

# Níveis óptimos de compensação de reactiva numa subestação da rede de transporte Sensibilidade ao modelo de carga e representação da rede

M<sup>a</sup> Rita Guedes da Silva<sup>1</sup> e António Pitarma<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Divisão de Planeamento de Rede, Departamento Planos de Rede

REN, Rede Eléctrica Nacional

Rua Cidade de Goa, 4, 2685-038 Sacavém (Portugal)

e-mail: [mariarita.silva@ren.pt](mailto:mariarita.silva@ren.pt) e [antonio.pitarma@ren.pt](mailto:antonio.pitarma@ren.pt)

**Resumo** Tendo em vista otimizar a operação da Rede de Transporte em situações particulares de maior carga, apresenta-se neste artigo uma análise técnica comparativa quanto à forma de modelização das cargas, no que diz respeito à sua composição e elasticidade, assim como ao grau de detalhe de representação das redes de distribuição.

Concluiu-se que, quanto mais detalhado o modelo utilizado no estudo, mais abrangentes conseguem ser os resultados alcançados e que, a implementação de adequados níveis de compensação de reactiva, permite obter um aumento da segurança e qualidade de abastecimento, minorando a probabilidade de ocorrência de perfis de tensão não desejáveis.

## Palavras-chave

Consumo, Tensão, Modelo de Carga, Topologia de Rede, Compensação de Reactiva.

## 1. Introdução

A dificuldade na conclusão de determinados reforços da Rede de Transporte de Muito Alta Tensão (MAT) no sul de Portugal, tem vindo a colocar uma preocupação crescente quanto à qualidade e garantia de continuidade do abastecimento eléctrico facultada pela rede de transporte àquela zona do país.

Entre várias acções de investimento para minimização e mitigação do problema, destaca-se neste artigo a relação com a optimização dos níveis de compensação de reactiva instalada na região, tendo em vista assegurar, na medida do possível, a estabilidade do valor da tensão.

Com o objectivo de se obter uma optimização da operação da rede nestas condições, foram desenvolvidas análises técnicas mais detalhadas

sobre o modelo de simulação de rede utilizado, facto que permitiu actualizar e redefinir o plano de compensação de reactiva, de modo a se obter a melhor conjugação na operação das redes de transporte e de distribuição, para valores crescentes de consumo.

Neste artigo apresenta-se uma análise técnica comparativa quanto à forma de modelização das cargas, no que diz respeito à sua composição e elasticidade, assim como ao grau de detalhe de representação das redes de distribuição, identificando os modelos mais adequados consoante o tipo de análise a desenvolver.

## 2. Modelo de Carga

As cargas dos clientes finais a abastecer por um sistema eléctrico têm um carácter bastante variável por zona e ao longo do tempo. Contudo, em geral é possível identificar um comportamento padrão, em particular ao nível do transporte.

As cargas eléctricas representadas nos níveis de distribuição e transmissão em regime estacionário, apresentam uma dependência em relação à tensão e à frequência, que pode ser descrita na forma das equações (1):

$$\begin{aligned} P &= P(f, |V|) \\ Q &= Q(f, |V|) \end{aligned} \quad (1)$$

No entanto, não é possível definir “a priori” uma expressão analítica exacta para as equações indicadas, mas sim determiná-la de uma forma empírica.

Neste artigo foca-se a atenção na análise do comportamento das cargas em relação à tensão, visto ser este o parâmetro mais significativo numa rede fortemente interligada e na qual as variações de frequência são raras e normalmente de muito pequena expressão.

Existem diversos estudos e diferentes modelos que procuram caracterizar uma carga “típica” e representar o seu comportamento perante variações do valor da tensão.

Uma das formas de representação consiste em decompô-la na soma ponderada de três parcelas de: potência constante (P), corrente constante (I) e admitância constante (Y), com diferentes modelos comportamentais de sensibilidade.

A figura seguinte ilustra o comportamento de cada uma destas parcelas P, I e Y da carga, activa e reactiva, “per si”, em função da tensão.

