



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GAT - 24  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO IV  
GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

**ESTUDO DE POTÊNCIA REATIVA E TENSÃO EM EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA LOCALIZADA  
PRÓXIMA DE UM GRANDE CENTRO CONSUMIDOR**

**Walter Ragnev\* José R. Camacho + Daniel B. Ricardo\* Sebastião C. Guimarães Jr.+ Carlos H. Salerno\***

**\*EMAE (Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação)  
\*UFU-Eng. Elétrica**

**RESUMO**

Com o crescimento acelerado do setor de Energia Elétrica no Brasil a partir de meados do século XX, o problema do controle da tensão nos sistemas de transmissão e distribuição necessitou de uma maior atenção das empresas, dos órgãos ligados ao setor elétrico e dos consumidores, visto que a limitação do fluxo de potência reativa nas linhas começou a causar dificuldades na operação dos sistemas à medida que as tensões das linhas de transmissão e as cargas foram sendo elevadas.

O presente trabalho encontra aplicação teórica (análise computacional) e prática, verificando assim a necessidade de se criar um estudo que venha a contribuir com uma solução do problema do balanço de potência reativa e sua influência nos níveis de tensão em um determinado sistema elétrico. Este é um trabalho de pesquisa cuja empresa interessada é a EMAE (Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.), oriunda da ELETROPAULO que, juntamente com outras empresas atende a região metropolitana da capital paulista. De posse das informações técnicas do sistema elétrico em volta da área de influência da empresa, foi possível verificar que em seu complexo sistema de geração de reativos, a questão do nível de tensão abaixo do adequado próximo à região dessa empresa, mais especificamente, em algumas subestações da ELETROPAULO, não se justifica, pois um estudo detalhado de utilização de novos equipamentos de compensação de reativos resolveria o problema sem envolver sistemas geradores ociosos da EMAE já existentes e próximos da carga, o que seria antieconômico.

**PALAVRAS-CHAVE**

Potência Reativa, Limites de Tensão, Qualidade de Energia, Controle, Máquinas Síncronas, Topologia de Sistemas.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O sistema como se encontra hoje é de causar preocupação uma vez que a EMAE é uma das empresas que atende o principal centro consumidor de energia elétrica do país. Os fatores básicos de qualidade de energia elétrica são a frequência e a tensão nominais do sistema.

Sendo assim, este artigo envolve o desenvolvimento de um estudo comprovado através de casos práticos, analisados através de ferramentas computacionais de modo a encontrar melhores soluções para o fornecimento adequado da Potência Ativa e Reativa visando manter tensão e frequência dentro dos níveis preconizados pelos critérios de fornecimento de energia elétrica.

Neste aspecto, a compensação reativa quando efetuada de forma adequada, foi necessária para, dentre outras razões, garantir um maior e melhor aproveitamento do sistema elétrico existente, propiciando adequadamente o equilíbrio no balanço entre a geração e o consumo de potência reativa e desse modo disponibilizar para a operação, uma condição adequada de controle de tensão e, principalmente, de atendimento ao sistema.

\*Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bloco E - CEP 38400-902 - Uberlândia - MG - BRASIL  
Tel.: (0XX34) 3239-4166 - Fax: (0XX34) 3239-4165 - e-mail: jrca macho@ufu.br

Desta forma, alguns fatores foram levados em consideração, tais como mínima alocação de reativos, minimização de perdas, mínimo custo de investimentos, máxima segurança do sistema e ainda restrições como os limites dos equipamentos e os limites da própria rede, além das dificuldades operacionais. Tais objetivos foram bem definidos e ponderados, para que pudéssemos obter uma solução aplicável na prática que viesse a ter viabilidade técnico-financeira, além de desenvolver soluções melhoradas e mais econômicas que possam vir a ser adotadas na prática por engenheiros ligados ao setor elétrico, que atualmente encontram além dos aspectos teóricos envolventes, vários fatores práticos que motivam uma nova forma de se tratar a compensação reativa e o controle de tensão de forma integrada num caráter global e contextualizado, por exemplo, o interesse pela utilização plena dos recursos pré-existentis, buscando assim a minimização de investimentos, dentro de padrões de qualidade cada vez mais rigorosos.

