



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

EXPERIÊNCIA NA APLICAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA PERDA DE SINCRONISMO NO SIN

**Paulo Gomes* Marcelos G. Santos Sebastião T. Ferreira Alexandre G. Massaud
Fernando A. Viotti Jorge Miguel Ordacgi F^o Sérgio Renato M. Alves Antonio Carlos R. Duarte
ONS**

RESUMO

A preocupação com a segurança operativa dos sistemas elétricos vem crescendo nos últimos tempos, notadamente nos novos ambientes competitivos.

Uma das principais ações empreendidas visando aumentar a segurança operativa é a utilização das chamadas Proteções para Perda de Sincronismo.

Este tipo de ação é uma das células componentes do Plano de Segurança para o SIN (Sistema Interligado Nacional), em fase de desenvolvimento pelo ONS.

O presente artigo tem por objetivo ilustrar os resultados obtidos com a metodologia empregada na interligação Norte/Sul, a situação atual no emprego de tal recurso e as aplicações futuras, considerando-se as novas interligações regionais.

Palavras-chave: Segurança Operativa, Proteção.

1. INTRODUÇÃO

Em passado recente entrou em serviço a Interligação N/S, a qual foi submetida a um grande número de desligamentos automáticos no seu período de infância. Para tanto contribuíram mais significativamente:

- Problemas com a limpeza da faixa de serviço;
- Oscilações no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Graças a um tratamento adequado das variáveis envolvidas no processo de desligamento automático por oscilações no SIN, mediante análise de simulações e monitoração do comportamento real do sistema elétrico, pôde-se reajustar a Proteção para Perda de Sincronismo (PPS) da Interligação N/S de forma a assegurar operação sem riscos de colapso de tensão na Área Goiás/Brasília, garantindo a sua plena funcionalidade e confiabilidade. No ano 2000 já foi observada uma significativa melhoria de desempenho, registrando-se um

número muito pequeno de desligamentos automáticos, que foram restritos à eliminação de faltas.

Para o futuro próximo está prevista a energização de importantes obras, que no tocante à transmissão envolve cerca de 5.000 km de novas linhas de 500 kV, tais como:

- Tucuruí – Vila do Conde;
- Tucuruí – Marabá;
- Marabá – Açailândia;
- Açailândia – Presidente Dutra;
- Presidente Dutra – Teresina;
- Imperatriz – Colinas;
- Colinas – Miracema;
- Miracema – Gurupi;
- Gurupi – Serra da Mesa;
- Serra da Mesa – Samambaia;
- Samambaia – Emborcação;
- Samambaia – Itumbiara;
- Ibiúna – Bateias;
- Serra da Mesa – Rio das Éguas;
- Rio das Éguas – Bom Jesus da Lapa;
- Bom Jesus da Lapa – Sapeaçu

Com estas obras, as conexões entre os Subsistemas N/NE, S/SE, N/S e SE/NE ficarão reforçadas e o SIN passará a trabalhar dentro de um novo paradigma de operação. Assim, são esperadas alterações significativas nos níveis de intercâmbio, o que implica em se tomar cuidado cada vez maior com a perspectiva de perda de uma ou mais interligações e com a propagação

de grandes perturbações. Tal cuidado implica no uso intenso de proteções de carácter sistêmico como as PPS's.

2. A EXPERIÊNCIA OBTIDA COM A PPS IMPLANTADA NA NORTE/SUL

2.1 A experiência obtida com a PPS implantada na Interligação Norte-Sul (atualmente denominada Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste)

Na primeira etapa de sua implantação, de acordo com os documentos produzidos na fase de planeamento, a Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste, apesar de possuir equipamentos dimensionados para carregamentos máximos permanentes de 1300 MW, foi concebida de forma a acomodar intercâmbios entre as regiões, por ela conectadas, de até 1000 MW, visto que fluxos superiores a este valor, medidos em Imperatriz, demandariam reforços adicionais nos sistemas receptores.

