

Avaliação de desempenho de tráfego multimídia em Sistema Tático de Comunicações do Exército Brasileiro

Joyce Queiroz e Silva, Leonardo Henrique Moreira, Ronaldo Moreira Salles,
David Fernandes Cruz Moura

Resumo— Este artigo apresenta uma avaliação de tráfego multimídia em um sistema de comunicações do Exército Brasileiro, verificando o impacto de parâmetros de camada física e de enlace na execução de aplicações em um cenário típico de campanha. Esta avaliação é feita com simulações numéricas e com o emprego de modelo analítico, ambos voltados a redes sem fio adaptativas. Por fim, são apresentadas as melhores configurações para o cenário proposto, baseando-se no estudo de métricas como taxa de descarte e vazão.

Palavras-Chave— *Sistemas Militares de Comunicações, Avaliação de Desempenho de Tráfego Multimídia, Modelos Markovianos de Filas.*

Abstract— This paper presents a multimedia traffic evaluation onto a Brazilian Army Communications System, checking typical physical and link layer parameters impact over data, voice and video applications in a typical combat scenario. This evaluation is performed based on numerical simulations and a Markov-chain based model, both previously suited to adaptive wireless networks. Moreover, this work presents the best settings for the proposed scenario, based on the study of metrics such as packet drop rate and average packet throughput.

Keywords— *Military Communications Systems, Multimedia Traffic Performance Evaluation, Markov-based queue models.*

I. INTRODUÇÃO

As tecnologias de acesso sem fio em banda larga (BWA, do inglês *Broadband Wireless Access*) têm experimentado grande desenvolvimento, pela inserção de novos serviços, antes somente disponíveis a usuários de redes cabeadas. Com tal desenvolvimento, propostas como o 3GPP *Long Term Evolution* (LTE) e o IEEE *Worldwide Interoperability for Microwave Access* – WiMAX (IEEE 802.16) têm experimentado grande destaque.

Esforço semelhante têm ocorrido no meio militar brasileiro, impulsionado pela Estratégia Nacional de Defesa, aprovada pelo Presidente da República em dezembro de 2008. Dessa forma, diversos sistemas em aperfeiçoamento ou desenvolvimento no Exército Brasileiro, como o Sistema Tático de Comunicações versão Brigada (SISTAC/Bda) no Projeto C2 em Combate e o Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (SISFron), têm acrescentado aos seus requisitos de projeto a avaliação de desempenho e a provisão de qualidade de serviço compatível ao ambiente de combate, tal qual as tecnologias existentes no meio civil.

Em especial, dentre os diversos componentes que formam o sistema de comunicações do Exército Brasileiro, o SISTAC/Bda é empregado em operações militares que ocorrem em áreas territoriais comparáveis com as de regiões

metropolitanas. O principal objetivo do SISTAC/Bda é permitir a transmissão de aplicações de transferência de dados, de voz e de videoconferência através de enlaces ponto a ponto com alta capacidade de tráfego, como ocorre, por exemplo, com o IEEE WiMAX.

Assim, da mesma forma que as tecnologias BWA no meio civil, vários pontos em aberto ainda restam na especificação e projeto de um SISTAC/Bda. Em particular, não existe uma avaliação do desempenho de aplicações de dados e voz em cenários típicos de emprego do SISTAC/Bda, os quais representam a maior parcela do tráfego nos sistemas atuais.

Este artigo apresenta três objetivos principais. Em primeiro lugar, os autores utilizam a ferramenta de simulação descrita em [6] para permitir o estudo e o projeto de sistemas militares de combate. Além disso, são propostos valores de configuração do modelo de fila de Entradas Generalizadas e Serviços Determinísticos (GIDS) para analisar o comportamento de tais sistemas táticos. Por fim, este trabalho descreve a avaliação de desempenho das principais aplicações de tráfego de dados utilizadas em um SISTAC/Bda, sob diferentes condições de emprego das comunicações. Com isso, este trabalho identifica o impacto de parâmetros de camada de enlace e aplicação no desempenho do sistema. Métricas como a descrição da ocupação média da memória, a taxa de perda de pacotes e a vazão média das aplicações são avaliadas, indicando as melhores configurações para o sistema em desenvolvimento.