Através deste estudo foi possível concluir, portanto que se o sistema existente na grande São Paulo for utilizado na plenitude de seus recursos e com novos critérios de operação, nas condições de carga leve, média e pesada, pode-se conseguir melhoria substancial nos perfis de tensão dos consumidores e no fluxo de reativo das linhas sem perder de vista as limitações do sistema.

Gostaríamos de salientar que aparentemente o único impedimento à execução desta solução é a política tarifária de potência reativa vigente em nosso país que não remunera de forma adequada as empresas próximas a grandes centros consumidores pela necessidade emergencial da geração de potência reativa para manutenção da tensão.

## 2.0 - A MALHA PRINCIPAL NO ENTORNO DE SÃO PAULO

A EMAE e as empresas em seu entorno pode ser representada por 34 linhas e 30 barras, este sistema foi reduzido e contém as barras de entrada de energia vindas do parque gerador que abastece a grande São Paulo, e o próprio parque gerador da EMAE, as 4 barras de geração da empresa foram representadas de forma detalhada. A Figura 1 representa o Sistema com a topologia de operação originalmente nas situações de carga (leve, média e pesada), o sistema apresenta problemas graves de baixa tensão (acima de 5%) nas barras de número 3499 (Imigrantes), 3492 (Rio Bonito), 3488 (Varginha I) e 3489 (Varginha II).

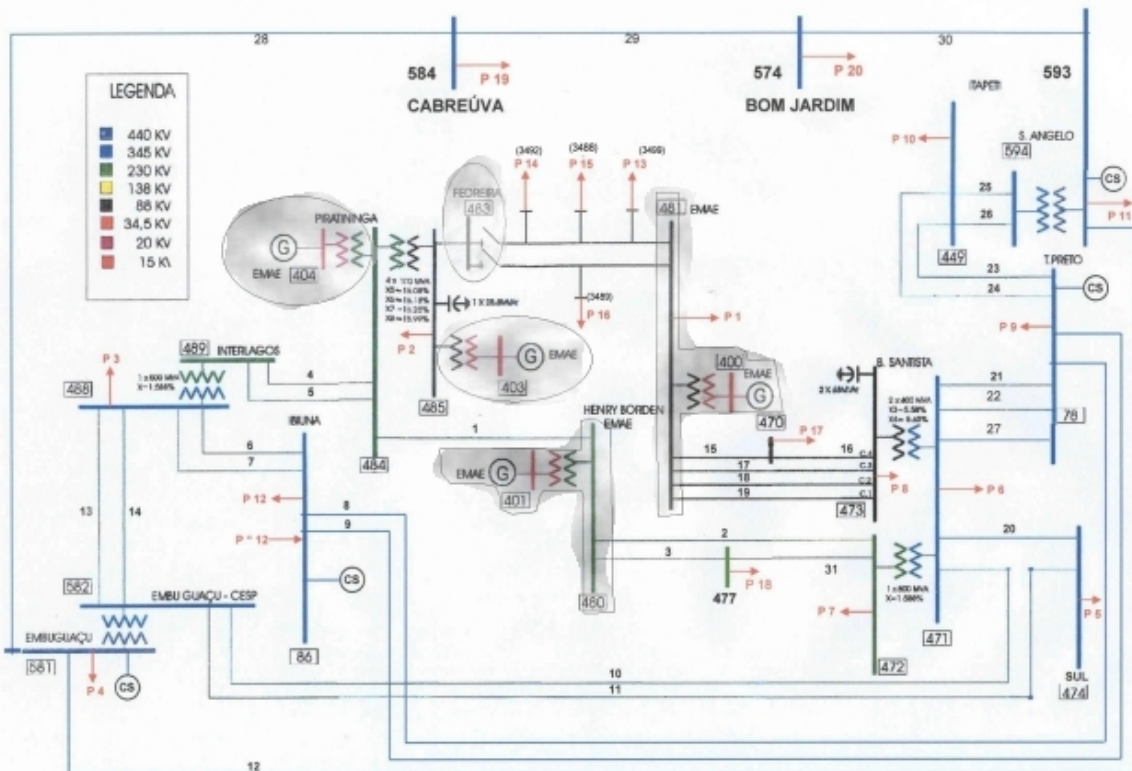


FIGURA 1 – Topologia de operação envolvendo a EMAE e seu entorno

Nesta figura observa-se que a Usina Reversível em Pedreira está com suas máquinas síncronas fora de operação. Devido a problemas de restrições ambientais na grande São Paulo estas máquinas não podem bombear, sendo que o ideal seria utilizá-las então como motores ou geradores síncronos sobre-excitados sem carga para fornecer energia reativa para o sistema. Estas máquinas estão paradas consumindo energia de sistemas de aquecimento para evitar umidade em seus enrolamentos. É nossa intenção demonstrar que um

