Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – NTESH

Novas Tecnologias Energéticas e Sistemas Híbridos

Gestão de Sistemas Híbridos:

» Sistemas Avançados de Controlo

» MicroRedes

J. A. Peças Lopes

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

2005/2006

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – NTESH

Introdução

- **Soluções conceptuais:**
  - Redes isoladas:
    - **Ilhas eléctricas**
    - **Geração convencional e geração renovável.**
  - Microredes (BT)
    - **Operadas quer em rede interligada quer em rede isolada**
    - **Microgeradores:**
      - PV
      - FuelCells
      - Microturbinas
      - Microaerogeradores
      - MicroCHP

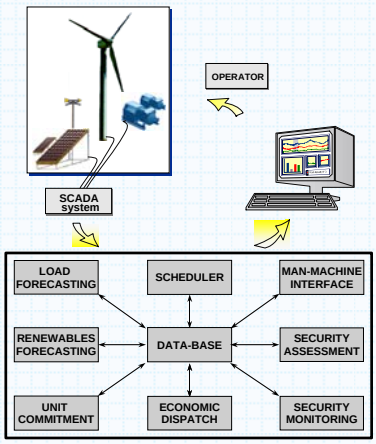
2005/2006

Introdução

- **Os sistemas híbridos isolados requerem para o funcionamento soluções de gestão e controlo, envolvendo:**
  - Previsão de cargas;
  - Previsão da produção renovável (intermitente);
  - Escala de serviço dos grupos produtores, considerando restrições de operacionalidade e segurança;
  - Despacho económico com restrições de operacionalidade e segurança;
  - Gestão de reservas;
  - Monitorização da segurança dinâmica;
  - Definição de estratégias de deslastre de cargas;
  - Requisitos para protecções especiais.

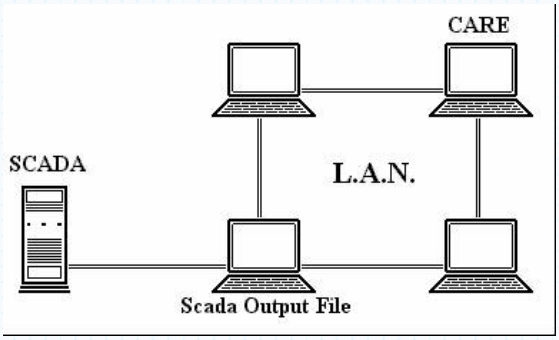
Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **O Sistema CARE / MORECARE**



Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

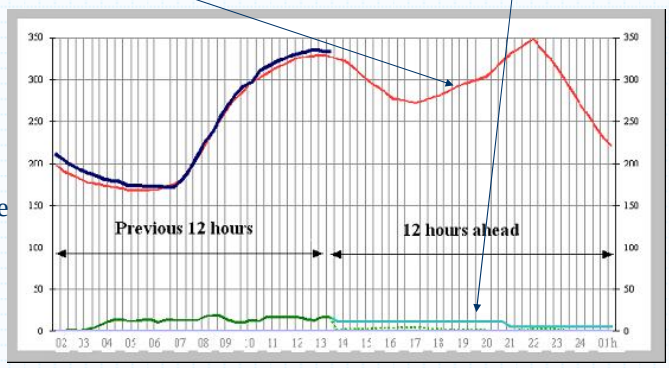
- **Arquitectura de hardware de gestão e controlo**



Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **Previsão de Cargas e Previsão de Produção Renovável**

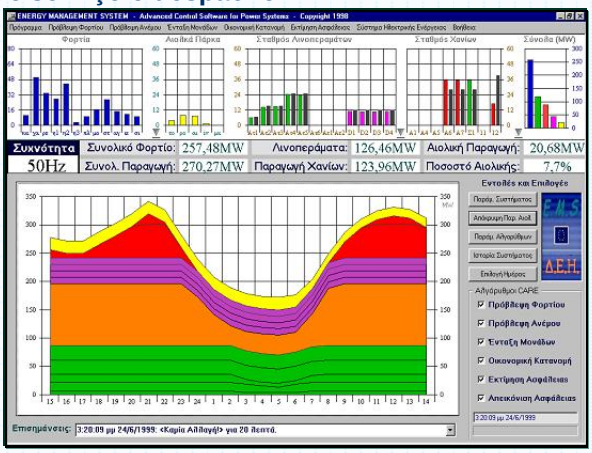
Janela Deslizante



Previsões até 48 h, dependendo da complexidade do sistema

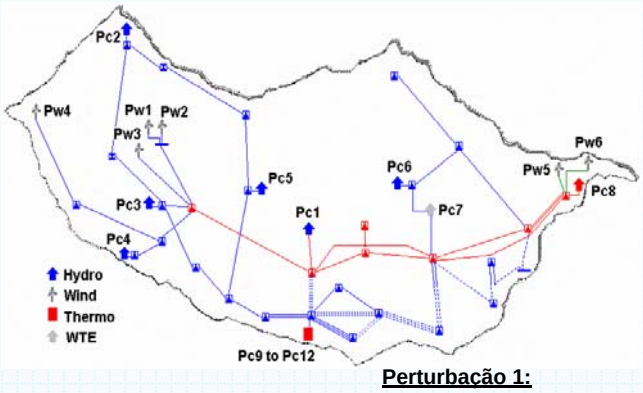
Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **Escala de serviço e despacho**



Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **Exemplo de um sistema isolado**



Perturbação 1:

Curto-circuito, do lado W da ilha + saída de serviço de geração (Pc2 .. Pc4, Pw1 .. Pw4)

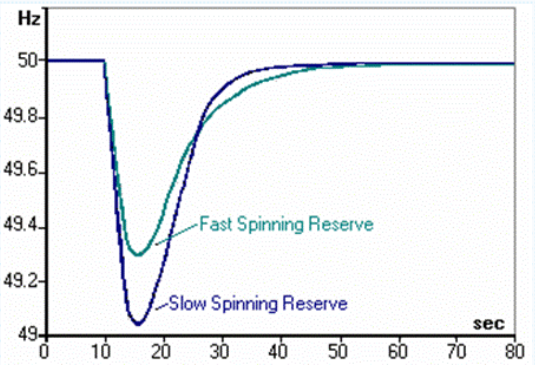
Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **O comportamento dinâmico**
  - O controlo de frequência é normalmente assegurado por geradores síncronos;
  - Elevadas penetrações de produções de electricidade sem capacidade de participação no controlo de frequência exigem:
    - **Monitorização da segurança;**
    - **Limitação da integração de produção sem capacidade de participar no controlo de frequência (Ex: eólica, PV, etc)**

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – NTESH

Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

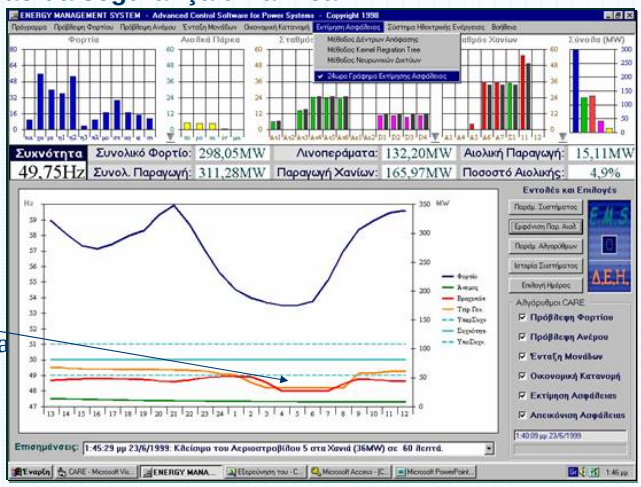
- **Comportamento expectável da frequência após perturbação**



2005/2006

Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **Avaliação da segurança dinâmica**



Desvio máx de frequência

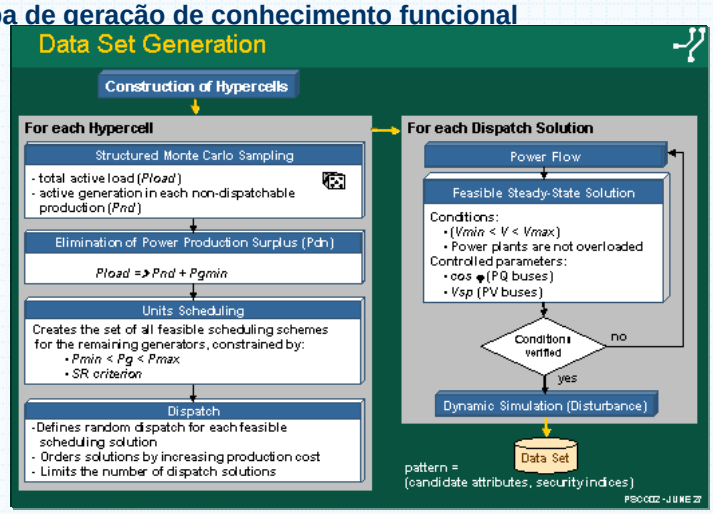
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – NTESH

Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

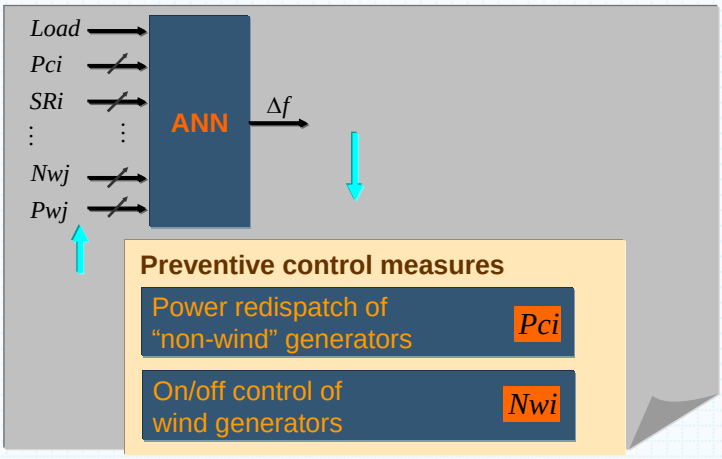
- **A avaliação da segurança dinâmica necessita de ser efectuada de forma rápida:**
  - Técnicas de aprendizagem automática:
    - **Redes neuronais;**
    - **Árvores de decisão;**
    - **Árvores de Regressão**
      - Etapas:
        - » Geração de dados
        - » Tratamento de dados
        - » Projecto da estrutura de avaliação de segurança
  - Substituição da resolução numérica do modelo de estado do sistema.

Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

- **Etapa de geração de conhecimento funcional**

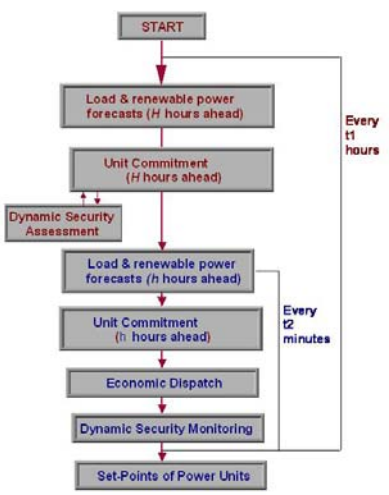


Sistemas de Gestão de Redes Isoladas



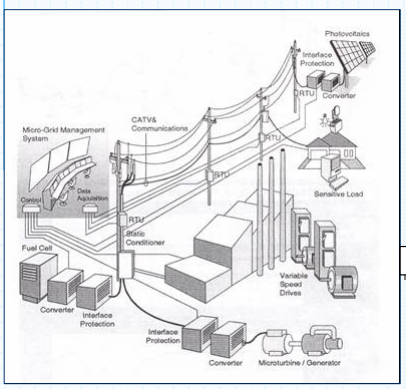
Sistemas de Gestão de Redes Isoladas

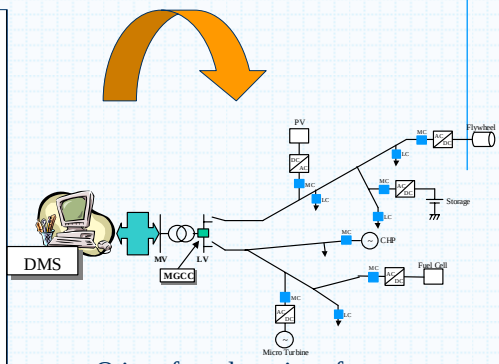
- **Filosofia de gestão global do MORECARE**



MicroRedes (Microgrids)

- **Um novo conceito**





O interface das micro-fontes com a rede é feito através de inversores. Não há inércias!!

Benefícios da económicos da Microgeração

Numa perspectiva de « preço »

~ 2 - 5 c€/kWh — Central Generation

~3 – 6 c€/kWh — Transmission

HV Distribution

~ 3 - 9 c€/kWh — MV Distribution

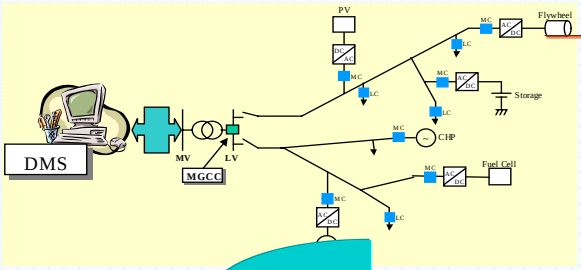
Produção Distribuída

~10 - 15 c€/kWh — LV Distribution

Microgeração

MicroRedes (Microgrids)

- **Conceito e arquitectura de micro-rede**

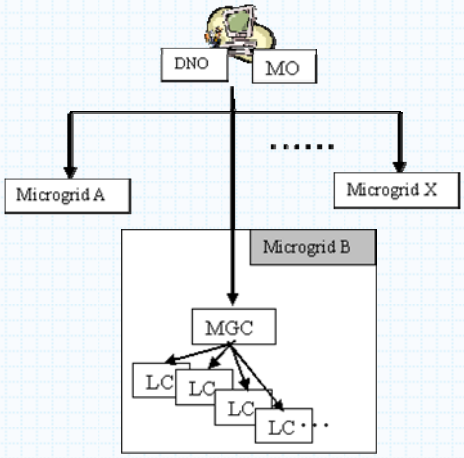


- Gestão e controlo;
- Protecções;
- Comunicações.