O artigo apresenta a seguinte estrutura: na Seção 2 é apresentado o Sistema Tático de Comunicações versão Brigada. Na Seção 3, o simulador é descrito e seus componentes são relacionados com os parâmetros do SISTAC/Bda. A Seção 4 trata dos modelos de tráfego utilizados para caracterização das aplicações, das respectivas representações em cadeias de Markov e do emprego do modelo GIDS. A Seção 5 destina-se às simulações, utilizando *traces* gerados a partir de valores de taxa de chegadas de pacotes relacionados ao cenário militar escolhido, e também ao estudo dos resultados, descrevendo as melhores e/ou piores configurações. Por fim, são apresentados os principais resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

II. SISTEMA TÁTICO DE COMUNICAÇÕES VERSÃO BRIGADA

Segundo o *Manual de Campanha C 11 – Emprego das Comunicações*[3], em vigor no Exército Brasileiro, um sistema de comunicações é um conjunto de equipamentos utilizados para que certa necessidade seja atendida. Entre essas atividades, destaca-se a execução do Comando e Controle (C2), que se refere ao exercício da autoridade do comandante sobre seus subordinados utilizando de meios

rápidos e eficazes para informar e manter-se informado. Um sistema de comunicações quando é empregado em treinamentos ou operações reais é classificado como Sistema Tático de Comunicações (SISTAC), cujo principal objetivo é atender as necessidades de C2 e características mais importantes são a grande capacidade de tráfego, abrangência territorial, confiabilidade e segurança. Quando o SISTAC é empregado por uma Brigada, ele é denominado SISTAC/Bda.

O SISTAC/Bda dispõe de um conjunto de sistemas de comunicações composto por enlaces rádio nas faixas de VHF e UHF, enlaces de visada direta (sistema com portadoras múltiplas), linhas telefônicas e mensageiros [3]. Cada estação de transmissão (denominada nó da rede) apresenta baixa mobilidade, da ordem de 20 Km/h em média. Os principais nós do SISTAC/Bda são apresentados na Figura 1.

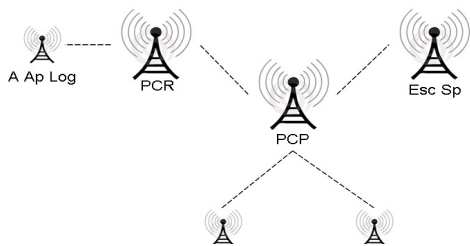


Figura 1. Enlaces do SISTAC/Bda

A primazia no uso do sistemas rádio traz a necessidade de atentar para características especiais como o efeito de desvanecimento do canal de comunicações, o emprego de técnicas de modulação adaptativa como estratégia para aumento da eficiência espectral e a definição da capacidade limite da memória dos equipamentos de comunicação.

Essas funcionalidades, ainda não contempladas nos SISTAC/Bda em uso no Exército, apontam para o estudo de redes sem fio adaptativas como uma possível solução para o projeto das novas versões do referido sistema. Dentre tais redes adaptativas, uma opção de destaque é o padrão 802.16, conhecido como WiMAX.

O WiMAX, sendo um padrão de rede sem fio, oferece mobilidade e flexibilidade aos nós da rede, o que pode garantir às ações militares o desvinculo de estrutura física da rede, ou seja, cabeamento.

A alta capacidade de tráfego requerida pelo sistema é garantida pelo WiMAX através do uso de uma grande largura de banda, permitindo em consequência altas taxas de transmissão e a realização de comunicação em tempo real, viabilizando aplicações como videoconferência e transferências de arquivos.

A grande cobertura territorial de um emprego militar é atendida pelo fato do padrão 802.16 ser uma interface de redes metropolitanas, ou seja, tem capacidade de abranger uma área extensa, compatível com um escalão valor Brigada em um teatro de operações cuja raio de atuação é cerca de 20 Km.

Além das características apresentadas anteriormente, o WiMAX contempla modulação adaptativa e provisão de qualidade de serviço a tráfego multimídia em canais sujeitos aos efeitos de desvanecimento e com usuários que apresentam baixa mobilidade. Assim, percebem-se semelhanças entre o SISTAC/Bda e o WiMAX, fazendo deste uma possível solução para o cenário proposto.

No entanto, antes de ser adotado, é necessário que seu comportamento seja analisado para então ter sua escolha viabilizada – realizado a partir do emprego de um simulador.

