

Uma Métrica de Roteamento Baseada na Taxa da Fila Aplicada às *Wireless Mesh Networks* com Tráfego VoIP

Cleverton Juliano Alves Vicentini¹, Mauro Sergio Pereira Fonseca¹,
Roberson Cesar Alves de Araujo²

¹Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada - (PPGIA),
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
Caixa Postal 17.315 – 80.215-901 – Curitiba – PR – Brasil

²Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR)
80.350-010 – Curitiba – PR – Brasil

{cleverton,mauro.fonseca}@ppgia.pucpr.br, roberson.araujo@tecpa.br

Abstract. Nowadays a lot of research has been made to reach the best routing protocols and metrics in order to improve wireless mesh networks. Although achieving better routes in a wireless mesh network is not a trivial work. Many researches show generic scheme protocols aiming to work in any topology case, but they do not work in any scenario. This study shows a new router metric named *FQ* (Factor-*Q*), which aims to work in wireless mesh network scenarios optimized for a low mobility and VoIP traffic. The *FQ*'s performance was compared and evaluated with *ML* (Minimum Loss), *MD* (Minimum Delay) and *ETX* (Estimated Transmission Count) metrics. Simulations reveal that the proposed *FQ* metric provides a better set of results than *ML*, *MD* and *ETX* metrics.

Resumo. Muita pesquisa é realizada a fim de encontrar melhores protocolos e métricas de roteamento para que se adequem a redes Wireless do tipo Mesh. Porém, buscar melhores rotas em uma rede sem fio não é uma tarefa trivial. Grande parte dos estudos objetivam a busca de soluções que se adaptem a qualquer topologia Wireless Mesh, mas nem sempre um protocolo ou métrica de roteamento irá operar de forma satisfatória em diversos ambientes. O presente artigo demonstra uma nova métrica de roteamento intitulada *FQ* (Factor-*Q*), que tem como objetivo atuar em redes Wireless Mesh com cenários de baixa mobilidade e com tráfego VoIP. Seu desempenho foi comparado e avaliado com a métrica *ML* (Minimum Loss), *MD* (Minimum Delay) e *ETX* (Estimated Transmission Count). Simulações realizadas com o NS-2 demonstraram que a métrica *FQ* propicia um melhor desempenho no modelo de rede utilizado com tráfego VoIP.

1. Introdução

As redes locais sem fio definidas pelo padrão IEEE 802.11, que fornecem acesso sem fio a computadores e dispositivos móveis através de ondas de rádio, propiciam uma fácil implantação por não haver necessidade de uma estrutura de rede cabeada, sendo assim esta tecnologia tende a ser cada vez mais explorada por instituições e comunidades. Seguindo este mesmo princípio recentemente surgiu uma nova tecnologia intitulada: redes em malha sem fio (*Wireless Mesh Networks*) que tem como principal atrativo seu

custo reduzido para cobertura de áreas relativamente grandes onde é financeiramente inviável a instalação de uma infra-estrutura de rede cabeada. Instituições de Ensino têm utilizado a plataforma *Wireless Mesh* de forma a prover serviços de Internet a seus alunos e funcionários, além de interligar prédios com a comunicação sem fio [ReMesh 2005], [Saade et al. 2007], [Tsarmpopoulos et al. 2005].

As redes *Wireless Mesh* têm como principal característica a utilização de roteadores sem fio, geralmente fixos e com maior poder de processamento em relação aos roteadores móveis que geralmente apresentam o suprimento de energia limitado. Os roteadores são responsáveis por encaminhar tráfego para os demais roteadores que compõem a rota de destino e também por receber e encaminhar tráfego para os nós clientes, estes nós podem estar conectados tanto via cabo como sem fio.

Características que devem estar presentes nas redes *Mesh* são auto-organização e auto-configuração, tais características possibilitam a manutenção das conexões dos roteadores presentes na rede de forma automática, visando a inclusão de novos roteadores na rede para o aumento da área de cobertura da rede *Mesh* [Akyildiz et al. 2005]. De uma forma geral, os protocolos de roteamento utilizados em redes *Wireless Mesh* são adaptações de protocolos de roteamento para redes *ad hoc*. Porém, o fato dos protocolos de roteamento *ad hoc* serem desenvolvidos para redes onde nós são móveis, podem não trazer bons resultados se utilizados nas redes *Wireless Mesh*.

