



**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

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO PARA SUBESTAÇÕES

Sandra Maria Campanholi Tome; Nelson Mincov
FUNDAÇÃO CPQD

Edson Luiz Ursini *
CESET - UNICAMP

RESUMO

Este trabalho descreve um modelo de simulação para o dimensionamento de uma rede IP com tráfego devido a serviços diversos, de naturezas heterogêneas. O modelo é suficientemente genérico de modo a permitir tratamento de tráfego de naturezas mistas como é o caso, por exemplo, do tráfego de informações RARP e RDP, considerados serviços críticos de rede, com atraso limitado, perda nula e prioridade sobre outros tráfegos. Adicionalmente, este modelo permite, por exemplo, determinar os limites de crescimento da planta mantendo os requisitos de QoS ou “testar” a substituição dos equipamentos atuais por outros com características diferentes.

PALAVRAS-CHAVE

Dimensionamento, Rede IP, Simulação, Tráfego

1.0 - INTRODUÇÃO

A digitalização dos processos produtivos e sua integração por meio de redes IP (*Internet Protocol*) trazem, de um lado, benefícios como a interoperabilidade e o ganho de escala mas, de outro, novos desafios são apresentados. Em empresas do setor elétrico, é prevista a coexistência, pelo menos durante um período inicial de tempo, de duas redes IP. A primeira é a rede corporativa atual, suportando o tráfego de dados típico de ambientes corporativos, tais como os acessos a bancos de dados, e-mail e operações contábeis. Esses serviços apresentam um tráfego de natureza elástica, possuindo uma certa tolerância a atrasos, porém com baixa tolerância à perda de pacotes, aliados a, geralmente, um grande volume de dados transferidos de um lado a outro. Sobre essas redes, a evolução das tecnologias tem feito com que novas aplicações, tais como a “telefonia” VoIP (*Voice over Internet Protocol*) e a videoconferência sobre protocolo IP, tornem-se ferramentas cotidianas do mundo corporativo e sejam adicionadas àquele tráfego. Essas novas aplicações apresentam característica de tráfego *stream*, requerendo o escoamento e tratamento em tempo real, ou seja, sem tolerância a retardos, embora admitam uma certa perda de pacotes.

A rede operativa, por sua vez, refere-se ao tráfego de dados, em ambiente IP, de informações que antes circulavam em forma analógica e dedicada. São informações relativas à medição e controle de processos nos pátios e estações, tais como a leitura de sensores, a atuação de relés, a garantia da ocorrência da manobra de disjuntores etc., as quais exigem um grande grau de confiabilidade em termos de perda de pacotes, tempos de propagação e estabilidade das operações, entre outros requisitos.

O desafio que se apresenta é justamente o da integração dessas duas redes, cenário que poderá ocorrer em algum momento dado os ganhos operacionais de sinergia. Essas redes possuem, cada qual, características de

(¹) Rua Paschoal Marmo, 1888 - CEP 13484-332 - Jd. Nova Itália - Limeira – SP – BRASIL
Tel.: (19) 2133 3368 – e-mail: ursini@ceset.unicamp.br

tráfego e requisitos de Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*) (3) para os serviços trafegados, bastante heterogêneos. Assim, o trabalho de planejamento e de dimensionamento da rede mostra-se ser um desafio. De um lado, corre-se o risco de um subdimensionamento da rede, comprometendo os requisitos de QoS em casos de congestionamento. Por outro lado, um superdimensionamento da rede implica em gastos desnecessários e, pior, não apresenta garantia de inexistência de gargalos pontuais, os quais podem comprometer o QoS de alguns serviços nas situações de tráfego intenso.

O trabalho aqui proposto consiste no dimensionamento de uma rede IP sem fio com tráfego devido a serviços diversos, de naturezas heterogêneas. Devido à heterogeneidade, faz-se necessária a análise por meio de modelo de simulação, conforme discutido na subseção 2.1. A descrição da rede, bem como a caracterização de seu tráfego, com os respectivos requisitos de QoS e prioridades, encontram-se, respectivamente, nas subseções 2.2, 2.3 e 2.4. Na subseção 2.5 apresenta-se o modelo de simulação, na 2.6 os resultados das simulações e na seção 3 são apresentadas as principais conclusões.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

