

EEL 510460 - Tópicos Especiais em Sistemas de Energia Elétrica II:  
Controle de Frequência em Microrredes de C.A. com  
Fontes Renováveis e Armazenamento de Energia

# Introdução

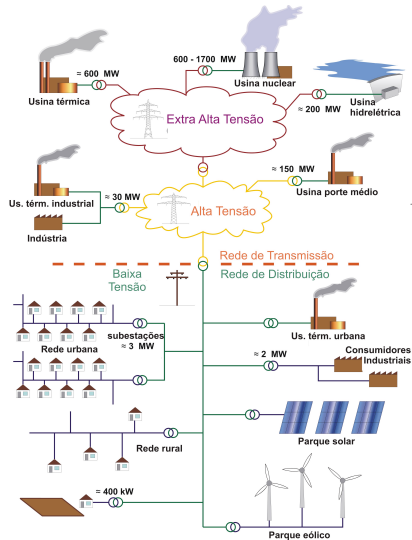
Prof. Antonio Simões Costa

UFSC - EEL - LABSPOT

# Geração Distribuída e Sistemas de Distribuição Ativos

- Nos anos 1990 consolidou-se o conceito de **Geração Distribuída** associada a Sistemas de Distribuição:
  - Fontes de geração de pequeno/médio porte conectada a alimentadores ou ramais de distribuição;
  - Tradicionalmente passivos (alimentados exclusivamente via conexão com as redes de média tensão), os SDs tornaram-se redes ativas.
- Objetivos da Geração Distribuída:
  - Reduzir a dependência da rede de média tensão para suprimento dos consumidores;
  - Acomodar a participação dos **Produtores Independentes**, que surgiram com a re-estruturação dos setores elétricos.
- Desafios provocados pela GD:
  - Possibilidade de contrafluxos na rede de distribuição;
  - Esquemas de proteção devem ser reavaliados e reajustados.

# SEE com Geração Distribuída



# Microrredes x Sistemas de Distribuição Ativos

- Como evolução do conceito de SDs ativos, surgiu a ideia de pequenas redes de distribuição que pudessem operar autonomamente;
- Em situações extremas, tais redes poderiam operar desconectadas da rede de média tensão;
- Além da geração convencional, poderiam contar com fontes renováveis não-convencionais, além de componentes armazenadores de energia;
- Para viabilizar a operação isolada, sua carga, ou pelo menos parte dela, deveria ser passível de controle.

# Microrredes

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:

# Microrredes

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;

# Microrredes

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;
  - instalações industriais;



- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;
  - instalações industriais;
  - comunidades remotas do ponto de vista geográfico;

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;
  - instalações industriais;
  - comunidades remotas do ponto de vista geográfico;
  - instalações militares, etc.

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;
  - instalações industriais;
  - comunidades remotas do ponto de vista geográfico;
  - instalações militares, etc.
- Geralmente utilizam fontes de geração renovável/não-convencionais e dispositivos armazenadores de energia, além de fontes convencionais;

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;
  - instalações industriais;
  - comunidades remotas do ponto de vista geográfico;
  - instalações militares, etc.
- Geralmente utilizam fontes de geração renovável/não-convencionais e dispositivos armazenadores de energia, além de fontes convencionais;
- Cargas podem ser controladas, sujeitas a corte em casos de emergência ou a variações comandadas por um controlador central;

- Redes de baixa tensão, de pequena escala, projetadas para alimentar cargas para comunidades de dimensão limitada, tais como:
  - um campus universitário ou um parque tecnológico;
  - condomínios comerciais ou residenciais;
  - instalações industriais;
  - comunidades remotas do ponto de vista geográfico;
  - instalações militares, etc.
- Geralmente utilizam fontes de geração renovável/não-convencionais e dispositivos armazenadores de energia, além de fontes convencionais;
- Cargas podem ser controladas, sujeitas a corte em casos de emergência ou a variações comandadas por um controlador central;
- Fazem uso de interfaces de Eletrônica de Potência para integração das fontes.

