SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GTL - 16
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO XVI
GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

REDE DE CONTINGÊNCIA PARA SERVIÇOS OPERATIVOS

Guilherme Preger

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS
Departamento de Engenharia de Telecomunicações

RESUMO

Este trabalho descreve a Rede de Contingência de Furnas cuja função será de fornecer ao Sistema Óptico de Transmissão desta empresa, denominado SISOP, rotas alternativas que garantam uma disponibilidade superior a 99,98% para alguns circuitos de serviços operativos classificados como Classe A nos Procedimentos de Rede do ONS.

PALAVRAS-CHAVE

Contingência, Disponibilidade, Convergência, Rede ATM, Serviços Críticos

1.0 - INTRODUÇÃO

As novas regras do setor elétrico firmadas pela ANEEL tornaram mais rígidos os critérios de disponibilidade das linhas de transmissão e mais severas as penalidades em caso de interrupção do serviço de fornecimento. Com isso tornou-se também mais importante a necessidade de se contar com as informações dos diversos serviços essenciais de apoio à operação do Sistema Elétrico, o SCADA, a Telemedição, a Telefonia Operativa etc. Com a automação de diversas atividades, a disponibilidade desses serviços se tornou ainda mais crítica, pois atualmente é impossível pensar nos sistemas elétricos separados dos serviços de telecomunicações que lhes dão suporte.
Por outro lado, em seus Procedimentos de Rede, Módulo 13, o Operador Nacional do Sistema (ONS) fixou critérios de disponibilidade para seus serviços de comunicação. Muitos desses serviços, como os canais do CAG, do SCADA para o COS, das telefonias operativas entre Centros de Operação, trafegam no sistema de Furnas. Nos Procedimentos, os serviços mais importantes, como os mencionados, necessitam de uma disponibilidade de 99,98% (que corresponde a uma interrupção máxima anual de 1 hora e 40 minutos) e de um tempo de restituição de, no máximo, 8 horas.
Uma das principais premissas do projeto do novo Sistema Óptico de Transmissão de Furnas de Furnas – SISOP – é prover confiabilidade e disponibilidade aos diversos serviços necessários da empresa, de modo a garantir uma rede capaz de trafegar informações essenciais à operação do sistema elétrico de maneira segura. Para atingir este objetivo foi necessário introduzir no projeto do SISOP o conceito de Rede de Contingência. A Rede de Contingência fornecerá rotas alternativas para garantir a alta disponibilidade requerida para os serviços Classe A do ONS e para que não haja interrupção de serviços em caso da necessidade de realizar procedimentos de manutenção dos sistemas de telecomunicação, facilitando a aprovação do ONS da programação desses procedimentos.
Os requisitos de confiabilidade e disponibilidade podem ser atendidos em dois níveis distintos. O primeiro nível é o da redundância de equipamentos em que todos os serviços devem trafegar por uma rede confiável cujos equipamentos apresentem redundância de todos os módulos que podem representar um ponto único de falha. Assim, fontes, placas controladoras, matrizes de comutação, interfaces de rede e de transmissão devem funcionar

Rua Real Grandeza, 219 s. 303B - CEP 22283 -900 – Rio de Janeiro – RJ - BRASIL
Tel.: (21) 2528-4739 - Fax: (21) 2528-2004 - e-mail: preger@furnas.com.br

com proteção 1:N, isto é, devem ter elementos redundantes duais que possam assumir a operação dos sistema sem perda de tráfego em caso de queda do elemento principal.
Num segundo nível, é necessário fornecer disponibilidade extra para aqueles serviços essenciais, sem os quais o funcionamento do sistema elétrico ficaria em risco. Assim, os serviços foram diferenciados em duas categorias de atendimento: Crítico e Não crítico. Não-críticos são aqueles serviços que têm a disponibilidade natural oferecida pelo sistema (serviços como o SIT ou a Rede Intranet), isto é, considerando-se a redundância dos módulos, sobretudo aqueles relacionados às interfaces ópticas nas fibras do cabo OPGW, que foram duplicadas (proteção MSP 1+1). Críticos são os serviços que exigem disponibilidade extra, maior que a oferecida naturalmente pela rede.
A disponibilidade extra a este sistema pode ser garantida através da redundância de rotas. Embora o sistema óptico baseado em OPGW tenha naturalmente uma alta disponibilidade, no caso do OPGW vir a se romper, e com ele as fibras ópticas, o restabelecimento da via óptica poderá demorar algumas horas, tempo em que todos os serviços ficarão fora do ar, se não houver contingência de rota. Segundo o Manual de Procedimentos Operativos do Projeto Eletronet, acordado entre Furnas e a empresa Eletronet, no caso mais grave o sistema poderá ficar interrompido até 46 horas. Como o SISOP, baseado na rede óptica da ELETRONET, se caracteriza por uma topologia linear de distribuição de estações, não foi possível fechar anéis, isto é, prover uma circularidade de circuitos de modo que cada estação pudesse ser alcançada por rotas em sentido horário e anti-horário. Assim, as proteções circulares tradicionais do SDH não puderam ser implementadas e buscou-se uma solução diferente.
A solução adotada foi recorrer ao ATM (Assynchronous Transfer Mode), tecnologia clássica de distribuição estatística de serviços por uma dada banda de transmissão e comutação automática de rotas, em caso de perda de caminhos. Esta comutação automática permite atender a serviços que não possuem fonte dupla de dados. O ATM, enquanto plataforma multisserviço, permite uma centralização da administração de serviços, facilitando a configuração e o provisionamento de circuitos e o acompanhamento da performance e da ocupação de banda.
Este Informe Técnico descreverá em linhas gerais o Sistema Óptico de Transmissão de Furnas, a Rede de Contingência em sua filosofia, os serviços que contarão com disponibilidade extra e cálculos de disponibilidade de alguns circuitos.