2.1 Modelo Analítico Versus Simulação

Os trabalhos de planejamento de redes de comunicações, de uma forma geral, são baseados em modelos analíticos. Tais modelos consistem em conjuntos de equações lineares ou não-lineares, com variáveis determinísticas e/ou probabilísticas. Embora esses modelos matemáticos representem o comportamento do tráfego desses serviços na rede com um razoável grau de verossimilhança, os pressupostos e as simplificações necessárias para a adoção de tais modelos podem modificar, em certo grau, o comportamento do sistema modelado em comparação ao real, podendo levar a conclusões errôneas. Em particular, quando as variáveis envolvidas possuem comportamentos bastante díspares e/ou ocorre interação entre elas, os modelos analíticos se aproximam perigosamente de seus limites de validade. Por exemplo, para se efetuar a análise de uma rede que suporte tráfegos de tipo elástico e de tipo *stream* simultâneos, uma alternativa é a de se proceder ao dimensionamento para cada tipo de forma independente, para depois somar os resultados obtidos (6). Tal procedimento, em tese, efetua a análise de pior caso e o risco aparente é limitado ao desperdício de recursos por superdimensionamento. Entretanto, uma rede IP comporta tráfegos com protocolos de diversas naturezas, sem restrições, e possui um mecanismo de acesso estatístico. Assim, não há garantia de que, em um dado instante, um terminal que necessite enviar uma mensagem com um tempo de retardo máximo admissível, consiga fazê-lo, a despeito da rede ter sido superdimensionada.

A alternativa para se contornar as limitações dos modelos analíticos é o emprego de modelos de simulação. Em particular, estes são úteis nas situações nas quais se deseja: (a) simular sistemas ainda inexistentes; (b) estudar alterações em sistemas existentes, porém em condições inexistentes no mundo real; e (c) sistemas que apresentam dificuldade de representação analítica. Este último caso ocorre em sistemas com um elevado número de elementos, ou com muitas interrelações entre os elementos, ou ainda com interrelações não lineares entre eles.

2.2 Componentes da Rede

O objetivo do presente trabalho é o de avaliar o comportamento de uma rede de dados multisserviços de uma subestação, em termos de QoS, com relação à variação da demanda de tráfego. Devido à disseminação e ao contínuo barateamento de dispositivos de comunicação IP sem fio, como o Wi-Fi, aliada à vantagem operacional de mobilidade, essa tecnologia foi tomada como referência para a concepção do cenário de avaliação. Assim, caso se deseje estender os resultados para outras tecnologias, como as redes cabeadas, ou as sem-fio com outras plataformas, basta alterar os parâmetros empregados, continuando válida a metodologia aqui apresentada.

Tendo em vista que os componentes e tecnologias existentes no mercado são muito variados e, dadas as particularidades de cada subestação, foi selecionado um conjunto de elementos considerados típicos de uma subestação para compor a topologia de uma rede de comunicação hipotética. A Figura 1 mostra o cenário dessa rede. Essa solução apresenta um custo reduzido, uma vez que a interligação entre os seus elementos de acesso é sem fio e emprega a tecnologia VoIP.

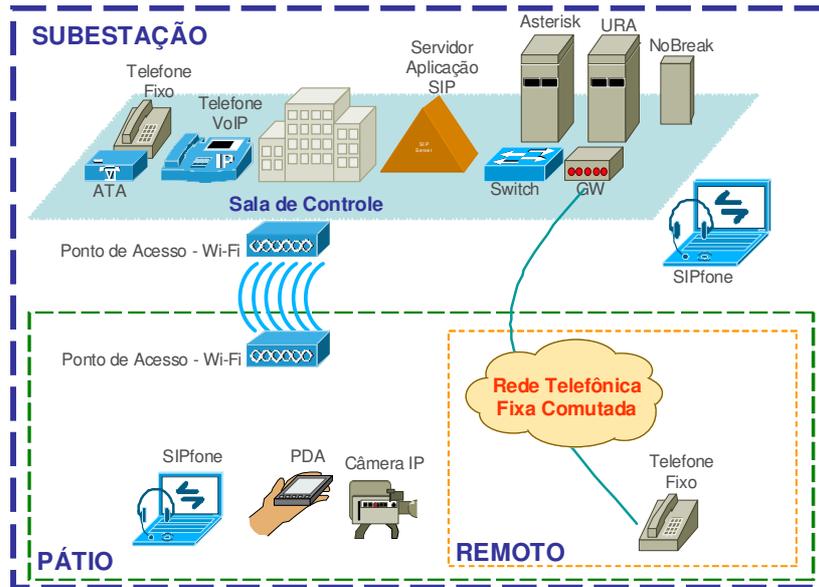


Figura 1 – Topologia da rede multiserviço da subestação

O modelo é composto de três ambientes físicos: sala de controle, pátio e ambiente externo (remoto). A sala de controle contém telefones fixos ligados por meio de ATA (Adaptador de Telefone Analógico), telefones VoIP, PABX Asterisk com Unidade de Resposta Audível (URA) e SIPFones (SIP – *Session Initiation Protocol*). No pátio tem-se câmeras IP, SIPFones e dispositivos Assistente Pessoal Digital (PDA – *Personal Digital Assistant*), estes últimos supostos serem móveis. O acesso remoto é feito somente por telefones fixos.