O desempenho de uma rede *Wireless Mesh* bem como seu comportamento recaem geralmente na combinação do protocolo de roteamento com a métrica utilizada. Pesquisas envolvendo a utilização de protocolos de roteamento e métricas para redes *Mesh* têm dado prioridade à diminuição do atraso e ao aumento da vazão [Akyildiz et al. 2005].

A importância de cada métrica de roteamento é reflexo do que se espera de determinadas redes *Mesh*. Algumas métricas avaliam a taxa de perda de pacotes, outras utilizam múltiplos canais para melhor utilização do meio físico, outras fazem a utilização da largura de banda como medida. Este artigo propõe uma métrica de roteamento que utiliza as informações referentes a fila de um nodo. Seu objetivo é obter menores taxas de perda, menor atraso e melhor vazão nas redes *Mesh* estacionárias com tráfego *VoIP*. Seguindo este critério, rotas alternativas serão definidas com o objetivo de oferecer melhor desempenho a rede. A métrica apresentada neste documento é intitulada *Factor-Q* (FQ).

A motivação que leva ao estudo e desenvolvimento de uma métrica de roteamento que se adapte a redes *Wireless Mesh* com tráfego de Voz, deve-se ao crescimento e popularização da tecnologia *Voice over Internet Protocol* (VoIP), bem como pela crescente demanda de serviços multimídia. Este crescimento justifica-se pelas reduções significativas com os custos em telefonia. O cenário escolhido para os testes foi o Campus da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), por ser um cenário viável de implantação destas tecnologias.

A implementação da métrica de roteamento *Factor-Queue* (FQ) foi baseada na concatenação das informações referentes a taxa de utilização de fila dos nós vizinhos. Desta maneira quando um determinado enlace apresenta altas taxas de utilização de fila esta informação é repassada ao protocolo de roteamento forçando a escolha de rotas alternativas.

Com o objetivo de avaliar o comportamento da métrica FQ (*Factor-Queue*), foram

realizadas simulações no *Network Simulator 2* [NS2 2010], utilizando-se extensões para o OLSR e as métricas ML (*Minimum loss*), MD (*Minimum Delay*) e ETX (*Expected Transmission Count*), desenvolvidas para o NS-2 [Cordeiro et al. 2007]. Para interpretação dos resultados foi utilizada a ferramenta *Gnuplot* [Gnuplot 2010].

Este documento está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 descreve a métrica *Factor-Q*. A seção 4 apresenta o cenário de simulação e parâmetros utilizados na simulação, seção 5 apresenta os resultados obtidos e por fim seção 6 contém a conclusão deste artigo.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção descreve o comportamento dos protocolos de roteamento *wireless* e aborda algumas métricas de roteamento utilizadas em redes *Mesh*.

2.1. Protocolos de Roteamento para Redes *Wireless*

A classificação dos protocolos de roteamento *Wireless* é realizada da seguinte forma: pró-ativos, reativos e híbridos. Os protocolos pró-ativos realizam o processo de descoberta da rota de forma constante, desta maneira quando ocorrer a necessidade de transferir dados a rota já é conhecida para utilização imediata. Os protocolos pró-ativos podem ser adequados para redes *Mesh* de baixa mobilidade, onde não existe a limitação de energia pois os roteadores são geralmente fixos e com alimentação contínua. Os protocolos reativos realizam o processo de descoberta da rota somente quando necessitam enviar dados, desta forma economizando processamento dos nós, sendo adequados para redes de alta mobilidade, onde economia de energia é um fator prioritário. A metodologia utilizada nos protocolos de roteamento híbridos é a concatenação dos conceitos pró-ativos e reativos, dividindo a rede em zonas de roteamento de forma que em determinados localidades o princípio pró-ativo é utilizado e em outros momentos o princípio reativo é aplicado.

As redes *Wireless Mesh* podem oferecer como recurso o poder de processamento e a não limitação de energia [Passos and Albuquerque 2007], mesmo não aproveitando estas características alguns protocolos de roteamento desenvolvidos para redes *ad-hoc* foram implantados em redes *Wireless Mesh*. São exemplos de protocolos *ad-hoc* utilizados em redes *Wireless Mesh*: DSR (*Dynamic Source Routing*) [Johnson et al. 2003], AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*) [Perkins et al. 2003] e OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*) [Clausen and Jacquet 2003].