Dessa forma, a seção seguinte apresenta o simulador para redes sem fio adaptativas utilizado para realizar o estudo do desempenho das aplicações (voz, dados e vídeo), bem como as adaptações efetuadas para permitir a análise de desempenho de um SISTAC/Bda.

III. SIMULADOR

O cenário no qual a simulação ocorre é uma conexão ponto a ponto entre um único transmissor e um único receptor através de um enlace sem fio com desvanecimento descrito na Figura 2. Essa configuração representa a ligação típica entre um elemento subordinado (Elm Subord) e o PCP em um SISTAC/Bda.



Figura 2. Modelo do Enlace PCP – Elm Subord no SISTAC/Bda

Adota-se um simulador com modelos de tráfego de entrada definidos pelo usuário, como Poisson, IPP, IDP e Bernoulli, proposto em [1] e [6] para redes sem fio adaptativas, pela semelhança de enlaces ponto a ponto em sistemas como o WiMax com a topologia típica de um SISTAC/Bda.

Em ambos os sistemas, o transmissor possui uma fila de tamanho finito (representada pelo bloco “memória de tamanho finito”), na qual os pacotes são armazenados assim que chegam. O fato do tamanho da fila ser finito permite a ocorrência de descarte de pacotes. O processo de atendimento da fila obedece ao critério *FIFO*, isto é, o primeiro a chegar é o primeiro a sair.

A quantidade de pacotes transmitidos varia de acordo com a estratégia de modulação empregada, de acordo com técnicas de modulação digital existentes em equipamentos militares. A quantidade de pacotes transmitida varia de 1 a 5, de acordo com a estratégia de modulação adotada - BPSK, 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM ou 32-QAM, respectivamente,

A definição de qual estratégia de modulação é feita no “seletor de modulação adaptativa”, baseada na relação sinal-ruído estimada no receptor no evento anterior de transmissão, e implementada no “controlador de modulação adaptativa”, instalado no transmissor. A comunicação entre controlador e seletor de modulação adaptativa é feita por meio de um “canal de retorno ideal”, considerado no trabalho em questão como sendo livre de erros e atrasos.

Durante a simulação, um laço de repetição é executado e a situação do simulador pode variar em três estados, sendo eles chegada de pacotes, saída de pacotes e geração de relatório.

No primeiro evento, a chegada de pacotes é feita a partir da leitura de um arquivo (*trace*) que contem os instantes de chegada de cada pacote que são inseridos em uma fila, caso ela não esteja completa. O arquivo utilizado define a classe de tráfego a ser avaliada, permitindo que seja estudado o comportamento de transmissão de dados através de um

fluxo HTTP ou FTP, de conversação utilizando uma aplicação VoIP e de realização de videoconferências. Os modelos utilizados para descrever cada classe são apresentados na próxima seção.

No evento de saída, é simulada a transmissão dos pacotes, ou seja, a saída dos clientes do servidor. Tal transmissão é feita escolhendo-se a melhor técnica de modulação para a situação atual, levando em consideração aspectos de tamanho máximo da fila, frequência máxima de desvanecimento Doppler e relação média sinal-ruído.

A geração do relatório é feita assim que a condição de parada for satisfeita. Tal condição pode ser o fim do *trace* ou a simulação atingindo um tempo limite pré-definido. Nesse momento, são calculadas as estatísticas referentes à eficiência espectral, taxa de erro de pacotes, taxa de descarte de pacotes, atraso no atendimento e o número de pacotes na fila.

Os parâmetros que definem as características do cenário e que são ajustados no início da simulação são o modelo de tráfego de entrada (obtido a partir de modelos de tráfego ou de traces reais obtidos em exercícios de campanha), o tamanho da memória no transmissor, a relação sinal-ruído média no enlace ponto-a-ponto, os limiares de modulação adaptativa, a frequência máxima de desvanecimento Doppler e a estratégia de atendimento (determinístico ou estocástico).

O simulador foi validado, a partir de sua comparação com o modelo M/M/1/K, em função de sua simplicidade e também por seus resultados serem largamente utilizados e, portanto, considerados válidos. Assim, foi definido um número fixo de 100 repetições para cada configuração de experimento, isto é, tamanho da fila, relação sinal-ruído, frequência Doppler, técnicas de modulação empregadas, taxa de utilização (relação entre as taxas de entrada e de atendimento de pacotes) e limiares de modulação adaptativa.