pequeno rearranjo no sistema e em seus critérios de operação bem como a utilização das mesmas como compensador síncrono poderia melhorar em muito a operação do sistema sem grandes investimentos além de manter as máquinas aquecidas e em operação.

Após exaustivos estudos de configuração para o sistema, foi comprovado dentre muitos modelos, o novo esquema de operação adotado para solucionar o problema. Deve-se salientar que não foi necessário nenhum aporte financeiro para que houvesse melhoria na tensão e na circulação de potência reativa.

### 3.0 – TOPOLOGIA ATUAL, GERAÇÃO E CARGA.

Atualmente, a EMAE é conhecida por apresentar um complexo gerador bastante diversificado, constituído por duas usinas hidrelétricas principais: *UHE Henry Borden (88 KV)* e *UHE Henry Borden (230 KV)*, ambas localizadas na cidade de Cubatão, no sopé da Serra do Mar; além de duas pequenas hidrelétricas no Rio Tietê: *UHE Rasgão* e *UHE Porto Góes*. Apresenta também, geração termoeétrica através da *UTE Piratininga*, localizada na cidade de São Paulo.

Para completar, possui duas usinas elevatórias localizadas no rio Pinheiros: Usina Elevatória Pedreira e Usina Elevatória de Traição, ambas também localizadas na cidade de São Paulo. Estas usinas foram projetadas e construídas, para na eventualidade de uma enchente na cidade, possam bombear água para a represa Billings (localizada mais ao Sul da cidade), além de fornecerem energia elétrica através deste processo.

A Tabela 1 abaixo, mostra a potência instalada de cada um dos principais complexos geradores que serão importantes no presente estudo, bem como o número de unidades geradoras em cada um deles.

TABELA 1 – Dados das usinas da EMAE

	<b>UHE HB (88 KV)</b>	<b>UHE HB (230 KV)</b>	<b>UTE Piratininga (88 KV)</b>	<b>UTE Piratininga (230 KV)</b>	<b>Pedreira (88 KV)</b>
<b>Unidades Geradoras</b>	7	7	2	2	8
<b>Potência Instalada</b>	404 MW	485 MW	200 MW	272 MW	117 MVA

É importante observar que atualmente, estes parques geradores estão com geração bem abaixo de sua capacidade. Por exemplo, a UTE Piratininga 88 KV apresenta geração em torno de 20 MW, isso devido ao alto custo comparativo do gás necessário para operá-la em relação às usinas hidráulicas. Já a UTE Piratininga em 230 KV não apresenta geração devido ao fato de suas unidades estarem em fase de modernização com novas unidades sendo preparadas para operação em ciclo combinado.

As UHE Henry Borden (88 KV) e UHE Henry Borden (230 KV) apresentam geração em torno de 19 e 15 MW respectivamente, isto se deve ao fato de tais usinas utilizar a queda de água existente entre o reservatório Billings e o Rio Cubatão, no sopé da Serra do Mar, como este reservatório não pode ser abastecido pelo rio Pinheiros (proibição de bombeamento das águas do rio Pinheiros para a represa Billings devido ao índice de poluição no rio ser maior do que no reservatório), o mesmo apresenta um nível hidráulico baixo, dificultando assim um melhor aproveitamento de seu potencial gerador.

Um outro fato importante a ser considerado é a configuração da malha da empresa. Pode-se perceber através da Figura 1, que o sistema elétrico da EMAE apresenta-se com seus disjuntores abertos entre os terminais 483 (Pedreira) e 3492 (Rio Bonito), e entre 483 (Pedreira) e 3489 (Varginha II), isto se deve ao fato de que a configuração em anel apresentaria um alto nível de curto-circuito nas barras da EMAE caso estes terminais fossem interligados. Deste modo, esta configuração da malha em anel, apresenta uma potência de curto que poderia danificar estes equipamentos, na eventualidade da ocorrência de um destes eventos.