- **20% de penetração de µG -> redução de perdas de pelo menos 220 GWh.**
- **Emissões de CO2 anualmente evitadas de cerca de 80 kT.**

MicroRedes (Microgrids)

- **Arquitectura de controlo de MicroRedes**

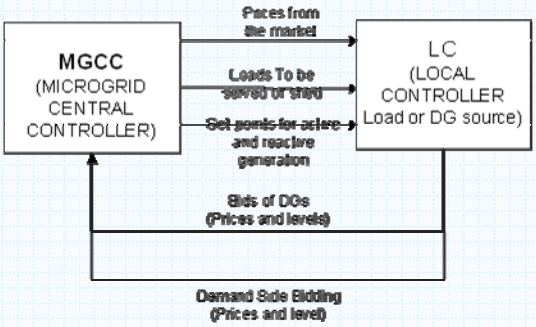


Comunicação através de:
- PLC
- wireless

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – NTESH

MicroRedes (Microgrids)

- **Fluxo de informação na Microrede**



2005/2006

MicroRedes (Microgrids)

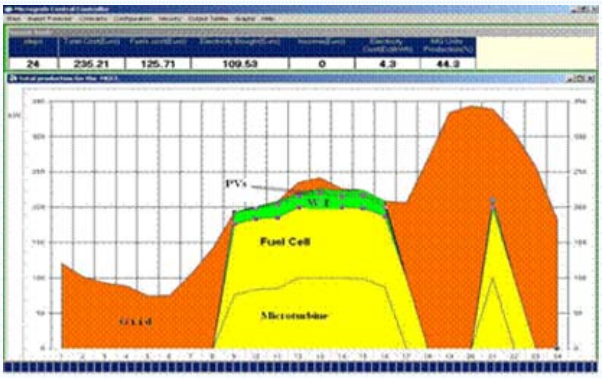
- **Funções de controlo na Microrede**
  - MGCC:
    - **Optimiza a operação da Microrede considerando:**
      - Ofertas das micro-fontes e cargas
      - Preços de mercado
      - Restrições de segurança da rede
      - Previsões de consumo e produção local
    - **Utilizando as rotinas de optimização, o MGCC envia aos LCs:**
      - Set-points para a produção
      - Set-points para cargas e deslastre de cargas
  - LCs
    - **Controlam localmente a produção e modos de operação, nível de armazenamento, gestão das cargas e enviam ofertas ao MGCC.**

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – NTESH

MicroRedes (Microgrids)

- **Monitorização das condições de operação da Microrede**
- **Definição da estratégia de alimentação da Microrede**

MGCC



2005/2006

MicroRedes (Microgrids)

- **Funcionamento em rede isolada (situação de emergência):**
  - Intencional ou forçada (por acções de manutenção na MT)
    - **Seguimento da carga (Load following)**
  - Reposição de serviço (Black start)

- **Reduzir tempos de interrupção, conferir autonomia à microrede.**

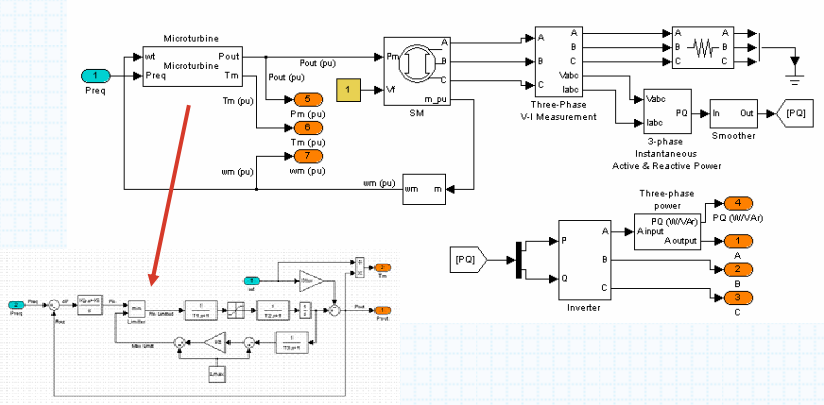
- **Problemas:**
  - A microrede não tem, em geral, máquinas síncronas
  - Dificuldade do controlo de frequência

MicroRedes (Microgrids)

- **Estudos de avaliação da possibilidade de funcionamento em rede isolada exigem:**
  - Definir estratégias de operação para controlo de frequência
  - Modelizar inversores e seus sistemas de controlo
  - Modelizar os microgeradores
  - Modelizar os dispositivos de armazenamento de energia

MicroRedes (Microgrids)

- **Exemplo: Modelo de uma Microturbina**

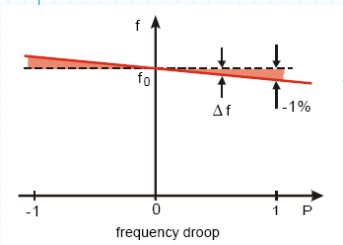


MicroRedes (Microgrids)

