



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

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO  
PARA SISTEMAS ELÉTRICOS – GTL**

**SIMULADOR E OTIMIZADOR DE REDES DE LONGA DISTÂNCIA. O PROJETO WOC.**

**Elton Bernardo B. de Melo\***  
CHESF

**Joseane F. Fidalgo**  
CIn – UFPE

**Djamel F. H. Sadok**  
CIn – UFPE

**Aluizio Fausto R. Araujo**  
CIn – UFPE

**RESUMO**

O gerenciamento de redes de longas distâncias (WANs) de serviços múltiplos, combinada à heterogeneidade de tecnologias de transmissão, é uma tarefa complexa e desafiadora. Na CHESF esta complexidade é bem representada pela integração do tráfego de aplicações operacionais relativas às suas atividades fim e de aplicações administrativas, bem como pela heterogeneidade dos seus sistemas de gerência e equipamentos de transmissão. Faz-se necessário o auxílio de metodologias e ferramentas integradas que facilitem tal gerência. Este trabalho apresenta o projeto WOC que propõe uma metodologia e ferramenta de auxílio ao gerente WAN para projetar, otimizar e expandir os seus recursos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Gerenciamento de Redes, Simulador de Redes, Análise de Tráfego, Otimização IP/Transmissão.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As empresas do setor elétrico-energético normalmente combinam o tráfego de serviços essenciais para operação do sistema eletro-energético e serviços auxiliares importantes para a empresa e seus funcionários em suas redes de longa distância. Normalmente tais empresas não tiveram um crescimento planejado, sua estrutura cresceu com base em demanda e sua operação não segue padrões de otimalidade bem estabelecidos. Além disso, os dados disponíveis aos gerentes da WAN são extremamente limitados e superficiais. Por exemplo, embora as estatísticas possam mostrar que um link está congestionado, não fornece informações sobre o tipo de tráfego daquele link nem alternativas para que ele seja aliviado.

Nesse contexto, existe uma demanda por planejamento e operação adequados dessas WANs para se obter Qualidade de Serviço (QoS) compatível com a importância dos serviços operacionais de tais empresas. É necessário o auxílio de metodologias e ferramentas integradas para a gerência de WANs com suporte à tomada de decisões, com a finalidade de re-estruturar a WAN, garantindo a QoS desejada e atingindo níveis de disponibilidade indispensáveis para a operação do sistema gestor de energia elétrica.

O projeto WOC propõe uma metodologia e ferramenta de auxílio ao gerente WAN para projetar, otimizar e expandir os seus recursos. O gerente, seguindo a metodologia de otimização dos recursos e maximização de QoS, terá subsídios para obter o resultado desejado atuando na configuração, roteamento e priorização de fluxos da WAN. Para atingir tais objetivos, o projeto WOC foi dividido em duas frentes de trabalho, inter-relacionadas, dadas por Ferramenta WOC e Estudo de Tráfego. A análise de tráfego fornece diretrizes que podem ser usadas pela frente de otimização como requisitos, bem como fornece dados para a modelagem e implementação das

aplicações da CHESF disponíveis na Topologia IP da Ferramenta WOC. No momento da elaboração deste informe técnico o projeto WOC encontrava-se no seu primeiro ano de desenvolvimento, faltando mais um ano para sua conclusão. Isto significa que algumas das atividades aqui relatadas ainda estão em fase de desenvolvimento.

Na seqüência desse documento, a seção 2.0 apresenta uma visão geral das funcionalidades da ferramenta WOC, com destaque para o módulo de otimização. A seção 4.0 discorre sobre os principais objetivos e resultados do estudo de tráfego da WAN/CHESF. Por fim, a seção 6.0 apresenta as conclusões, bem como uma discussão contendo os principais *insights* obtidos durante o desenvolvimento desse projeto de pesquisa.

## 2.0 - FERRAMENTA WOC

A operação e gerenciamento das redes de longa distância de empresas do setor elétrico por si só já são tarefas complexas, mas agravadas pela heterogeneidade dos equipamentos e tecnologias de transmissão. Como consequência, o gerente WAN precisa usar diferentes softwares de gerência para diferentes tecnologias e/ou atividades. Nesse contexto, a ferramenta WOC integra dois universos essenciais: TDM e IP. Através da representação da topologia em dois níveis de hierarquia, TDM e IP, ela integra equipamentos de transmissão e conectividade, permitindo a visualização do nível IP a partir do TDM e vice-versa.