Após a realização dos experimentos e verificando os resultados, pode-se concluir que o simulador é válido, a partir da adoção de um intervalo de confiança de 95% para as variáveis estudadas. Além disto, a maior diferença existente entre os valores teóricos e a média dos simulados não ultrapassou o valor de 0,23%.

IV. MODELO ANALÍTICO

Dada a duração de tempo envolvida para a execução dos experimentos de validação do simulador, buscou-se verificar a existência de modelos de fila adequados à análise de sistemas assemelhados ao SISTAC/Bda.

Assim, foi escolhido para avaliação o modelo de Entradas Generalizadas e Serviços Determinísticos (GIDS, da sigla em inglês) [9]. Trata-se de um modelo de entradas generalizadas de pacotes, compreendendo quaisquer valores de rajadas e tamanhos de pacotes, submetidos a uma fila de tamanho finito. O modelo GIDS é descrito com base em uma Cadeia de Markov de tempo discreto e descreve um processo de atendimento que permite a transmissão de rajadas e ocorre em intervalos fixos de tempo.

A chegada na fila do referido modelo é dado por uma sobreposição de k processos de Poisson, cada um deles modelada por um processo de Markov de tempo discreto irreduzível descrito pela matrizes T_i e λ_i . Estas representam, respectivamente, a matriz de transição de probabilidades da

modulação da cadeia de Markov e a matriz de taxas de chegada de cada processo. O atendimento é do tipo FIFO (First In, First Out) e determinístico.

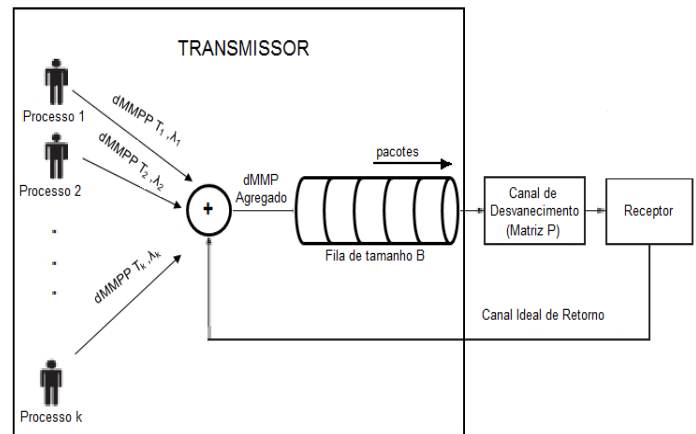


Figura 3. Modelo de um cenário típico descrito através do GIDS

O modelo GIDS contempla diversas características identificadas no projeto de um SISTAC/Bda, como a construção de processos de atendimento com correlação temporal. Com isso, é possível integrar efeitos como o desvanecimento do canal de comunicações, técnicas de modulação adaptativa e a definição da capacidade limite da memória dos equipamentos de comunicação no modelo de serviço da fila.

Para complementar o emprego do GIDS, resta a descrição das classes de tráfego que melhor caracterizam o SISTAC/Bda, a saber, o tráfego de dados e de voz sobre IP, caracterizados pelos protocolos HTTP/FTP e TCP.

Dada a inexistência de produção acadêmica tratando sobre os modelos de tráfego característicos de cenários militares, os autores deste trabalho adotam modelos destinados a cenários semelhantes de redes WiMAX. O uso é permitido devido às condições que ambos apresentam - uma comunicação ponto a ponto entre uma estação base fixa e um assinante que não apresenta grande velocidade de deslocamento, mas que também não está necessariamente parado.

Assim, segundo [1], o tráfego HTTP/FTP e TCP em um sistema WiMAX pode ser caracterizado através de um modelo paramétrico 4IPP, onde cada IPP representa a geração de um quadro em tempo distinto de forma a modelar o tráfego de dados existentes nas redes ethernet e internet.