Tais reforços seriam necessários para que os sistemas receptores pudessem manter um nível satisfatório de desempenho, tendo-se adotado como premissa que a operação da interligação não deveria resultar em degradação do nível de desempenho dos sistemas operando isoladamente. Assim, um conjunto de alternativas de reforços foi analisado, sendo recomendada uma alternativa, classificada como de média flexibilidade operativa, representando um compromisso equilibrado entre flexibilidade operativa e custos. Porém, quando do início da operação comercial desta interligação, em março de 1999, tal alternativa de reforços não havia sido totalmente implementada, embora no encaminhamento do relatório do Grupo de Estudos Elétricos da Interligação Norte-Sul (antiga denominação), Ref.: N/S-GEE.021.96, de dezembro de 1996, lia-se, textualmente: "A ausência de qualquer dos elementos constantes do programa de obras de reforço no sistema Sudeste recomendado para receber a interligação daria ensejo à imposição de restrições de ordem operativas adicionais, limitando a flexibilidade e qualidade do sistema como um todo, e com possíveis implicações sobre os benefícios energéticos da interligação.

2.2 A filosofia e os ajustes iniciais

Os estudos pré-operacionais da Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste foram realizados em duas fases distintas. A primeira envolveu um grupo misto planeamento/operação com o objetivo de agilizar ao máximo a obtenção de informações relevantes para o planeamento da operação. Em sua segunda fase, foi dada ênfase ao enfoque operativo e ao comissionamento da interligação. Nesta fase estiveram em atividade três forças-tarefas que se dedicaram aos aspectos de desem-

penho do sistema enfocando regime permanente, regime dinâmico, transitórios eletromagnéticos e do controle carga-freqüência.

No que diz respeito ao desempenho dinâmico do sistema, foi levada a termo uma série de análises que definiram as ações necessárias ao estabelecimento dos procedimentos operacionais a serem observados a partir da entrada em serviço da Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste. Estas análises apontaram para a necessidade de ações de controle, do ponto de vista dos geradores e da proteção sistêmica, que visavam basicamente os seguintes objetivos:

- Prover o Sistema Interligado Norte-Sudeste/Centro Oeste de amortecimento adicional ao já provido pela presença dos TCSC's localizados nas extremidades da Interligação;
- Contornar situações de potencial instabilidade entre os Sistemas Interligados N/NE e S/SE/CO, promovendo a separação controlada dos dois sistemas pela abertura do circuito cuja perda é menos crítica para o desempenho global e garantindo que esta separação se dê de forma suficientemente rápida, de modo a garantir um limite aceitável para a queda de tensão que ocorre na Área Goiás – Brasília, acompanhando o estabelecimento de uma condição de instabilidade entre os sistemas.

No que se refere à instabilidade entre os Sistemas Interligados N/NE e S/SE/CO e colapso de tensão, e de suas potenciais conseqüências, grande parte do esforço de análise do desempenho do sistema Sudeste foi carreado para o estudo de uma medida de proteção sistêmica capaz de atender de forma satisfatória aos objetivos do item 2.1 anterior.

Estas análises conduziram a uma proposição de ajustes para as Proteções para Perda de Sincronismo (PPS) instaladas nos terminais de Serra da Mesa e de Gurupi. Dentre os critérios utilizados nas simulações que balizaram o cálculo dos ajustes finalmente implantados, destacou-se: "Não permitir a excursão transitória das tensões na região de Brasília em valores abaixo de 85% da tensão nominal, de modo a se evitar o desligamento de cargas por subtensão".

Os ajustes, assim calculados, foram testados em simulações dinâmicas que confirmaram a sua adequação em relação aos objetivos a serem atingidos. Para tanto, foi de capital importância o fato dos disjuntores da LT 500 kV Serra da Mesa – Gurupi serem capazes de interromper correntes elevadas em condições de oposição de fase.

Estes ajustes iniciais, representaram uma solução de compromisso de forma a atender aos objetivos desejados no que diz respeito à separação dos sistemas N/NE e S/SE/CO, quando do estabelecimento de uma condição de instabilidade, quer seja associada a um

colapso de tensão, quer seja a um fenômeno de perda de sincronismo. Esta solução de compromisso implicou em limitação do carregamento da Interligação Norte/Sudeste/Centro Oeste em 800 MW, sentido Norte para Sul, valor este medido no terminal de Serra da Mesa – vão de Gurupi. Registra-se que este limite é válido para níveis de tensão em Serra da Mesa - 500 kV iguais ou superiores a 525 kV, ficando reduzido quando da operação em tensões inferiores.