A ferramenta WOC é constituída pelos módulos de Topologia (dividido em Topologia de Transmissão e Topologia IP), Tráfego, Resultados e Otimização. Para utilizar o WOC o usuário precisa criar um Projeto, o qual possuirá uma instância de cada um desses módulos. O projeto pode ser um novo projeto, ou o projeto pré-cadastrado WAN/CHESF, que é uma fotografia da Topologia de Transmissão da WAN/CHESF cadastrada durante o desenvolvimento do WOC.

A topologia IP possui como elementos constituintes os roteadores e enlaces IP, ao passo que a topologia de Transmissão é a representação física da WAN, com elementos para representação dos diversos tipos de estações que abrigam os multiplexadores SDH. A FIGURA 1 apresenta as telas de configuração de um multiplexador e de uma de suas interfaces.

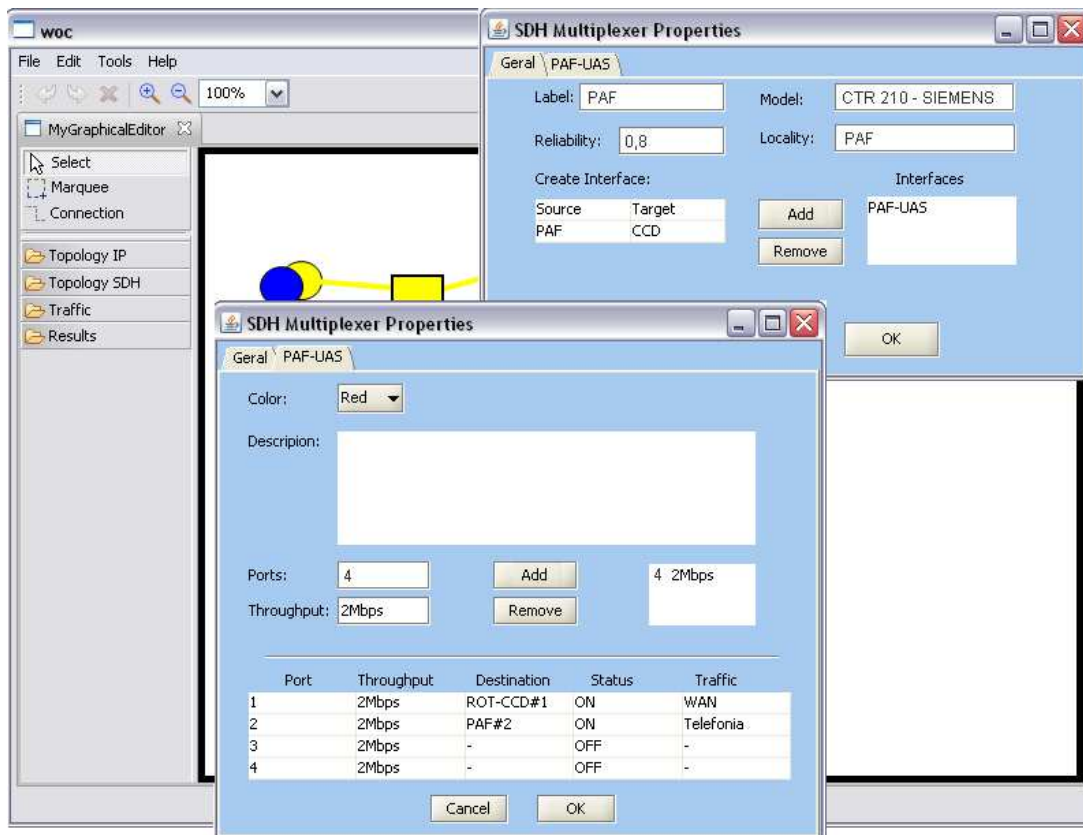


FIGURA 1 – Interface de Configuração de Multiplexador SDH

A configuração dos Multiplexadores é feita segundo as propriedades disponíveis, que são rótulo, modelo, localidade, confiabilidade e interfaces (ver FIGURA 1). O rótulo representa a identificação do multiplexador SDH e o modelo sua especificação comercial. A localidade permite a agregação de vários elementos num ponto único, localidade física e/ou geográfica, visando reproduzir o comportamento de estações que abrigam equipamentos diversos. A confiabilidade representa o fator de confiança do nó, relacionado à probabilidade de falha e determinado em função de fatores como equipamento e tipo de enlace. A cada interface de comunicação criada para cada multiplexador uma nova aba é adicionada para que suas configurações específicas sejam feitas, a saber, cor, descrição, *status*, número de portas e banda, destino e tipo de tráfego. A cor e descrição são para representação gráfica e observações gerais do enlace SDH na ferramenta. O *Status* indica se o caminho virtual está ou não em atividade e o tráfego indica o tipo de tráfego a que ele está reservado (ex.: WAN, teleproteção e telefonia). A configuração de portas é feita por quantidade de portas e vazão, que é a capacidade máxima de transmissão da porta, o destino é o ponto em que cada porta está conectada, definida de acordo com um padrão (roteador 'ROT-' + 'Localidade' + # + 'Porta', exemplo: ROT-CCD#1; interface do multiplexador SDH: como 'Localidade' + Porta, exemplo: PAF#2, em que PAF significa a subestação de Paulo Afonso).