2.0 - DEFINIÇÃO DOS SERVIÇOS COM CONTINGÊNCIA

O primeiro passo do projeto de uma Rede de Contingência é definir os serviços que deverão ser providos de uma rota alternativa que permita à sua disponibilidade alcançar índice superior a 99.98%. Não há um documento de FURNAS definindo índices de disponibilidade para os diversos serviços operativos. Na ausência deste instrumento normativo, foram realizadas entrevistas e sondagens para distinguir os serviços cuja interrupção poria em risco a operação de sistemas elétricos fundamentais. Chegou-se a uma lista mínima de serviços cujo resultado é indicado abaixo.

Teleproteção: As LT´s de tensão igual ou superior a 345 kV são sempre protegidas pelas teleproteções primária e alternada e utilizam como meios de transmissão o OPLAT (sistemas de ondas portadoras), os sistemas óptico e de rádio de Furnas. Pela alta criticidade em relação aos tempos de atraso (delay) os serviços de teleproteção não serão encaminhados pela plataforma ATM.

Telefonia Operativa: As comunicações entre subestações e Centros Regionais de Operação serão dedicadas com contingência de rota. As comunicações entre os Centros de Operação também terão contingência. As comunicações entre SE´s e o Centro de Operação em Botafogo serão dedicadas mas sem contingência sendo utilizada como alternativa a comunicação comutada via central telefônica do regional). As comunicações entre subestações adjacentes não receberão contingência. As comunicações entre os Centros de Operação de Furnas e demais empresas do setor elétrico serão dedicadas, mas sem contingência.

SCADA – Centro de Operação Regional – Os sistemas de supervisão e controle elétrico receberão contingência entre cada subestação/usina e o Centro de Operação Regional.

SCADA – Centro de Operação de Botafogo – O sistema de supervisão e controle entre Centros de Operação terão todos os seus enlaces com contingência de rota.

SCADA – Controle Remoto – O sistema de supervisão quando utilizado para controle remoto terá contingência de rota.

Telemedição/CAG – Os canais de telemedição, incluindo CAG, receberão contingência de cada SE/US para seu Centro de Operação Regional e COSR-SE do ONS.

Sistemas Especiais de Proteção – Está previsto que esses canais terão rotas alternativas.

Rede Operativa IP: Está previsto que o novo serviço fornecido pela Rede IP unificando as diferentes redes operativas que utilizam a plataforma ETHERNET/IP terão contingência de rota de 128 kbit/s por localidade para seu nó de roteamento de contingência.

Rede de Gerenciamento de Telecomunicações (DCN): Está previsto que os canais para gerenciamento de telecomunicações terão sempre contingência.

3.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE FURNAS

A topologia física do Sistema Óptico de Transmissão de Furnas – SISOP – apresenta uma rede óptica linear sem anéis baseada nos cabos OPGW utilizados pela empresa ELETRONET. Sua arquitetura é definida em quatro camadas para atendimento aos serviços: a Camada de Transporte, a Camada de Multisserviços , a Camada de Acesso e a Camada de Gerenciamento, como ilustrado na figura 1. A Camada de Transporte é representada pela via óptica, onde estão incluídos o cabo OPGW, os amplificadores, atenuadores, pré-amplificadores, cabo dielétrico, cordões monofibra e DGO e pela tecnologia SDH, de hierarquia inicial STM-4 podendo ser expandida para STM-16, cuja função é o transporte óptico de agregados de serviços de N X 2 Mbit/s de forma segura e rápida entre dois pontos de conexão. A Camada de Multisserviços é uma camada de distribuição de serviços formada por duas redes, Rede ATM e Rede IP, cuja função é distribuir cada serviço individualmente da origem ao seu destino, com possibilidade de comutação automática de serviços essenciais em caso de falha da via óptica. A Rede ATM é uma plataforma para comutação ATM e interfaces tradicionais de 2 Mbit/s, enquanto a Rede IP é uma plataforma com interfaces Ethernet (Fast e Giga) e roteamento IP. A Camada de Acesso trata dos sistemas de interface para o acesso dos serviços às camadas superiores formada por multiplexadores PCM. A Camada de Gerenciamento, que engloba todas as outras, é formada por uma plataforma de hardware de gerenciamento, por uma Rede de Gerenciamento (DCN) e por serviços que permitirão administrar remotamente cada elemento do Sistema nas disciplinas de Gerência de Falhas, de Configuração, de Performance, de Contabilização e de Segurança, ou seja, realizar a configuração dos elementos, o provisionamento dos recursos de rede, medição de performance, indicar e tomar providências como envio de e-mails no caso de falhas e emitir relatórios destas disciplinas.

