

# Capacidade de trocas entre duas áreas: Aplicação à rede Ibérica

P. Carola<sup>1</sup> B. Madeira<sup>1</sup>, F. S. Reis<sup>1</sup>, M. Pinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rede Eléctrica Nacional - REN

Divisão de Planeamento de Rede

Rua Cidade de Goa, 4 2685-039 Sacavém, email: pedro.carola@ren.pt, bruno.madeira@ren.pt,

francisco.reis@ren.pt, medeiros.pinto@ren.pt

**Resumo.** A criação do Mercado Ibérico de Energia Eléctrica (MIBEL), estimula o crescimento de transacções de energia entre produtores e consumidores de Portugal e Espanha. Neste contexto as redes de transporte de energia eléctrica (REN/REE) têm um papel crucial para assegurar as capacidades de interligação adequadas para o funcionamento do MIBEL. A REN, SA tem vindo a introduzir novas funcionalidades no programa de simulação denominado Zanzibar, por forma, a adaptá-lo às novas características do mercado, das quais se destaca o cálculo da capacidade de trocas entre duas áreas.

Realiza-se neste artigo a descrição do modelo de cálculo da capacidade de trocas entre duas áreas e efectua-se a sua aplicação à rede ibérica, da qual são ilustrados resultados do cálculo da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha, considerando os seguintes factores.

- Regime de contingências (N, N-1, N-2).
- Influência de reforços de rede previstos.
- Existência de contratos bilaterais físicos
- Sensibilidade ao grau de penetração de produção Eólica
- Sensibilidade a mudanças na ordem de mérito das centrais, por variação do custo de combustíveis.

## Palavras-Chave

Capacidade de trocas, Sorteio de Monte-Carlo, Gestão de sistemas de energia eléctrica, Rede Ibérica.

## 1. Introdução

Com a recente liberalização do sector energético e consequente criação do MIBEL, é previsível um aumento das trocas de energia eléctrica entre países fronteiriços. Uma correcta gestão das interligações é muito importante para o funcionamento do mesmo.

Neste sentido os operadores dos dois sistemas desenvolveram esforços comuns que culminaram com um estudo [1] que teve como principal objectivo a coordenação dos planeamentos e dos programas de desenvolvimento das redes de transporte dos sistemas eléctricos espanhol e português com especial ênfase no que concerne ao reforço das suas redes com vista ao aumento gradual da capacidade técnica de trocas internacionais (ATC) [2]. Os resultados obtidos tiveram por base uma metodologia de cálculo de natureza determinística.

No entanto, a crescente incerteza das variáveis inerentes ao desenvolvimento da rede, tem evidenciado a necessidade de recorrer a ferramentas probabilísticas. Como tal, a REN,SA tem vindo a desenvolver em colaboração com a Universidade Nova de Lisboa uma ferramenta de simulação cronológica e probabilística da operação da rede MAT denominada Zanzibar [3]. Na recente introdução de novas funcionalidades ao programa, foi incluído um módulo dedicado ao cálculo da capacidade de interligação entre duas áreas. Apresenta-se neste artigo a metodologia utilizada para a realização do referido módulo (componentes de importação ou exportação) aplicado ao caso REN/REE, com base na simulação de centenas de milhares de cenários da rede.

## 2. O programa Zanzibar

As reestruturações sofridas pelo sector eléctrico nos últimos anos, referidos na secção 1, motivaram a REN, em colaboração com a Universidade Nova de Lisboa, a introduzir melhorias no programa Zanzibar [3], por forma torná-lo uma ferramenta de simulação cronológica e probabilística.

O programa Zanzibar simula centenas de milhares de cenários de rede, utilizando o método de Monte-Carlo na geração de cenários. Para a simulação de um ano da operação de uma rede de Geração e transporte de energia eléctrica, o Zanzibar sorteia indisponibilidades de elementos de rede (geradores, ramos e transformadores), assim como a respectiva duração e os regimes hidrológicos para cada período de despacho.

O Zanzibar recorre a técnicas de optimização linear por forma a gerir o parque gerador, numa lógica de despacho económico. De realçar que o programa simula também produção em regime especial, com carácter não controlável: cogeração, hídrica e eólica.

O programa contempla também indisponibilidades programadas a determinar pelo utilizador.