Nas redes *Wireless* o grande número de mensagens de controle disparadas pelos nodos podem vir a comprometer a estabilidade da rede, alguns protocolos de roteamento pró-ativos têm como princípio diminuir esta sobrecarga de mensagens na rede. Um exemplo é o protocolo de roteamento OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*) [Clausen and Jacquet 2003], que utiliza a abordagem de *Multipoint Relays* (MPR). Os MPR são um conjunto de vizinhos selecionados por um determinado nó que terão a tarefa de retransmitir mensagens de controle pela rede. A utilização da abordagem MPR evita a inundação de *broadcasts*, auxiliando na estabilidade da rede.

2.2. Métricas de Roteamento

A métrica quantidade de saltos é normalmente utilizada em Redes *Ad Hoc* como padrão. Tal métrica é adequada a redes *Ad Hoc* pelo fato que novas rotas de uma rede devem

ser encontradas de forma rápida [Campista et al. 2008]. Porém, as redes *Wireless Mesh*, por possuírem uma topologia onde os nós formadores do *backbone* são normalmente fixos, uma rota com menor número de saltos pode não ser a melhor escolha. Partindo deste princípio, foram desenvolvidas algumas métricas de roteamento como alternativas da métrica de quantidade de saltos, tais implementações podem ser integradas aos protocolos de roteamento utilizados nas *Wireless Mesh Networks*.

A primeira alternativa à métrica quantidade de saltos proposta para as *Wireless Mesh Networks* (WMN) é a *Expected Transmission Count* (ETX) [Campista et al. 2008]. A métrica ETX mede de forma contínua a taxa de perda de ambos os sentidos entre cada nó e seus respectivos vizinhos, monitorando as taxas de perda dos enlaces através de troca de mensagens periódicas, assim como em enlaces alternativos para garantir o uso da melhor rota. Esta métrica calcula o peso da rota através da soma dos ETX's de cada enlace, que será utilizado pelo protocolo de roteamento para o cálculo da melhor rota.

A métrica *Expected Transmission Time* (ETT) [Bicket et al. 2005], foi desenvolvida como uma extensão da métrica ETX. A ETT considera a taxa de transmissão utilizada para realizar com precisão a qualidade dos enlaces. Seu objetivo é estimar o valor do atraso do canal, realizando a concatenação do ETX do enlace com a taxa de transmissão do nó.

Duas métricas alternativas a métrica ETX são: ML (*Minimum Loss*) [Passos and Albuquerque 2007] e MD (*Minimum Delay*) [Cordeiro et al. 2007]. A métrica ML objetiva a busca de caminhos com menores probabilidades de perda de pacotes mesmo que necessite utilizar um número maior de saltos que a métrica ETX. Já a métrica MD tem como critério o menor atraso de transmissão total para a construção de rotas entre pares comunicantes e seleção dos MPR's. Sendo assim, considera a menor soma dos atrasos originados de todos os enlaces envolvidos na rota.

Ambas as métricas ML e MD demonstraram um melhor desempenho e menores taxas de perda de pacotes quando comparadas a métrica ETX. É interessante destacar que a maioria das métricas de roteamento utilizam a métrica ETX, ou pequenas variações da mesma, para cálculo das tabelas de roteamento [Passos and Albuquerque 2007]. Seguindo este mesmo paradigma, a métrica FQ descrita na sub-seção 3.2 será uma variação da métrica ETX.

3. Fundamentação da Proposta

Esta seção fundamenta como a métrica *Factor-Q* foi desenvolvida. Descreve o comportamento da métrica ETX em sua forma original, após isto descreve as alterações realizadas na ETX para desenvolver a métrica *Factor-Q*, proposta e implementada neste documento.

3.1. A Métrica ETX

Para o cálculo da qualidade do enlace a métrica ETX utiliza o inverso do resultado gerado pelo produto do *Link Direto* (*forward delivery ratio*(*df*)) pelo *Link Reverso* (*reverse delivery ratio* (*dr*)), onde o *Link Direto* é responsável pelo envio dos pacotes *hello* e o *Link Reverso* é responsável pelos reconhecimentos positivos (ACKs) [Albuquerque et al. 2006]. Assim o ETX de um enlace $a \rightarrow b$ é definido como o inverso da probabilidade de transmissão com sucesso de um pacote através deste enlace como ilustra a equação 1.

$$ETX_{ab} = \frac{1}{P_{ab}} \quad (1)$$

O cálculo de uma rota com múltiplos saltos com a métrica ETX se dá pela soma do valor de ETX de cada salto. Sendo assim: em uma rota $a \rightarrow c$, será feita a soma do ETX do enlace $a \rightarrow b$ com ETX do enlace $b \rightarrow c$, como citado em [Passos and Albuquerque 2007], o ETX de uma rota $a \rightarrow n$ é definida por:

$$ETX_n = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{P_{a_i a_{i+1}}} \quad (2)$$

Onde $P_{a_i a_{i+1}}$ ilustra a probabilidade de transmissão com sucesso de um pacote entre os nós $a_i a_{i+1}$.

