

Suporte de Potência Reativa como um Serviço Ancilar

T. Sousa, J. A. Jardini, M. Masuda, R. A. de Lima

Resumo – A partir do processo de desverticalização do Setor Elétrico surgiu a necessidade de atribuir responsabilidades aos diversos agentes e de elaborar formas adequadas de remuneração dos serviços prestados pelos mesmos. Dentre estes serviços, o suporte de potência reativa, é o serviço responsável pelo fornecimento ou absorção de energia reativa, destinada ao controle de tensão da rede de operação. Com o objetivo de remunerar de forma adequada os diversos agentes envolvidos no fornecimento e uso deste serviço, este trabalho apresenta uma metodologia que visa otimizar o suporte de reativos prestado pelos agentes geradores e identificar o grau de responsabilidade de cada agente que venha a utilizar este serviço. A metodologia proposta utiliza um Fluxo de Potência Ótimo Linearizado cuja função objetivo é minimizar a potência reativa das barras do sistema. O problema obedece a um conjunto de restrições. A metodologia proposta foi testada e apresentou resultados que motivam a intensificação desta linha de pesquisa.

Palavras-chave – Serviços Ancilares, Sistemas Elétricos de Potência, Suporte de Reativos.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o setor elétrico tem passado por um processo de reestruturação onde as principais mudanças são: a desverticalização das atividades que compõem o setor e a criação de um mercado responsável pelas transações realizadas. Juntamente ao processo de reestruturação surgiu a necessidade de discretizar os diferentes tipos de serviços com o objetivo de conhecê-los, organizá-los por função e definir metodologias para identificação de quem oferece e de quem utiliza estes serviços.

Um conjunto de serviços que tem recebido uma grande atenção no processo de desverticalização do setor elétrico é o conjunto dos serviços que contribui para segurança, confiabilidade e qualidade do suprimento de energia elétrica, os Serviços Ancilares. Dentre os diversos tipos de Serviços Ancilares, o suporte de potência reativa, é o serviço responsável pelo fornecimento ou absorção de energia reativa, destinada ao controle de tensão da rede de operação, mantendo-a dentro dos limites de variação estabelecidos nos Procedimentos de Rede.

Devido à importância do fornecimento de suporte de potência reativa ao sistema, vários trabalhos têm sido publicados com o objetivo de otimizar o fornecimento deste serviço de forma a atender as restrições impostas pelo Sistema Elétrico [1]-[6].

O presente trabalho propõe uma metodologia que visa otimizar o serviço de suporte de reativos prestado pelos agentes geradores e identificar quem oferece e quem utiliza esse serviço. Essa metodologia permite que os agentes tenham condições de indicar o grau de responsabilidade de cada um que venha a contribuir para a necessidade de prestação do serviço de suporte reativo.

A metodologia proposta utiliza um Fluxo de Potência Ótimo Linearizado cuja função objetivo é minimizar a potência reativa das barras do sistema. O problema obedece a um conjunto de restrições, como por exemplo, os níveis de tensão do sistema, os limites de reativos dos geradores e os limites de reativos das cargas.

O trabalho está organizado como a seguir. A Seção II apresenta a formulação do problema de programação linear utilizado neste trabalho. A Seção III apresenta a metodologia utilizada na otimização do suporte de reativos fornecido pelos agentes geradores. A Seção IV apresenta os testes e resultados obtidos a partir da metodologia proposta e a seção final apresenta as conclusões deste trabalho.

II. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

A seguir serão apresentadas as formulações dos problemas de Programação Linear (PL) utilizados neste trabalho. O problema de Programação Linear é utilizado com o intuito de otimizar a potência reativa do sistema, minimizando o suporte de reativos por parte dos geradores. Para isto, foi sugerida a formulação de diferentes problemas de Programação Linear tendo assim diferentes pontos de operação. Para estes diferentes pontos de operação foram definidos os estados do sistema como a seguir:

- “Solução Base”;
- “Solução Sub Ótima” e;
- “Solução Super Ótima”.

A “Solução Base” é o ponto de operação do sistema, resultante do problema de programação linear, onde considera que os valores de potência reativa nas barras de carga do sistema estejam com um fator de potência menor ou igual a

Este trabalho teve o apoio da AES Tietê S.A..