A capacidade do enlace Wi-Fi, por hipótese, é de 6 Mbit/s e corresponde ao padrão IEEE 802.11b (IEEE – *Institute of Electrical and Electronic Engineers*) com 11 MHz. O modelo a ser apresentado é válido também para enlaces com outras capacidades menores, mas que não devem ocorrer devido às dimensões usuais das áreas das subestações (quanto maior a distância a ser coberta, menor a capacidade da rede Wi-Fi).

2.3 Caracterização do Tráfego

Cada elemento de rede gera um perfil de tráfego, cuja caracterização pode ser feita por meio de medidas efetuadas, no caso de sistemas existentes, nos horários ou Períodos de Maior Movimento (PMM), ou por meio de suposições analíticas ou de experiência com outros sistemas similares, no caso de sistemas não existentes. Neste trabalho são utilizados dados hipotéticos, porém com valores típicos obtidos de sistemas reais. A Tabela 1 sintetiza, para cada elemento de cada ambiente físico, quais são os usuários, qual é a frequência com que cada um deles gera tráfego (taxa de chegada de cada serviço), bem como as distribuições de probabilidade que representam essas taxas e respectivas durações.

Tabela 1 – Caracterização do Tráfego

| Ambiente físico | Elementos de rede | Usuários | Taxa de chegadas no PMM | Distribuição dos instantes entre chegadas | Distribuição das durações |
|------------------|-------------------|----------|-------------------------|---|---------------------------|
| Sala de Controle | Telefone Fixo | T+A | 6 chamadas/h | EXPO(600) | EXPO(180) |
| | Telefone VoIP | T+A | 6 chamadas/h | EXPO(600) | EXPO(180) |
| | PABX/URA | M | 20 chamadas/h | EXPO(180) | EXPO(168,7) |
| | SIPfone | T+A | 7 chamadas/h | EXPO(514,29) | EXPO(150) |
| Pátio | Câmera IP | LM | 1 imagem/s | 1 | 1 |
| | SIPfone | T | 6 chamadas/h | EXPO(600) | EXPO(120) |
| | PDA | T | 1 arquivo/300 s | EXPO(300) | EXPO(*) |
| Remoto | Telefone Fixo | M | 15 chamadas/h | EXPO(240) | EXPO(180) |

Notações e cálculos utilizados na Tabela 1: **T+A** – equipe técnica e/ou administrativa; **M** – equipes de manutenção; **LM** – locais de monitoração; **T** – equipe técnica; **EXPO(x)** – distribuição de probabilidade exponencial com média do tempo entre ocorrência de eventos igual a x segundos (por exemplo, EXPO(600) corresponde a 6 chamadas/hora, ou 1 chamada, em média, a cada 600 segundos); (*) – no caso do PDA, é gerado um arquivo de tamanho médio igual a 83544 bytes, cuja transmissão depende da velocidade do enlace – assim, a duração média do serviço gerado pelo PDA fica determinada pela divisão de (83544×8) por 6×10^6 bit/s, que é igual a 0,11 segundos.

Supondo-se que os serviços gerados pelo Fone VoIP, Fone Fixo e o SIPFone possuem características semelhantes ao serviço de voz comutado por circuito, a duração desses serviços pode ser ajustada pela distribuição de probabilidade exponencial (5). Partindo-se de suposição semelhante, adota-se para esses três serviços a distribuição exponencial para ajustar os instantes entre chegadas sucessivas ou, equivalentemente, pode-se afirmar que o número de chegadas de requisições de serviço, em um determinado intervalo de tempo, segue a distribuição de Poisson.

Os instantes entre chegadas sucessivas do serviço gerado pelo conjunto PABX/URA também segue uma distribuição exponencial. Com relação à duração do serviço, tomando-se como referência valores de tempos de gravação de mensagens por meio do software CPqD Texto Fala, similares aos reproduzidos pela URA, esta pode ser ajustada por uma distribuição exponencial com média igual a 168,75 segundos.

A Câmera IP requer 30 kbit/s de banda (com um CODEC MPEG-4) para enviar uma imagem por segundo, de forma determinística.