De posse destas informações, foi realizado o estudo do fluxo de carga para o sistema da Figura 1. O programa computacional utilizado foi o *PSAT 1.3.1(Power System Analysis Toolbox)*<sup>[6]</sup>. Sendo assim, depois de feito este estudo, foi possível levantar os dados da Tabela 2, referentes aos níveis de tensão em cada barramento da EMAE em períodos do dia conhecidos como operação em cargas leve, média e pesada. Os dados mostrados na tabela referem-se somente às barras nas quais os níveis de tensão apresentam valores não satisfatórios, uma vez que nas outras barras o mesmo apresentou bons resultados.

Deve-se ressaltar que foram analisadas as condições de carga referentes ao mês de agosto de 2004 para todas as simulações apresentadas abaixo.

TABELA 2 – Tensões em pu nos barramentos que apresentam problemas.

<b>BARRA</b>	<b>CARGA LEVE U(pu)</b>	<b>CARGA MÉDIA U(pu)</b>	<b>CARGA PESADA U(pu)</b>
(Varginha II) 3489	0,996	0,973	0,974
(Imigrantes) 3499	0,990	<b>0,938</b>	<b>0,898</b>
(Varginha I) 3488	0,984	<b>0,913</b>	<b>0,857</b>
(Rio Bonito) 3492	0,986	<b>0,905</b>	<b>0,850</b>

Pode-se notar através desta tabela, que alguns níveis de tensão chegam à 0,85 pu, resultado bastante ruim para a operação de um sistema elétrico. Nota-se, portanto, a necessidade de se fazer um rearranjo no sistema de modo a resolver o problema destes baixos níveis de tensão, aproveitando assim os equipamentos já

disponíveis na própria empresa, evitando assim custos adicionais com a compra de novos equipamentos de compensação.

#### 4.0 – LIMITAÇÕES DO SISTEMA

Identificado o problema, passamos agora a analisar as condições limites do sistema elétrico em questão. Sendo assim, torna-se necessário conhecer as limitações dos equipamentos responsáveis pela operação, bem como a limitação de algumas linhas de transmissão.

A Tabela 3 abaixo identifica a potência nominal de cada elemento desses, identificando também em que valores de potência aparente os mesmos estão operando com a topologia atual em regime de carga pesada.

TABELA 3 – Limitações de alguns elementos

Equipamento	Capacidade [MVA]	Potência [MVA]
Banco Transformador 484-485	<u>400</u>	276.0 + j53.0 (281MVA)
L.T. 473 – 481	<u>354</u>	<b>369.0 + j67.3</b> <b>(375MVA)</b>
L.T. 472 – 477	<u>637</u>	39.3 + j9.7 (41MVA)
L.T. 480 – 484	<u>270</u>	-37.2 + j45.3 (59MVA)
Banco Transformador 471-473	<u>800</u>	625.2 + j106.9 (634MVA)

Deve-se notar a sobrecarga na linha de transmissão que transmite potência entre as barras 481 (Henry Borden 88KV) e 473 (Baixada Santista 88KV).

#### 5.0 – MODIFICAÇÕES NO SISTEMA

De posse dos dados analisados através do fluxo de carga, foi possível notar então, que alguma providência deve ser tomada para que os barramentos em questão apresentem níveis adequados de tensão. Sendo assim, sabe-se que perfis de tensão em barras de sistemas elétricos estão diretamente relacionados com a potência reativa injetada nas mesmas. Isso indica que um perfil inadequado de tensão apresenta assim um déficit de suporte de reativos.

Como a EMAE apresenta equipamentos ociosos devido a restrições ambientais, o presente estudo tem por objetivo analisar e propor à empresa, uma proposta de utilização para os mesmos, visando assim solucionar o problema em questão através de recursos internos.

Desta forma, uma alternativa que deve ser considerada é a utilização da Usina Elevatória de Pedreira como suporte de reativos para os barramentos analisados, uma vez que os equipamentos de geração desta usina podem ser utilizados como motores sobre excitados, consumindo assim valores mínimos de potência ativa necessária para gerar quantidades consideráveis de potência reativa. Uma outra alternativa é consumir valores mínimos de água da represa, acionando assim as máquinas como compensadores síncronos sobre-excitados acionados pela turbina sem fornecer energia ativa (flutuando no sistema) e fornecendo somente energia reativa. Para passar a esta nova etapa do estudo, foram analisadas várias configurações que a partir deste ponto passaremos a tratar como casos do sistema elétrico que engloba a empresa.