3.2. Métrica Proposta: *Factor-Q*

Para a criação da métrica *Factor-Q*, foi realizada uma alteração no cálculo original da métrica ETX. A métrica ETX como descrito na sub-seção 3.1 utiliza pacotes *hello* e reconhecimentos ACK's para o cálculo da qualidade do enlace. A *Factor-Q* segue o mesmo princípio da ETX, porém é adicionado ao Enlace Reverso (dr), a taxa de utilização da fila do enlace correspondente. A taxa de utilização da fila é calculada através da divisão do tamanho da fila pela capacidade máxima da fila. Os valores do Enlace Direto (df), permanecem em sua forma natural. A equação 3 demonstra como a taxa de utilização da fila é calculada.

$$TxQ = \text{queue_} > \text{length}() / \text{queue_} > \text{limit}(); \quad (3)$$

Onde, $\text{queue_} > \text{length}()$ significa fila atual e $\text{queue_} > \text{limit}()$ corresponde ao total da fila. Feito o cálculo da taxa de utilização da fila, é necessário incluir o resultado deste cálculo na métrica ETX, formando assim a nova métrica *Factor-Q*. Ao atribuir o TxQ (Taxa da Fila) ao *Link* Reverso de ETX obtém-se a nova métrica *Factor-Q* como ilustra a expressão 4, onde P significa probabilidade.

$$FQ = \frac{1}{P_{(df \times (dr + TxQ))}} \quad (4)$$

Seguindo o mesmo princípio da métrica ETX, a equação 5 ilustra o cálculo da métrica em uma rota $A \rightarrow B$. Onde $P_{(ab)}$ denota a probabilidade de uma transmissão de um nodo origem a um nodo destino.

$$FQ_{ab} = \frac{1}{P_{(ab)}} \quad (5)$$

Para o cálculo de uma rota com múltiplos saltos a métrica *Factor-Q* realiza o somatório dos valores de FQ de cada enlace a fim de obter o custo total de cada rota. A equação 6 denota este cálculo.

$$FQ_n = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{P_{(a_i a_{i+1})}} \quad (6)$$

A métrica FQ demonstra um bom desempenho nas simulações realizadas, estes melhores resultados são decorrentes da utilização da taxa da fila, pois quando o enlace apresentar altas taxas de utilização de fila a métrica FQ irá retornar um peso maior para o atual enlace, forçando o protocolo de roteamento a escolha de uma rota alternativa.

Esta seção descreveu a metodologia utilizada para a implementação da métrica *Factor-Queue*, que além dos pacotes *hello default* utilizados na métrica ETX, também adiciona a seu cálculo, a taxa de utilização de fila dos nós vizinhos, visando retornar uma estimativa mais apurada para que o protocolo de roteamento direcione o tráfego de melhor forma possível.

4. Cenário de Simulação

Para as simulações foi adotado um cenário real, o campus da PUC-PR (Figura 1), que é composto por vários blocos acadêmicos e áreas de estacionamento entre os blocos. Com o objetivo de avaliar o comportamento da métrica FQ, as simulações foram executadas no *Network Simulator 2* [NS2 2010], utilizando extensões para o OLSR desenvolvidas para o NS-2 [Cordeiro et al. 2007].