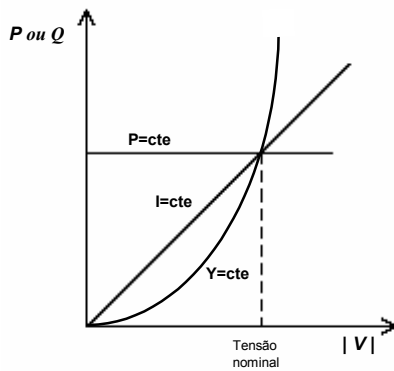


Fig. 1. Variação das potências activa e reactiva em função da tensão

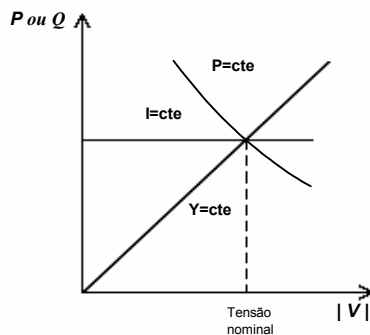


Fig. 2. Variação da corrente em função da tensão

Neste trabalho foram estudadas duas alternativas comportamentais diferentes para as cargas, no que diz respeito à sua elasticidade em relação à tensão:

Elasticidade nula (modelo PQ) – Modelo em que a característica da carga tem elasticidade nula, ou seja, a potência de consumo é constante e independente da variação do valor da tensão.

Elasticidade diferente de zero (modelo PIY) – A análise a diversos documentos e artigos publicados sobre este tema [1 - 3], conduziu à adopção dos valores percentuais de participação de cada um dos sub-modelos de carga, apresentados na tabela seguinte:

Tabela I - Modelo PIY

Modelo	Potência Activa[%]	Potência Reactiva[%]
P	40	0
I	20	50
Y	40	50

O que conduz a  $\frac{\partial P}{\partial U} = 1.0$  e  $\frac{\partial Q}{\partial U} = 1.5$ .

### 3. Representação topológica da rede

Topologicamente simularam-se os consumos de duas formas distintas:

Carga Concentrada – Nesta representação a carga a simular foi considerada na sua totalidade ligada directamente ao barramento de Alta Tensão (AT) da subestação MAT/AT em estudo.

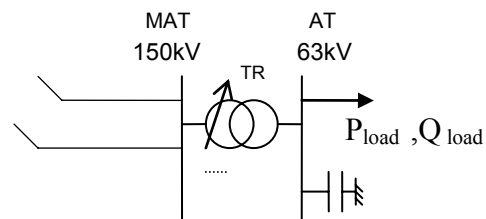


Fig. 3. Topologia com a Carga Concentrada no barramento de 63 kV da subestação MAT/AT.

Este tipo de modelo é o normalmente utilizado em estudos de planeamento da rede de transporte, uma vez que se pretende verificar o comportamento global do sistema no nível de muito alta tensão.

Carga Distribuída – Neste caso, considerou-se um modelo, que pudesse ser representativo da influência da rede de AT de Distribuição nos valores de tensão, quer no caso particular da subestação em estudo, quer para outros locais da rede.

Optou-se, deste modo, por uma simulação estilizada e simplificada da rede AT, com a carga modelizada no lado MT dos transformadores AT/MT.

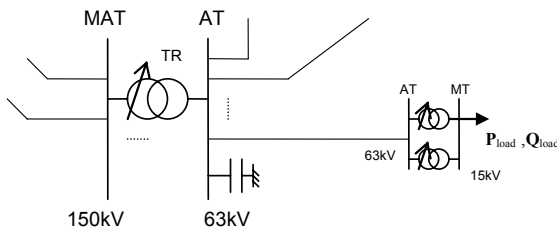


Fig. 4. Topologia com a Carga Distribuída pela rede de Distribuição

Efectivamente, a constante evolução das redes de AT/MT, quer espacial quer temporalmente, da qual, entre outros factores, resultam diferentes ocupações médias de linhas, introduz alguma dificuldade e incerteza na simulação “exacta” da rede de distribuição. Deste modo, optou-se por uma representação genérica que, com uma adequada universalidade e verosimilhança, permita representar a rede de Distribuição em situações típicas de funcionamento.

Assim sendo, a rede utilizada considera-se representativa de condições de operação médias, em que a carga foi modelizada no nível de tensão de MT e a rede AT de distribuição foi representada através de cinco linhas, ligando a subestação de transporte a cinco diferentes subestações de distribuição, cada uma destas com dois transformadores AT/MT, de 20 MVA cada.

#### 4. Simulações

Utilizou-se nesta análise um dos cenários de rede de maior consumo na região em estudo, no caso correspondente a um regime de ponta de Verão.