Além dos equipamentos pertinentes ao nível de transmissão, foram adicionados elementos IP (roteadores) na topologia de transmissão, para que estes possam ser conectados a enlaces virtuais do nível de transmissão e assim gerar a topologia IP. Essa conexão pode ser feita via configuração estática do operador do sistema, para representar uma conexão existente da WAN sendo modelada, ou dinamicamente sob demanda como resultado de otimização de uma topologia de transmissão. Ou seja, a topologia IP pode ser gerada automaticamente pelo módulo de otimização. Para utilizar o WOC o usuário precisa criar um Projeto, o qual possuirá uma instância de cada um desses módulos. O projeto pode ser um novo projeto, ou o projeto pré-cadastrado WAN-CHESF, que é uma fotografia da Topologia de Transmissão da WAN/CHESF cadastrada durante o desenvolvimento do WOC.

No módulo de Tráfego, têm-se disponível para adição de tráfego nos elementos da Topologia IP os serviços operacionais e administrativos da CHESF, modelados e implementados de acordo com o tráfego coletado na WAN/CHESF (seção 4.0).

A configuração de resultados na ferramenta WOC permite que o operador selecione um ponto de medição (roteador IP) e então escolha se os resultados desejados se referem a alguma aplicação específica ou a algum elemento de rede (roteador IP). No caso de resultados por aplicação, o sistema mostra ao usuário quais aplicações estão disponíveis naquele ponto de medição, então o usuário escolhe a aplicação desejada e também a métrica disponível para aquela aplicação. As métricas disponíveis são vazão, perda de pacotes, atraso e variação do atraso. No caso das aplicações baseadas em TCP, a métrica "perda de pacotes" não está disponível. No caso de resultados por elemento de rede, o usuário escolhe a métrica desejada, a direção da medição, a granularidade e um filtro de medição. As métricas para resultados por elemento podem ser vazão e perda de pacotes. A direção pode ser referente à entrada ou à saída de pacotes do elemento de rede. É importante ressaltar que os dados obtidos no módulo de resultados podem ser utilizados pelo módulo de otimização constituindo novas demandas de tráfego. Por exemplo, percebe-se que uma interface de um roteador está com um valor de perda de pacotes inaceitável, o operador então cria uma nova demanda para o módulo de otimização solicitando o aumento na capacidade do dado enlace. A partir de tal demanda a otimização irá criar um novo enlace IP, usando a infra-estrutura de transmissão disponível.