T. Sousa, J. A. Jardini and M. Masuda fazem parte do Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, BR (e-mail: thales@pea.usp.br).

R. A. de Lima faz parte da AES Tietê S. A., São Paulo, BR (e-mail: rodrigoa.lima@aes.com).

0,95 (indutivo).

A “Solução Sub Ótima” é um caso otimizado em relação ao ponto de operação denominado por “Solução Base”. Este é um caso factível de ser realizado na prática, mas tem uma solução não tão otimista quando comparado com o que foi definido por “Solução Super Ótima”. Esta solução é obtida a partir do problema de programação linear que considera que os valores de potência reativa nas barras de carga do sistema estejam com um fator de potência menor ou igual a 0,98 (indutivo).

E por fim é apresentada “Solução Super Ótima”, caso mais otimista do sistema. Este caso apresenta o menor valor de reativo suprido pelos geradores e eventualmente pode não ser praticado por exigir em algumas barras de carga fator de potência unitário, porém não capacitivo. A seguir são apresentadas as formulações dos problemas de programação linear que definem os pontos de operações descritos anteriormente.

A. Formulação do problema de Programação Linear para “Solução Super Ótima”

O problema de Programação Linear para a “Solução Super Ótima” pode ser representado matematicamente através de um problema de otimização com restrições de igualdade e desigualdade como:

$$\text{Min } F(x) = \sum_{i=1}^N (Q_{fi}) \quad (1)$$

$$\text{s.a. } [-S][Q_{fi} - Q_{oi}] \leq [V_{oi} - V_{Min}] \quad (2)$$

$$[S][Q_{fi} - Q_{oi}] \leq [V_{Max} - V_{oi}] \quad (3)$$

$$0 \leq Q_{pv,vo}(i) \leq 500 \quad (MVar) \quad (4)$$

$$0 \leq Q_{pq}(i) \leq 500 \quad (MVar) \quad (5)$$

Note que o algoritmo de Programação Linear requer que todas variáveis sejam positivas.

A equação (1) indica a função objetivo que se pretende minimizar. Para este problema a função objetivo é representada pela soma das potências reativas finais nas barras do sistema.

As equações (2) e (3) indicam que as tensões de todas as barras deverão ficar entre os limites mínimos e máximos, respectivamente;

A equação (4) indica que é permitido aos geradores suprir reativos na faixa de 0-500MVar;

A equação (5) limita a potência reativa nas barras de carga (PQ) na faixa de 0-500MVar, permitindo assim que se tenha um fator de potência unitário.

[S] é a matriz de sensibilidade de tensão em relação à variação de potência reativa determinada a partir da matriz Jacobiana resultante do problema de Fluxo de Carga [7]; N é o número total de barras do sistema; V_{oi} é a magnitude de tensão do ponto de operação inicial, Q_{fi} e Q_{oi} são os valores finais e iniciais de potência reativa nas barras, respectivamente.

B. Formulação do problema de Programação Linear para “Solução Sub Ótima”

O problema de Programação Linear para a “Solução Sub

Ótima” pode ser representado matematicamente através de um problema de otimização com restrições de igualdade e desigualdade como:

$$\text{Min } F(x) = \sum_{i=1}^N (Q_{fi}) \quad (1)$$

$$\text{s.a. } [-S][Q_{fi} - Q_{oi}] \leq [V_{oi} - V_{Min}] \quad (2)$$

$$[S][Q_{fi} - Q_{oi}] \leq [V_{Max} - V_{oi}] \quad (3)$$

$$0 \leq Q_{pv,vo}(i) \leq 500 \quad (MVar) \quad (4)$$

$$(Pl(i)/0.98) * \text{sen}(\arccos(0.98)) \leq Q_{pq}(i) \leq 500 \quad (MVar) \quad (5)$$

Na formulação apresentada para a solução denominada de Sub Ótima, a última equação indica que para as barras de carga o fator de potência pode alcançar o valor de 0,98 indutivo.