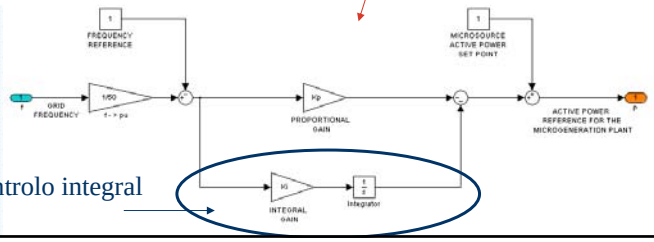
- **Estratégias de controlo das microfontes (inversor):**
  - Controlo PQ
    - **O inversor e a fonte são controlados de forma a assegurar a entrega de um valor de P e Q (definido por set point enviado pelo MGCC). Não existe resposta autónoma a variações de frequência, mas pode responder a um controlo secundário.**
  - Voltage Source Inverter (VSI) control – Controlo proporcional (estatismo) sobre tensão e frequência
    - **Exige um dispositivo de armazenamento no link DC.**
    - **O VSI responde ao controlo primário e secundário de frequência**

MicroRedes (Microgrids)

- **Controlo potência / frequência**

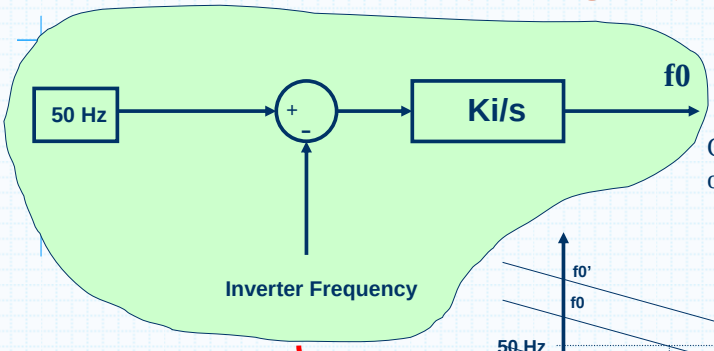


Proportional component

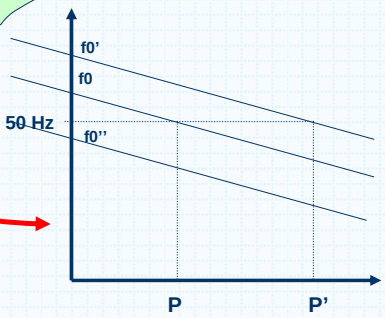


Componente de controlo integral

MicroRedes (Microgrids)



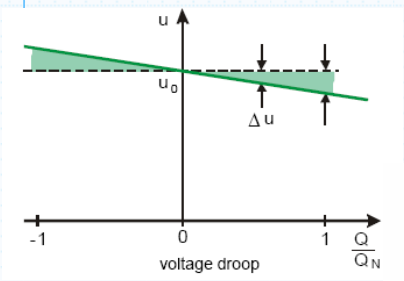
Controlo secundário, ou integral

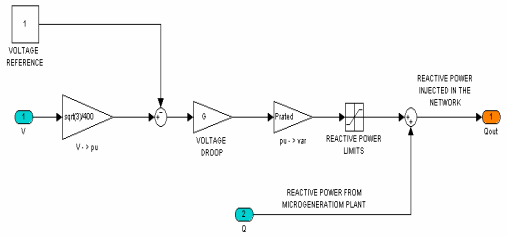


Ajustar a potência de saída mudando a idle frequency f0, f0',…

MicroRedes (Microgrids)

- **Controlo de tensão proporcional, mudando a potência reactiva produzida**



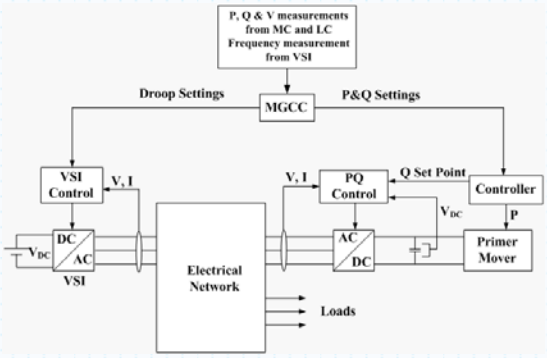


MicroRedes (Microgrids)

- **Modos de controlo para operação em rede isolada**
  - É necessário um dispositivo com capacidade para equilibrar carga / geração nos momentos subsequentes a transitórios de forma a manter a tensão e frequência na rede.
  - Combinando os modos de controlo dos inversores, são possíveis duas estratégias:
    - **Operação em Single Master**
    - **Operação em Multi Master**

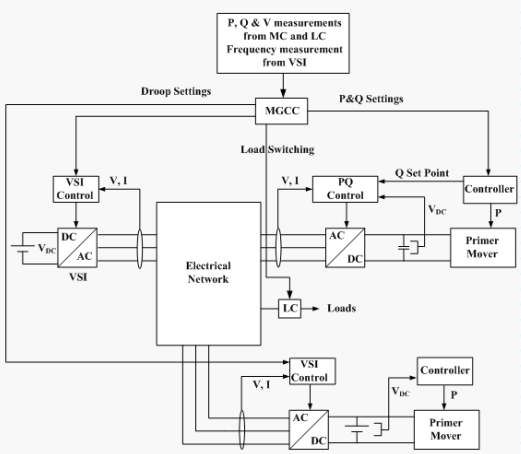
MicroRedes (Microgrids)