São eles:

**Caso Original:** Configuração estudada utilizando-se a topologia atual da rede.

**Caso 1:** Configuração estudada utilizando-se a topologia atual da rede, porém considerando-se a injeção de potência reativa na barra 483 (Usina Elevatória Pedreira).

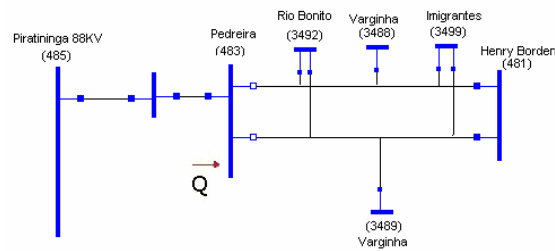


FIGURA 2 – Ilustração do Caso 1

**Caso 2:** Configuração estudada com os disjuntores antes considerados abertos entre os terminais 483 (Pedreira) e 3492 (Rio Bonito), e entre 483 (Pedreira) e 3489 (Varginha II), porém considerando-se aberto o disjuntor entre as barras 485 (UTE Piratininga 88 KV) e 483 (Usina Elevatória Pedreira). Considera-se também aqui, a injeção de potência reativa na barra 483.

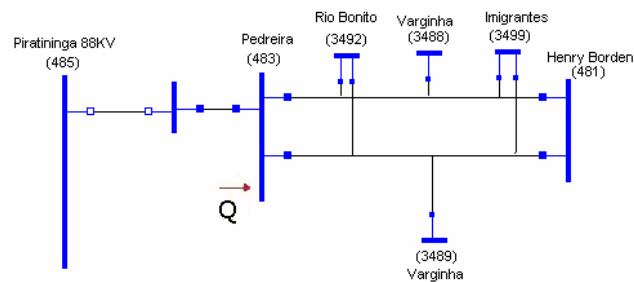


FIGURA 3 – Ilustração do Caso 2

**Caso 3:** Configuração estudada com os disjuntores antes considerados abertos entre os terminais 483 (Pedreira) e 3492 (Rio Bonito), e entre 483 (Pedreira) e 3489 (Varginha II), porém considerando-se abertos os disjuntores entre as barras 481 (UHE Henry Borden 88 KV) e 3499 (Imigrantes), e entre 481 (UHE Henry Borden 88 KV) e 3489 (Varginha II). Considera-se também aqui, a injeção de potência reativa na barra 483.

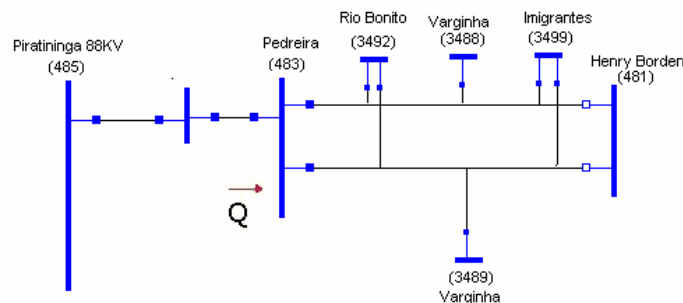


FIGURA 4 – Ilustração do Caso 3

**Caso 4:** Configuração estudada com os disjuntores antes considerados abertos entre os terminais 483 (Pedreira) e 3492 (Rio Bonito), e entre 483 (Pedreira) e 3489 (Varginha II), porém considerando-se fechados os disjuntores entre as barras 481 (UHE Henry Borden 88 KV) e 3499 (Imigrantes), e entre 481 (UHE Henry Borden 88 KV) e 3489 (Varginha II). Considera-se neste caso, a divisão da barra 483 em duas, sendo que uma delas está conectada com os terminais Rio Bonito e Varginha II (a injeção de reativos acontece nesta barra) e a outra conectada ao terminal Piratininga 88 KV, porém, estas duas barras divididas estão desligadas entre si.