### 3.0 - MÓDULO DE OTIMIZAÇÃO DA FERRAMENTA WOC

O objetivo do módulo de otimização é otimizar a topologia IP tendo como entrada a malha de transmissão. Ou seja, encontrar caminhos alternativos a partir de uma rede de transmissão, atendendo a uma ou mais demandas de tráfego. O fornecimento de caminhos alternativos de maneira prática e eficiente permite a substituição de enlaces IP (caminhos virtuais) por outros com a eficiência definida como requisito, sem a necessidade de interromper o funcionamento da rede, situação importante devido à falhas, novos requisitos ou às manutenções que são realizadas periodicamente em WANs do setor elétrico-energético.

A rede WAN pode ser vista como um Grafo com N nós (roteadores) e R ramos (enlaces PPP). Um nó será considerado disponível se ele tem pelo menos um caminho (conjunto contíguo de ramos) ativo para cada um dos outros nós. Cada ramo e nó tem uma probabilidade de estar inativo (falhar), e cada nó *i* tem um número limitado  $P_i$  de portas, ou seja, ele poderá estar conectado ao restante grafo, por  $P_i$  ramos. Os possíveis enlaces a serem escolhidos para a composição do grafo estão restritos a um Grafo Base, que é fixo e dado pela Rede de Transmissão. Assim, o problema de otimização, que visa a maximização da confiabilidade dos serviços suportados pela WAN é escolher o conjunto de caminhos para a conexão dos nós de modo que a interseção das confiabilidades de cada nó (probabilidade do nó estar ativo) seja máximo, dadas as restrições.

O módulo otimização usará duas abordagens, uma abordagem estática e outra dinâmica. A primeira se caracteriza por encontrar soluções de caminhos ordenados na rede da CHESF através de métodos de busca em árvores (1) que foram avaliados neste primeiro ano de atividades. Já na solução dinâmica, a ser tratada no segundo ano do projeto, dar-se-á enfoque à otimização da topologia da rede através de algoritmos evolucionários multiobjetivo, baseando-se em métricas de qualidade de serviço para encontrar os caminhos ótimos (2) que devem compor a WAN “ótima” da CHESF. Estas soluções geralmente são subótimas a um determinado objetivo devido a sua característica de ter que satisfazer a um conjunto de funções-objetivo simultaneamente. Portanto, deseja-se obter uma solução ótima para todos os objetivos de forma que o melhor para um objetivo não é necessariamente a melhor solução para todos eles.

A FIGURA 2 apresenta um exemplo da otimização da topologia IP a partir de uma topologia de transmissão. Nesse caso inicialmente o operador do sistema cadastrou a topologia de transmissão (elementos azuis) e adicionou os roteadores IP em suas respectivas localidades sem conectá-los aos elementos SDH. Em seguida, definiu as restrições ou demandas no módulo de otimização, como origem e destino, probabilidade de falha aceitável e capacidade do enlace IP (caminho virtual), e selecionou a opção de geração de topologia IP. Como resultado, foram mapeadas as conexões virtuais, enlaces coloridos na FIGURA 2. Ressalta-se que tais conexões são estabelecidas ponto a ponto e no nível de portas dos multiplexadores SDH do caminho e dos roteadores de bordas (IP). A FIGURA 2 ilustra ainda a visualização do nível IP a partir da topologia de transmissão. No quadro inferior mais à esquerda está representada a topologia IP contendo apenas os roteadores IP.