- **Operação em Single Master:**



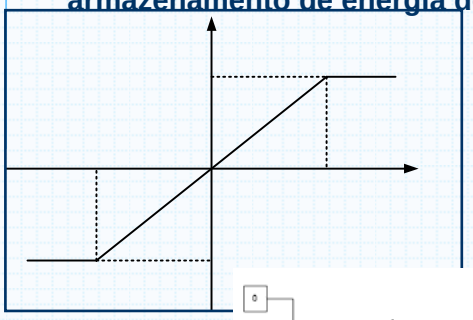
MicroRedes (Microgrids)

- **Operação Multi Master:**

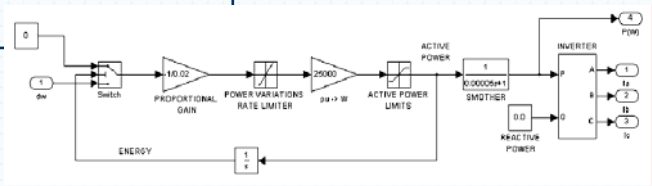


MicroRedes (Microgrids)

- **A potência de saída de um dispositivo de armazenamento de energia deve ser proporc. a Δf.**



Corrige desvios de frequência permanentes durante funcionamento em rede isolada



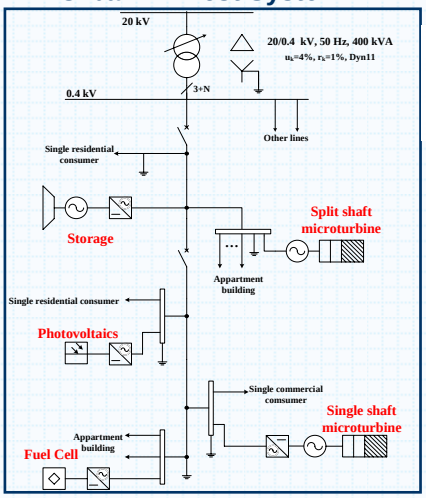
MicroRedes (Microgrids)

- **Sobre-intensidades nos Inversores:**
  - Sobrecargas transitórias
    - **Ligação de grande volume de cargas.**
    - **Desiquilibrio elevado entre carga e geração na sequência da passagem a rede isolada.**
  - Curto-circuitos
  - Os dispositivos de electrónica de potência dos inversores têm uma reduzida capacidade de sobrecarga, requerendo uma selecção criteriosa.

Δf_{max} $\Delta f=$

Microredes – Testes de Operação

- **Urban LV Test System**



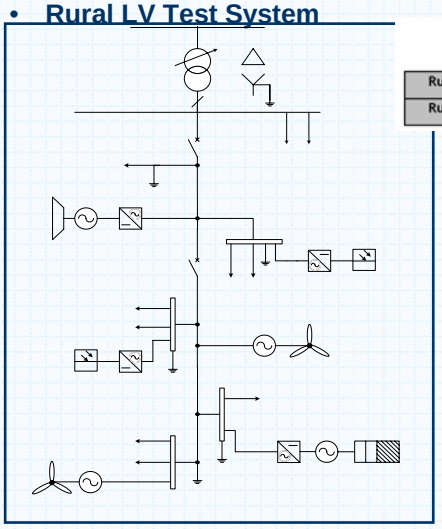
	Total Load		Total Distributed Generation	
	P (kW)	Q (kvar)	P (kW)	Q (kvar)
Urban_1	66.5	23.8	36.8	21.5
Urban_2	69.5	25.5	89.3	25.0

Perturbação:

Rede na rede de MT seguida do isolamento da microrede e "load following"

Microredes – Testes de Operação

- **Rural LV Test System**

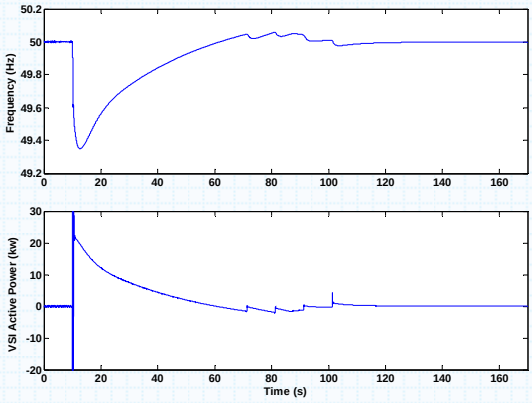


	Total Load		Total Distributed Generation	
	P (kW)	Q (kvar)	P (kW)	Q (kvar)
Rural_1	51.3	18.3	35.0	18.1
Rural_2	66.5	21.6	28.1	19.9

Perturbação:
Rede na rede de MT seguida do isolamento da microrede e "load following"