A simulação de centenas de milhares de cenários de rede, de carga e de perfis de geração, permite avaliar não só o comportamento do sistema do ponto de vista global

(LOLP, ENF, perdas) como também dos elementos que o constituem como sejam, trânsitos em vários corredores da RNT e em linhas de interligação, perfis de geração, etc.

### 3. Âmbito das Simulações

Foram realizadas simulações para diferentes tipos de contingências de rede (N, N-1, N-2) para o ano de 2006, tendo sido também analisada a influência de possíveis reforços de rede, num horizonte temporal até ao ano de 2012. Ilustram-se ainda as sensibilidades das distribuições de probabilidade esperadas respeitantes à capacidade de importação/exportação, relativamente ao aumento da produção eólica, à existência de estabelecimento de contratos bilaterais físicos e à alteração de ordem de mérito de centros produtores.

O artigo encontra-se estruturado da seguinte forma:

- Na secção 4 é descrito o funcionamento do programa Zanzibar, assim como o método de cálculo para a determinação da capacidade de trocas entre duas áreas.
- Nas secções 5 e 6 descreve-se a aplicação do programa Zanzibar na determinação da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha e ilustram-se os respectivos resultados.

Os resultados das várias simulações realizadas são apresentados na forma de distribuições de probabilidade esperadas para o valor da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha.

### 4. Capacidade de Trocas entre duas áreas

Para a determinação do valor esperado da capacidade de trocas entre duas áreas houve a necessidade de proceder a uma adaptação do programa Zanzibar para esta nova funcionalidade. O objectivo é a determinação do máximo valor de troca (MW) entre duas áreas (da área  $i$  para a área  $j$ , ou vice-versa) considerando critérios de segurança para regimes de contingência N, N-1 ou N-2 de linhas duplas. O algoritmo de cálculo do valor da capacidade de interligação quer na componente de importação quer na componente de exportação, para cada período de simulação segue os passos indicados na Fig. 1.

No modelo introduzido no programa Zanzibar implementou-se o método onde se determina a capacidade de trocas através da criação de desequilíbrios (incrementos/redução) de geração nas respectivas áreas em análise, até que ocorra a uma sobrecarga num ramo das redes em análise. A metodologia seguida encontra-se de acordo com [2].

O processo de cálculo referido é bastante pesado do ponto de vista computacional. O Zanzibar determina o valor da capacidade de interligação para cada hora do ano, com base na simulação de centenas de milhares de cenários.

Para o cálculo da capacidade de trocas entre Portugal e Espanha para cada hora do ano, o Zanzibar apresenta tempos de simulação, em média, da ordem das três horas. As simulações são realizadas tipicamente em máquinas pentium 2.8 GHz.

Com a simulação de centenas de milhares de cenários em apenas algumas horas, o programa Zanzibar tem-se revelado promissor na comparação de alternativas de expansão da rede, no que concerne à capacidade de interligação.