C. Formulação do problema de Programação Linear para “Solução Base”

O problema de Programação Linear para a “Solução Base” pode ser representado matematicamente através de um problema de otimização com restrições de igualdade e desigualdade como:

$$\text{Min } F(x) = \sum_{i=1}^N (Q_{fi}) \quad (1)$$

$$\text{s.a. } [-S][Q_{fi} - Q_{oi}] \leq [V_{oi} - V_{Min}] \quad (2)$$

$$[S][Q_{fi} - Q_{oi}] \leq [V_{Max} - V_{oi}] \quad (3)$$

$$0 \leq Q_{pv,vo}(i) \leq 500 \quad (MVar) \quad (4)$$

$$(Pl(i)/0.95) * \text{sen}(\arccos(0.95)) \leq Q_{pq}(i) \leq 500 \quad (MVar) \quad (5)$$

Note que para a formulação apresentada para a solução denominada de Base, a última equação indica que para as barras de carga o fator de potência pode alcançar o valor de 0,95 indutivo.

III. METODOLOGIA PROPOSTA

Para o desenvolvimento da metodologia proposta utilizada para quantificar o excedente de potência reativa fornecida pelas barras geradoras foi utilizado o processo descrito a seguir.

Como descrito na Seção II, foram definidos três estados operacionais para o sistema. São eles: estado cuja solução apresentada é a “Solução Base”, estado cuja solução apresentada é a “Solução Super Ótima” e estado cuja solução apresentada é a “Solução Sub Ótima”.

A partir dos dados de carregamento e dos dados de configuração física do sistema proposto foi utilizado um programa de análise de rede, com o objetivo de simular o Fluxo de Carga do mesmo. A solução resultante do programa de Fluxo de Carga é utilizada na formulação da matriz sensibilidade empregada no problema de programação linear.

Determinada a matriz de sensibilidade utilizada como matriz dos coeficientes das restrições de desigualdade do problema, o próximo passo é a formulação do problema de PL que represente o estado operacional que se queira alcançar.

Após a formulação do problema de PL o próximo passo é a

execução do mesmo. Caso o problema convirja, os resultados do mesmo devem ser ajustados no arquivo de dados do problema de Fluxo de Carga. Caso contrário deve-se fazer uma nova formulação para o problema de PL.

Após o ajuste dos dados de entrada do problema de Fluxo de Carga, o mesmo é executado e caso convirja para uma boa solução, o problema é finalizado. Caso contrário, essa nova solução do problema de Fluxo de Carga será um novo conjunto de dados para uma nova formulação do problema de PL. Inicia-se então uma nova iteração.

Esse processo iterativo ocorre, pois junto ao problema de Fluxo de Carga está representada a não linearidade do sistema elétrico, o que não acontece no PL. Esse desvio entre a resposta do problema do PL e a solução do problema de Fluxo de Carga, é superado após duas ou três iterações do Problema de Fluxo de Carga [8]. Esse processo iterativo é representado pela Fig. 1.

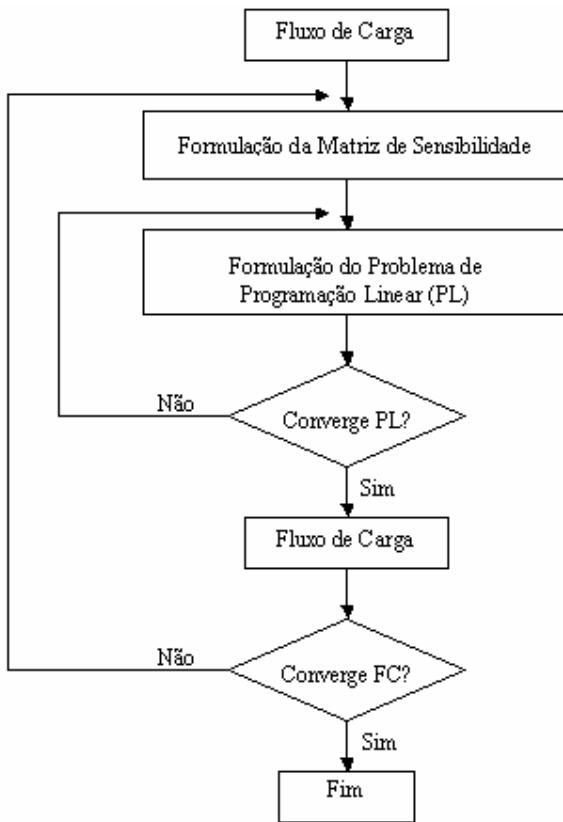


Fig 1. Fluxograma do problema de otimização do suporte de potência reativa.