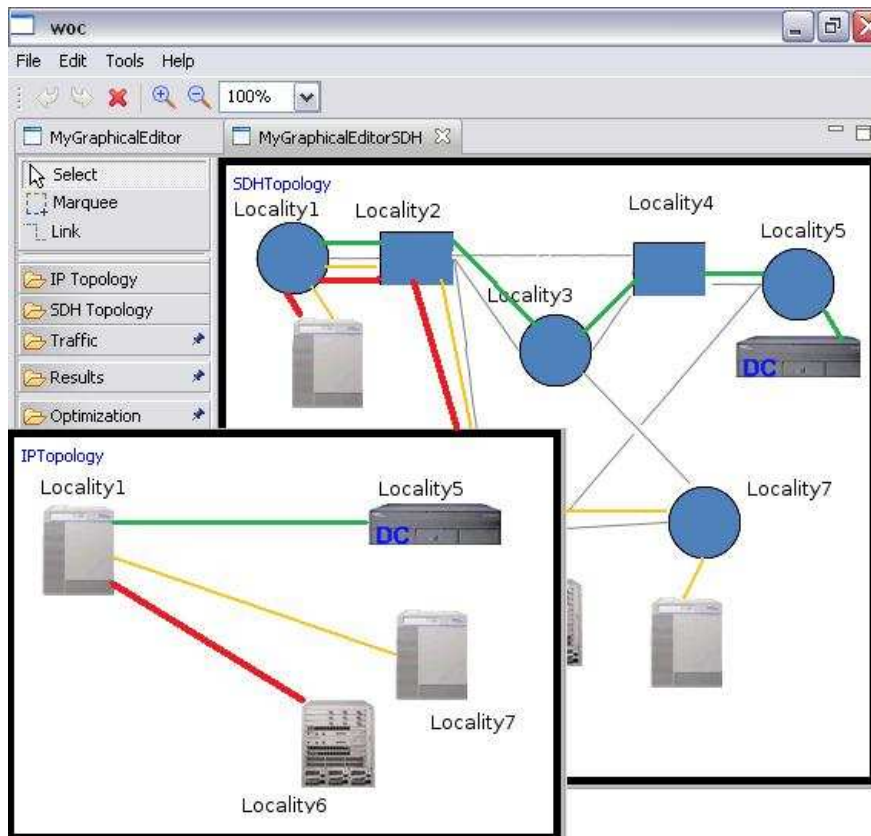


FIGURA 2 – Exemplo de Otimização da Topologia IP a partir da Topologia de Transmissão.

Na ferramenta WOC as duas topologias representam dois níveis de hierarquia que fornecem ao usuário dois níveis de abstração distintos, a IP e a física, e o mapeamento direto entre os dois níveis, de forma parcial ou total. Ou seja, em modo parcial é possível visualizar detalhes da interface de transmissão a partir de um enlace IP selecionado, a grosso modo, isso corresponde a um *zoom* específico em outro nível de tecnologia. No modo de visualização total pode-se ver toda a topologia da CHESF no nível IP ou no nível de transmissão (exemplo ilustrado na FIGURA 2).

#### 4.0 - ESTUDO DE TRÁFEGO DA WAN CHESF

O estudo do tráfego da WAN/CHESF como frente de trabalho do projeto WOC possui três atividades principais. A primeira, capturar o tráfego total de alguns enlaces chaves da WAN/CHESF por um período de tempo significativo (15 a 30 dias) e o analisar, obtendo assim uma visão mais macro desse tráfego. Segunda, capturar o tráfego específico das aplicações operacionais da CHESF para modelar, implementar e disponibilizar tais aplicações na Ferramenta de Simulação do projeto WOC. Estas análises de tráfego possibilitarão um conhecimento maior sobre o comportamento, padrões de tráfego, observar se há anomalias ou comportamentos indesejados e possivelmente identificar pontos de melhoria, tanto no tráfego do *backbone* quanto no tráfego de cada uma das aplicações operacionais da CHESF. Considerando que tais aplicações são essenciais para a operação do sistema eletroenergético, pode-se derivar diretamente a importância desse *feedback* para a CHESF. A terceira atividade, mas não menos importante, capturar o tráfego de uma subestação típica da CHESF (Campina Grande) para estimar o comportamento do tráfego de subestações, possibilitando planejamento de tráfego para subestações. Por exemplo, se a CHESF for disponibilizar uma nova subestação pode utilizar esse conhecimento para criar uma nova subestação na ferramenta WOC e planejar ou verificar adequação da infra-estrutura de enlace/conexão de acordo com a relevância dessa subestação e/ou objetivos de negócio da CHESF. Serão apresentados a seguir os pontos mais relevantes da primeira atividade, que já está concluída – as demais estão em desenvolvimento.