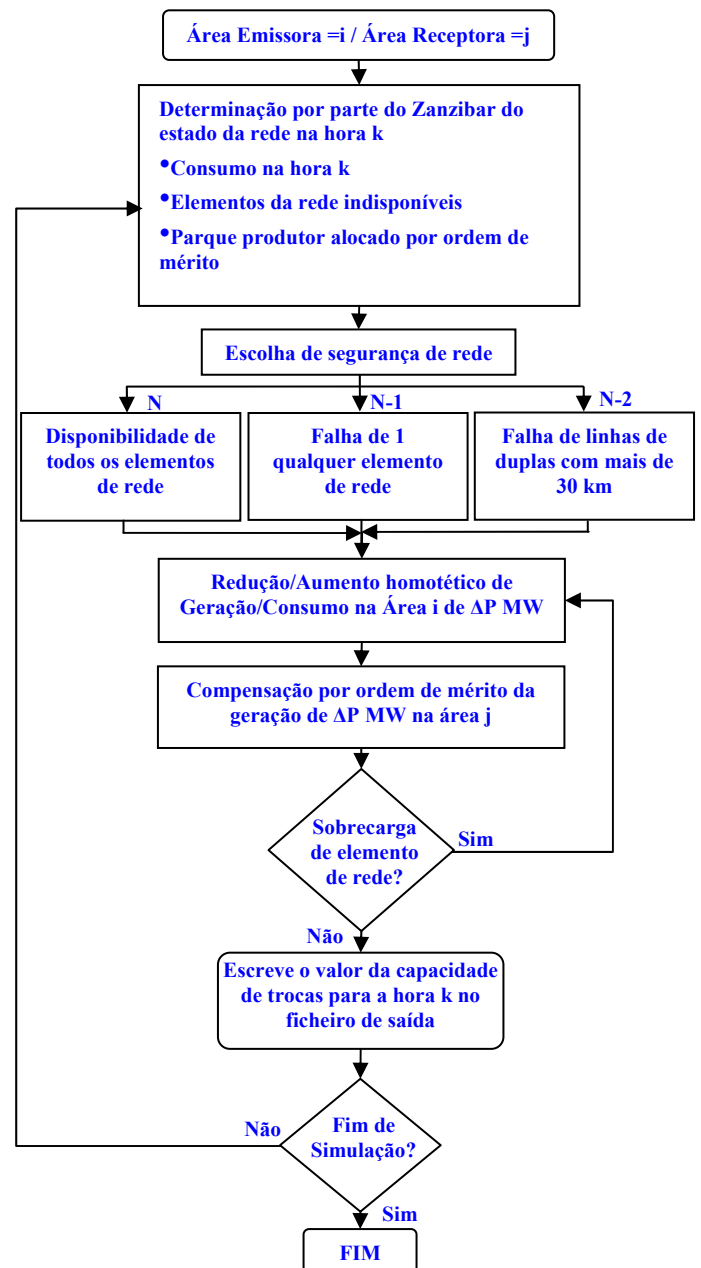


Fig. 1. Método de cálculo da capacidade de trocas implementado no programa Zanzibar

Na Fig. 2 ilustra-se a evolução da capacidade de trocas entre duas áreas (Portugal e Espanha) para um período de quatro dias de simulação. Por análise da mesma verifica-se que a dinâmica da capacidade de trocas é oposta à dinâmica do diagrama de cargas, isto é, valores inferiores da capacidade de trocas correspondem a valores elevados do diagrama de carga e vice-versa. Os valores indicados na figura referida estão normalizados para o período temporal em análise.

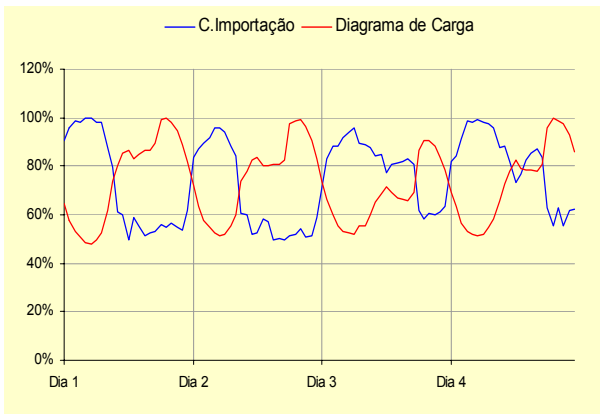


Fig. 2. Evolução da capacidade de trocas e do diagrama de cargas para um período de quatro dias

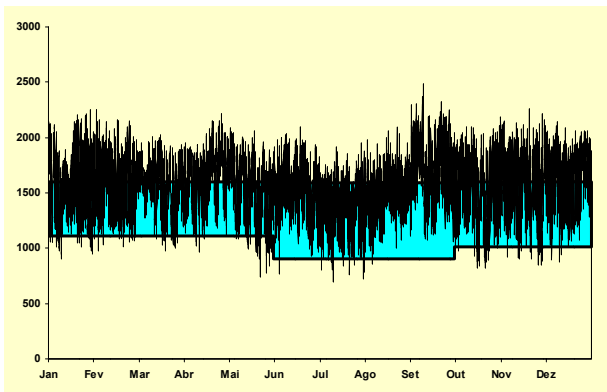


Fig. 3. Evolução cronológica (Zanzibar) e banda de valores determinísticos para a capacidade de trocas entre Portugal e Espanha