Obtida a solução final dos estados operacionais definidos, é feita uma análise na geração de potência reativa e determinada a economia de potência reativa alcançada a partir do processo de otimização.

IV. TESTES E RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar a metodologia proposta foram realizados alguns testes a partir de um sistema de 8 barras. Os testes realizados a partir deste sistema permitiram uma maior sensibilidade sobre a metodologia proposta possibilitando assim um maior domínio sobre as variáveis do problema. O

esquema do sistema utilizado para realização dos testes é apresentado na Fig.2.

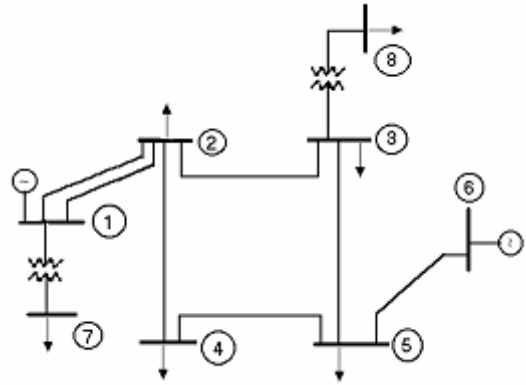


Fig 2. Sistema de 8 barras.

Os dados de gerações e cargas para o sistema de 8 barras são apresentados na Tabela I. Na Tabela I os valores de Q_{sh} menor que zero significa que se tem reatores ligados as barras e os valores de potência reativa da carga (Q) maior do que zero significa que a carga é indutiva.

TABELA I
DADOS INICIAIS DO SISTEMA DE 8 BARRAS

| Barra | Tipo | Geração | | Carga | | |
|-------|------------|---------|----------|--------|----------|-----------------|
| | | P (MW) | Q (MVAr) | P (MW) | Q (MVAr) | Q_{sh} (MVAr) |
| 1 | Referência | - | - | 0,0 | 0,0 | - |
| 2 | Geração | 240,0 | - | 0,0 | 0,0 | - |
| 3 | Carga | - | - | 0,0 | 0,0 | -7,5,0 |
| 4 | Carga | - | - | 134,0 | -32,0 | -140,0 |
| 5 | Carga | - | - | 1300,0 | 50,0 | -140,0 |
| 6 | Carga | - | - | 0,0 | 0,0 | -300,0 |
| 7 | Carga | - | - | 180,0 | 86,0 | - |
| 8 | Carga | - | - | 290,0 | 48,0 | - |

A Tabela II apresenta o estado final do sistema de 8 barras onde optou-se pelo valor de 1,05 p.u. na tensão da barra de referência. Os valores, de potência reativa, maiores que zero, apresentados para as barras de geração e/ou referência significa que o gerador alimenta uma carga indutiva, ou seja, gerador superexcitado.

A partir dos dados apresentados nas Tabelas I e II foram realizados os testes com o objetivo de determinar os três estados operacionais definidos anteriormente.

Para o primeiro teste realizado foi formulado um problema de programação linear que minimizasse a potência reativa final das barras do sistema sujeito às restrições de limites tensões e as restrições de limites de potência reativa.

As potências reativas das barras de carga ficaram limitadas a um fator de potência menor ou igual 0,95. A Tabela III apresenta os resultados do processo de otimização para o primeiro teste realizado. Foram introduzidos nos dados de cálculo do fluxo de carga os reativos indicados pelo PL para

as barras de carga e a tensão indicada pelo PL para as barras de geração e referência.