## 5.0 - CAPTURA DE TRÁFEGO DE ENLACES DA WAN/CHESF

Para a análise do tráfego da CHESF foram realizadas Capturas de Fluxos e de Pacotes. Os fluxos se caracterizam por serem um resumo de um conjunto de pacotes enviados entre um endereço IP e a porta de origem e um endereço IP e porta de destino. Os fluxos contabilizam informações sobre tempo, número de pacotes transmitidos, número de bytes, protocolo de transporte e tipo de serviço, entre outros. Na primeira etapa foi feita captura de fluxos visando obter uma visão mais macro e expressiva em termos de tempo de utilização da rede, totalizando 3 semanas de coletas. Após a análise por fluxos, o volume de tráfego de aplicações desconhecidas era muito alto, o que gerou a demanda por novas investigações norteadas por coletas de pacotes, visando obter uma classificação mais ampla do tráfego total da CHESF em relação às aplicações investigadas.

### 5.1 Resultados Obtidos

O estudo de tráfego por fluxos foi referente a capturas nos enlaces: 1) entre Recife e Pituáçu (COS-PTU) no período de 03/07/2008 a 10/07/2008 e de 16/03/2007 a 31/07/2008; e 2) entre Bongoi e Fortaleza (BGI-FTZ) no período de 16/08/2008 a 25/08/2008. O estudo de tráfego por pacotes foi realizado no enlace COS-PTU no período de 18/08/08 a 01/09/2008. O período de coleta de pacotes entre BGI-FTZ foi de 05/09/2008 a 09/09/2008.

O volume de tráfego total e por protocolo em Gigabytes é ilustrado na FIGURA 3, à esquerda (a) enlace COS-PTU e à direita (b) enlace BGI-FTZ. Entre os dias 10 e 15/7 não ocorreu captura de tráfego em COS-PTU. O tráfego por protocolo é quase totalmente constituído por TCP – quando o volume de UDP é significativo é devido à ocorrência única e exclusiva de vídeo-conferência, o que foi comprovado numericamente pela igualdade de volume de tráfego entre eles.

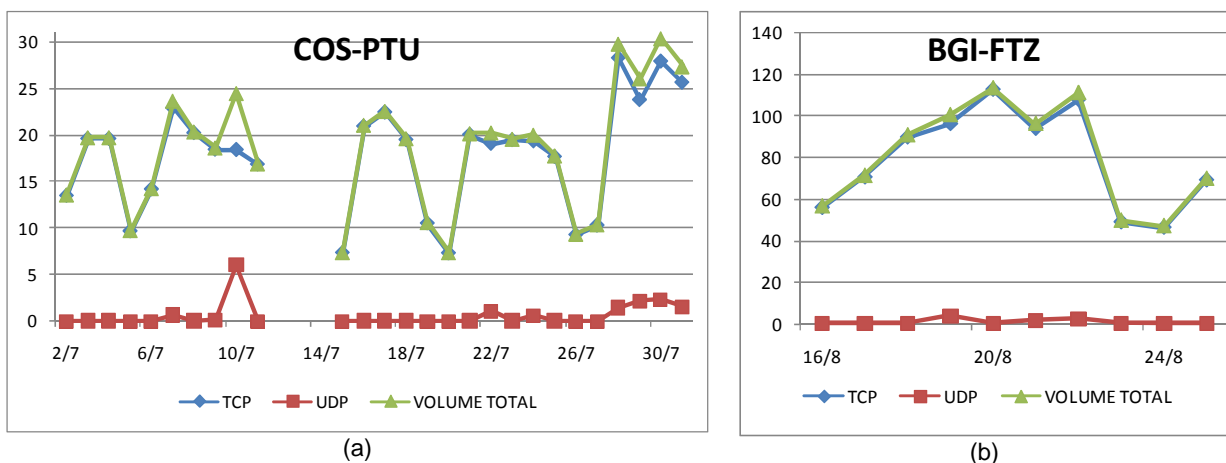


FIGURA 3 – Volume de Tráfego Total e por Protocolo em GB, à esquerda (a) enlace COS-PTU e à direita (b) enlace BGI-FTZ.