Supondo-se que o tamanho médio dos arquivos gerados pelo PDA são maiores que 70 kilobytes e menores ou iguais a 100 kilobytes, que é razoável em termos práticos, adota-se um valor em torno de 83,5 kilobytes, com distribuição exponencial. A distribuição entre gerações sucessivas também é suposta ser exponencial.

Todos os serviços gerados pelos elementos da rede, com exceção do PDA e da Câmera IP, utilizam uma banda de 64 kbit/s (sem compressão), muito embora o modelo possa simular diferentes taxas de compressão.

2.4 Requisitos de Qualidade de Serviço e Prioridades de Tráfego

No caso de uma rede com tráfego de variados serviços, com características bastante díspares em termos de seus requisitos, torna-se essencial que o planejamento considere os aspectos de QoS. Para efeito de aplicação do conceito de QoS, os tráfegos são separados em dois tipos principais: *stream* e elástico. O tipo *stream* é um tráfego que tolera algum tipo de perda, mas não tolera atraso. Por exemplo, no caso do tráfego VoIP, os pacotes são transmitidos, na camada de transporte, pelo protocolo UDP – *User Datagram Protocol*, que não exige a confirmação do recebimento dos pacotes enviados. Nesse caso, uma pequena perda de pacotes pode nem ser percebida pelo usuário do serviço, mas seu escoamento deve ocorrer praticamente em tempo real. O tipo elástico é um tráfego que tolera algum atraso, mas não tolera perda. Por exemplo, no caso do serviço originado pelo PDA, os pacotes são transmitidos pelo protocolo TCP – *Transmission Control Protocol*, que exige confirmação do recebimento dos pacotes enviados. Um pequeno atraso na entrega do serviço é tolerável, mas não pode haver perda de pacotes a fim de garantir a integridade da mensagem enviada.

Devido ao PDA ser o único dentre os elementos de rede cujo serviço não admite perda, este pode ser considerado como de menor prioridade que os demais serviços. Portanto, o sistema tem dois níveis de prioridade: um mais prioritário, para todos os serviços que geram tráfego *stream*, e outro, menos prioritário, para o PDA. O primeiro deve ser dimensionado para ter um bloqueio de 2%, e o segundo (PDA), embora o menos prioritário, não deve sofrer uma demora maior que 15 segundos para entregar um arquivo de 100 kbytes (ou equivalentemente, 83544 bytes em 12,53s).

2.5 Descrição do Modelo de Simulação

Para implementar o modelo de simulação, pelo fato dos dados de entrada serem empíricos e com um certo grau de imprecisão, é conveniente optar-se por um software de propósito geral em vez de softwares específicos para simulações de redes, tendo por tal motivo sido escolhido o software de simulação ARENA, versão 9.0.

2.5.1 Descrição do Problema e do Cenário

Para um dado cenário (capacidade do enlace e quantidade de elementos de rede definidos), o modelo de simulação permite avaliar se os requisitos de QoS estipulados são satisfeitos para o volume de tráfegos elástico e *stream* escoados por essa rede. O cenário de teste está quantificado na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição e Requisitos do Cenário

| Ambiente Físico | Elementos de Rede | Quantidade | Requisito |
|------------------|-------------------|------------|---|
| Sala de Controle | Telefone Fixo | 30 | Perda ≤ 2% |
| | Telefone VoIP | 10 | |
| | PABX/URA | 2 | |
| | SIPFone | 20 | |
| Pátio | Câmera IP | 10 | Perda ≤ 2% |
| | SIPFone | 20 | |
| | PDA | 10 | |
| Remoto | Telefone Fixo | 10 | Tempo de transferência ≤ 12,53s Perda ≤ 2% |

Pode-se notar que o requisito predominante nos diversos serviços é a perda (característica de tráfego *stream*), com exceção do PDA, que tem um requisito de vazão. Embora alguns dos serviços tenham mais características de tráfego operativo e outros mais de tráfego corporativo, a idéia é que todos eles coexistam nessa mesma rede.

2.5.2 Modelo de Simulação

O sistema a ser simulado pode ser visto como um nó servidor que presta serviços a usuários ou entidades que se movem através do mesmo. No caso, as aplicações ou serviços que trafegam na rede correspondem aos usuários, e o enlace corresponde ao servidor.