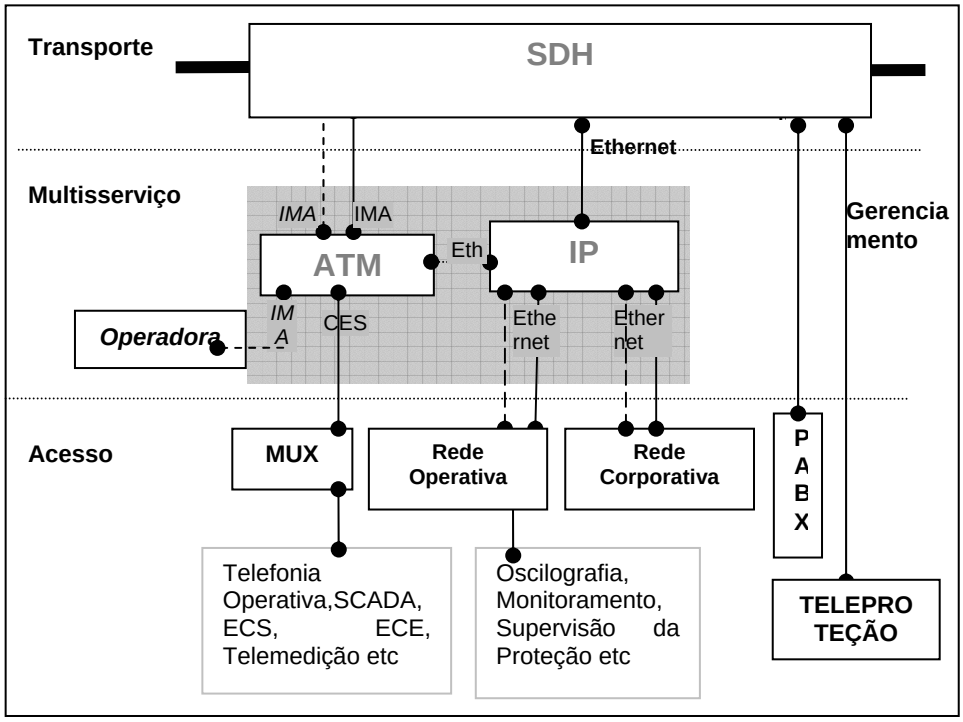

FIGURA 1- Diagrama de camadas

4.0 - DESCRIÇÃO DA REDE DE CONTINGÊNCIA

A funcionalidade básica da Rede de Contingência é prover maior disponibilidade ao sistema como um todo. O ponto não protegido do sistema mais importante é o cabo OPGW. Caso este cabo caia, haverá interrupção de rota e indisponibilidade dos serviços para aquelas localidades isoladas pelo evento até o restabelecimento do cabo.
A Rede de Contingência age em função de um problema de interrupção de rota. Neste caso há uma comutação automática baseada na tecnologia ATM através de seu protocolo de roteamento PNNI ou de ferramentas de contingência disponíveis via gerência, dependendo do equipamento. Esta comutação não é imediata possuindo um certo tempo de convergência que depende do tipo de falha e de sua localização. No caso de falha num ponto central da Rede, afetando vários nós, o tempo de convergência pode ser elevado.
A comutação automática no ATM se mostrou fundamental para atender aqueles serviços que não possuem fonte dupla e que não conseguem ser chaveados em caso de falha. Além disso, a comutação automática facilita a configuração e o provisionamento do circuito. Ela opera em dois níveis: redundância de elementos e contingência

de rotas.