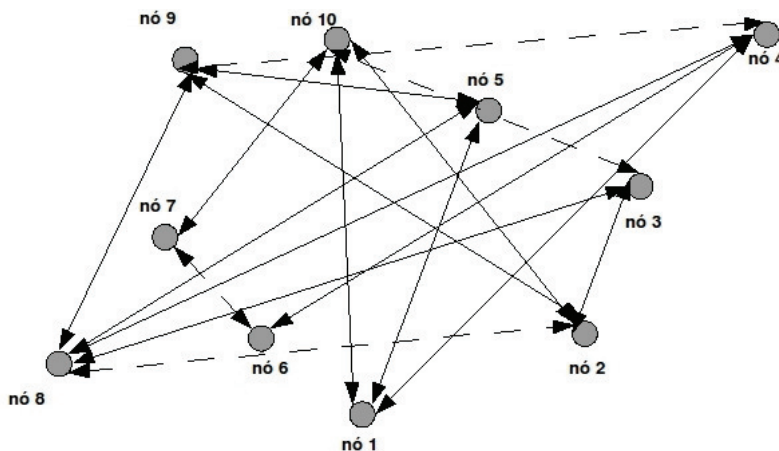


Figura 1. Campus PUC-PR

O tráfego foi gerado através de transmissões *VoIP* (UDP) e FTP (TCP), para extração dos dados foram realizadas 1000 simulações com diferentes sementes. As simulações foram compostas por 15 chamadas *VoIP* que representam 30 fluxos *VoIP*, juntamente com tráfego de *background* FTP. O tempo de simulação foi definido em 50 segundos seguindo o mesmo paradigma demonstrado em [Aguiar et al. 2007] e [Cordeiro et al. 2007].

Foi utilizado como protocolo de roteamento para as simulações o OLSR, amplamente utilizado em redes *Mesh*. Para comparar os resultados obtidos pela métrica *Factor-Q*, apresentada neste documento, foi utilizada a métrica *Minimum Loss* (ML) [Passos and Albuquerque 2007], *Minimum Delay* (MD) [Cordeiro et al. 2007] e *Expected Transmission Count* (ETX) [Campista et al. 2008] no mesmo cenário de simulação.

Tabela 1. Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Valores
Métricas	FQ, ML, MD, ETX
Tempo de Simulação	50 Segundos
Padrão Utilizado	IEEE 802.11g
Modelo de Propagação	Shadowing
Modelo das Antenas	Omnidirecional, 18dB de ganho
Path Loss Exponent	2,7
Shadowing deviation	4.0dB
Área de Simulação	1000m x 1000m

Tabela 2. Distribuição dos Nós pelo Cenário

Nome do Nó	Eixo x	Eixo y	Nome do Nó	Eixo x	Eixo y
1. CTHC	160,00	485,00	6. CCET	628,00	320,00
2. Biblioteca Central	305,00	277,00	7. CCBS	570,00	440,00
3. Administração Central	340,00	226,00	8. CCJS	780,00	480,00
4. Quadras Poliesportivas	270,00	32,00	9. Parque Tecnológico	918,00	597,00
5. Bloco Acadêmico	476,00	200,00	10. PPGIA	968,00	550,00

A Figura 1 ilustra o campus da PUC-PR com os roteadores *Mesh* sendo representados pelos círculos cinzas, as linhas contínuas indicam as chamadas *VoIP* e as linhas tracejadas indicam o tráfego de *background*. Os blocos foram numerados de 1 a 10, ficando: 1-CTHC, 2-Biblioteca Central, 3-Administração Central, 4-Quadras Poliesportivas, 5-Bloco Acadêmico, 6-CCET, 7-CCBS, 8-CCJS, 9-Parque Tecnológico e 10-PPGIA. A tabela 2 descreve as localizações dos nós pelo cenário de simulação conforme figura 1, a área de simulação é de $1000m^2$ conforme tabela 1.

Cada chamada *VoIP* é composta por dois fluxos, pois a aplicação tem fluxo bidirecional, sendo assim os fluxos de ida e volta não trafegam pelos mesmos pontos. O tráfego de *background* (FTP) foi gerado através do Modelo de Pareto [NS2 2010], para caracterizar tráfego em rajadas, com valores *default*. O *codec* utilizado para as simulações foi o G.729, pois seu consumo de banda é de 8 Kbps, desta forma é o mais utilizado nas redes sem fio [Cordeiro et al. 2007]. A tabela 1 demonstra os parâmetros da simulação.

Para análise dos resultados foi utilizado o intervalo de confiança de 90% calculado conforme [Jain 1991]. Os valores escolhidos para avaliação dos resultados foram: *jitter*, atraso, vazão e probabilidade de bloqueio.

Esta seção descreveu o cenário utilizado para realização das simulações, a escolha pelo Campus da Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Curitiba, se dá pelo fato de ser um ambiente acadêmico, onde é possível a implementação de uma rede *Wireless Mesh* real para utilização das tecnologias abordadas neste documento.

5. Resultados Obtidos

Para análise dos resultados a métrica FQ foi comparada com as seguintes métricas: ETX, ML e MD, no mesmo cenário de simulação. Foram realizados 30 Fluxos VoIP ao total representando 15 chamadas VoIP (UDP), e simultaneamente foram realizadas transmissões de dados (TCP). Os resultados são demonstrados a seguir. A figura 2 ilustra os resultados de atraso para os 30 fluxos VoIP (2 fluxos por chamada) obtidos nas simulações.