Na Fig. 3 ilustra-se a dinâmica da capacidade de interligação (importação) para um ano de simulação entre Portugal e Espanha determinada pelo Zanzibar, comparada com a banda de valores calculados de forma determinística. Por observação da mesma constata-se que os resultados obtidos pelos dois métodos são coerentes no cálculo do valor mínimo da capacidade de trocas. Quanto à determinação do valor máximo verifica-se que o valor calculado através do método determinístico é mais conservador que o obtido com o Zanzibar. Este facto deve-se a que o valor teórico determinístico para a capacidade de importação entre Portugal e Espanha foi, por hipótese e à partida limitado a 1600 MW devido a risco de violações de ângulo de tensão na religação das linhas de interligação das duas áreas. De realçar ainda que o modelo Zanzibar, na medida em que executa os trânsitos de potência em aproximação linear:

1. Não tem em conta o trânsito de potência reactiva. Em condições normais de exploração das redes este factor não é relevante, no entanto para valores de troca elevados podem surgir problemas de colapsos de tensão, que o programa não identifica.
2. Não são tidos em consideração no modelo e nos resultados apresentados problemas decorrentes de ligação entre duas áreas, após uma contingência, em que os barramentos das linhas de interligação se encontram com os ângulos de tensão desfasados de valores elevados. Na prática este problema é corrigido por redespacho coordenado dos parques produtores de cada uma das áreas.

Por observação da Fig. 3 observa-se também a variação do valor da capacidade de trocas nos meses de Verão e Inverno, devido à redução dos “ratings” das linhas e transformadores com o aumento da temperatura, facto que também é visível através do método de cálculo determinístico.

## 5. Aplicação à Rede Ibérica

Por forma, a testar o funcionamento do modelo de cálculo da capacidade de trocas entre duas áreas, implementado no programa Zanzibar, simulou-se a rede ibérica, por forma a determinar a distribuição de probabilidade esperada para o valor da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha.

Dada a complexidade e dimensão da rede de transporte espanhola (REE), assim como a sua influência na rede portuguesa (REN), construiu-se uma rede equivalente de Espanha, que representa fielmente a rede de 400 kV na zona da Galiza, anel de Madrid e Andaluzia. São ainda simuladas as bolsas de 220 kV (equivalenciadas) nas referidas zonas. O esquema equivalente espanhol é constituído por 284 ramos e por 74 barramentos. Na Fig. 4 ilustra-se o esquema equivalente espanhol utilizado para a obtenção dos resultados que são ilustrados neste artigo. Vêm ainda realçadas a localização das linhas de interligação existentes actualmente entre os dois países.

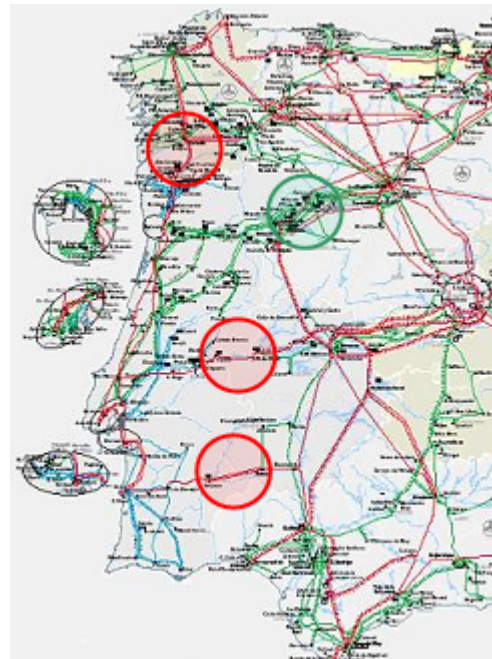


Fig. 4. Rede Ibérica simulada. As linhas de fronteira entre as áreas são assinaladas pelos óculos circulares

## 6. Resultados

Apresentam-se nesta secção os resultados da aplicação do programa Zanzibar ao cálculo da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha. Os valores ilustrados representam a capacidade técnica de importação ou exportação. A capacidade de trocas comercial deverá ser considerada uma redução da capacidade técnica de importação e exportação em dez por cento, com um mínimo de 100 MW.

Effectuaram-se diversas simulações, com o objectivo de estimar o valor da capacidade de interligação e respectiva sensibilidade aos seguintes factores:

- A. Regime de contingências (N,N-1,N-2)
- B. Influência de reforços de rede esperados
- C. Existência de contratos bilaterais físicos
- D. Penetração de produção Eólica
- E. Sensibilidade a mudanças na ordem de mérito das centrais, por variação do custo de combustíveis.