4.1 Redundância de elementos

A redundância de elementos provê duplicidade de dispositivos essenciais de diversos equipamentos que permita a todos os serviços operar sem interrupção no caso de falha de uma unidade qualquer de uma máquina ou de necessidade de realizar manutenção ou atualização de software. Seu objetivo é eliminar os “pontos únicos de falha” que comprometem a operação do sistema. Assim, foram exigidas a duplicação de fontes, matrizes e placas controladoras. Para as interfaces de rede (entre dois subsistemas), foi exigida a proteção 1:N, o que significa que uma determinada interface está apta a assumir a operação no caso de queda de uma interface paralela.
O sistema óptico utiliza-se de proteção MSP 1+1, o que significa que o sistema possui 2 cabeças ópticas (RX+TX) em posição de “stand-by”, com fibras dedicadas, que podem assumir em caso de queda das cabeças principais.
A proteção do sistema de rádio funciona na configuração 4+1 em diversidade de freqüência. Nesta opção, o rádio de posição “stand-by” assume no caso de degradação do sinal de portadora de um dos rádios principais ou no caso de falha interna. Se houver perda simultânea de dois rádios, a prioridade de assumir é previamente definida pela ocupação do bastidor.
A única exceção à redundância de módulos, diz respeito às terminações finais de usuários de baixa velocidade nos muxes, pois estes equipamentos não permitem chaveamento de unidades nas placas de acesso de usuários. No entanto, foi previsto para os serviços essenciais que possam fornecer uma segunda fonte de informação (serviços TCD, conforme definição abaixo) serem provisionados em multiplexadores diferentes. Neste caso, há uma duplicidade de circuitos, desde a origem ao destino (inclusive de rota) que garante disponibilidade máxima ao serviço em questão.

4.2 Contingência de rotas

Uma das características do SISOP é estender-se sobre uma topologia física linear que impede o fechamento de rotas para formação de anéis em SDH. Assim, a queda de um cabo OPGW provocaria uma interrupção de tráfego de todo o sistema. Espera-se que este seja um evento de menor probabilidade, mas ainda assim é necessário garantir, para determinados serviços, rotas contingentes numa eventualidade de queda de seção SDH. Uma rede completamente redundante em rotas, no entanto, só seria possível num anel homogêneo.
Na impossibilidade de garantir rotas de contingência a todos os serviços, foi necessário classificar os diversos serviços em termos de criticidade (críticos e não-críticos) para a operação do sistema elétrico e os circuitos desses serviços em termos de sua fonte de informação (se dupla ou única). As classificações determinadas para os diversos serviços e circuitos estão descritas abaixo.

-Serviços Críticos: Podem ser divididos em duas sub-classes: aqueles serviços essenciais à operação do sistema elétrico e que possuem restrições quanto ao tempo de atraso na comunicação e aqueles que possuem mais tolerância a atrasos. Os primeiros têm como exemplo a Teleproteção e os Serviços Especiais de Proteção. Esses serviços exigem extra-alta disponibilidade e atraso mínimo. Para esses serviços o importante é fornecer rotas contingentes e um número menor de elementos de rede, de modo a não impor atrasos excessivos. No entanto, a restrição quanto ao tempo de atraso ao serviço de Teleproteção (~ 20 ms) é bem mais severa que a restrição aos serviços baseados em CLP´s, de modo que dependendo do tipo de sistema de transporte é possível diferenciar os atendimentos. No caso do SISOP, o serviço de Teleproteção será atendido através de interfaces de 2 Mbit/s diretamente conectadas no SDH para o circuito principal e mais um circuito alternativo através de rádio digital ou através de OPLAT. Os serviços de CLP´s serão atendidos via Rede ATM, uma vez que o atraso fim a fim inserido por essa rede é de 6 ms mais 1 ms por nó intermediário, o que não impacta o serviço. Através da Rede ATM, esses serviços terão acesso à Rede de Contingência. A segunda sub-classe de serviço, que exige extra-alta disponibilidade com maior tolerância a atraso, inclui serviços como SCADA, Telemedição, Telefonia Operativa, entre outros. Esses serviços utilizarão a Rede de Contingência sobre ATM, sendo interfaceados através de multiplexadores.
-Serviços Não-Críticos: São os serviços não essenciais, embora de importância crescente, sem restrições de tempo de atraso. Exigem alta disponibilidade (do SISOP) e suportam atrasos maiores. São exemplos o Sistema Interno de Telefonia e a Rede Corporativa, entre outros.

Para a definição da rota de contingência e da estratégia de roteamento foi importante classificar também nos serviços, os circuitos de acordo com o tipo de terminação. Foram classificados três tipos de circuitos:

-Circuitos Críticos com Terminações Duplas (TCD): São aqueles circuitos de serviços críticos com duas fontes independentes de usuário tais como as teleproteções (dois painéis), as telefonias operativas (dois hot-lines para os Regionais), o Esquema de Controle de Segurança (ECS) (duas terminações seriais), o SCADA para o COS de Botafogo (duas terminações de roteadores) e o SCADA para controle remoto (duas terminações p/ controle remoto).
- Circuitos Críticos com Terminações Únicas (TCU): São aqueles circuitos de serviços críticos com apenas uma

única fonte de usuário: SCADA para COS Regional, Telemedição, Esquemas de Controle e Alívio de Carga, além das telefonias operativas com apenas um hot-line (para o COS de Botafogo).
Circutos Não Críticos (TNC): todos os demais.