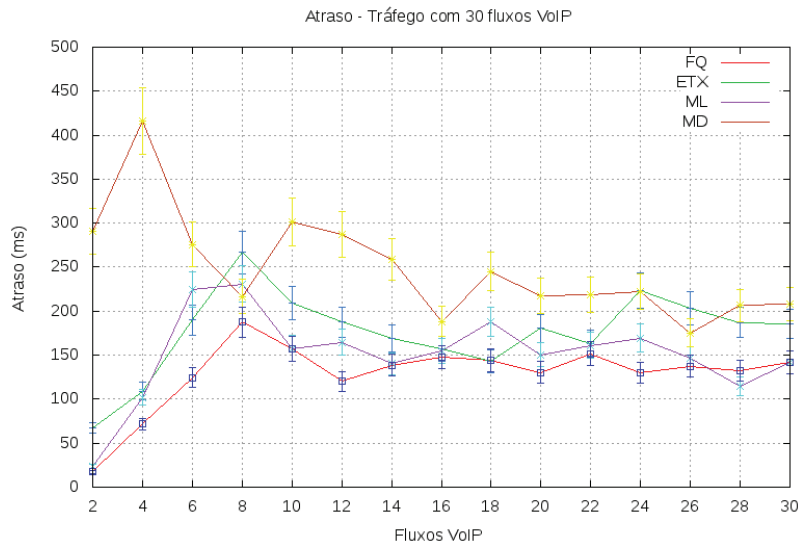


Figura 2. Atraso Factor-Q

A métrica *Factor-Q* demonstra manter as taxas de atraso mais baixas que as métricas concorrentes, demonstrando um melhor desempenho durante o período de simulação. Manter o atraso na entrega dos dados é de suma importância em qualquer rede, porém quando o tráfego em questão é de voz, essa tarefa torna-se mais desafiadora e a métrica FQ supriu este desafio não ultrapassando os 187ms, quando comparada as demais métricas concorrentes.

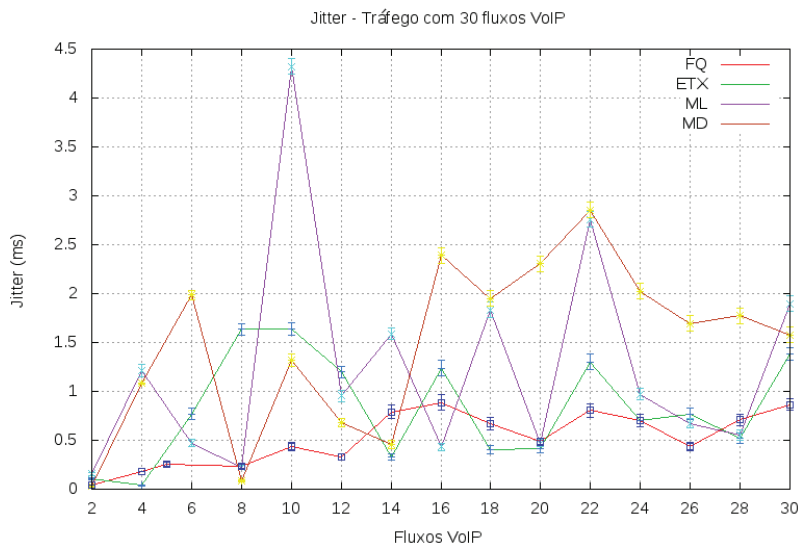


Figura 3. Jitter Factor-Q

Os resultados para *jitter* ilustrados na figura 3, demonstram o comportamento estável da métrica FQ, consequência dos menores atrasos obtidos com esta métrica. Tanto o atraso quanto o *jitter* diferem para fluxos da mesma chamada, isto ocorre pelo fato dos fluxos tomarem rotas diferentes, devido à interferências dos outros nós.