Os resultados apresentados nos pontos seguintes devem ser interpretados de acordo com os sentidos:

- Importação: Espanha →Portugal
- Exportação: Portugal →Espanha

De notar, salvo a indicação do contrário, que os valores apresentados para a capacidade de interligação entre Portugal e Espanha são indicativos para a rede considerada no horizonte de 2006 e apenas para o regime de contingência N-1.

### A. Análise de contingências – N, N-1 e N-2

O nível de segurança exigido na exploração das redes de transporte REN e REE condiciona o máximo valor de troca que é tecnicamente possível transaccionar entre as mesmas. Como tal analisou-se a evolução da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha para diferentes regimes de contingência. Os resultados vêm ilustrados nas figuras 5 e 6.

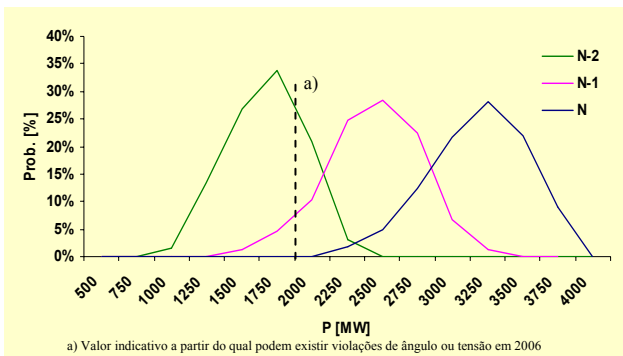


Fig. 5. Capacidade de importação. Distribuição de probabilidade para diferentes regimes de contingência

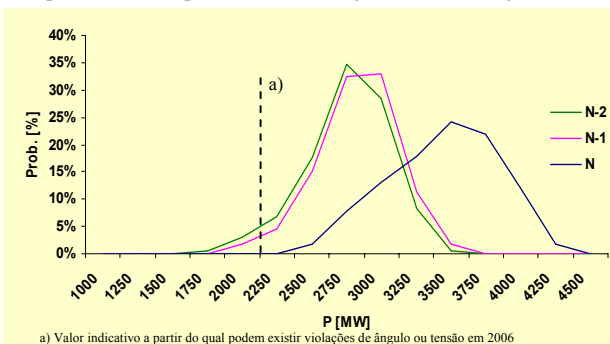


Fig. 6. Capacidade de exportação. Distribuição de probabilidade para diferentes regimes de contingência

Da análise das figuras 5 e 6 pode concluir-se que a capacidade de trocas, quer de importação, quer de exportação, diminui com o aumento da severidade associado ao regime de contingência de rede

estabelecida, isto é, quanto mais restrito for o critério de contingência menor é o valor apurado para a capacidade de trocas.

### B. Sensibilidade da capacidade de trocas a reforços de rede

No sentido de verificar o impacto e a adequação dos reforços de rede planeados de forma coordenada entre a REN e a REE no horizonte temporal 2006-2012 determinou-se a distribuição de probabilidade do valor esperado para a capacidade de importação e exportação técnica para os respectivos anos. Os resultados vêm ilustrados nas figuras 7 e 8.

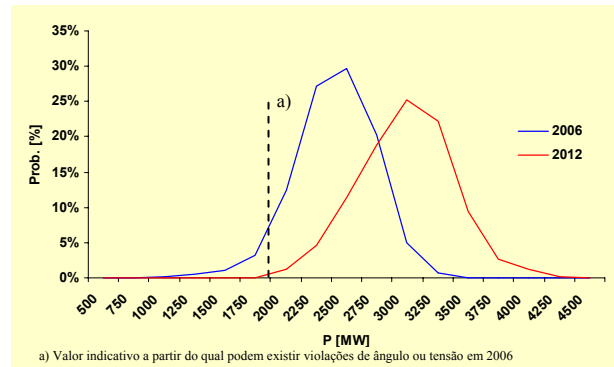


Fig. 7. Capacidade de importação em N-1. Distribuição de probabilidade para os anos de 2006 e 2012