4.3 Comutação automática de rotas

A tecnologia ATM foi escolhida para o SISOP pois permite uma configuração de topologia sem anéis em SDH, realizar comutação automática por circuito (com granularidade de 64 kbit/s). Esta comutação automática pode ser realizada através do protocolo nativo ATM denominado PNNI. Cada circuito que se deseja contingenciar é provisionado como um Soft-PVC (SPVC). Trata-se de um PVC (Permanent Virtual Circuit), isto é, um circuito dedicado em células ATM, com possibilidade de comutação em caso de perda do circuito original. Quando este circuito é perdido, o protocolo PNNI procura dinamicamente (sem intervenção anterior do operador) uma rota alternativa entre os pontos de origem e destino. Alternativamente, pode ser utilizada a função de ODR (Operator Direct Routing) que permite determinar antecipadamente as rotas alternativas para cada PVC. O tempo de comutação (chamado de "tempo de convergência") depende do tamanho da rede, da topologia da rede e do número de circuitos perdidos numa interrupção de rota. É difícil precisar este tempo para o caso da rede do SISOP, porém como são apenas 27 elementos e não é considerada de tamanho grande, calcula-se que o tempo não deverá ser superior a 30 segundos, na pior das hipóteses.

4.4 Contingência dos serviços

A contingência de rotas pela Rede será realizada, assim, de duas maneiras:

- Serviços Críticos com Circuitos com Duplicidade de Fonte (TCD): serão provisionados previamente dois circuitos permanentes PVC a partir de interfaces em mux distintos seguindo caminhos integralmente diferentes. Neste caso a duplicidade de circuitos é total do início ao fim e se houver queda do circuito principal o segundo circuito pode ser acessado imediatamente.
- Serviços Críticos sem Duplicidade de Fonte (TCU): Esses serviços só podem ser atendidos via comutação automática. É provisionado um circuito com a funcionalidade típica do ATM de comutação automática, o que significa que apenas um circuito permanente é provisionado e caso haja perda da rota original a Rede ATM irá procurar uma Rota Contingente para este circuito. Para este caso, haverá um tempo de comutação que pode levar alguns segundos para que a rede se estabilize com a nova configuração. Neste tempo de convergência, o circuito não estará acessível.
- Serviços não-críticos (TNC): terão apenas um único circuito PVC provisionado.
A figura 2 ilustra o provisionamento dos circuitos explicados acima.

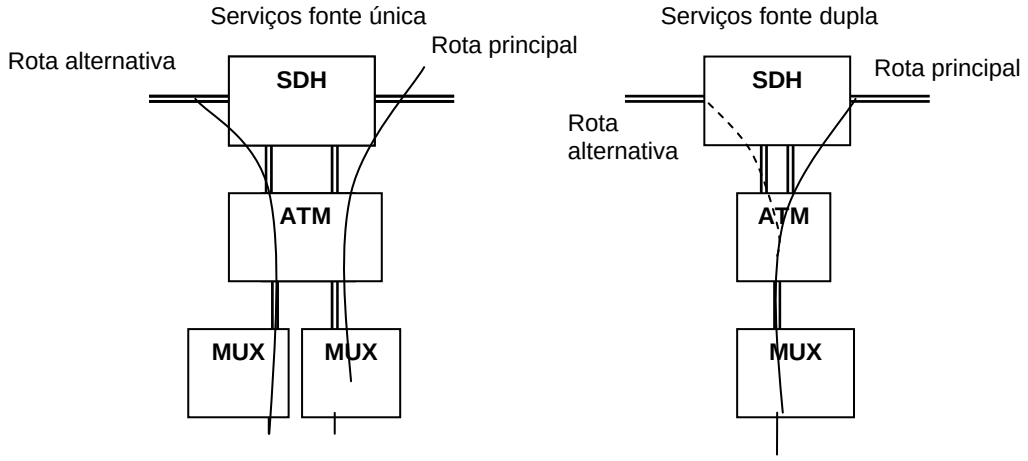

FIGURA 2 – Provisionamento dos serviços

4.5 Topologia da Rede de Contingência

A premissa básica para a topologia da Rede de Contingência deve ser que, entre duas localidades quaisquer da rede, deveriam ser traçadas duas rotas por caminhos completamente distintos da origem ao destino. Essas duas rotas foram denominadas via 1 e via 2, de maneira que a via 1 contempla prioritariamente um caminho interior ao sistema de Furnas e a via 2 um caminho que pode passar por um trecho de operadora ou por um trecho com gargalo de banda, como o caminho de rádio digital com 16 feixes de 2 Mbit/s. A topologia da Rede está descrita na figura 3.