TABELA II

ESTADO FINAL RESULTANTE DO FLUXO DE CARGA PARA O SISTEMA DE 8 BARRAS

| Barra | Tipo | Tensão | | Geração | | Carga | | |
|-------|------------|-------------|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|---------------------------|
| | | V (p.u.) | θ (graus) | P (MW) | Q (MVar) | P (MW) | Q (MVar) | Q _{sh} (MVar) |
| 1 | Referência | 1,050 | 0,0 | 1711,2 | 217,1 | - | - | - |
| 2 | Geração | 1,000 | -32,0 | 240,0 | -54,2 | - | - | - |
| 3 | Carga | 0,996 | -23,5 | - | - | - | - | -74,3 |
| 4 | Carga | 1,000 | -23,0 | - | - | 134,0 | -32,0 | -139,9 |
| 5 | Carga | 0,998 | -32,6 | - | - | 1300,0 | 50,0 | -139,4 |
| 6 | Carga | 1,009 | -12,0 | - | - | - | - | -305,6 |
| 7 | Carga | 1,029 | -2,3 | - | - | 180,0 | 86,0 | - |
| 8 | Carga | 0,981 | -27,6 | - | - | 290,0 | 48,0 | - |

PERDAS = 47,20MW

O sistema de equações do problema de programação linear formulado para o primeiro teste está representado no Item II.C. Para a solução apresentada pela Tabela III a solução do PL alocou todas as barras de carga no limite de reativos (fator de potência igual a 0,95).

O segundo teste realizado trata do ponto operacional definido como “Solução Sub Ótima”. Para este teste foi formulado um problema de programação linear que minimizasse a potência reativa final das barras do sistema sujeito às restrições de limites tensões e as restrições de limites de potência reativa. As potências reativas das barras de carga foram limitadas a um fator de potência menor ou igual a 0,98.

A Tabela IV apresenta os resultados do processo de otimização para o segundo teste realizado. O sistema de equações do problema de programação linear formulado para o segundo teste está representado no Item II.B.. Foram introduzidos nos dados de cálculo do fluxo de carga os reativos indicados pelo PL para as barras de carga e a tensão indicada pelo PL para as barras de geração e referência.

TABELA III

ESTADO FINAL RESULTANTE DO FLUXO DE CARGA DO TESTE “SOLUÇÃO BASE” PARA O SISTEMA DE 8 BARRAS

| Barra | Tipo | Tensão | | Geração | | Carga | | |
|-------|------------|-------------|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|---------------------------|
| | | V (p.u.) | θ (graus) | P (MW) | Q (MVar) | P (MW) | Q (MVar) | Q _{sh} (MVar) |
| 1 | Referência | 1,050 | 0,0 | 1711,8 | 170,3 | - | - | - |
| 2 | Geração | 1,050 | -31,8 | 240,0 | 456,7 | - | - | - |
| 3 | Carga | 1,002 | -23,4 | - | - | - | - | -75,2 |
| 4 | Carga | 1,003 | -22,9 | - | - | 134,0 | 44,0 | -140,8 |
| 5 | Carga | 1,023 | -32,4 | - | - | 1300,0 | 427,0 | -146,6 |
| 6 | Carga | 1,012 | -12,0 | - | - | - | - | -307,2 |
| 7 | Carga | 1,035 | -2,3 | - | - | 180,0 | 59,0 | - |
| 8 | Carga | 0,976 | -27,5 | - | - | 290,0 | 95,0 | - |

PERDAS = 47,80MW

TABELA IV

ESTADO FINAL RESULTANTE DO FLUXO DE CARGA DO TESTE “SOLUÇÃO SUB ÓTIMA” PARA O SISTEMA DE 8 BARRAS

| Barra | Tipo | Tensão | | Geração | | Carga | | |
|-------|------------|-------------|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|---------------------------|
| | | V (p.u.) | θ (graus) | P (MW) | Q (MVar) | P (MW) | Q (MVar) | Q _{sh} (MVar) |
| 1 | Referência | 1,050 | 0,0 | 1710,3 | 93,4 | - | - | - |
| 2 | Geração | 1,050 | -31,3 | 240,0 | 256,7 | - | - | - |
| 3 | Carga | 1,017 | -23,1 | - | - | - | - | -77,5 |
| 4 | Carga | 1,014 | -22,6 | - | - | 134,0 | 27,0 | -144,1 |
| 5 | Carga | 1,033 | -31,8 | - | - | 1300,0 | 264,0 | -149,3 |
| 6 | Carga | 1,019 | -11,9 | - | - | - | - | -311,8 |
| 7 | Carga | 1,041 | -2,3 | - | - | 180,0 | 37,0 | - |
| 8 | Carga | 1,000 | -27,1 | - | - | 290,0 | 59,0 | - |

PERDAS = 46,30MW

Observe que os fatores de potência ($\cos\phi$) das barras de carga ficaram todos em 0,98. Os reativos gerados apresentados na Tabela IV foram evidentemente menores visto que os reativos das cargas também foram menores.