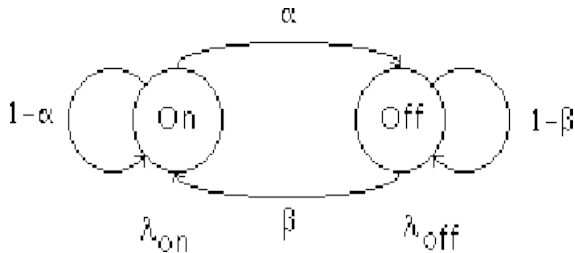


FIGURA 4. Modelo IPP

O modelo IPP (Interrupted Poisson Process), apresentado na Figura 4, é um processo de dois estados. Quando o IPP usa intervalo de tempos discretos, a chegada de cada pacote ocorre em cada intervalo de tempo do estado On, seguindo uma distribuição de Bernoulli, e nenhum pacote chega durante o estado de Off.

Para que tal utilização seja possível, ele deverá ser escolhido de acordo com a taxa de transmissão da rede e o tamanho médio do pacote. Em [1] é proposto um conjunto de parâmetros para a modelagem proposta, considerando 3 pacotes sendo transmitidos por segundo. Neste artigo será considerado 333.33 pacotes sendo transmitidos por segundo. Este valor foi obtido dividindo-se o número de bits de um pacote pela taxa de transmissão. Para calcular o número de bits, foi utilizado o mesmo tamanho médio de pacote da referência, a saber 192 bytes. Em relação as taxas de transmissão para esse tráfego dentro do contexto SISTAC/BDA, de acordo com [11], para um Pelotão, uma Companhia, um Batalhão e uma Brigada elas são, respectivamente, 8Kbps, 32 Kbps, 128Kbps e 512Kbps. Para exemplificar, os parâmetros para o modelo em questão, para a velocidade de 8 kbps, podem ser vistos a seguir:

Fonte i	λ IPP no estado ON (pcts/seg)	α_i (taxa de transição de prob. ON para OFF em (pcts/seg)	β_i (taxa de transição de prob. OFF para ON em pcts/seg)	Média de pacotes por segundo
IPP#1	4,65	0,60	0,79	1,99
IPP#2	2,95	0,03	0,02	1,26
IPP#3	2,41	0,00	0,00	1,03
IPP#4	2,14	0,00	0,00	0,92
Taxa média do 4 IPP em pcts/seg				5,21

Tabela 1. Parâmetros para Modelagem 4IPP da classe de tráfego HTTP e FTP em um pelotão – Taxa de Transmissão de 8 kbps

As tabelas para as demais velocidades podem ser obtidas através de um ajuste linear multiplicando-se os valores da Tabela 1 pelo número de unidades de tempo por segundo.

Para o modelo 4 IPP, as matrizes T e Λ do agregado de tráfego de dados são obtidas por meio de uma soma de Kronecker entre as matrizes T_i e de um produto de Kronecker entre as matrizes T_i de cada IPP, respectivamente.

V. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

Para a simulação do tráfego de dados e de aplicações de voz foram utilizados os diversos parâmetros para avaliação de desempenho de um sistema ponto a ponto em redes adaptativas quando submetido a um tráfego de Poisson para obtenção de uma taxa global de perda de pacotes da ordem de 1% em um cenário com relação sinal/ruído média de 20 dB - valor adequado para transmissões de dados em ambiente militar [4]. O sistema ponto a ponto avaliado consiste no enlace entre o PCP e um pelotão como Elm Subord.

Assim, foram escolhidos um intervalo entre transmissões de pacotes igual a 1 ms, a relação sinal/ruído média de 20 dB, a frequência máxima de desvanecimento Doppler de 10 Hz e as taxas de chegada e de transição entre estados descritas na Tabela 1, com o vetor dos limiares de modulação $\Gamma = [7, 4062; 9, 2711; 15, 2856; 16, 6486; 20, 8606]$ dB. Com esses valores, foram realizadas 100 simulações para cada valor de tamanho da fila entre 10 e 70 pacotes, com incremento de 10 pacotes. Em seguida foram utilizados os mesmos parâmetros na implementação computacional do modelo GIDS para os mesmos valores de tamanho da fila. Os resultados podem ser vistos na subseção seguinte. Uma vez validado o simulador, foi feita a avaliação do tráfego através de experimentos numéricos e seus valores foram comparados com os resultados do modelo analítico.