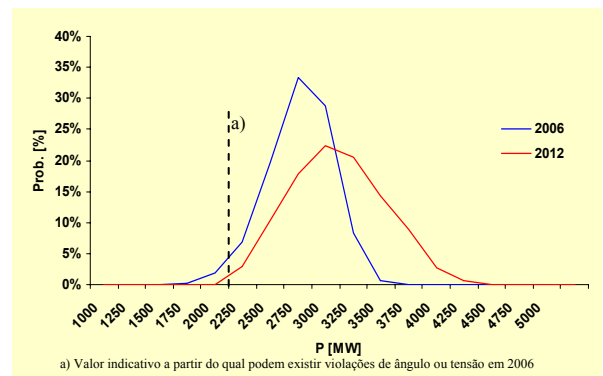


Fig. 8. Capacidade de exportação em N-1. Distribuição de probabilidade para os anos de 2006 e 2012

Os valores apresentados têm em conta as linhas de interligação existentes actualmente na simulação do ano de 2006. Na simulação realizada para o ano de 2012 considerou-se mais uma linha de interligação com Espanha a 400 kV no Algarve, assim como o reforço das linhas de interligação do Douro, que tem sido objecto de estudo conjunto por parte da REN e REE, para o ano de 2012.

Como era de esperar os reforços de rede previstos incrementam o valor esperado, quer da capacidade de importação, quer da capacidade de exportação, o que vai de encontro às necessidades do MIBEL.

### C. Aumento da produção eólica

Na medida em que a energia eólica passará a representar uma parcela muito significativa do parque produtor nacional até ao horizonte de 2010, revelou-se importante analisar o seu impacto na capacidade de interligação

entre Portugal e Espanha. Para isso realizou-se uma simulação com o objectivo de obter a evolução da distribuição de probabilidade da mesma para uma produção eólica anual da ordem dos 10 000 GWh, o que se traduziu num incremento de 59 %, em relação à produção simulada para a rede de 2006. Recorde-se para este efeito que em 2004 a produção eólica em Portugal foi de 699 GWh. Nas figuras 9 e 10 apresentam-se os resultados de forma comparativa com a produção eólica actual.

Os resultados obtidos para a capacidade de interligação entre Portugal e Espanha neste ponto são ilustrados nas figuras 9 e 10.

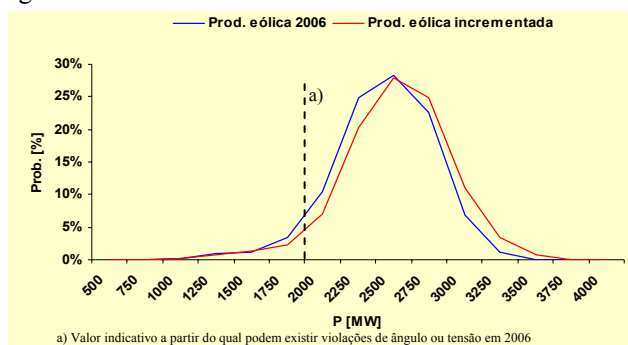


Fig. 9. Distribuição de probabilidade da capacidade de importação em N-1

Por observação das figuras 9 e 10 verifica-se que os valores esperados da capacidade de importação e exportação são sensíveis ao aumento de produção eólica.

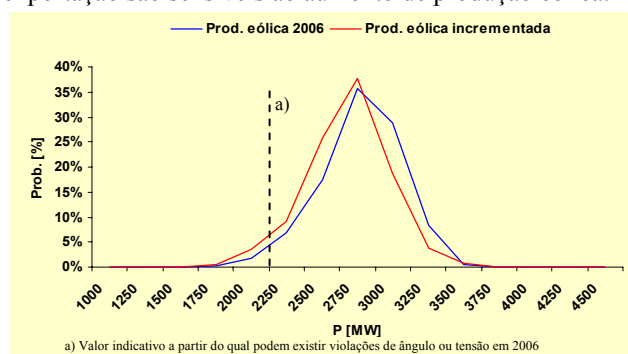


Fig. 10. Distribuição de probabilidade da capacidade de exportação em N-1

Conclui-se desta análise preliminar que para os níveis simulados e respectivas localizações a capacidade de interligação entre Portugal e Espanha não se revela muito sensível à penetração de produção eólica na rede portuguesa.

#### D. Existência de contratos bilaterais físicos (CBF)

A maior ou menor sensibilidade da capacidade de trocas entre Portugal e Espanha no que concerne ao estabelecimento de contratos bilaterais físicos (CBF) foi igualmente simulada. Para o efeito realizaram-se duas simulações:

Caso 1 - Geração contratada ligada no barramento de Valdígem a 220 kV e consumo alocado no ponto injector de Alqueva.