No caso dos tráfegos *stream*, o conceito de duração dos serviços vem acompanhado do conceito de banda efetiva que, no caso, significa o quanto de banda será alocada durante o tempo em que a chamada permanecer ativa. No caso do tráfego elástico, a duração dos serviços depende da velocidade do enlace (servidor), aqui denominado CANAL. Todavia, os serviços não são atendidos por inteiro pelo enlace. No modelo elástico, os serviços são segmentados e enviados em forma de pacotes, onde cada pacote corresponde a uma fatia (*slice*) do serviço, constituindo-se em uma aproximação do protocolo TCP. O servidor atende essa fila de pacotes de acordo com a disciplina de atendimento FIFO – *First In First Out*. Na fila há um atendimento do tipo *processor sharing* ou M/G/1 PS. Para o tratamento de cada serviço individual, esse procedimento continua até que tenha se esgotado o seu tamanho (convertido em duração pela divisão por CANAL) estipulado, ou seja, até que todo o serviço tenha sido transmitido pelo enlace.

O tráfego *stream* tem características particulares, como descrito a seguir. Sabe-se que o tráfego *stream* é escoado por meio de pacotes em intervalos de tempo bem definidos (por exemplo, o tempo entre pacotes consecutivos não pode exceder a 20 milissegundos (1) a fim de não comprometer a inteligibilidade do serviço, independentemente do valor do *jitter*). No entanto, no presente modelo, cada chamada que estiver ativa vai “roubar” do CANAL um valor de bits por segundo fixo, correspondente ao valor de banda efetiva consumido por aquele serviço.

A fim de verificar o modelo de simulação foram utilizadas as técnicas de variação sobre os dados de entrada, verificação de consistência (2) e visualização gráfica da simulação em forma de animação (pelo *Run Mode* do ARENA). Para validá-lo utilizou-se a técnica da análise por especialistas (2) onde o modelo foi discutido especialmente quanto às simplificações e pressupostos adotados.

Para a determinação da duração da fase transiente, primeiramente optou-se pelo método da observação visual. Para isso realizou-se uma longa simulação (720.000 segundos). Por meio da observação dos gráficos das séries históricas dos dados correspondentes ao tempo médio de permanência no sistema (no caso do PDA) e da evolução do percentual de perda no caso dos tráfegos *stream*, não foi possível determinar o período de transição, em função das flutuações estatísticas que acabam sendo adicionadas às intrínsecas do próprio modelo. Portanto, utilizou-se o método do truncamento (2)(4). O valor da fase transiente obtido corresponde à duração de 20.000 (vinte mil) segundos.

Após a determinação da fase transiente e sua remoção na execução do modelo de simulação, o critério de parada da simulação para o tráfego elástico fica determinado a partir de uma duração tal que $\frac{\beta}{\bar{x}} \leq r$, onde β , \bar{x} e r denotam, respectivamente, a metade do intervalo para 95% confiança, a média aritmética das observações obtidas durante o tempo de simulação e o nível de precisão desejado. Os valores de β e \bar{x} são obtidos diretamente do relatório de saída do ARENA, nas colunas denominadas *Half Width* e *Average*, respectivamente.

No caso do tráfego *stream*, como o requisito trata-se de perda, este pode ser modelado como uma distribuição binomial uma vez que o interesse concentra-se no número de chamadas ou imagens perdidas (sucessos) dentre as chamadas ou imagens geradas. Assim, a proporção de sucessos é dada por $\hat{p} = \frac{\theta}{n}$, onde θ denota o número total de chamadas ou imagens perdidas e n o número total de chamadas ou imagens geradas na execução do modelo de simulação. O estimador da variância populacional é igual a $\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n-1}$ e $\beta = z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n-1}}$, onde $z_{1-\alpha/2} = 1,96$ considerando-se $\alpha=5\%$, uma vez que $n \times \hat{p} \geq 5$ e $n \times (1-\hat{p}) \geq 5$.

Para um período de simulação de 150.000 (cento e cinquenta mil) segundos e 23 replicações do experimento, obtém-se resultados com um nível de precisão em torno de 7% para o tráfego elástico e de 3% para os tráfegos *stream*.

2.6 Resultados da Simulação e Análise de Sensibilidade

Como resultado da aplicação do modelo de simulação tem-se que, para o cenário em estudo, os requisitos de perda e de vazão são plenamente satisfeitos, uma vez que a perda é nula e que o tempo médio para a transferência de arquivos dos PDAs é igual a 0,18s.

Situações práticas de análise de sensibilidade do modelo consistem, por exemplo, em avaliar o impacto do aumento do número de elementos de rede quando de uma expansão da mesma, da utilização de diferentes tipos de CODECS – Codificado/Decodificador, ou da troca de um ou mais elementos por questões de obsolescência tecnológica, etc.