2.3 Estatística desta interligação

Operando durante a maior parte do ano de 1999 com fluxos no sentido Serra da Mesa – Imperatriz, esta Interligação contribuiu significativamente na mitigação dos riscos energéticos associados ao sistema Norte/Nordeste.

Neste cenário, mais provável para o desempenho elétrico, os benefícios esperados foram plenamente atingidos, tendo a Interligação apresentado um desempenho compatível com a fase inicial de operação de uma instalação de seu porte.

Ao final de 1999, com a mudança do cenário energético, a Usina de Tucuruí iniciou a destinação de parte de seus excedentes energéticos para o sistema Sudeste. A partir desse momento, a Interligação Norte-Sudeste/Centro-Oeste passou a operar predominantemente com fluxos no sentido Imperatriz-Serra da Mesa.

Como já havia sido constatado nos estudos pré-operacionais da Interligação, este se configurava como o cenário mais desfavorável do ponto de vista do desempenho elétrico, envolvendo riscos de perda de sincronismo entre os sistemas S/SE/CO e N/NE, colapso de tensão na área de Brasília e possível perda das interligações regionais.

Confirmando esta expectativa, a predominância de fluxos no sentido Imperatriz - Serra da Mesa, em valores próximos aos limites estabelecidos até então (800 MW), resultou num grande número de atuações da PPS de Serra da Mesa, atuações estas sem maiores consequências elétricas, porém causadoras de uma nova limitação ao fluxo Norte/Centro Oeste, que foi provisoriamente reduzido, em janeiro de 2000, a 700 MW, o que por força de sinalizações de “déficits” crescentes de energia no sistema SE/CO, passou a ser fator de restrição aos fluxos energéticos.

Os gráficos 1 e 2, a seguir, mostram a estatística de desempenho da Interligação no que concerne a seus desligamentos automáticos, durante o período inicial com limitação em 800 MW e durante os seis primeiros meses com limite de 700 MW.

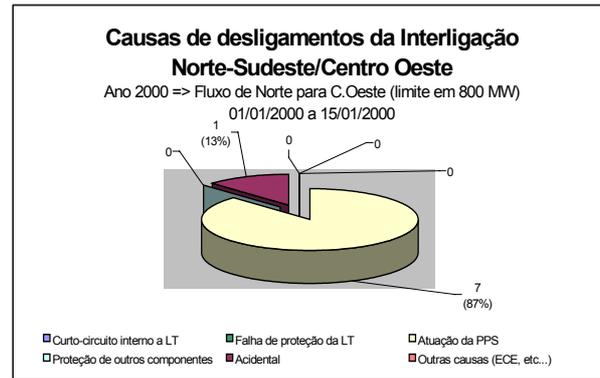


Gráfico 1: Desempenho da Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste (limite de 800 MW)

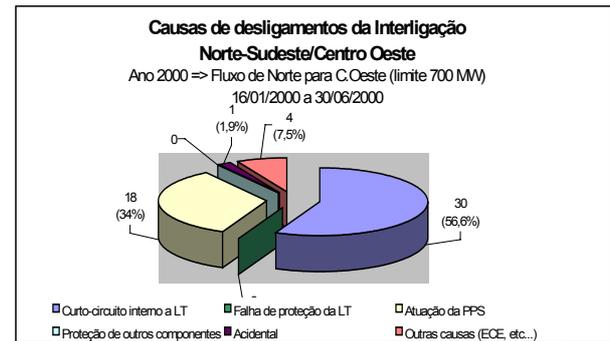


Gráfico 2: Desempenho da Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste (limite de 700 MW)

2.4 A análise de registradores – novos ajustes

A adoção do novo limite, como pode ser verificado, trouxe resultados positivos com considerável redução do número de aberturas automáticas da Interligação por atuações da PPS de Serra da Mesa. Porém, face às sinalizações de cenários energéticos desfavoráveis para o sistema SE/CO, previstos a partir do ano de 2001, a liberação de fluxos no sentido Norte-Centro Oeste próximos ao limite considerado nos estudos de planejamento (1000 MW) teria um ganho significativo para a operação do SIN.

Assim sendo, todas as informações disponíveis durante o primeiro ano de operação da Interligação foram amplamente analisadas, cruzando-se resultados de estudos com análises e registros de perturbações, principalmente naqueles casos resultantes de ocorrências externas à Interligação.

