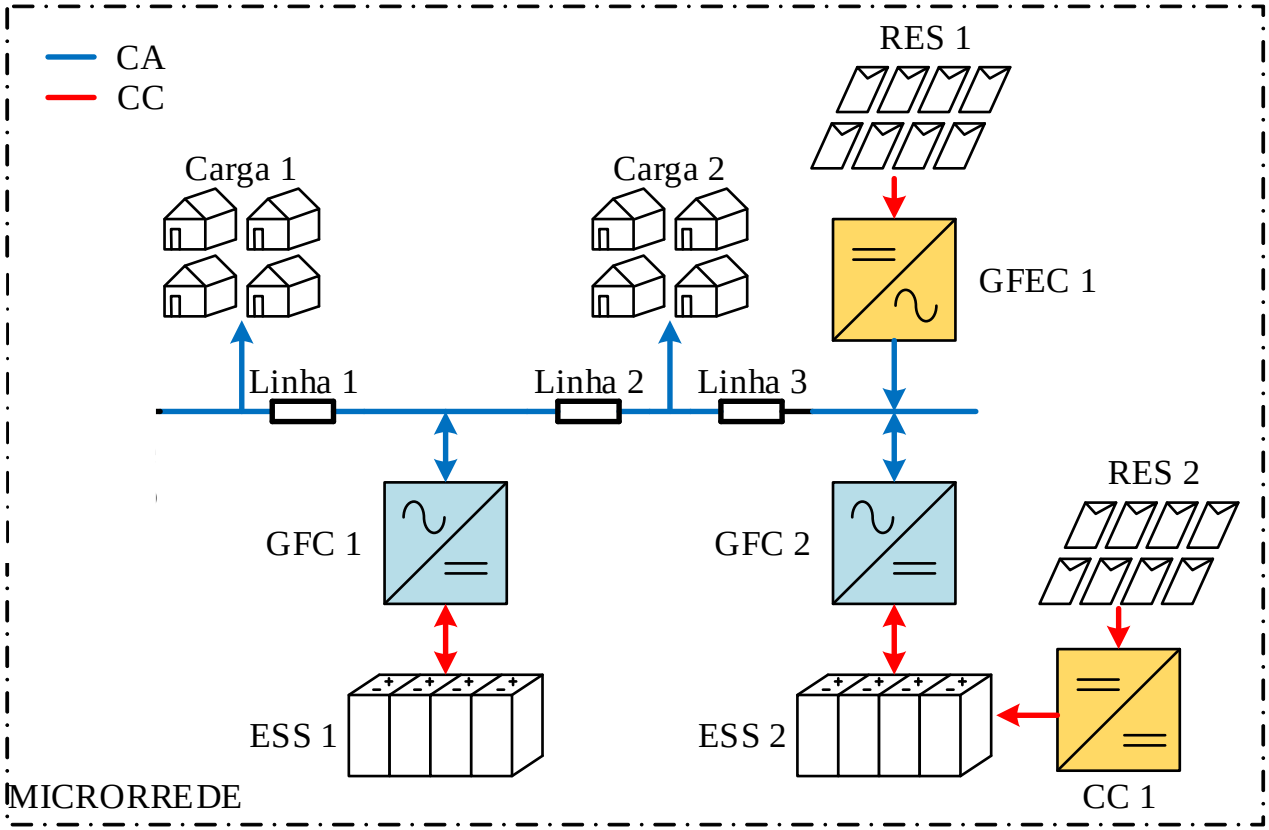
Sistema Atual x Sistema Futuro

Vantagens do conversor bidirecional:

- Permite geração distribuída, possibilitando maiores dimensões da rede de distribuição sem aumento da queda de tensão e perdas