Em relação à classificação do tráfego por aplicação, a FIGURA 4 apresenta o percentual da quantidade de tráfego das principais aplicações em relação ao tráfego total, à esquerda (a) no enlace COS-PTU e à direita (b) no enlace entre BGI-FTZ. Principais nesse contexto referem-se às aplicações mais volumosas, entre todas as identificadas nesse estudo. A aplicação denominada “resto” refere-se ao agregado de tráfego que não foi identificado no casamento de padrões com as aplicações especificadas (via expressões regulares) em um programa para classificação do tráfego em termos de pacotes. Esse “resto” que foi encontrado no tráfego é estranho às aplicações corporativas tradicionais, podendo indicar a presença de tráfego não autorizado, como aplicações P2P ou sites de relacionamento.

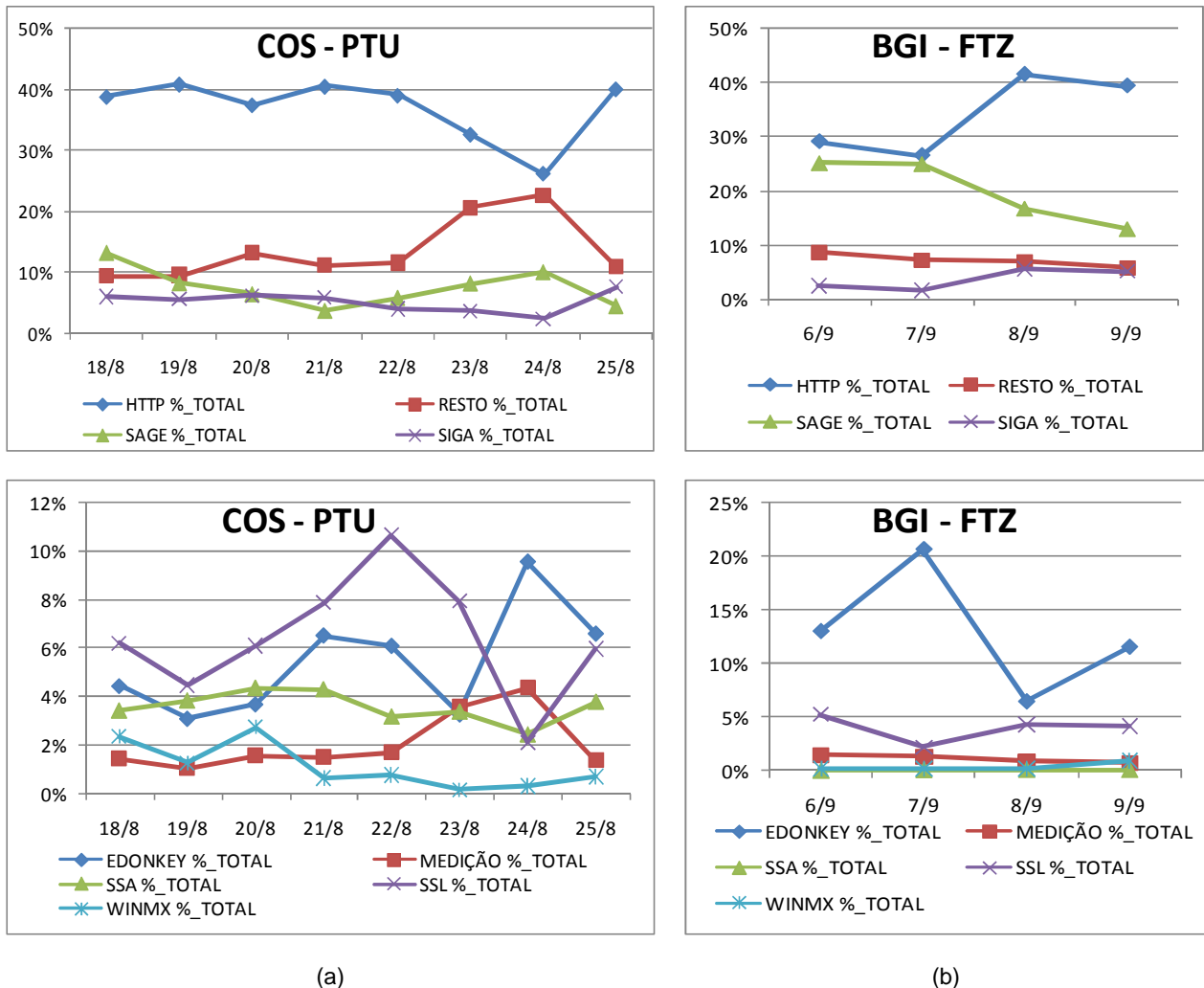


FIGURA 4 – Percentual do Volume de Tráfego por Aplicação em relação ao Tráfego Total, à esquerda (a) enlace COS-PTU e à direita (b) enlace BGI-FTZ.