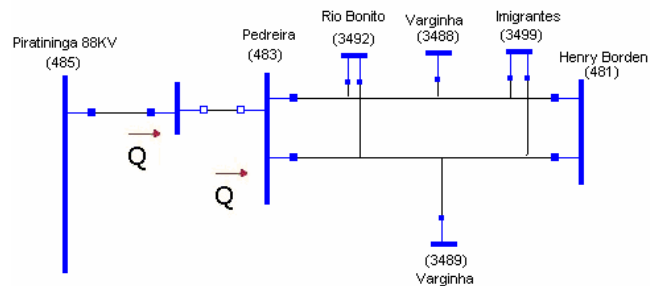


FIGURA 5 – Ilustração do Caso 4

As tabelas a seguir mostram os perfis de tensão analisada para as situações de carga leve, média e pesada, para as cinco configurações descritas anteriormente, considerando também as quantidades de energia reativa injetadas em Pedreira (barra 483).

Tabela 4– Tensões em pu nos barramentos que apresentam problemas analisados em carga leve.

BARRA	CARGA LEVE				
	Caso Original U(pu)	Caso1 U(pu)	Caso 2 U(pu)	Caso 3 U(pu)	Caso 4 U(pu)
3489	0,996	0,996	0,998	0,997	0,998
3499	0,990	0,991	0,999	0,996	0,999
3488	0,984	0,984	0,996	0,994	0,996
3492	0,986	0,987	0,999	0,998	0,999
<b>Reativo Calculado (MVar)</b>	-	<b>50.73</b>	<b>5.29</b>	<b>54.91</b>	<b>54.90</b>

Tabela 5 – Tensões em pu nos barramentos que apresentam problemas analisados em carga média.

BARRA	CARGA MÉDIA				
	Caso Original U(pu)	Caso1 U(pu)	Caso 2 U(pu)	Caso 3 U(pu)	Caso 4 U(pu)
3489	0,973	0,972	0,992	0,992	0,992
3499	<b>0,938</b>	<b>0,937</b>	0,993	0,991	0,994
3488	<b>0,913</b>	<b>0,912</b>	0,989	0,988	0,989
3492	<b>0,905</b>	<b>0,904</b>	0,991	0,991	0,991
<b>Reativo Calculado (MVar)</b>	-	<b>1.44</b>	<b>41.28</b>	<b>41.61</b>	<b>39.91</b>

Tabela 6 – Tensões em pu nos barramentos que apresentam problemas analisados em carga pesada.

BARRA	CARGA PESADA				
	Caso Original U(pu)	Caso1 U(pu)	Caso 2 U(pu)	Caso 3 U(pu)	Caso 4 U(pu)
3489	0,974	0,974	0,991	0,992	0,991
3499	<b>0,898</b>	<b>0,898</b>	0,989	0,986	0,989
3488	<b>0,857</b>	<b>0,857</b>	0,982	0,981	0,982
3492	<b>0,850</b>	<b>0,850</b>	0,989	0,988	0,989
<b>Reativo Calculado (MVar)</b>	-	<b>0.17</b>	<b>53.32</b>	<b>52.84</b>	<b>51.72</b>

Além da análise dos perfis de tensão, é necessário também o levantamento dos fluxos de potência entre as barras, para que desse modo, possa se verificar se algum limite foi atingido, ou seja, se ocorreu alguma situação de sobrecarga. A Tabela 7 abaixo mostra o fluxo de potência para os casos analisados em questão.

Tabela 7 – Análise de sobrecarga.