Desafios

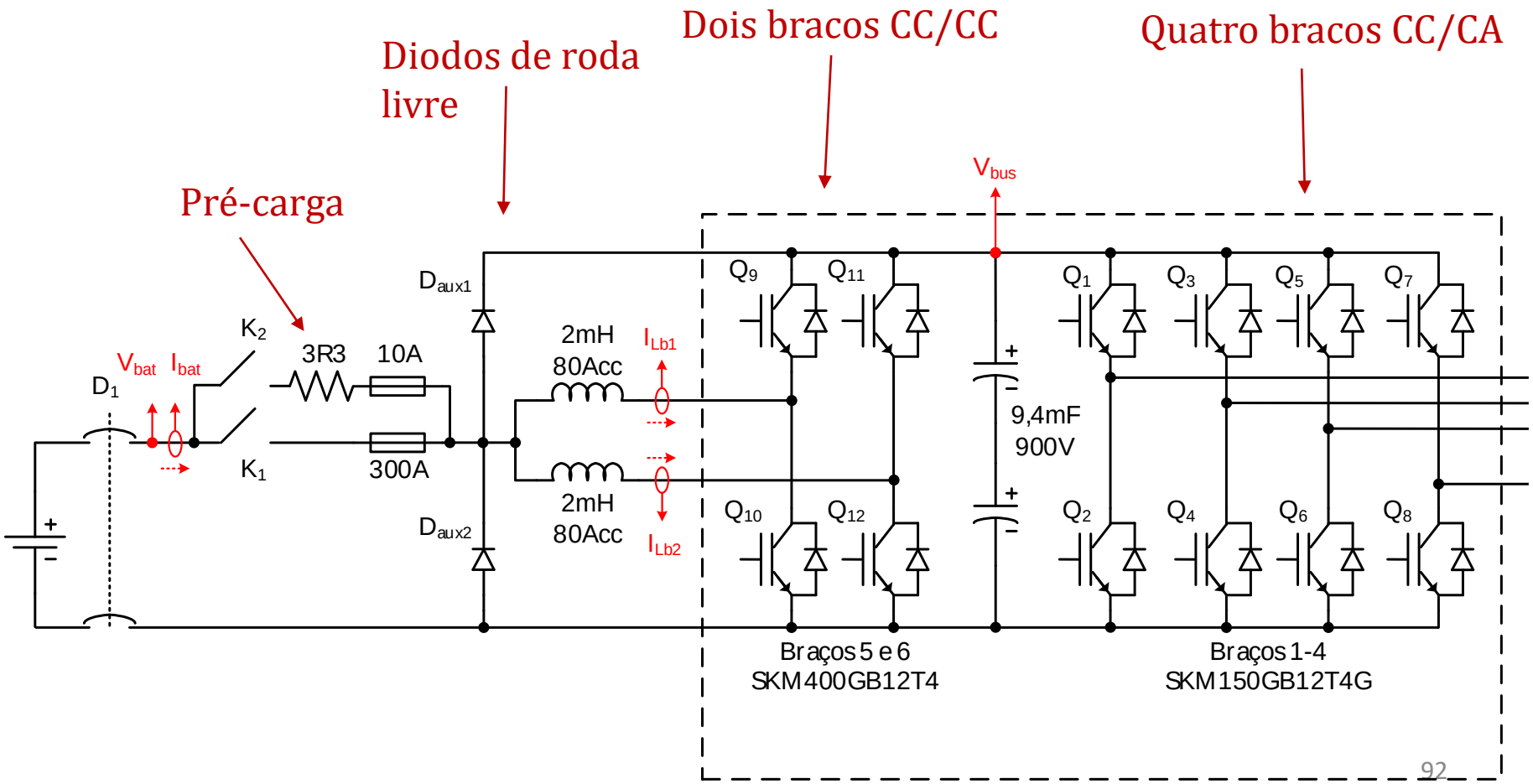
- Operação em paralelo de gerador diesel com conversor estático
- Equalização de diferentes bancos de baterias