O terceiro teste realizado trata do ponto operacional definido como “Solução Super Ótima”. Para este teste foi formulado um problema de programação linear que minimizasse a potência reativa final das barras do sistema sujeito às restrições de limites tensões e as restrições de limites de potência reativa. As potências reativas das barras de carga foram limitadas a um fator de potência unitário. A Tabela V apresenta os resultados do processo de otimização para o terceiro teste realizado. Esse teste é definido como sendo o de melhor solução por dar a liberdade das barras de carga virem a ter fatores de potência unitários. O sistema de equações do problema de programação linear formulado para o terceiro teste está representado no Item II.A.

Como já descrito anteriormente, o resultado apresentado pelo Teste 3 não poderia ser aplicado na prática. Isso ocorre devido a dificuldade de se exigir das concessionárias que suas cargas tenham fator de potência próximo do valor unitário. Foram introduzidos nos dados de cálculo do fluxo de carga os reativos indicados pelo PL para as barras de carga e a tensão indicada pelo PL para as barras de geração e referência.

Os resultados apresentados pelos Testes 1 e 2 são praticáveis e mostram que de acordo com o fator de potência apresentado pelas cargas, as barras geradoras precisam gerar uma maior ou uma menor potência reativa.

A partir dos resultados obtidos é possível fazer uma análise da potência reativa adicional gerada pelas barras de geração. Os resultados apresentados mostraram a necessidade de um maior valor de potência reativa gerado para compensação do fator de potência das barras de carga. Esse suporte de reativos fornecido pelos geradores com o objetivo de compensar o fator de potência das barras de carga é tratado como um tipo de Serviço Ancilar. Os fatores de potência das barras de carga 4,5,7 e 8 apresentados na Tabela V foram fixados todos em 1,0.

TABELA V

ESTADO FINAL RESULTANTE DO FLUXO DE CARGA DO TESTE "SOLUÇÃO SUPER ÓTIMA" PARA O SISTEMA DE 8 BARRAS

| Barra | Tipo | Tensão | | Geração | | Carga | | |
|------------------|------------|-------------|---------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|--------------------------|
| | | V (p.u.) | θ (graus) | P (MW) | Q (MVar) | P (MW) | Q (MVar) | Q _h (MVar) |
| 1 | Referência | 1,025 | 0,0 | 1711,3 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | - |
| 2 | Geração | 1,034 | -32,1 | 240,0 | -2,9 | 0,0 | 0,0 | - |
| 3 | Carga | 1,015 | -23,9 | - | - | 0,0 | 0,0 | -77,2 |
| 4 | Carga | 1,008 | -23,4 | - | - | 134,0 | 0,0 | -142,3 |
| 5 | Carga | 1,029 | -32,7 | - | - | 1300,0 | 0,0 | -148,3 |
| 6 | Carga | 1,004 | -12,4 | - | - | 0,0 | 0,0 | 302,5 |
| 7 | Carga | 1,024 | -2,4 | - | - | 180,00 | 0,0 | - |
| 8 | Carga | 1,012 | -27,8 | - | - | 290,00 | 0,0 | - |
| PERDAS = 47,30MW | | | | | | | | |

V. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma metodologia para determinar de forma otimizada o suporte de reativos fornecido pelas barras de geração. Esse objetivo foi alcançado a partir de um processo de otimização cuja função objetivo é minimizar da potência reativa final das barras do sistema.

A partir dos resultados alcançados é possível perceber que de acordo com o nível de potência reativa das cargas, as barras de geração devem gerar mais ou menos potência reativa com o objetivo de compensar o fator de potência das barras de carga.

Os resultados apresentados mostraram que os sistemas elétricos podem, na maioria das vezes, trabalhar em um ponto de operação de forma a minimizar a dependência das barras de carga em relação ao suporte de potência reativa fornecido pelas barras de geração.