Baseados nestas informações obtidas, cogitou-se, já em novembro de 2000, utilizar a PPS da Interligação Norte-Sudeste/Centro-Oeste como uma proteção adaptativa, ou seja, praticando dois conjuntos diferentes de ajustes ao longo do dia, um mais conservador, idêntico aos até esta data utilizados, com seus respectivos limites de fluxo, apenas durante o período diário de carga leve e um novo conjunto, mais flexível, que permitiria um aumento do limite de fluxo para a situação Norte

exportador, durante os períodos de carga média e pesada, conforme ilustrado a seguir:

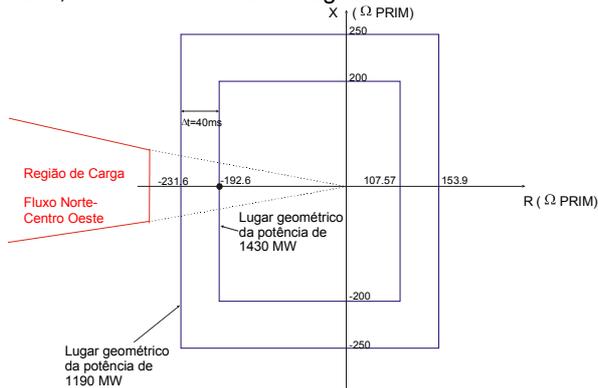


Figura 1: Novo ajuste para a PPS do terminal Serra da Mesa

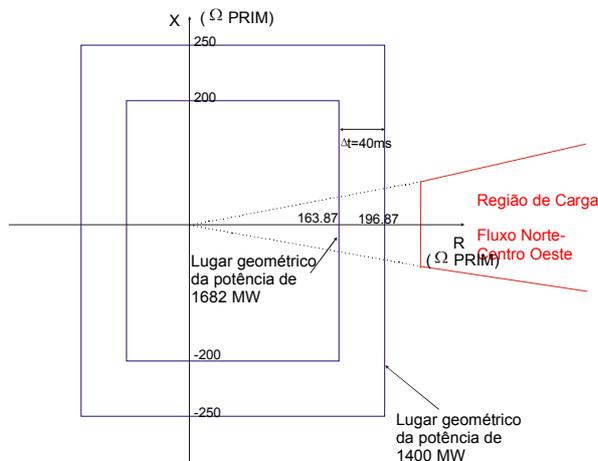


Figura 2: Novo ajuste para a PPS do terminal Gurupi

Durante os procedimentos para implementação desta nova filosofia da proteção, já estando as respectivas Instruções de Operação em fase de revisão e iniciado o treinamento dos despachantes/operadores do Sistema, para esta nova situação, foram concluídos estudos dinâmicos que desaconselhavam a exploração concomitante de fluxos elevados no tronco de 750 kV e na Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste, tudo com o intuito de preservar o Sistema Nordeste de reflexos, durante uma possível abertura seqüencial das mesmas, vislumbrando-se assim a possibilidade de um relaxamento dos critérios iniciais na utilização da PPS da Interligação, como agente de prevenção para evitar colapso na área Goiás-Brasília. Abriu-se assim, ainda que sob condições, espaço para uma redução do alcance das características da mesma, em todos os regimes de carga, sendo possível, então explorar a Interligação, no sentido Norte para Centro Oeste, próximo ao seu limite de 1000 MW, valor este medido no terminal da SE Serra da Mesa sendo, portanto, recomendados novos ajustes para as PPS's dos terminais Serra da Mesa e Gurupi, que passaram a ter novos alcances, conforme mostrados nas Figuras 1 e 2.

Com a adoção desses novos ajustes foi verificada uma significativa redução do número de aberturas automáticas da Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste, tanto para oscilações estáveis com origem fora do tronco de 750 kV quanto para grandes rejeições de carga no Sistema Norte/Nordeste.

Dessa maneira foi possível, no início do ano de 2001, liberar fluxos de 1000 MW no sentido Norte-Sudeste/Centro-Oeste, permitindo considerável ganho, em termos de MW médios, na transferência energética entre o Norte e o Sudeste.