## 6.0 – CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os principais resultados do projeto WOC em seu primeiro ano de desenvolvimento, projeto de cooperação entre a CHESF e o GPRT/Cin/UFPE. Este projeto possui duas frentes de trabalho principais, dadas por ferramenta WOC e estudo de tráfego.

A ferramenta WOC consiste em simulador de redes WAN com módulos de Topologia, Tráfego, Resultados e Otimização. A Topologia é constituída por dois níveis de hierarquia, o de transmissão e o IP. Em termos de topologia, a WOC possui três funções principais, que também constituem diferenciais.

- 1) A representação da topologia de transmissão numa ferramenta única, diante da heterogeneidade de gerências e de equipamentos normalmente encontrada nas redes WANs das empresas do ramo elétrico-energético;

- 2) A visualização do nível de transmissão, ponto a ponto, de um enlace selecionado no nível IP, possibilitando ao operador sempre que necessário um maior detalhamento em pontos específicos da Topologia, isolando a complexidade de uma planta de comutação total.
- 3) A geração da Topologia IP a partir da otimização da topologia de Transmissão, realizada pelo módulo de Otimização. Este mapeamento considera as portas disponíveis nos multiplexadores de transmissão e IP disponíveis para alocação de acordo com a demanda de tráfego especificada – esta por sua vez especifica vazão, e confiabilidade suportável de cada enlace e de cada nó. A representação e integração das topologias de Transmissão e IP, permite a integração entre equipamentos de transmissão e de conexão, sendo útil tanto para o planejamento e expansão da WAN quanto para recuperação em caso de falhas em enlaces.

O estudo do tráfego por aplicação permite a modelagem e implementação das aplicações operacionais no simulador WOC. A disponibilização de tais aplicações permitirá ao operador simular situações e estudar os resultados obtidos antes de implementá-las na prática. Além disso, o estudo individual dessas aplicações podem, eventualmente, detectar problemas que passam despercebidos no dia-a-dia. Por exemplo, se após uma queda de energia uma determinada aplicação demorou mais tempo que as demais para ser restabelecida.

A pesquisa associada ao desenvolvimento da ferramenta WOC contempla ainda o estudo da melhor maneira de conduzir a manutenção, operação e expansão da WAN de modo a aproximar a rede existente da rede ótima. Após sua aplicação à CHESF, tais ferramentas e metodologias podem ser facilmente aplicadas em outras empresas do Setor Elétrico, que enfrentam contextos semelhantes.

#### 7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Castro, Jr. A. P., et al. Alocação de recursos para redes virtuais privadas em redes baseadas em *switchlets*, 19º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2001.
- (2) Donoso, Y. & Fabregat, R. *Multi-objective optimization in computer networks using metaheuristics*. Auerbach Publications. 2007.
- (3) CORMEN, T., LEISERSON, C., RIVEST, R., STEIN, C. Algoritmos: teoria e prática. Editora Campus. 2007.
- (4) RUSSELL, S., NORVIG, P. Inteligência Artificial. Elsevier Editora Ltda, 2004.
- (5) Kagan, N. & Oliveira, C.C.B. Reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica através de ferramenta para solução de problemas da decisão com múltiplos objetivos e incertezas, SBA Controle & Automação, Vol. 9, 1998.

#### 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Elton Bernardo Bandeira de Melo

Nascido no Caruaru, PE em 16 de junho de 1980.

Mestrando (previsto 2008) em Ciência da Computação na UFPE e Graduado (2002) em Engenharia Elétrica, modalidade Eletrônica na UFPE.

Empresa: CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, desde 2002.

Atua na Divisão de Engenharia de Manutenção e Reparo de Telecomunicações - DOMT

Membro do CIGRÉ-Brasil