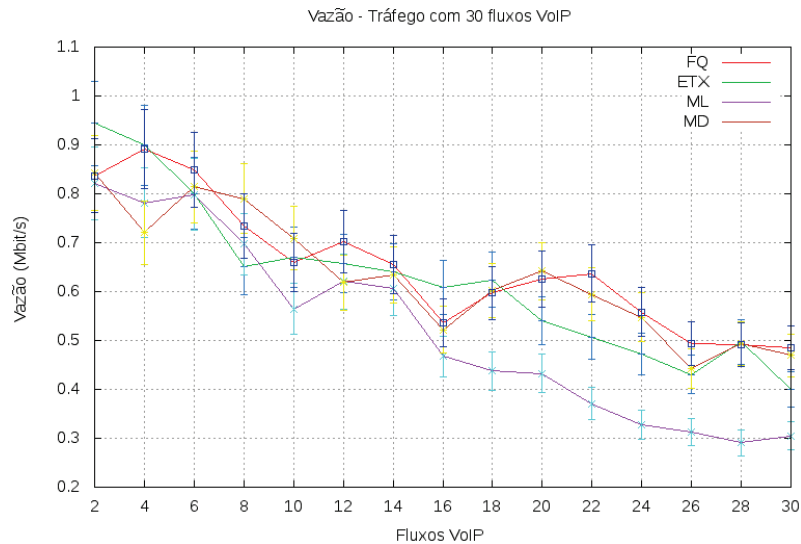


Figura 4. Vazão Factor-Q

A figura 4 apresenta os resultados de vazão. Observou-se que a métrica FQ obteve constantemente melhor comportamento perante a métrica ML, e com comportamento muito próximo das demais métricas analisadas. A distância entre os nós influencia na vazão dos dados, pois quanto menor a distância entre os nós vizinhos maior é a vazão. Os resultados relacionados à perda de pacotes ilustrados na figura 5, a métrica FQ demonstrou novamente menores resultados em relação a ML, e manteve um bom comportamento no quadro geral de simulação.

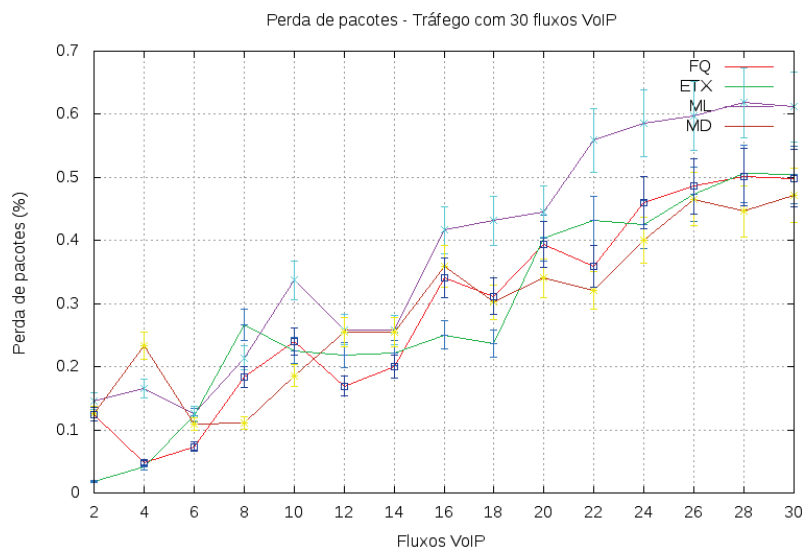


Figura 5. Perda de Pacotes Factor-Q

Através da análise dos gráficos apresentados, conclui-se que o comportamento

da métrica FQ atingiu melhores resultados que as métricas ML, MD, ETX, com relação ao atraso. E no geral o comportamento da FQ foi relevante, apresentando resultados significativos no cenário utilizado. Estes resultados decorrem do fato da métrica *Factor-Q* utilizar a taxa de utilização da fila juntamente com os pacotes *hello* para o cálculo do peso de cada enlace da rede. Desta forma a métrica FQ demonstra ser uma alternativa viável de utilização em redes *Wireless Mesh* de baixa mobilidade, com alto tráfego de dados *VoIP*.

6. Conclusão do Artigo

O crescimento das redes sem fio do tipo *Wireless Mesh Networks*, desencadeia a necessidade de novas tecnologias para estes tipo de rede. O tema *Wireless Mesh Networks* é complexo, desta forma encontra-se em processo constante de pesquisa. Desta maneira as redes sem fio do tipo *Mesh* podem desenvolver um maior potencial com relação a serviços oferecidos e desempenho.

Este artigo objetivou abordar e discutir as métricas de roteamento que constituem uma das diversas áreas de pesquisa dentro do tema redes *Mesh*. As métricas de roteamento são fundamentais em redes *Mesh* e *Ad-Hoc*, pois, seus enlaces e rotas necessitam estar em processo constante de avaliação, porém, interferindo o mínimo possível no desempenho da rede. Quando a rede *Mesh* dispõem de tráfego *VoIP* juntamente com tráfego TCP, o tema métricas de roteamento torna-se ainda mais desafiador.