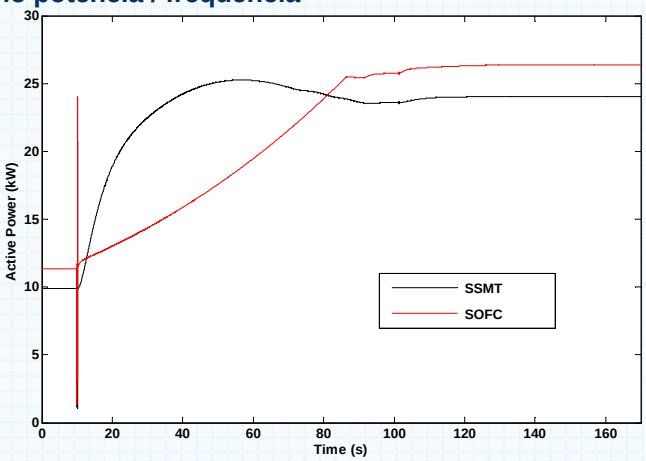
Microredes – Testes de Operação – Rede Urbana

- **A MG está a importar 29.7+j2.3 kVA (40% da carga) da rede de MT**
- **Curto-circuito na rede de MT em t = 10 s seguido de isolamento em 100 ms**
  - Frequência da MG e potência activa do VSI



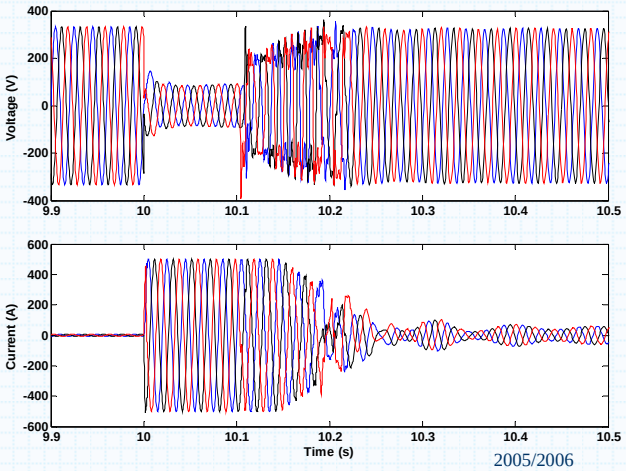
Microredes – Testes de Operação – Rede Urbana

- **Potência activa em duas microfontes seleccionadas para controlo potência / frequência**



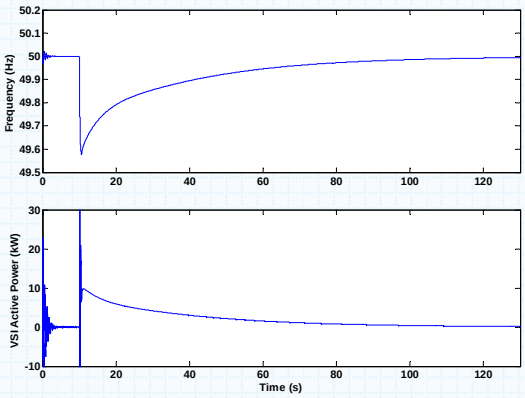
Microredes – Testes de Operação – Rede Urbana

- Detalhes da tensão e corrente aos terminais do VSI durante e após defeito



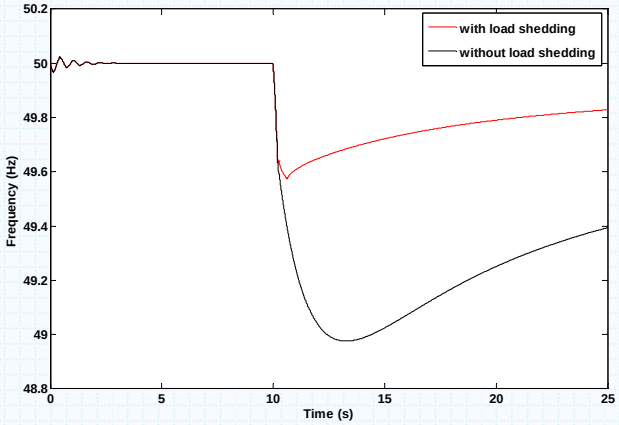
Microredes – Testes de Operação – Rede Rural

- **A microrede está a importar da rede MT 38.4+j1.7 kVA (55% da carga)**
- **Curto-circuito na rede de MT em t = 10 s seguido de isolamento em 100 ms**
  - Frequência da MG e potência activa do VSI