Como um exemplo da primeira situação, supõe-se que a empresa necessita aumentar as equipes de manutenção (PABX/URA) de 2 para 30 URAs. Admite-se que isso implica também em um aumento no número de terminais de acesso (telefones fixos remotos) e no número de SIPfones do pátio utilizados. Mantendo-se fixa a quantidade dos demais elementos de rede e variando-se o número de PDAs e de telefones fixos remotos, obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 3. O respectivo modelo de simulação, que retrata a situação descrita, implementado no software ARENA, é apresentado na Figura 2.

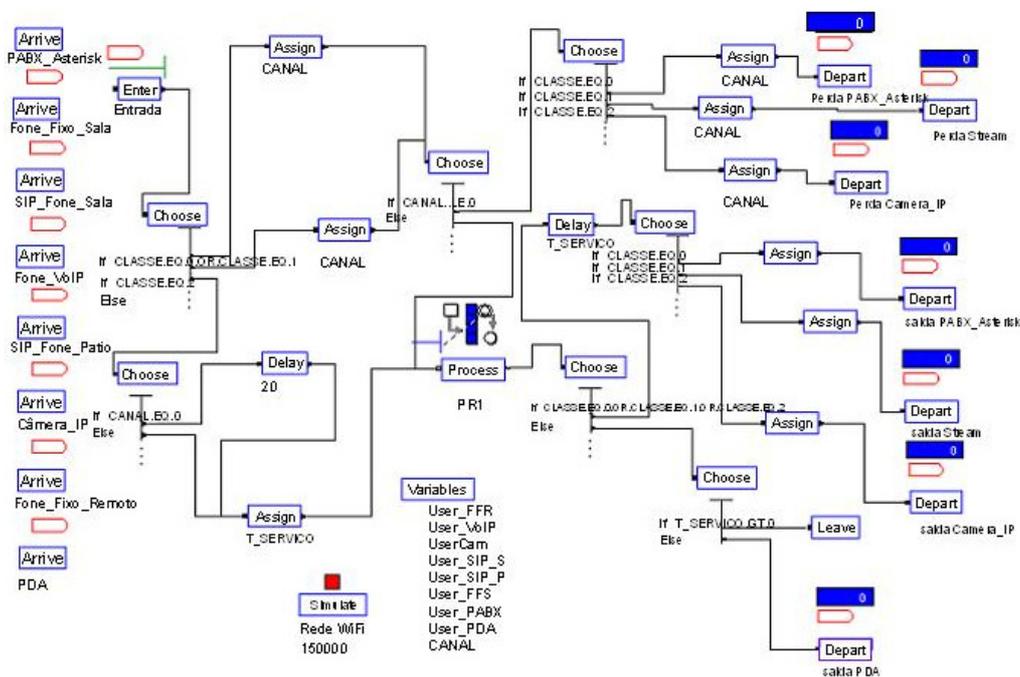


Figura 2 - Modelo ARENA para o tráfego elástico e *stream*

O impacto da alteração do número de PABX/URA e da variação das quantidades de SIPfone Pátio e Fone Fixo Remoto sobre o cumprimento dos requisitos de QoS dos PDAs e das câmeras IP são também explicitados na Tabela 3 e na Figura 2 para acompanhamento devido ao fato do PDA ser o único elemento que gera tráfego elástico e das câmeras IP serem elementos de segurança.

Com relação ao modelo de simulação, a saída dos resultados está particularizada de forma que pode-se observar isoladamente as saídas dos PDAs, as saídas e perdas dos PABX/URAs, das câmeras IP e do restante do tráfego *stream* agregado. Fazem parte do tráfego *stream* agregado o telefone fixo, o telefone VoIP e o SIPfone da sala de controle, o SIPfone do pátio e o telefone fixo remoto.

Tabela 3 - Simulação com 30 PABX/URAs e variando-se as quantidades de SIPfone Pátio e Fone Fixo Remoto

| Elementos de Rede | Nº | R. O. | Nº | R. O. | Nº | R. O. | Nº | R. O. | Nº | R. O. |
|-------------------|----|--------|----|---------|----|--------|----|--------|----|--------|
| PABX/URA | 30 | 0,065% | 30 | 20,157% | 30 | 2,112% | 30 | 1,669% | 30 | 0,940% |
| Câmera IP | 10 | 0,012% | 10 | 5,565% | 10 | 0,398% | 10 | 0,316% | 10 | 0,154% |
| SIPfone Pátio | 30 | 0,071% | 60 | 20,30% | 50 | 1,948% | 45 | 1,677% | 50 | 0,877% |
| Fone Fixo Remoto | 20 | | 60 | | 30 | | 30 | | | |
| PDA | 10 | 0,615s | 10 | 34,785s | 10 | 4,008s | 10 | 3,838s | 10 | 2,001s |

Nessa tabela, **R.O.** denota o valor do requisito observado – de cor azul, quando é cumprido. As quantidades que estão sendo variadas entre uma rodada de simulação e outra estão em destaque para facilitar o acompanhamento. O valor do R.O. que aparece para o SIPfone Pátio e para o Fone Fixo Remoto corresponde, de fato, à perda média do tráfego *stream* agregado.