No final do ano de 2002, com o início da entrada em operação dos reforços no sistema receptor Centro Oeste, previstos em planejamento para receber a Interligação Norte-Sudeste/Centro-Oeste, e adiados na ocasião, por remanejamento de recursos, foi possível ao ONS rever a utilização da PPS como uma verdadeira Proteção para Perda de Sincronismo entre Sistemas Interligados, resultando daí na desativação das mesmas nos terminais de Serra da Mesa e de Gurupi e sua ativação no terminal de Miracema, da LT 500 kV Miracema - Colinas, permitindo esta medida não só a liberação definitiva da prática de fluxos de 1000 MW, em qualquer sentido, da citada Interligação Regional, como também a operação da UHE Lajeado como sendo uma Usina eletricamente do sistema S/SE/CO.

3. NOVAS INTERLIGAÇÕES – PPS's RECOMENDADAS E OBJETIVO(S)

3.1 Na interligação Norte-Nordeste

As LT's 500 kV Presidente Dutra – Teresina e Presidente Dutra – Boa Esperança interligam os sistemas Norte e Nordeste, permitindo intercâmbio de até 1000 MW de energia do Norte para o Nordeste. Na ocorrência de emergências que levam os sistemas à perda de sincronismo, faz-se necessária a abertura da interligação Norte-Nordeste pela atuação das proteções de perda de sincronismo envolvidas.

Na maioria dos casos, a PPS da LT 500 kV Presidente Dutra – Boa Esperança detecta primeiro o fenômeno de perda de sincronismo e aciona um esquema que comanda a abertura da interligação Norte-Nordeste e de alguns circuitos de 500 kV para controle de sobretensões dinâmicas. Todavia, na indisponibilidade desta LT, ou ainda no caso da falha deste esquema, faz-se necessária a atuação da PPS da LT 500 kV Presidente Dutra – Teresina.

A entrada em operação do segundo circuito da LT 500 kV Presidente Dutra – Teresina, prevista para março de 2003, melhora as condições de atendimento das áreas Norte e Oeste da região Nordeste. Todavia, alguns reajustes serão necessários na proteção de perda de sincronismo desta linha. Na verdade, o ajuste adequado para operação com dois circuitos mostra-se inadequado para operação com indisponibilidade de um

dos circuitos. Este problema é contornado com a manutenção de dois grupos distintos de ajustes nos relés, que são automaticamente modificados em função do número de circuitos em operação.

3.2 Na interligação Sudeste-Nordeste

A interligação Sudeste-Nordeste se constitui numa linha de transmissão de 500 kV, entre as SE's de Serra da Mesa, em Goiás, e Sapeaçu, na Bahia. Esta ligação, com cerca de 1060 km, dispõe de três subestações intermediárias (Rio das Éguas, Bom Jesus da Lapa e Ibicoara).

Na subestação de Bom Jesus da Lapa existe transformação 500 kV/230 kV, e interligação com o sistema de 230 kV da Chesf existente na região, e que, atualmente, é atendido a partir da SE de Sobradinho.

A entrada em operação da interligação Sudeste/Nordeste resulta no fechamento de um anel de transmissão entre as regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Consequentemente, distúrbios ocorridos numa das interligações regionais podem provocar reflexos significativos no comportamento das outras interligações. No caso específico da interligação Sudeste/Nordeste, os estudos desenvolvidos apontaram a possibilidade da abertura da interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste resultar na perda de sincronismo entre o sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro Oeste e o sistema Norte/Nordeste, para algumas condições críticas de topologia e carregamento da rede.

Para minimizar a exposição do sistema às fortes oscilações eletromecânicas associadas ao processo de perda de sincronismo, bem como para permitir a separação dos sistemas no ponto mais adequado, recomendou-se a implantação de PPS nos seguintes pontos:

- Bom Jesus da Lapa 500 kV, abrindo a LT de 500 kV Bom Jesus da Lapa - Rio das Éguas;
- Senhor do Bonfim 230 kV, abrindo a LT de 230 kV Senhor do Bonfim - Irecê.