Fig. 11. Localização geográfica da geração e consumo relativos ao CBF simulado

Caso 2 – Inversão da localização da geração contratada com a do consumo, em relação ao caso 1

O objectivo é testar perfis de geração e consumos relacionados contratualmente e localizados perto de linhas de interligação.

Também neste ponto, as simulações são efectuadas considerando regime de contingência N-1, e os respectivos resultados comparados com os resultados do cálculo da capacidade de trocas entre os dois países, sem a existência de CBF.

Os resultados das simulações realizadas para o caso 1 são ilustrados nas figuras 12 e 13.

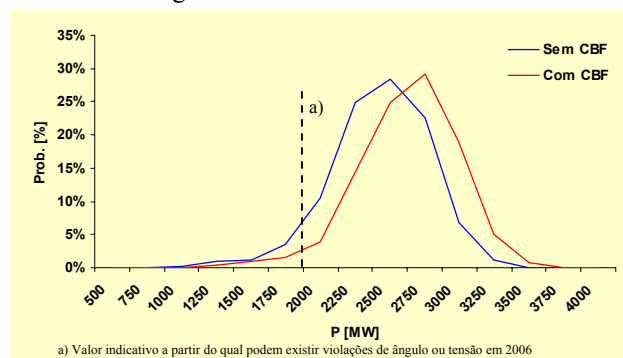


Fig. 12. Sensibilidade do valor esperado da capacidade de importação em N-1 a CBF – Caso 1

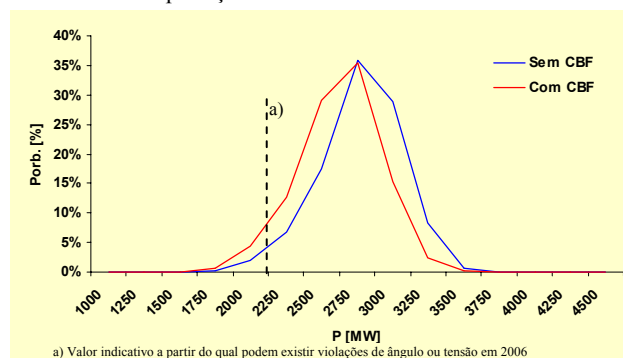


Fig. 13. Sensibilidade do valor esperado da capacidade de exportação em N-1 a CBF – Caso 1

Por observação das figuras verifica-se que a capacidade de importação aumenta com existência do CBF ilustrado na figura 11. Por outro lado a capacidade de exportação diminui.

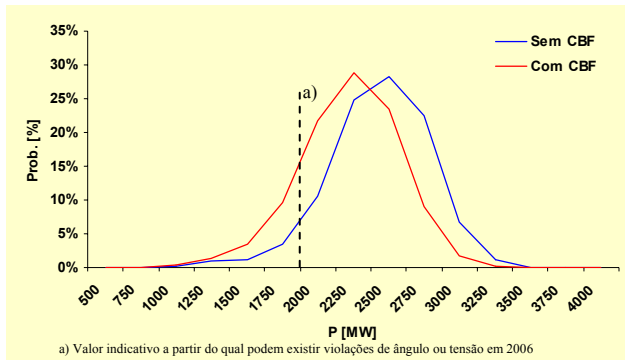


Fig. 14. Sensibilidade do valor esperado da capacidade de importação a CBF em N-1 – Caso 2

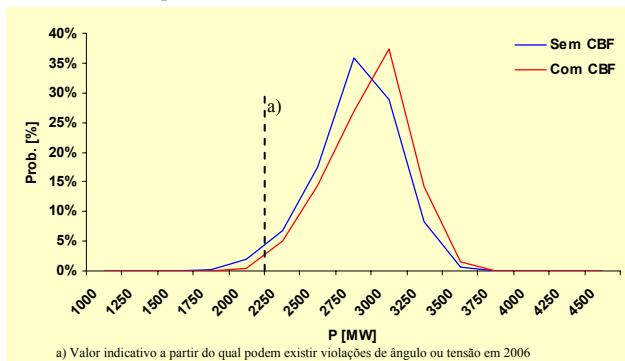


Fig. 15. Sensibilidade do valor esperado da capacidade de exportação a CBF em N-1 – Caso 2

Se a localização do consumo for a indicada para o caso 2, os resultados obtidos para o valor esperado das capacidades de importação e exportação encontram-se ilustrados nas figuras 14 e 15.

