

# OPF - Optimal Power Flow

Manuel António Matos

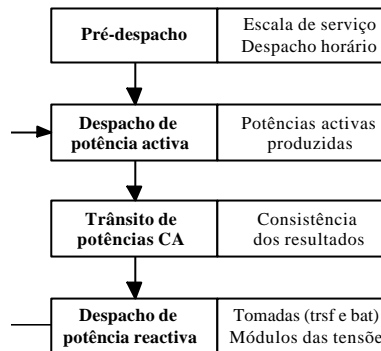
FEUP 1999

## Despacho de reactiva

---

- > **Decisões:**
  - fixação de valores de tensão especificada ou de potência reactiva (PV)
  - posição das tomadas de transformadores (ou tensão especificada)
  - posição das tomadas das baterias de condensadores e reactâncias
  
- > **Critério de optimização:** *geralmente* minimização das perdas.
  
- > **Restrições**
  - despacho de potência activa
  - restrições físicas e técnicas
  - limites de tensão nos barramentos PQ
  - limites das variáveis controladas
  
- > **Dificuldades**
  - variáveis discretas (tomadas)

# Coordenação activa-reactiva



# OPF - versão básica

## > Versão mínima (cálculo exacto das perdas)

- Despacho de potência activa
- Trânsito de potências



## > Métodos

- Iteração **I** (método analítico) + trânsito de potências CA
- Método de gradiente (problema global)

## > Inclusão de limites

- Restrições de máxima intensidade das linhas (ou máxima potência)
- Limites das tensões nos barramentos PQ

## > Métodos

- Método de gradiente com penalizações
- Programação linear (linearização das inequações) + trânsito de potências CA

## Alguns resultados

### Caso Base

P1	107.9	V1	1.05
P2	50.0	V2	1.0499
P3	60.0	V3	1.0429

---

Custo	3.189
Perdas	7.87

### só despacho de p. activa

P1	86.9	V1	1.05
P2	59.3	V2	1.05
P3	71.0	V3	1.0458

---

Custo	3.158
Perdas	7.14

### Despacho sucessivo

P1	86.3	V1	1.05
P2	59.3	V2	1.0429
P3	71.0	V3	1.0499

---

Custo	3.150
Perdas	6.54

### só despacho de reactiva

P1	107.1	V1	1.05
P2	50.0	V2	1.0429
P3	60.0	V3	1.0499

---

Custo	3.180
Perdas	7.1

### Despacho conjunto

P1	52.0	V1	1.05
P2	87.5	V2	1.0429
P3	77.0	V3	1.0499

---

Custo	3.125
Perdas	6.41

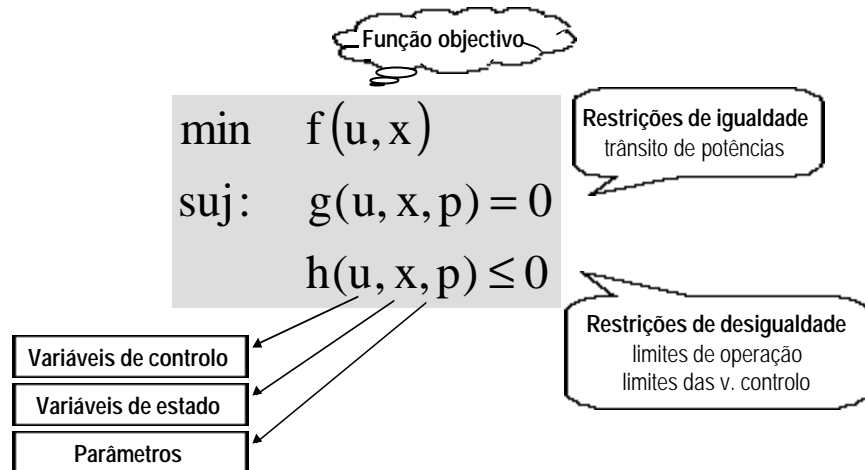
### NOTA

São respeitados limites de produção de reactiva, limites das linhas e limites nas tensões (PQ)

## OPF - desenvolvimento

- > **Optimização global de potência activa e reactiva, incluindo as equações do trânsito de potências e verificação de limites**
- > **Inclusão de restrições de segurança**
  - Simulação da saída forçada de um elemento do sistema (linha ou gerador)
    - segurança n-1
  - Seleção de contingências
    - limitação da complexidade dos estudos
  - **Em cada contingência:** possibilidade de colocar o sistema num estado que respeite todas as restrições operacionais
    - número limitado de acções de controlo realizadas num curto intervalo de tempo
- > **OPF com restrições de segurança**
  - Custos mais elevados
  - Maior segurança

# OPF - formulação matemática



# OPF - variáveis de controlo

<i>Elemento do sistema</i>	<i>Variável</i>	<i>Acção</i>
Geradores	Pot. activa produzida	P
	Pot. reactiva produzida (ou tensão)	Q
Transformadores	Posição da tomada	Q
Transf. esfasadores	Posição do módulo da tomada	Q
	Posição do argumento da tomada	P
Compensadores síncronos	Potência reactiva produzida	Q
Baterias de condensadores	Posição da tomada	Q
Shunts indutivos	Posição da tomada	Q
Interligações	Potência activa	P

Há efeitos cruzados!

> Conjuntos de variáveis = n° contingências simuladas + 1

## OPF - restrições

---

- > **Restrições de igualdade**
  - Equações do trânsito de potências
  
- > **Restrições de desigualdade**
  - Limites máximos e mínimos de todas as variáveis de controlo
  - Limites máximos e mínimos do módulo da tensão nos barramentos PQ
  - Correntes máximas admissíveis nas linhas e transformadores
  - Limites máximos da potência aparente produzida nos geradores
  - Limites no esfasamento das tensões (linhas com problemas de estabilidade)
  - Reserva girante mínima
  - Janelas de operação
  
- > **Verificação das restrições**
  - Estado normal
  - Estados pós-contingência (depois das acções de controlo correctivo)  
para todas as contingências consideradas

## OPF - funções objectivo

---

Grande diversidade de versões na literatura e nas implementações disponíveis nos fornecedores de EMS

- > **Funções objectivo mais geralmente consideradas:**
  - Minimização das perdas activas
  - Minimização dos custos de produção
  - Minimização do número de acções de controlo a tomar no caso de contingência
  - Minimização da carga cortada (quando o deslastre se torna indispensável)
  - Minimização das emissões poluentes (impacto ambiental)
  
- > **O operador pode decidir qual a função a usar**
  
- > **Podem ser usadas combinações de funções**
  - Problema multiobjectivo!

# OPF - métodos

---

- > Método de Dommel-Tinney (gradiente) e derivados
- > Métodos baseados em programação quadrática
  - Linearização de desigualdades, função objectivo quadrática (perdas)
- > Método de Newton
  - Incluindo variantes com desacoplamento
- > Métodos baseados em programação linear (Simplex)
  - Minimização do custo de produção
- > Meta-heurísticas e algoritmos genéticos
- > Métodos de ponto interior

# Utilização

---

- > Off-Line
  - Planeamento da exploração
  - Simulação do efeito da instalação de baterias de condensadores
  - Análises económicas
- > On-Line
  - Despacho óptimo com minimização de perdas respeitando todas as restrições
  - Ênfase na correcção das violações operacionais
  - Limitação no número de acções de controlo a efectuar
- > Desafios
  - Rapidez (on-line)
  - Robustez
  - Flexibilidade
  - Compatibilidade com outras funções EMS