Do ponto de vista de rede de transporte, a subestação em estudo é um caso particular, uma vez que se trata de uma instalação 150/63 kV, alimentada em antena através de duas linhas de 150 kV em apoios comuns.

Para os dois modelos de carga descritos anteriormente e para as duas representações de rede consideradas, foi desenvolvido um conjunto de ensaios, fazendo variar o valor da carga a abastecer entre 128 e 210 MVA.

O valor de compensação de reactiva considerado ligado à partida foi de 80 Mvar, tendo-se assumido complementarmente um reforço adicional de +50 Mvar para valores de carga superiores a 176 MVA.

#### 5. Resultados

De acordo com os ‘Padrões de Segurança de Planeamento da RNT’, para os diferentes regimes, normal ‘n’ ou de contingência ‘n-1’, os valores limite de aceitabilidade de tensão são os indicados na tabela seguinte:

Tabela II - Limites de aceitabilidade de tensão

Tensão [kV]	Regime ‘n’		Regime ‘n-1’	
	Mínimo p.u.	Máximo p.u.	Mínimo p.u.	Máximo p.u.
150	0.95	1.05	0.93	1.10
63	0.97	1.03	0.95	1.05

Foi analisado o comportamento do valor da tensão, face a um disparo fortuito de uma das duas linhas de alta tensão que a alimenta, para cada um dos modelos de carga e detalhe de rede em estudo e, para valores de consumo crescentes entre 128 e 210 MVA.

Para o modelo de carga de elasticidade nula – PQ – obtiveram-se os resultados apresentados no gráfico seguinte:

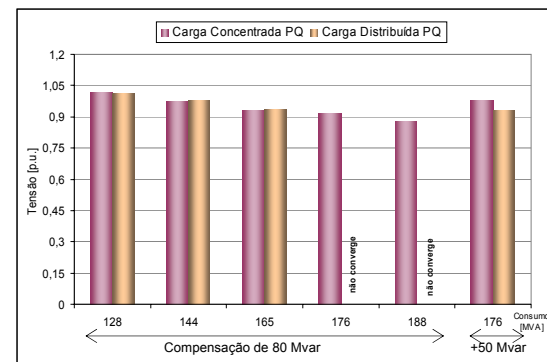


Fig. 5. Comportamento da tensão MAT da subestação, com o modelo PQ

Na representação da carga em modelo PQ, e comparando as duas alternativas de modelização topológica da carga, verifica-se que até ao montante de 165 MVA os resultados são idênticos. A partir daí, no modelo de Carga Concentrada, em simulação, foi possível obter solução de rede – ‘convergência’ – até 188 MVA, embora com violação dos limites de tensão estabelecidos nos critérios, enquanto que no modelo de Carga Distribuída, já não foi possível obter convergência.

Considerando um aumento da compensação de reactiva na instalação da rede de transporte, consegue-se obter ‘convergência’ para 176 MVA de carga, em ambas as representações topológicas da rede – Carga Concentrada e Carga Distribuída.

Para o modelo de carga de elasticidade nula – PIY – obtiveram-se os resultados apresentados no gráfico seguinte:

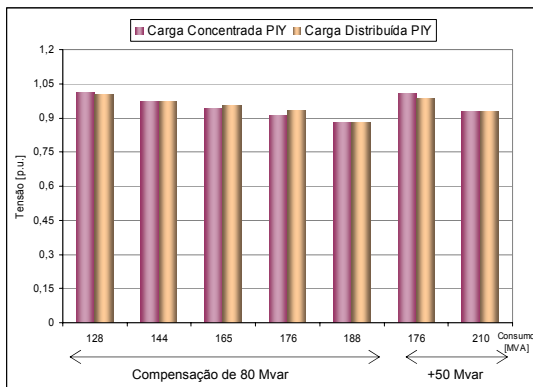


Fig. 6. Comportamento da tensão MAT da subestação, com o modelo PIY

Verifica-se que, com o modelo de carga PIY, os resultados são idênticos, quer se utilize a representação em Carga Concentrada ou em Carga Distribuída. De facto, até 165 MVA não há violação de limites de tensão, tendo sido possível obter solução de rede – ‘convergência’ – até 188 MVA, embora já com violação dos critérios de tensão que, nos 150 kV, apresenta valores já muito degradados – 132 kV – em qualquer um dos modelos de representação da carga.