# Principais diferenças entre microrredes e sistemas convencionais

- As fontes de geração de uma  $\mu R$  são de capacidade muito menor do que grandes geradores de usinas convencionais;

# Principais diferenças entre microrredes e sistemas convencionais

- As fontes de geração de uma  $\mu R$  são de capacidade muito menor do que grandes geradores de usinas convencionais;
- Excesso de potência gerada em níveis de tensão de distribuição pode ser diretamente fornecida para a rede de distribuição da concessionária;

# Principais diferenças entre microrredes e sistemas convencionais

- As fontes de geração de uma  $\mu R$  são de capacidade muito menor do que grandes geradores de usinas convencionais;
- Excesso de potência gerada em níveis de tensão de distribuição pode ser diretamente fornecida para a rede de distribuição da concessionária;
- Fontes de geração de  $\mu Rs$  são normalmente instaladas próximas aos pontos de consumo o que, em condições normais, favorece perfís satisfatórios de tensão e frequência, além de perdas de distribuição desprezíveis;



# Principais diferenças entre microrredes e sistemas convencionais

- As fontes de geração de uma  $\mu R$  são de capacidade muito menor do que grandes geradores de usinas convencionais;
- Excesso de potência gerada em níveis de tensão de distribuição pode ser diretamente fornecida para a rede de distribuição da concessionária;
- Fontes de geração de  $\mu R$ s são normalmente instaladas próximas aos pontos de consumo o que, em condições normais, favorece perfís satisfatórios de tensão e frequência, além de perdas de distribuição desprezíveis;
- Do ponto de vista da rede de média tensão (*concessionária*), uma  $\mu R$  pode ser vista como uma única entidade controlada, e pode ser operada como uma carga agregada, ou uma única fonte de geração.

# Modos de operação de microrredes

- **Modo interligado:** corresponde ao modo normal de operação, no qual a  $\mu R$  pode estar importando ou exportando energia da rede da concessionária, dependendo do balanço interno de carga/geração;

# Modos de operação de microrredes

- **Modo interligado:** corresponde ao modo normal de operação, no qual a  $\mu R$  pode estar importando ou exportando energia da rede da concessionária, dependendo do balanço interno de carga/geração;
- **Modo isolado:** situação em que a  $\mu R$  opera isolada após separação da rede a montante, que pode ser planejada ou intempestiva.

## Controladores associados a Microrredes

- Controladores de fontes e de Carga (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):

# Controladores associados a Microrredes

- Controladores de fontes e de Carga (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfontes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;



# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;
  - Realiza o gerenciamento técnico-econômico do nível hierárquico superior, incluindo a otimização da operação;

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;
  - Realiza o gerenciamento técnico-econômico do nível hierárquico superior, incluindo a otimização da operação;
  - Quando necessário, faz a interligação com o nível superior (DMS).

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;
  - Realiza o gerenciamento técnico-econômico do nível hierárquico superior, incluindo a otimização da operação;
  - Quando necessário, faz a interligação com o nível superior (DMS).
- **Sistema de gerenciamento da distribuição** (*DMS: Distribution Management System*):

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;
  - Realiza o gerenciamento técnico-econômico do nível hierárquico superior, incluindo a otimização da operação;
  - Quando necessário, faz a interligação com o nível superior (DMS).
- **Sistema de gerenciamento da distribuição** (*DMS: Distribution Management System*):
  - Nível mais alto do controle hierárquico, comanda mais do que uma  $\mu R$ ;

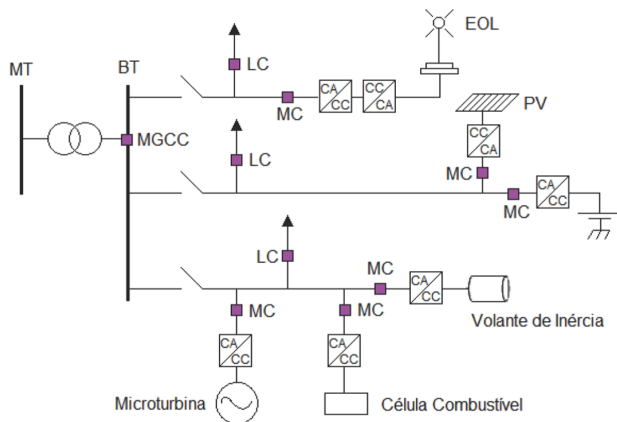
# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;
  - Realiza o gerenciamento técnico-econômico do nível hierárquico superior, incluindo a otimização da operação;
  - Quando necessário, faz a interligação com o nível superior (DMS).
- **Sistema de gerenciamento da distribuição** (*DMS: Distribution Management System*):
  - Nível mais alto do controle hierárquico, comanda mais do que uma  $\mu R$ ;
  - Gerencia as trocas de informações entre os diversos MGCCs;