<i>Equipamento</i>	<i>Capacidade [MVA]</i>	<i>Caso Original [MVA]</i>	<i>Caso 1 [MVA]</i>	<i>Caso 2 [MVA]</i>	<i>Caso 3 [MVA]</i>	<i>Caso 4 [MVA]</i>
<i>Banco Transformador 484-485</i>	400	276.0 + j53.0 (281MVA)	280.0 + j52.7 (285MVA)	276.0 + j53.8 (281MVA)	<b>429.0 + j74.4 (435MVA)</b>	278.0 + j52.5 (283MVA)
<i>L.T. 473 – 481</i>	354	<b>369.0 + j67.3 (375MVA)</b>	<b>369.0 + j67.4 (375MVA)</b>	<b>370.5 + j24.0 (371MVA)</b>	250.8 + j23.0 (252MVA)	<b>368.0 + j24.0 (370MVA)</b>
<i>L.T. 472 – 477</i>	637	39.3 + j9.68 (41MVA)	39.7 + j9.7 (41MVA)	39.6 + j13.1 (42MVA)	62.8 + j15.4 (65MVA)	39.9 + j12.2 (42MVA)
<i>L.T. 480 – 484</i>	270	-37.2 + j45.3 (59MVA)	-36.4 + j45.6 (58MVA)	-36.6 + j49.3 (61MVA)	9.9 + j54.2 (55MVA)	-36.0 + j49.5 (61MVA)
<i>Banco Transformador 471-473</i>	800	625.2 + j106.9 (634MVA)	625.1 + j106.9 (634MVA)	626.6 + j108.6 (636MVA)	467.7 - j72.1 (473MVA)	624.0 + j107.0 (633MVA)

## 6.0 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS E TOPOLOGIA PROPOSTA.

Feita toda a análise computacional do fluxo de potência do sistema elétrico evidenciado, e analisando-se os perfis de tensão, bem como as condições de operação de alguns equipamentos do sistema (análise de sobrecarga) nos cinco casos estudados, pode-se chegar à conclusão de que o caso mais indicado para substituir a topologia atual da rede, visando assim adequar o perfil de tensão e ao mesmo tempo manter o fluxo de potência em condições aceitáveis nos equipamentos do sistema, é o Caso 3. Esta decisão foi tomada mediante a comparação dos perfis de tensão entre os casos, sendo que os Casos 2,3 e 4 apresentaram os melhores valores em pu para os barramentos que operando pela topologia atual da rede, apresentavam sérios problemas de tensão.

Por outro lado, analisando-se as condições de sobrecarga (Tabela 7), obtidas pela análise do fluxo de potência, pode-se observar que em todos os casos alguns limites de potência foram ultrapassados. Nota-se que nos casos 1,2 e 4 a linha de transmissão entre as barras 473 e 481 teve seu limite de potência violado.

Já no caso 3 foi o banco transformador entre as barras 484 e 485. Deve-se salientar que esta sobrecarga no banco (Caso 3) pode ser admitida, já que seu valor corresponde a 8,75% da potência nominal deste equipamento, sendo então, uma situação aceitável em sistemas de potência. Um outro fator para a escolha do caso 3 como a nova topologia da rede, é que esta sobrecarga no banco de transformadores ocorrerá somente em carga pesada em alguns meses do ano.

Caso seja necessário evitar esta sobrecarga, a UTE Piratininga 88 KV (conectada à barra 485) deverá gerar 38 [MW] a mais do que gera nas condições atuais do sistema, sendo a geração em Pedreira (barra 483) calculada em 44,8 [MVA<sub>r</sub>]. Se a usina elevatória de Pedreira não puder operar como compensador síncrono a potência gerada em Piratininga deverá ser de 42 [MW] a mais do que a gerada atualmente. No entanto, devido ao alto custo de produção da usina térmica, esta opção torna-se menos atraente.

De posse destas informações, a Tabela 8, mostrada abaixo, reúne os perfis de tensão obtida nas condições de carga leve, média e pesada para o modelo escolhido como a nova topologia da rede (Caso 3).

TABELA 8 – Tensões em pu nos barramentos que apresentavam problemas.

BARRA	CASO 3		
	Carga Leve U(pu)	Carga Média U(pu)	Carga Pesada U(pu)
3489	0,997	0,992	0,992
3499	0,996	0,991	0,986
3488	0,994	0,988	0,981
3492	0,998	0,991	0,988

Para completar estes estudos é necessária a realização de uma análise de contingência para o caso escolhido (caso 3), procurando desse modo saber como operará o sistema na eventualidade da perda de um banco de transformadores ou até mesmo uma linha de transmissão.

Sendo assim, analisaremos as seguintes hipóteses:

Contingência 1 (C1): Perda de 1 banco de transformadores entre as barras 485.

Contingência 2 (C2): Perda de 1 linha de transmissão entre as barras 484 e 489.

Contingência 3 (C3): Perda das 2 linhas de transmissão entre as barras 484 e 489.