Pode-se observar pelos resultados obtidos que:

- Supondo-se que a empresa opte por investir mais em SIPfone Pátio do que incentivar o uso de fones fixos remotos, para satisfazer os requisitos de QoS estipulados, os limites das quantidades de Fones Fixos Remotos permitidos correspondem aos valores das duas últimas colunas denominadas “Nº” da Tabela 3;
- Para atender qualquer configuração apresentada na Tabela 3, cujo requisito de QoS não esteja satisfeito (valores de R.O. em vermelho), é necessário aumentar a capacidade do enlace, o que pode inclusive implicar em uma mudança de tecnologia;
- Os telefones fixos remotos impactam mais o tráfego da rede se comparados com os SIPfones do pátio, como pode ser visto nas quatro últimas colunas da Tabela 3.

Outro parâmetro importante é a taxa de compressão dos CODECs. Uma análise do impacto da sua variação sobre os valores observados dos requisitos de QoS é apresentada na Tabela 4. Nesta, pode-se notar que para a configuração que representa os valores limites dos elementos de rede (conforme Tabela 3), o aumento da taxa de compressão elimina a perda no caso do tráfego *stream* e melhora significativamente o valor da vazão do PDA. Com isso, pode-se aumentar as quantidades dos elementos de rede ou trabalhar com requisitos de QoS mais rigorosos. Por outro lado, o aumento da taxa de compressão deve vir acompanhado de uma monitoração da qualidade do serviço prestado, uma vez que esse aumento acarreta uma degradação do sinal transmitido.

Tabela 4 - Resultados da simulação variando-se os tipos de CODEC

| Elementos de Rede | Nº | CODEC (kbit/s) | | | | |
|-------------------|-----------|----------------|--------|--------|--------|------------------------|
| | | 64 | 32 | 26 | 13 | 8 |
| | | R. O. | R. O. | R. O. | R. O. | R. O. |
| PABX/URA | 30 | 1,669% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Câmera IP | 10 | 0,316% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| SIPfone Pátio | 45 | 1,677% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Fone Fixo Remoto | 30 | | | | | |
| PDA | 10 | 3,838s | 0,209s | 0,004s | 0,001s | 9,3x10 ⁻⁴ s |

3.0 - CONCLUSÕES

Até pouco tempo atrás, o custo dos modelos de simulação (concepção, implementação, testes e execução) era extremamente elevado, principalmente devido à limitação dos recursos de processamento e ausência de softwares computacionais amigáveis. Hoje, com ferramentas de simulação do tipo “clica-arrasta” e com os softwares livres como o NS – *Network Simulator*, dotados de grande número de módulos de programação já prontos (por exemplo, protocolos TCP-IP, UDP, técnicas do tipo Serviços Diferenciados ou Diffserv, MPLS – *Multi Protocol Label Switching*, etc.), é possível otimizar o tempo de resposta e viabilizar o dimensionamento de recursos nas mais variadas áreas da atividade humana com excelente precisão.

Além disso, uma alternativa para se contornar as limitações dos modelos analíticos é o emprego de modelos de simulação. Particularmente, estes são úteis nas situações nas quais se deseja simular sistemas ainda inexistentes; ou estudar alterações em sistemas existentes, porém em condições inexistentes no mundo real; ou representar sistemas que apresentam dificuldade de modelagem analítica. Este último caso ocorre em sistemas com um elevado número de elementos, ou com muitas interrelações entre os elementos, ou ainda com interrelações não lineares entre eles.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um modelo de simulação visando o dimensionamento de uma rede sem fio onde coexistam tráfegos multisserviços (voz, dados e vídeo). No modelo apresentado, o objetivo do dimensionamento é a determinação da quantidade de usuários suportada pela rede de forma a garantir os requisitos estipulados de Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*) tais como a vazão, para o tráfego elástico, e a probabilidade de bloqueio, para o tráfego *stream*.