A via 1 e a via 2 indicam não apenas caminhos completamente distintos, mas também elementos de equipamentos diferentes. Assim, as interfaces de rede do equipamento ATM devem ser diferentes, ou seja, os links ATM (2 M/IMA ou 34 M) devem estar em placas distintas. Para os serviços de terminação TCD, com duplicidade de fonte, as terminações dos circuitos independentes devem estar em multiplexadores distintos.
Para as localidades sem nó ATM é utilizada a funcionalidade de "trail-protection" dos multiplexadores e deve ser traçado um circuito PVC (não-soft) dedicado para encaminhar o serviço contingenciado através da função ATM de Circuit-Emulation (CE). Através dessa funcionalidade, o multiplexador consegue perceber a interrupção de um circuito dedicado e chavear o circuito de 64 kbit/s para uma segunda saída PCM em outra direção. Assim a segunda saída deve ser provisionada para uma segunda rota não coincidente com a primeira. Para que isso seja possível, é necessário que os dois multiplexadores nas pontas de cada circuito tenham esta funcionalidade.

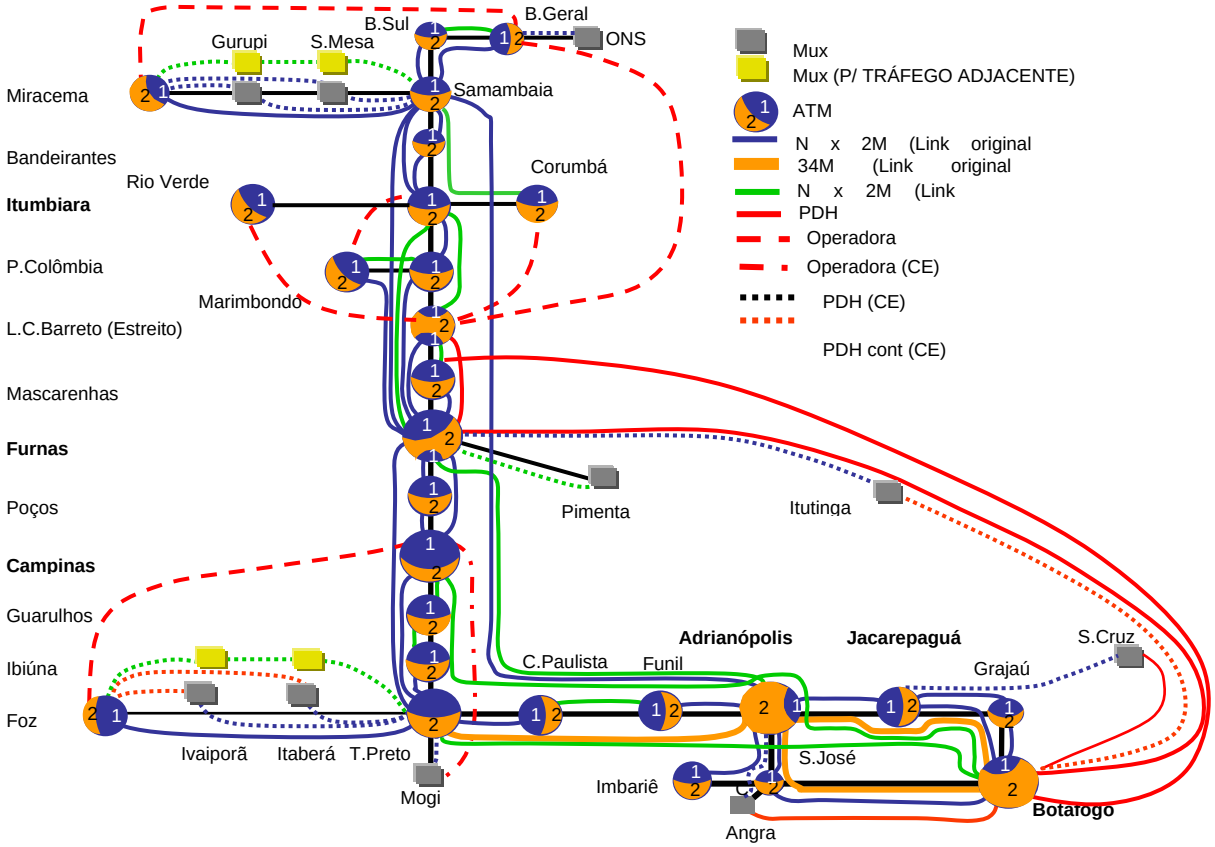

FIGURA 3 – Topologia da Rede de Contingência de Furnas

5.0 - CÁLCULOS DE DISPONIBILIDADE

5.1 Premissas

Foi possível elaborar cálculos de disponibilidade para rede baseados em certas premissas e nos dados adquiridos de MTBF (Mean Time Between Failures) de elementos dos equipamentos de Furnas e das taxas de erros de componentes críticos como o cabo OPGW. Através de aproximações e estimativas foram também feitas projeções de tempo médio de restabelecimento nas várias possibilidades de indisponibilidade. Os cálculos foram realizados para os casos sem e com Rede de Contingência, de tal modo que se tornou possível estimar a melhora na confiabilidade do SISOP com a sua presença.
São consideradas premissas:

- A indisponibilidade da rede por causa de dupla falha de elementos é considerada desprezível.
- Não há correlação de falhas de unidades de equipamentos duplicados

A partir das premissas acima, considera-se desprezível a probabilidade de interrupção de serviço por causa de perda de equipamentos com elementos essenciais duplicados, tais como matrizes, fontes e interfaces com proteção 1:N. Assim, os eventos que podem ocasionar indisponibilidade na rede são basicamente os seguintes:

- Interrupção da via óptica por problemas no cabo OPGW;

- Perda de enlaces ATM baseados em interfaces 2 Mbit/s IMA ou 34 Mbit/s ATM;

A indisponibilidade causada por cada um desses eventos é tratada separadamente nos itens abaixo.