Por fim, o procedimento foi repetido para relações sinais ruído 10, 15 e 25 dB, a fim de avaliar o comportamento do sistema frente a uma variação desses parâmetros.

A. RESULTADOS E EVIDÊNCIAS

Para os dados obtidos na simulação foram calculados um intervalo de confiança de 95% para a taxa de descarte e vazão média do sistema. As mesmas também foram calculadas através do modelo GIDS. Os gráficos dos comparativos entre os valores obtidos podem ser vistos nas Figuras 5, 6, 7 e 8.

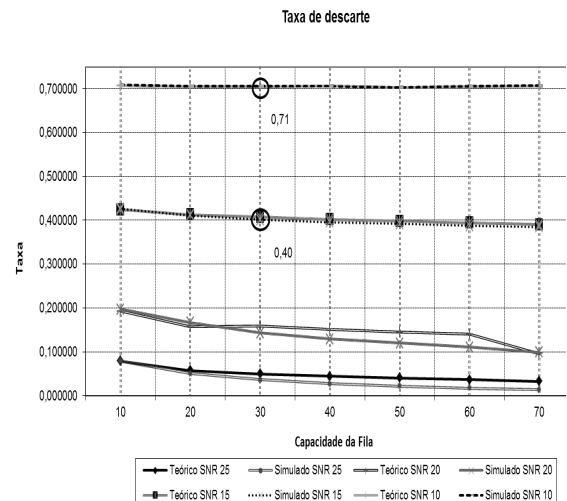


Figura 5 - Gráfico comparativo Simulador X GIDS para a métrica taxa de descarte para diferentes relações sinal ruído

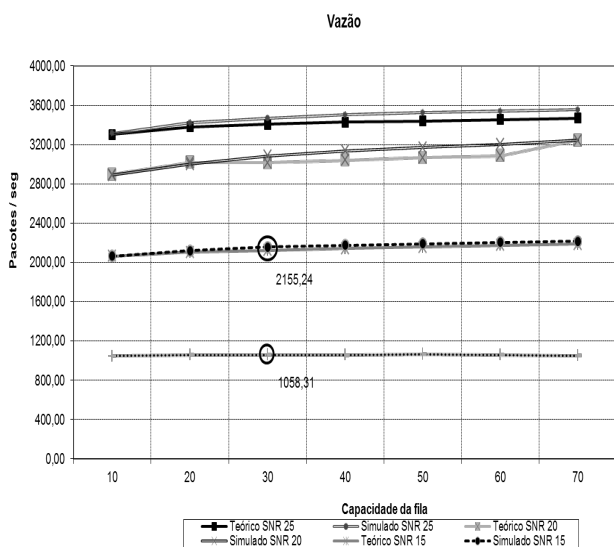


Figura 6 - Gráfico comparativo Simulador X GIDS para a métrica vazão para diferentes relações sinal ruído

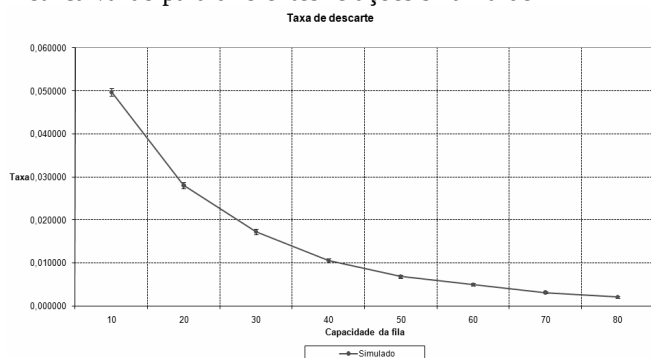


Figura 7 - Gráfico para métrica taxa de descarte para aplicação de voz para relação sinal ruído de 20 dB obtido pelo simulador

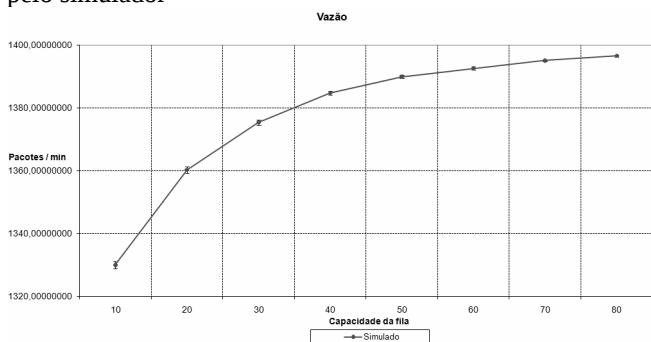


Figura 8 - Gráfico para métrica vazão para aplicação de voz para relação sinal ruído de 20 dB obtido pelo simulador