Para estas contingências analisadas, foram estudadas duas situações diferentes. A primeira refere-se à operação do sistema sem a geração de reativos em Pedreira (barra 483). A segunda considera a operação com geração de reativos na barra em questão. A Tabela 9 ilustra a análise descrita.

TABELA 9 – Tensões em pu obtidas pela análise de contingências.

Barras	C1 NORMAL U (pu)	C1 COM 53 MVAR U (pu)	C2 NORMAL U (pu)	C2 COM 53 MVAR U (pu)	C3 NORMAL U (pu)	C3 COM 53 MVAR U (pu)
485	<b>0,946</b>	0,986	0,971	1,000	<b>0,837</b>	<b>0,915</b>
484	1,002	1,008	1,004	1,010	<b>0,884</b>	<b>0,931</b>
480	1,023	1,026	1,024	1,027	0,977	0,996
481	1,005	1,005	1,005	1,005	0,997	0,999
483	<b>0,945</b>	0,986	0,970	0,999	<b>0,836</b>	<b>0,915</b>
3489	<b>0,937</b>	0,978	0,961	0,992	<b>0,826</b>	<b>0,906</b>
3499	<b>0,93</b>	0,971	0,955	0,985	<b>0,818</b>	<b>0,899</b>
3488	<b>0,924</b>	0,966	<b>0,949</b>	0,980	<b>0,812</b>	<b>0,893</b>
3492	<b>0,933</b>	0,974	0,957	0,988	<b>0,821</b>	<b>0,902</b>

## 7.0 – CONCLUSÃO

Como resultado dessa mudança de filosofia, obtivemos uma diminuição na possibilidade de violação dos limites de tensão além do melhor ajuste da tensão no nível de 88 [KV]. Desse modo, foi possível obter melhores perfis de tensão com a geração de potência reativa em Pedreira (483), além de liberar a capacidade de transmissão de linhas e transformadores através da diminuição do tráfego de potência reativa pelo sistema, visto que no caso proposto (Caso 3), esta potência passará a ser produzida mais bem distribuída em relação à carga. Observando-se a análise de contingências, a linha em circuito duplo entre as barras 489 e 484, com a perda de somente um circuito as tensões em Rio Bonito, Imigrantes e Varginha não apresentaram problemas de subtensão quando da análise do Caso 3 para a contingência C2.

Portanto, este estudo mostrou-se eficaz do ponto de vista técnico e econômico, na medida em que solucionou o problema dos baixos perfis de tensão apresentados, utilizando-se apenas de recursos já existentes no parque gerador da EMAE, aperfeiçoando assim o uso de equipamentos já existentes com vista a uma melhoria nas características operacionais do sistema elétrico no qual esta empresa está inserida.

Conclui-se, portanto que um critério de operação mais próximo do ideal seria o Caso 3, onde as barras de Varginha, Imigrantes e Rio Bonito fossem alimentadas através da Usina Elevatória de Pedreira (barra 483) onde as máquinas síncronas da mesma seriam utilizadas regularmente como compensadores síncronos sobre-excitados para compensação de reativos.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – WEEDY, B. M. *Sistemas Elétricos de Potência*, Editora Polígono, São Paulo.
- [2] – WOOD, A. J.; WOLLENBERG, B. F. *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, 1984.
- [3] – MURTY, P.S.R. *Power System Operation and Control*, McGraw-Hill, 1984.
- [4] – TAYLOR, C.W. *Power System Voltage Stability*, McGraw-Hill, 1994.
- [5] – Miller, T.J.E.. *Reactive Power Control in Electric Systems*. John Wiley & Sons, 1982.
- [6] – Milano, F.; *PSAT 1.3.1(MatLab/Power System Analysis Toolbox)*, Universidade de Waterloo, Canadá, 2004.
- [7] – Manhire, B. *On Three-Phase Reactive Power*, Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition, Section 1793, USA..
- [8] – Alvarado, F.; Borissov, B.; Kirsch, L.D.; *Reactive Power as an Identifiable Ancillary Service*, Transmission Administrator of Alberta, Ltd., Alberta, Canada, March 2003.
- [9] – Kirby, B.; Hirst, E.; *Ancillary Service Details: Voltage Control*, National Regulatory Research Institute, December 1997, Columbus, Ohio, USA.