5.2 Indisponibilidade por interrupção da via óptica por problemas no cabo OPGW

Cabos OPGW são meios considerados muito seguros para comunicação, porém podem sofrer vários tipos de problemas que podem afetar a comunicação como descargas elétricas muito elevadas, comprometimento de estruturas por causa de ventos fortes, defeitos ocasionados por instalação e ocorrência de tiros, entre outros. Estes mesmos problemas podem ocorrer com outros sistemas de comunicação como os sistemas de rádio, porém os tempos de restabelecimento do cabo OPGW podem ser maiores.
Como os problemas são todos de ordem externa e aleatória, só é possível estimar uma taxa de falhas por meio de dados estatísticos. Num estudo realizado pela Alcoa Fujikura Ltd, "Relability of Fiber Optic Cable Systems: Buried Fiber Optic Cable, Optical Groundwire Cable, All Dieletric Self Supporting Cable" (Junho, 1999), foram analisados dados reunidos durante 12 anos (1986-1998) sobre informações reportadas de eventos em 45.000 km de cabos instalados pelo mundo. O estudo chegou à conclusão que a taxa de falha do cabo OPGW com interrupção da comunicação é de 0,085 falhas/ano/1000km. Para uma rede como a de Furnas, com 4267 km de cabos instalados, isto significa que a taxa de falhas de nossa rede óptica é de 0,363 falhas por ano, ou seja, há possibilidade de ocorrer uma falha na via óptica em algum ponto da rede aproximadamente a cada três anos.
Para calcular o que esta taxa significa em termos de indisponibilidade anual é necessário obter um tempo médio de restabelecimento. Este pode ser obtido através de projeções retiradas do Manual de Procedimentos Operativos para a Rede Eletronet – que estabelece os tempos médios definidos para recuperação do sistema. Estes tempos dependem de três cenários básicos:

- Cenário 1: Ruptura completa da seção do cabo OPGW;
- Cenário 2: Ruptura completa da seção do cabo dielétrico nas estações;
- Cenário 3: Falhas parciais nas vias de encaminhamento óptico.

O cenário 2 é bastante menos provável que os outros dois, pois se refere às áreas protegidas da subestação onde o cabo chega com comprimento de exposição muito menor. Os cenários 1 e 3 são mais prováveis. Os tempos de restabelecimento são estabelecidos rigorosamente levando-se em conta os tempos parciais para realizar sua operação completa. Eles são divididos em tempos favoráveis, típicos e críticos, dependendo da localização e das condições do momento da interrupção. Para o nosso estudo foram considerados apenas os tempos típicos que são, para os cenários 1 e 3, respectivamente, 36 e 10,75 horas.
A taxa de falhas não especifica o tipo de cenário possível, porém no estudo citado da Alcoa, há uma estatística dos tipos de reportes fornecidos. Nesses, é possível observar que a maioria, 81%, se refere a eventos com ruptura de cabo, enquanto 19% dos eventos, devidos a defeitos de instalação, levam a falhas parciais nas vias ópticas. Assim, fazendo-se uma média ponderada do tempo de restabelecimento, encontramos um valor de 31,2 horas para tempo médio de restabelecimento (MTTR). Este valor será utilizado no cálculo de indisponibilidade.

5.3 Perda de enlaces ATM baseados em interfaces 2 Mbit/s IMA ou 34 Mbit/s ATM

Os equipamentos ATM que compõem a camada de distribuição do SISOP possuem suas interfaces de rede 2 Mbit/s IMA e 34 Mbit/s sem proteção 1:N. Isto significa que a perda de uma interface desse tipo será equivalente a uma interrupção de rota, provocando a ação da Rede de Contingência. A placa que fornece a interface para 2 M IMA no equipamento utilizado por Furnas possui dois módulos, um para interface 2M, outro para o grupo IMA com MTBF de 23,94 e 178,88 anos, respectivamente. O MTBF da placa de 34 Mbit/s é 26,76 anos. Esses valores são fornecidos pelo fabricante.
O MTBF fornece o índice médio temporal de uma falha. A probabilidade de uma falha na rede inteira deve ser multiplicada pelo número total de unidades. Para se calcular a indisponibilidade resultante, é preciso levar em conta o tempo de reposição da placa. Segundo dados fornecidos pelo Centro de Supervisão de Telecomunicações de Furnas (CST), os tempos médios estimados de reposição de interfaces em estações atendidas como as do SISOP são de 1 hora em horário de expediente e de 3 horas fora do expediente. Para fins de cálculo, o tempo médio de reposição e restabelecimento (MTTR) foi considerado de 2 horas.