VI. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta uma avaliação de tráfego multimídia no Sistema Tático de Comunicações de Brigada. A avaliação foi realizada com base em um simulador de redes sem fio adaptativas modificado para o estudo da comunicação entre elementos pertencentes a uma brigada, com topologia ponto a ponto e intervalos fixos de tempo entre transmissões de quadros. Assim, é avaliado o

impacto de parâmetros de camada física e de enlace na execução de aplicações multimídia.

Experimentos numéricos foram projetados para avaliar a taxa de descarte de pacotes e a vazão média em um cenário típico de um SISTAC/Bda, comparando-se os valores obtidos com o emprego do simulador aperfeiçoado aos descritos com o modelo GIDS. Os resultados indicam a viabilidade do emprego da ferramenta em projetos de Sistemas de Comunicações no Exército Brasileiro, bem como a adequação dos resultados obtidos aos sugeridos com base no uso de um modelo analítico ajustado a redes sem fio adaptativas. Além disto, os estudos de caso realizados sugerem a adoção de estratégias mais conservadoras de modulação adaptativa, pois a vazão média de pacotes requerida pelas unidades de combate foi atendida a partir do comprometimento da taxa de perda de pacotes, a qual é fortemente degradada em relação aos requisitos típicos de serviço.

Os trabalhos futuros irão destacar os efeitos das imperfeições no canal de retorno, como erros de estimação no controlador de modulação adaptativa e atrasos de transmissão para o seletor de modulação adaptativa, no desempenho das aplicações típicas do cenário militar. Além disto, será ainda investigada a influência das variações do canal avante na provisão de QoS, com o objetivo de identificar as melhores configurações para o tráfego multimídia em ambiente tático.

VII. REFERÊNCIAS

- Baugh, C. R., Huang, J., Schwartz, R., Trinkwon, D., "Traffic Model for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations", Technical Report, IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group-IEEE 802.16.3c-01/30r1. 2001.
- Moura, D.F.C., Salles, R.M., Galdino, J.F., "Generalized Input Deterministic Service queue model: analysis and performance issues for wireless tactical networks", IEEE Communications Letters, v.13, p. 967-969, Dez 2009.
- Moura, D., Galdino, J. F., Salles, R. M., "Simulador para Avaliação de Desempenho de Projetos Cross-Layer em Redes sem Fio Adaptativas", In: VIII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação, Sociedade Brasileira de Computação, 2009
- Salles, R. M., Moura D. F. C., Carvalho, J. M. A., SILVA, M. R., "Novas perspectivas tecnológicas para o emprego das comunicações no Exército Brasileiro", Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. XXV, p. 68-80, 2008
- Moreira, L. H., "Aprimoramentos de simulador de comunicações para redes WiMAX", Instituto Militar de Engenharia, 2010.
- Exército Brasileiro, Manual de Campanha C 11-1 – Emprego das Comunicações, 2.ed, 1998.
- Exército Brasileiro, Manual de Campanha C 20-1 – Glossário de termos e expressões para uso no Exército, 3.ed, 2003.
- Exército Brasileiro, Manual de Campanha C 11-30 – Comunicações na Brigada, 2.ed, 1998.
- Moura, D.F.C., Salles, R.M., Galdino, J.F.,

“Generalized Input Deterministic Service queue model: analysis and performance issues for wireless tactical networks”, IEEE Communications Letters, v.13, p. 967-969, Dez 2009.

10. Moura, D., Galdino, J. F., Salles, R. M., “Simulador para Avaliação de Desempenho de Projetos Cross-Layer em Redes sem Fio Adaptativas”, In: VIII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação, Sociedade Brasileira de Computação, 2009

11. Salles, R. M., Moura D. F. C., Carvalho, J. M. A., SILVA, M. R., “Novas perspectivas tecnológicas para o emprego das comunicações no Exército Brasileiro”, Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. XXV, p. 68-80, 2008