Microredes – Testes de Operação – Rede Rural

- **Impacto do deslastre de cargas**



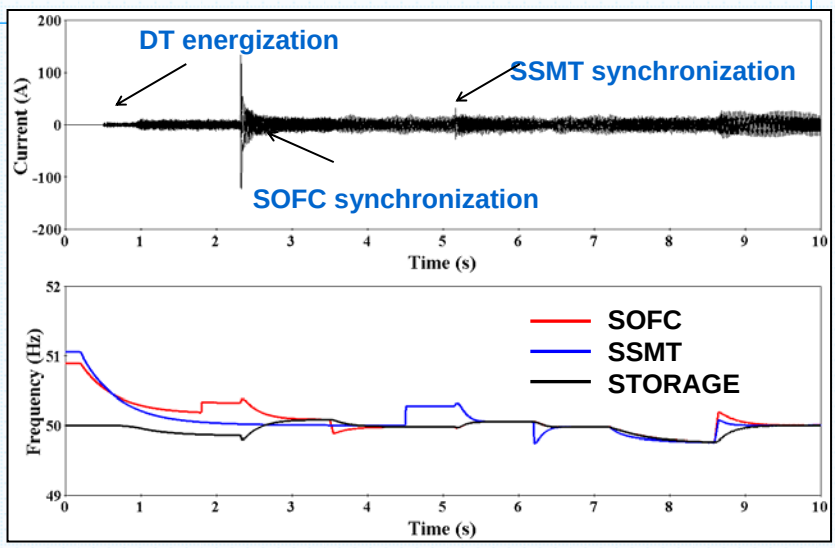
MicroGrid Black Start

- **Microfontes com capacidade de arranque autónomo:**
  - Arrancar autonomamente com a geração
  - Alimentar cargas locais e controladores
- **A microrede tem capacidade de:**
  - Comunicação bidirecional entre MGCC e LC
  - Desligação das cargas após o colapso local da rede
  - Armazenamento de informação sobre o status de geração e consumo
  - Separação da rede BT da rede MT
  - Assegurar a criação de neutro na rede MT (transformador MT/BT desligado).

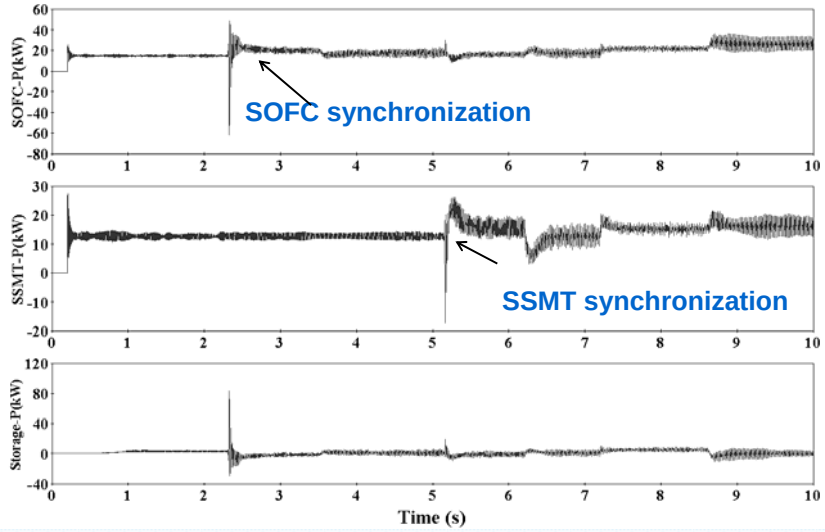
MicroGrids Black Start

- **Black Start é uma sequência de eventos estudada antecipadamente e embebida no software do MGCC**
- **Os problemas / sequência são os seguintes:**
  - Construir a rede de BT
  - Ligar os microgeradores
  - Controlar a tensão
  - Controlar a frequência
  - Ligar cargas controláveis
  - Mudanças nos modos / estratégia de controlo
  - Sincronização com a rede MT

MicroGrid Black Start

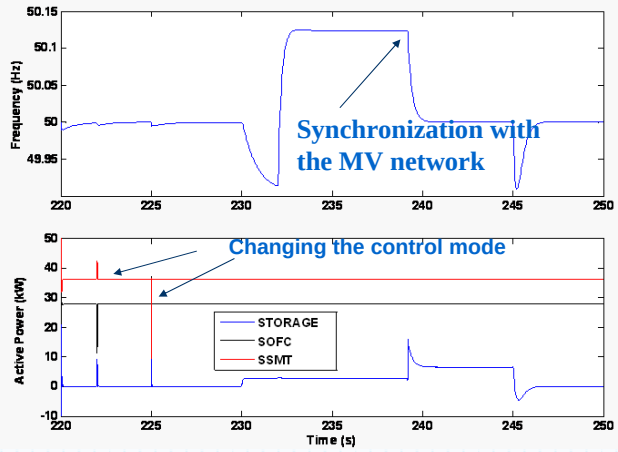


MicroGrid Black Start



MicroGrid Black Start

- **Sincronização com a rede MT**



Conclusões

- **Os sistemas híbridos exigem a presença de dispositivos com adequada capacidade de armazenamento de energia e ou deslastre de cargas**
- **A integração de fontes intermitentes exige a utilização de sistemas de controlo avançados para a gestão económica e técnica do sistema global**
- **A microgeração e o conceito de Microrede constituem novos desafios e oportunidades para o futuro dos sistemas eléctricos de energia.**