Este trabalho apresentou uma nova métrica de roteamento denominada FQ (*Factor-Q*), que aprimora o cálculo de rotas nas redes *Mesh* com tráfego *VoIP*. A métrica FQ utiliza como base o cálculo de probabilidades de transmissões feito pela métrica ETX, porém seu grande diferencial é adicionar ao cálculo original do ETX a taxa de utilização da fila para cálculo das rotas. Desta forma quando o enlace estiver com a taxa de utilização da fila elevada, a métrica FQ irá retornar ao protocolo de roteamento um peso maior para esta rota, forçando a busca de rotas alternativas, promovendo uma distribuição da carga de comunicação entre rotas alternativas e menos congestionadas por utilização ou por contenção de enlaces vizinhos.

As simulações demonstraram que a métrica FQ obteve melhores resultados perante as métricas ML, MD, ETX, com relação a delay, mantendo baixa a taxa de atraso (Delay) durante todo o período de simulação não ultrapassando os 187ms. Menores taxas de atraso (delay) são indispensáveis quando a rede possui tráfego *VoIP*. As demais medidas da métrica FQ demonstraram a estabilidade da métrica. Sendo assim a FQ é uma alternativa viável para utilização em redes *Wireless Mesh* com tráfego *VoIP*.

Na sequência das pesquisas a métrica FQ poderá ser utilizada em redes com maior número de nós e tráfego mais intenso, com intuito a testar seu comportamento perante outras métricas de roteamento existentes na literatura em diferentes circunstâncias.

Referências

- Aguiar, E., Bittencourt, P., Moreira, W., and Abelém, A. (2007). Estudo comparativo de protocolos de roteamento para redes mesh na região amazônica. *XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC - Sessão de Artigos Curtos II*.

- Akyildiz, I., Wang, X., and Wang, W. (2005). Wireless Mesh Networks: a survey. In *Computer Networks and ISDN Systems*, pages 445–487.
- Albuquerque, C. V. N., Saade, D. C. M., Passos, D. G., Teixeira, D. V., Leite, J., Neves, L. E., and Magalhães, L. C. S. (2006). Gt-Mesh - Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Larga Sem Fio - Relatório Técnico 3. (RT-3 1-118).
- Bicket, J., Aguayo, D., Biswas, S., and Morris, R. (2005). Architecture and evaluation of an unplanned 802.11 b mesh network. In *Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 31–42. ACM New York, NY, USA.
- Campista, M., Esposito, P., Moraes, I., Costa, L., Duarte, O., Passos, D., de Albuquerque, C., Saade, D., and Rubinstein, M. (2008). Routing metrics and protocols for wireless mesh networks. *IEEE network*, 22(1):6.
- Clausen, T. and Jacquet, P. (2003). RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). *RFC Editor United States*.
- Cordeiro, W., Aguiar, E., Abélem, A., and Stanton, M. (2007). Providing Quality of Service for Mesh Networks Using Link Delay Measurements. *Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks*, p.991-996.
- Gnuplot (2010). Gnuplot, Home Page, <http://www.gnuplot.info/>.
- Jain, R. (1991). *The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling*. Wiley New York.
- Johnson, D., Maltz, D., Hu, Y., and Jetcheva, J. (2003). The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). *IETF Mobile Ad Hoc Networks Working Group, Internet Draft, work in progress*, 15.
- NS2 (2010). Network Simulator-NS2, Home Page, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- Passos, D. and Albuquerque, C. (2007). Proposta, Implementação e Análise de uma Métrica de Roteamento Multiplicativa para Redes em Malha Sem Fio. *Anais do XXVII Congresso da SBC*, pages 1935–1944.
- Perkins, C., Belding-Royer, E., and Das, S. (2003). IETF RFC 3561, Ad hoc ondemand distance vector (AODV) routing [S].
- ReMesh (2005). Universidade Federal de Fluminense. 2005. Disponível em: <http://mesh.ic.uff.br>.
- Saade, D., Albuquerque, C., Magalhães, L., Passos, D., Duarte, J., and Valle, R. (2007). Redes em Malha: Solução de Baixo Custo para Popularização do Acesso à Internet no Brasil. *XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBrT*.
- Tsarpapoulos, N., Kalavros, I., and Lalis, S. (2005). A low-cost and simple-to-deploy peer-to-peer wireless network based on open source linux routers. In *Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2005. Tridentcom 2005. First International Conference on*, pages 92–97.