CFR Bidirecional

Cabeça de série: CFR – 40kW

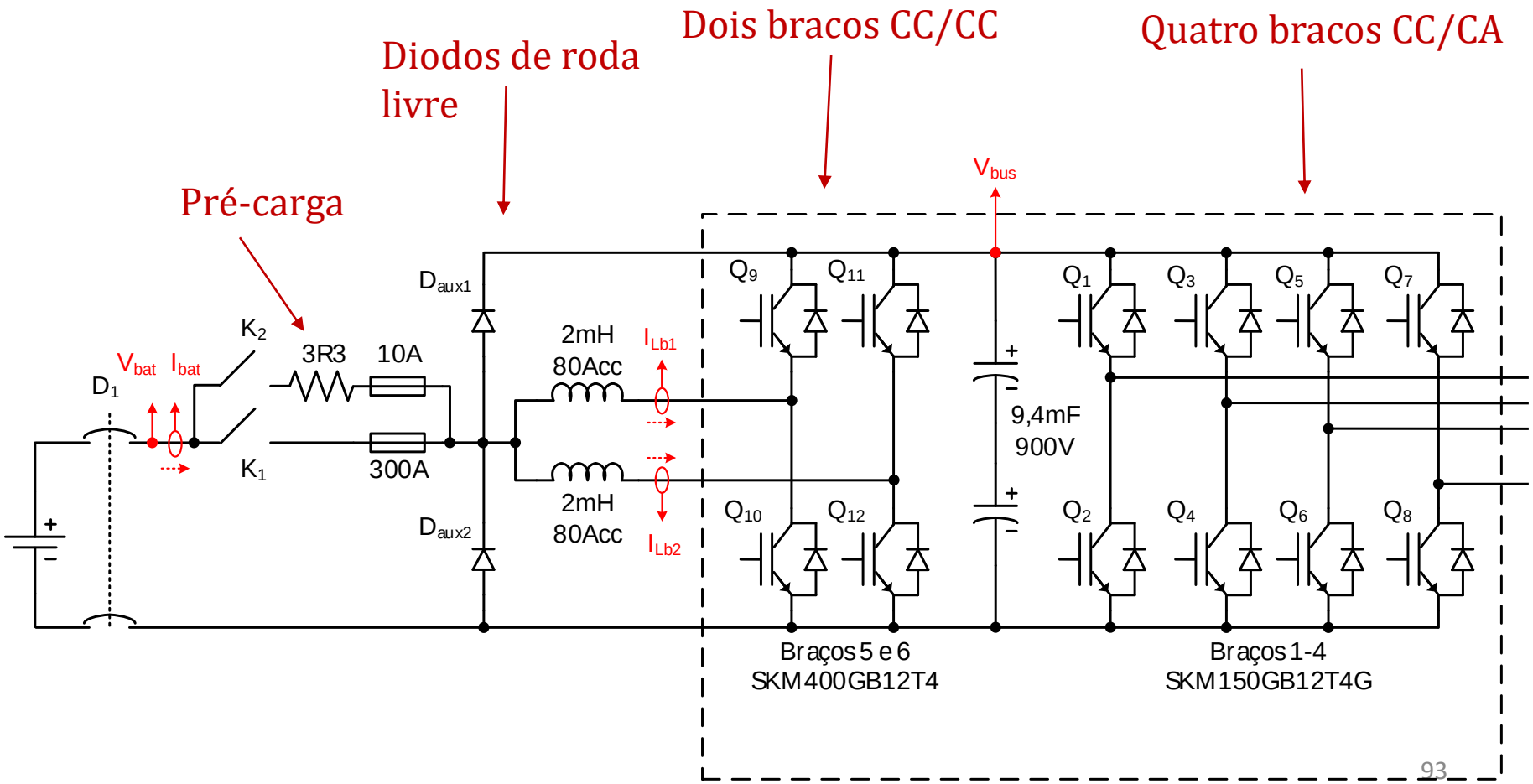
Estágio de entrada + inversor



CFR Bidirecional

Cabeça de série: CFR – 40kW

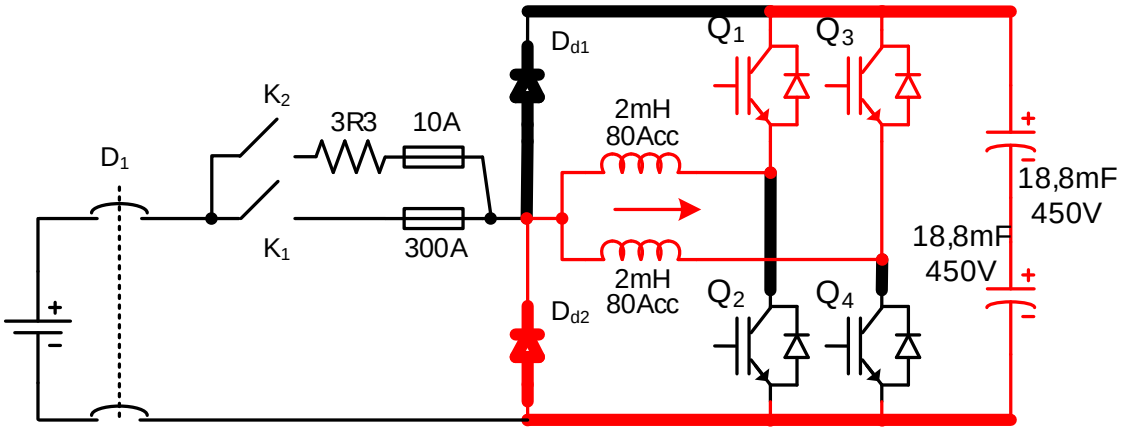
Estágio de entrada + inversor

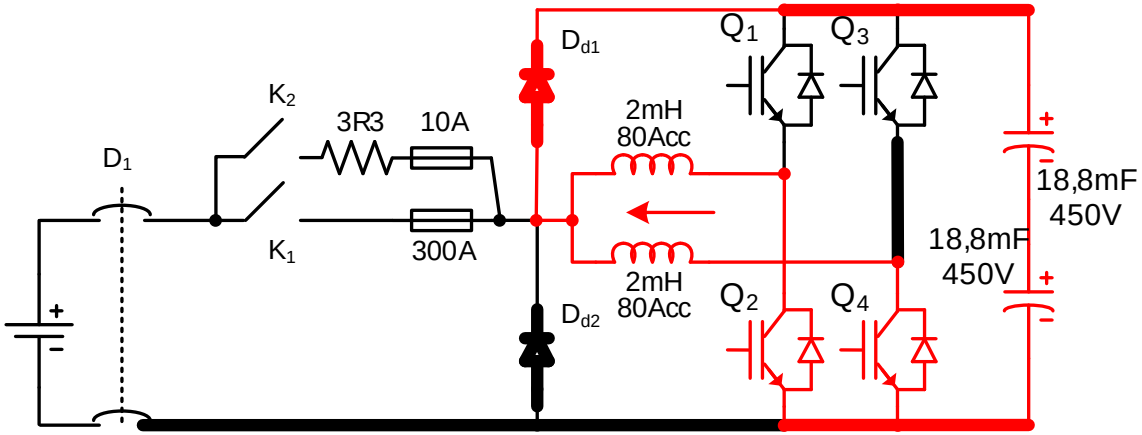


Proteção contra cessão de corrente nos indutores CC

- Em casos de curto circuito na entrada, a abertura do disjuntor causa a discontinuidade da corrente no indutor CC

- Os diodos D_{d1} e D_{d2} mantêm o fluxo de corrente até a completa descarga dos indutores nestes casos, evitanto danos ao equipamento





CFR Bidirecional

Cabeça de série: CFR – 40kW