Considerando um aumento da compensação de reactiva na instalação da rede de transporte, consegue-se obter um perfil de tensões dentro dos limites pré-estabelecidos, em ambas as representações topológicas da rede.

Apresenta-se em seguida um quadro resumo das simulações realizadas neste estudo:

Tabela III - Valores de tensão na subestação face a uma contingência

Carga [MVA]	Modelo de Carga			
	Distribuída PIY	Concentrada PIY	Concentrada PQ Modelo usualmente utilizado	Distribuída PQ
128	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites
144	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites
165	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> nos mínimos	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites
176	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> < 0.92 p.u.	U <sub>150 kV</sub> < 0.92 p.u.	Não converge
188	U <sub>150 kV</sub> < 0.89 p.u.	U <sub>150 kV</sub> < 0.89 p.u.	U <sub>150 kV</sub> < 0.89 p.u.	Não converge
176*	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> dentro dos limites	U <sub>150 kV</sub> nos mínimos
210*	U <sub>150 kV</sub> nos mínimos	U <sub>150 kV</sub> nos mínimos	Não converge	Não converge

Deste quadro retira-se que:

– Com o modelo de Carga Distribuída PIY é possível cumprir a banda dos limites de aceitabilidade de tensão para valores de carga mais elevados.

Por outro lado, a representação usualmente utilizada – Carga Concentrada PQ – identifica “mais cedo” as situações que podem vir a causar problemas de tensão, uma vez que o limite máximo de carga a abastecer foi alcançado para valores inferiores.

– Comparando as duas alternativas de representação da topologia e detalhe das redes, de uma forma distribuída ou concentrada, verifica-se que conduzem a resultados muito semelhantes, até valores de consumo não muito elevados.

No que se refere ao valor máximo de consumo que é possível abastecer, pode adiantar-se que o consumo a abastecer na subestação MAT/AT poderá, com segurança, ir até 165 MVA, não sendo necessária mais compensação de reactiva nesta instalação (como se pode verificar na tabela acima indicada, o valor da tensão encontra-se dentro do limite exigido para todos os modelos de simulação).

Por seu lado considerando os resultados do modelo de Carga Distribuída PIY, este valor subirá para 176 MVA.

Em síntese, até 80 Mvar de compensação, a carga máxima que se pode abastecer situa-se na gama de 165 a 176 MVA, sem risco de colapso de tensão em caso de falha de uma das duas linhas de MAT,

podendo assumir-se o valor de 165 MVA como o de maior segurança.

O modelo de carga distribuída PIY é o que, com a instalação de + 50 Mvar de compensação de reactiva, apresenta valores de carga mais elevados, na casa dos 210 MVA, sem violação dos limites de tensão (como se pode verificar na tabela acima indicada o valor da tensão encontra-se ainda dentro do limite exigido,  $U_n - 7\%$ ).

O resultado mais restritivo é obtido no modelo de Carga Distribuída PQ, que limita a carga a um valor máximo de 176 MVA, já considerando compensação adicional de reactiva.

Em suma, pode assumir-se que, nestas condições, a carga máxima possível de satisfazer situa-se na casa dos 190 a 200 MVA.

#### **4. Conclusões**

Com este estudo pretendeu-se avaliar e identificar limites de aceitabilidade que permitam a exploração e a operação do sistema, numa zona particular da rede, não pondo em causa a sua segurança.

Dos ensaios realizados pôde concluir-se que, em situações mais extremas em termos de condições de exploração de rede, em que se torna imperativo a exploração perto dos limites, quanto mais detalhado for o modelo alternativo utilizado no estudo, mais abrangentes conseguem ser os resultados alcançados, sem prejuízo de que, em situações menos restritivas, se possam utilizar modelos simplificados.

Concluiu-se igualmente que a identificação de níveis óptimos de compensação de reactiva, contribui de uma forma muito eficaz no incremento da segurança e qualidade do abastecimento dos consumos, minorando possíveis problemas de nível de tensão, especialmente em zonas mais críticas.

#### **Referências**

- [1] J. Arrillaga, C.P. Arnold, B.J. Harker, Computer Modelling of Electrical Power Systems, John Wiley & Sons, 1983
- [2] P. Kundur, Power System Stability and Control, EPRI, Mc Graw Hill, 1993
- [3] Olle I. Elgerd, Introdução à Teoria de Sistemas de Energia Eléctrica, Mc Graw Hill do Brasil, 1981