3.3 Na interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste

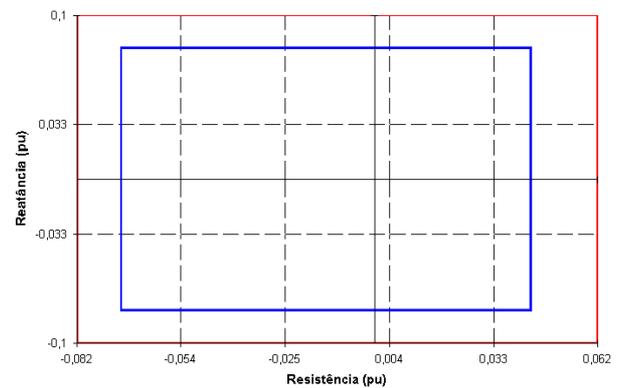
Com os reforços de transmissão que estão sendo implantados, em especial aqueles associados às interligações Norte-Nordeste, Sudeste-Nordeste e Norte-Sudeste/Centro Oeste, fica sensivelmente reduzido o risco de perda de sincronismo entre os sistemas Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste.

Os estudos demonstraram que a perda de sincronismo ocorre apenas para eventos de mais baixa probabilidade de ocorrência, envolvendo o desligamento de grandes blocos de geração ou de carga, e ainda, para determinadas condições de topologia e carregamento

da rede. Entretanto, estes eventos não provocavam colapso de tensão na região de Brasília.

Este fato está associado diretamente aos recentes reforços implantados/previstos na região correspondentes às LT's de 500 kV Samambaia - Emborcação, Samambaia - Itumbiara e terceiro circuito Serra da Mesa - Samambaia.

Embora os eventos que possam provocar a perda de sincronismo sejam de baixa probabilidade decidiu-se pela implantação de PPS para melhor adequar as condições sistêmicas após a abertura da interligação. Neste caso, o local julgado mais adequado para a PPS foi em Miracema 500 kV, abrindo o trecho Miracema - Colinas. Os ajustes implantados estão descritos na Figura 3:



valores em pu de 500 kV e 100 MVA
tempo de discriminação de 30 ms

Figura 3: Ajuste Proposto para a PPS do Terminal de Miracema da LT 500 kV Miracema - Colinas

3.4 Na interligação Sul-Sudeste

Historicamente a PPS desta interligação tem apresentado um excelente desempenho. Hoje, com a existência de três circuitos de 750 kV, deve-se registrar que em cada um deles a PPS tem características completamente distintas das demais, o que não tem interferido diretamente com o desempenho do conjunto de proteções para perda de sincronismo.

Com o reforço desta interligação por meio de dois circuitos de 500 kV entre Ibiúna e Bateias, serão realizados estudos específicos para estas PPS e de revisão dos ajustes das PPS do 750 kV. Nessa oportunidade, se necessário, serão tomadas providências para compatibilizar as diferentes características das PPS's do 750 kV.

4. CONCLUSÕES

- A utilização de proteção para perda de sincronismo revelou-se uma ferramenta confiável de grande relevo para prover a fragmentação controlada do

SIN em subsistemas estáveis quando de grandes perturbações. Este tema tem sido encarado pelo ONS como uma das principais vertentes do aumento da segurança operativa do SIN, a ponto de constituir uma das células do Plano de Segurança em desenvolvimento por parte deste Operador.

- A experiência vivenciada com a Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste propiciou importantes subsídios para atividades relacionadas com as novas interligações.
- A título de exemplo, é interessante citar que, na perturbação de 21 de janeiro de 2002, quando ocorreu um distúrbio de grande porte no Sistema Sudeste, os Sistemas Norte e Nordeste não foram afetados graças ao bom desempenho da PPS da Interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste, bem como o Sistema Sul também foi isolado pela atuação correta das PPS da Interligação Sul-Sudeste. Na oportunidade, como o Sistema Sul operava como receptor em relação ao Sudeste/ITAIPU, houve ligeiro corte de cargas não prioritárias pelo Esquema Regional de Alívio de Carga – ERAC na Região Sul para restabelecer o equilíbrio entre carga e geração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ONS – Nota Técnica 048/2000 – “Interligação Norte/Sul: Providências para Permitir Aumento do Fluxo no Sentido Norte-Sul”
- ONS – Estudo – “Panorama Operativo da Interligação Norte/Sul”
- ONS – Estudos Pré-Operacionais Associados às Interligações Norte-Nordeste, Norte-Sul e Sudeste-Nordeste
- Procedimentos de Rede – Submódulo 11.7 – “Proteções de Caráter Sistemico”