# Controladores associados a Microrredes

- **Controladores de fontes e de Carga** (*MC: Microsource Controller; LC: Load Controller*):
  - Controlam as microfuentes e as cargas controláveis (individualmente ou agrupadas) existentes na microrrede;
  - São responsáveis pela interligação com o nível hierárquico superior, quando necessário.
- **Controlador principal da  $\mu R$**  (*MGCC: MicroGrid Central Controller*):
  - Monitora os fluxos de potência na  $\mu R$ ;
  - Realiza o gerenciamento técnico-econômico do nível hierárquico superior, incluindo a otimização da operação;
  - Quando necessário, faz a interligação com o nível superior (DMS).
- **Sistema de gerenciamento da distribuição** (*DMS: Distribution Management System*):
  - Nível mais alto do controle hierárquico, comanda mais do que uma  $\mu R$ ;
  - Gerencia as trocas de informações entre os diversos MGCCs;
  - Gerencia a possibilidade de uma particular  $\mu R$  operar isoladamente.

# Ilustração de uma microrrede típica



# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;



# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;
- Dificuldades técnicas para controlar conexões *plug-and-play* de um grande número de microfuentes;

# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;
- Dificuldades técnicas para controlar conexões *plug-and-play* de um grande número de microfuentes;
- Necessidade de se estabelecer padrões operativos e marcos legais;

# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;
- Dificuldades técnicas para controlar conexões *plug-and-play* de um grande número de microfones;
- Necessidade de se estabelecer padrões operativos e marcos legais;
- Desafios para o controle e estabilidade dinâmica de  $\mu R$ :

# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;
- Dificuldades técnicas para controlar conexões *plug-and-play* de um grande número de microfones;
- Necessidade de se estabelecer padrões operativos e marcos legais;
- Desafios para o controle e estabilidade dinâmica de  $\mu R$ :
  - A despeito da baixa dimensão, uma  $\mu R$  apresenta muitas das complexidades de um sistema convencional de grande porte;

# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;
- Dificuldades técnicas para controlar conexões *plug-and-play* de um grande número de microfones;
- Necessidade de se estabelecer padrões operativos e marcos legais;
- Desafios para o controle e estabilidade dinâmica de  $\mu R$ :
  - A despeito da baixa dimensão, uma  $\mu R$  apresenta muitas das complexidades de um sistema convencional de grande porte;
  - Diferentemente dos sistemas convencionais onde a grande inércia favorece a operação estável,  $\mu R$ s com microfones renováveis apresentam pequena ou quase nenhuma inércia;

# Desafios para a operação e o desenvolvimento de Microrredes

- Natureza intermitente e dependente de situações climáticas das energias primárias renováveis;
- Dificuldades técnicas para controlar conexões *plug-and-play* de um grande número de microfones;
- Necessidade de se estabelecer padrões operativos e marcos legais;
- Desafios para o controle e estabilidade dinâmica de  $\mu R$ :
  - A despeito da baixa dimensão, uma  $\mu R$  apresenta muitas das complexidades de um sistema convencional de grande porte;
  - Diferentemente dos sistemas convencionais onde a grande inércia favorece a operação estável,  $\mu Rs$  com microfones renováveis apresentam **pequena ou quase nenhuma inércia**;
  - Métodos para controle e análise da estabilidade, ainda em desenvolvimento, têm que ser adaptados à **grande variedade de tecnologias de geração e armazenamento** disponíveis para  $\mu Rs$ .