As barras de carga operando em um ponto com maior dependência em relação ao suporte de potência reativa aumentam a necessidade de geração de potência reativa por parte das barras geradoras tendo assim um aumento nas perdas ativas do sistema. Esta geração excedente serve como parâmetro para as barras geradoras pleitear através de contratos de prestação de Serviços Ancilares o fornecimento do suporte de potência reativa.

Outra forma de compensar o adicional de potência reativa requerida pelas barras de carga seria as mesmas alocar compensadores de forma a não necessitar do suporte de potência reativa provenientes das barras geradoras.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] J. W. Lamont, and J. Fu, "Cost Analysis of Reactive Power Support," *IEEE Trans. On Power System*, vol. 14, No. 3, pp. 890-898, Aug. 1999.
- [2] R. B. Gil, T. G. San Román, P. S. Martín, and J. J. Alba Rios, "Reactive Power Pricing: A Conceptual Framework for Remuneration and Charging Procedures," *IEEE Trans. On Power System*, vol. 15, No. 2, pp. 483-489, May 2000.
- [3] K. Bhattacharya, and J. Zhong, "Reactive Power as an Ancillary Service," *IEEE Trans. On Power System*, vol. 16, No. 2, pp. 294-300, May 2001.
- [4] D. Pudjianto, S. Ahmed, and G. Strbac, "Allocation VAR Support Using LP and NLP based Optimal Power Flows," *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 149, No. 4, pp. 377-383, Jul. 2002.

- [5] Y. Dai, X. D. Liu, Y. X. Ni, F. S. Wen, Z. X. Han, C. M. Shen, and F. F. Wu, "A Cost Allocation Method for Reactive Power Service Based on Power Flow Tracing," *Electric Power Systems Research*, No. 64, pp. 59-65, 2003.
- [6] H. Y. Yamind, "Review on Methods of Generation Scheduling in Electric Power Systems," *Electric Power Systems Research*, n°. 69, pp. 227-248, 2004.
- [7] T. Sousa, V. A. Sousa, and G. R. M. da Costa, "A Method for Determination of Candidates Busses to Reactive Allocation," *in X ERLAC*, Puerto Iguazú, 2003.
- [8] A. J. Wood, and B. F. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control", 1984.

VII. BIOGRAFIAS

Thales Sousa nasceu em 23 de Junho de 1978, formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) em 2000. Mestre em 2003 pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP). Atualmente trabalha como pesquisador pelo grupo GAGTD na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente, é aluno de doutoramento junto ao Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas (PEA) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sua área de interesse é operação e planejamento de sistemas elétricos.

José Antonio Jardini nasceu em 27 de março de 1941, formado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP (EPUSP) em 1963. Mestre em 1970, Doutor em 1973, Livre Docente/ Prof Associado em 1991 e Professor Titular em 1999 todos pela EPUSP Departamento de engenharia de Energia e Automação Elétricas (PEA). Trabalhou de 1964 a 91 na Themag Eng. Ltda atuando na área de estudos de sistemas de potência, projetos de linhas e automação. Atualmente é professor da escola Politécnica da USP do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas onde leciona disciplinas de Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Foi representante do Brasil no SC38 da CIGRE, é membro da CIGRE, Fellow Member do IEEE, e Distinguished Lecturer do IAS/IEEE.

Mario Masuda nasceu em 25 de junho de 1948 em Tupã, São Paulo, Brasil. Formado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) em 1973. Trabalhou de 1973 a 91 na Themag Eng. Ltda atuando na área de estudos de sistemas de potência e estudos e projetos de linhas. Trabalhou de 1991 a 1997 como autônomo executando projetos, supervisionando e ministrando curso de instalação de cabos de fibras ópticas em Linhas de Transmissão (OPGW). De 1997 a 2002 trabalhou na Furukawa Empreendimentos e Construções Ltda em projetos, supervisão e instalação de cabos de fibras ópticas em linhas de transmissão (OPGW). Atualmente trabalha como pesquisador pelo grupo GAGTD na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Rodrigo Alves de Lima nasceu em 07 de Janeiro de 1980. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) com ênfase em Sistemas de Potência. Atualmente, trabalha na AES Tietê S/A, na área de regulação.