Em empresas do setor elétrico, este modelo pode ser aplicado no dimensionamento das redes de comunicação – corporativa e/ou operativa das subestações onde trafegam voz, dados e imagem, a fim de garantir o funcionamento adequado dos serviços e aplicações de sua rede. Como visto na subseção 2.6, pode-se com este modelo, por exemplo, responder até quanto poderão crescer os elementos da planta de forma a ainda manter os

requisitos de QoS, qual o tipo de CODEC mais adequado, ou até mesmo testar outros equipamentos com características diferentes mas que devem substituir os atuais por questões de obsolescência tecnológica, etc.

Embora neste trabalho o foco tenha sido a quantidade de elementos de rede ou de usuários, o modelo de simulação é suficientemente genérico de modo a permitir, entre outros:

- O dimensionamento de enlaces onde escoem tráfegos multisserviços (voz, dados e vídeo). Neste caso, o objetivo do dimensionamento é a determinação da capacidade do enlace necessária para uma dada demanda de tráfego, garantindo o cumprimento dos requisitos de QoS estipulados;
- O tratamento do tráfego das informações da Rede de Acesso aos Relés de Proteção (RARP) e dos Registradores Digitais de Perturbação (RDP), considerados serviços críticos da rede. Nesse caso, os serviços RARP e RDP, pela sua importância, podem ser tratados de forma diferenciada no sentido de que o atraso deverá ser limitado, a perda nula (característica dos tráfegos elásticos) e ainda deverão ter prioridade sobre o tráfego elástico (característica dos tráfegos *stream*).

4.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) CISCO. Voice/data integration technologies – Internetworking technologies handbook, 1999. Acesso em 19/01/2009, disponível em http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/voicdata.htm.
- (2) FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Florianópolis, Visual Books, 2001.
- (3) ITU-T Recommendations E.800: Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability. Geneva, Switzerland.
- (4) JAIN, R. The Art of Computer Systems Performance Analysis. Wiley, 1991.
- (5) SHARMA, R. L. Network Design Using EcoNets. International Thomson Computer Press, Boston, 1997.
- (6) TRINDADE, M. B., MEDRANO, M. S. e LAVELHA A. C. Planejamento de Enlaces IP Multi-serviço, considerando Requisitos de QoS. Congresso Nacional de Tecnologia da Informação e Comunicação – SUCESU 2003, Salvador, 2003.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

5.1 Edson Luiz Ursini

Nascido em Jaú, SP em 21 de dezembro de 1951.

Doutorado em Engenharia Elétrica – Eletrônica e Comunicações (1994) – UNICAMP – São Paulo e Mestrado em Engenharia Elétrica – Sistemas Digitais (1985) – USP – São Paulo.

Graduação em Administração de Empresas (1984) – FEA da USP – São Paulo e Graduação em Engenharia Industrial Elétrica Opção Produção (1974) – FEI, S. Bernardo do Campo – SP.

Empresas: TELESP (1976 a 1987), Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (1987 a 2008), CESET – UNICAMP (desde 2005).

Professor RTC do CESET – UNICAMP.

5.2 Sandra Maria Campanholi Tome

Nascida em Artur Nogueira, SP em 28 de março de 1957.

Mestrado em Matemática Aplicada – Otimização e Pesquisa Operacional (1989) – UNICAMP – São Paulo e Graduação (1980) em Matemática – Licenciatura e Bacharelado – UNICAMP – São Paulo.

Empresas: Elebra Informática (1985 a 1986), Elebra PLADEN (1986 a 1990), Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia “André Tosello” (1990 a 1993), Telecomunicações Brasileiras S. A.- Telebrás (1993 a 1998), Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (desde jul/1998).

Pesquisadora da Gerência de Tecnologia em Redes de Telecomunicações – Diretoria de Redes de Telecomunicações.

5.3 Nelson Mincov

Nascido em São Paulo, SP em 08 de fevereiro de 1961.

Técnico: Técnico em Eletrônica (1979) – ETI Lauro Gomes – São Bernardo do Campo – SP.

MBA em Gestão de Empresas (2005) – FGV - Rio de Janeiro; Especialização em Telecomunicações (2001) – FIAP - São Paulo; Especialização em Internet (2001) – FIAP – São Paulo; Especialização em Análise de Sistemas (1993) - FECAP-São Paulo e Graduação: Engenharia Elétrica modalidade Eletrônica (1989) – FESP – São Paulo.

Empresas: TV Globo de São Paulo (1979 a 1982), Furnas Centrais Elétricas (1982 a 1985), Siemens (1985 a 1991), EngeMédica (1991 a 2000), CPM (2000 a 2001), Telefônica (2001 a 2003) e Fundação CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, desde abr/2003.

Pesquisador da Gerência de Tecnologia em Redes de Telecomunicações – Diretoria de Redes de Telecomunicações.