### E. Sensibilidade a mudanças na ordem de mérito das centrais, por variação do custo dos combustíveis

Tendo em consideração as recentes alterações das políticas ambientais que se avizinham no sector, no âmbito do protocolo de Quioto estimou-se o valor esperado da capacidade de trocas entre Portugal e Espanha para um cenário em que possa ocorrer uma inversão entre a ordem de mérito das centrais térmicas a carvão e as centrais de ciclo combinado de gás natural.

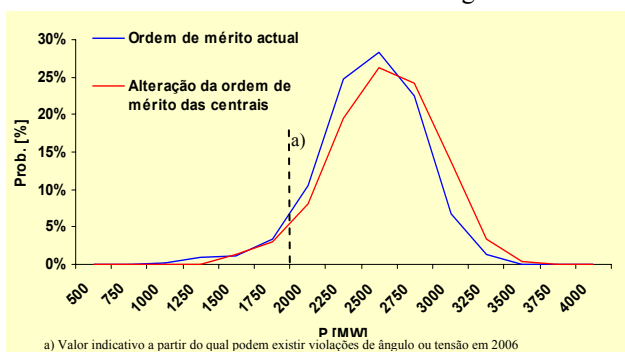


Fig. 16. Capacidade de importação em N-1. Sensibilidade a mudanças na ordem de mérito dos centros produtores

Por análise das figuras 16 e 17 verifica-se que o valor esperado, quer da capacidade de importação, quer da capacidade de exportação é sensível à ordem de mérito das centrais, aumentando a capacidade de importação e diminuindo a capacidade de exportação.

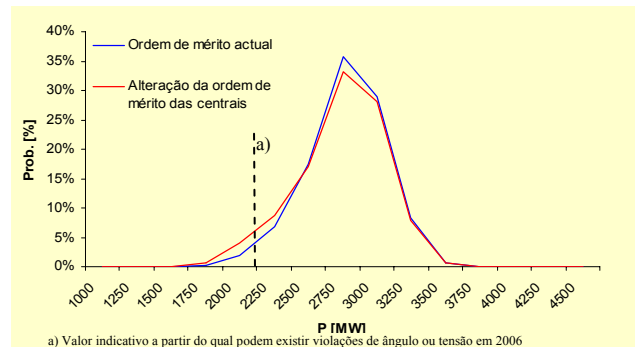


Fig. 17. Capacidade de exportação em N-1. Sensibilidade a mudanças na ordem de mérito dos centros produtores

## 7. Conclusões

Foi apresentado um método para o cálculo da capacidade de trocas entre duas áreas. O programa Zanzibar efectua o respectivo cálculo através da simulação cronológica e probabilística de milhares de cenários de rede.

Para o caso da rede ibérica afiguram-se como factores importantes que influenciam o valor esperado da capacidade de trocas, como sendo:

1. O regime de contingência em que se pretende explorar a rede.
2. A existência de reforços de rede.
3. A localização de grandes consumos ou centros produtores junto às linhas de interligação.

As dinâmicas horária e sazonal foram igualmente ilustradas tendo-se verificado uma influência das características operacionais das linhas (rates de Verão e Inverno) e perfil de carga (ponta ou vazio) no valor resultante para a capacidade de trocas.

O modelo Zanzibar mostra-se muito eficiente e expedito no cálculo da capacidade de interligação entre duas áreas, em particular na análise de situações alternativas de expansão de rede, produzindo resultados que permitem avaliar vantagens e inconvenientes.

## 8. Referências

- [1] Estudo conjunto REE-REN. Desenvolvimento das redes Espanhola e Portuguesa para a implementação do Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL). Horizontes 2004/2005 e 2007/2008, Dezembro 2003.
- [2] UCTE, Operational Handbook – Appendix 4: Coordinated Operational Planning – A Capacity Assessment, Fevereiro 2005.
- [3] J. Ricardo, J. Medeiros Pinto, P. Barcia, P. Carola, F. Reis, B. Madeira. Novas funcionalidades do programa Zanzibar e aplicação na simulação de redes de energia eléctrica, RIAC 2005 (aceite para publicação).