5.4 Cálculo de disponibilidade de circuitos

Os requisitos de disponibilidade exigidos pelo ONS nos Procedimentos de Rede se referem aos serviços individualmente, calculados circuito a circuito.
A disponibilidade de um serviço depende da distância óptica percorrida e do número de interfaces sensíveis a falhas que o circuito engloba. Portanto, cada circuito tem a sua disponibilidade específica. Como a distância óptica é o fator preponderante para a disponibilidade, foram calculadas as disponibilidades para circuitos entre as subestações de Miracema e o Escritório de Botafogo, a usina de Furnas e Botafogo e a subestação de Adrianópolis e Botafogo, representando três casos de distância máxima, média e pequena. Os cálculos foram realizados considerando-se a ausência e a presença de uma Rede de Contingência. Neste último caso o tempo

médio de restabelecimento de circuito passa a ser, no pior caso, de 30 segundos, devido ao tempo de convergência do protocolo PNNI do ATM.
Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que apenas o circuito entre Adrianópolis e Botafogo apresenta uma disponibilidade Classe A (99,98%) definida pelo Procedimento de Rede (módulo 13/ submódulo 13.1) do ONS para o caso sem Rede de Contingência. Os dois primeiros apresentam apenas valores Classe B (99%). Quando é empregada a Rede de Contingência a disponibilidade passa a exceder 99.99% em todos os casos. Isto demonstra efetivamente a necessidade de uma Rede de Contingência para prover uma disponibilidade Classe A ao SISOP para esses circuitos.

TABELA 1 – ÍNDICES DE DISPONIBILIDADE DE 3 CIRCUITOS DE FURNAS

Circuito	**Miracema-Botafogo**		**Adrianópolis-Botatogo**		**Furnas - Botafogo**	
Cálculo de disponibilidade	**s/ Rede de Contingencia**	**c/ Rede de contingencia**	**s/ Rede de Contingencia**	**c/ rede de contingencia**	**s/ Rede de Contingencia**	**c/ rede de contingencia**
Nós de ATM´s	4	4	4	4	3	3
kms de fibra	2691,05	2691,05	74,45	74,45	997	997
Placas 2M IMA	4	4	0	0	2	2
Módulos IMA	4	4	0	0	2	2
Placas 34M	2	2	2	2	2	2
Indisponibilidade (min/ano) opgw	428,2341869	0,11436963	11,84743324	0,00316413	158,6553518	0,0423725
Indisponibilidade (min/ano) 2M IMA	20,05012531	0,08354219	0	0	10,02506266	0,04177109
Indisponibilidade (min/ano) MOD IMA	2,683363148	0,01118068	0	0	1,341681574	0,00559034
Indisponibilidade (min/ano) 34M	8,968609865	0,03736921	8,968609865	0,03736921	8,968609865	0,03736921
Indisponibilidade total (min/ano)	459,9362852	0,2464617	20,8160431	0,04053333	178,9907058	0,12710314
Indisponibilidade média	0,000875069	4,6891E-07	3,96043E-05	7,7118E-08	0,000340545	2,4182E-07
Disponibilidade média	0,999124931	0,99999953	0,999960396	0,99999992	0,999659455	0,99999976
Disponibilidade média (%)	99,9124931	99,9999531	99,99603957	99,9999923	99,96594545	99,9999758

6.0 - CONCLUSÕES

- A Rede de Contingência é imprescindível para garantir a disponibilidade de serviços do SISOP superior à exigência Classe A do ONS.
- Além disto, sem a Rede de Contingência uma ruptura no cabo OPGW acarretará numa interrupção dos circuitos críticos com tempo típico de 36 horas, podendo chegar a 46 horas.
- A Rede de Contingência é baseada em comutação do ATM porque não foi possível fechar anéis ópticos no sistema de transmissão de Furnas.
- A Rede de Contingência prevê possibilidade de comutação automática para serviços que não possuam fonte dupla.
- A Rede de Contingência provê níveis de Redundância de elementos para todos os serviços e níveis de contingência de rotas para serviços críticos.
- A topologia da Rede de Contingência foi elaborada tendo em vista a possibilidade de perda da seção OPGW ou perda de estação.
- A Rede de Contingência permite a realização de procedimentos de manutenção em sistemas de telecomunicação sem interrupção dos serviços essenciais, facilitando a aprovação da programação desses procedimentos junto ao ONS.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ONS – Procedimentos de Rede – Módulo 13 – Telecomunicações (25 de março de 2002)
(2) ALCOA FUJIKURA LTD – “Relability of Fiber Optic Cable Systems: Buried Fiber Optic Cable, Optical Groundwire Cable, All Dieletric Self Supporting Cable”, 1999