

# Métrica de Roteamento na Performance de Protocolo de Roteamento em Redes Ad Hoc

Marcos Aurélio Valença Belchior, Élvio Carlos Dutra e Silva Júnior.

CISCEA - Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo  
Av General Justo, 160 – Prédio da CISCEA – CEP 20021130 – Centro – Rio de Janeiro – RJ – Brasil.

**Resumo** — A maioria dos protocolos de comunicação apresenta limitações relacionadas à fragilidade a alta taxa de erros de pacotes. Esta fragilidade pode ser eliminada se o protocolo de roteamento utilizar métricas de roteamento que evite altas taxas de perda. Este artigo aborda aspectos para eliminar esta vulnerabilidade; o objetivo dessa pesquisa foi analisar o impacto no *throughput* e nos nós roteáveis (pontes de rede intermediárias) submetidas à elevada perda de dados quando se confrontam duas métricas de roteamento: a métrica que captura Taxa de Erro de Pacotes e Capacidade de Transmissão de Dados; e a métrica clássica *Hop Count* (vulnerável a forte perda de pacotes de dados).

**Palavras-chaves** — Comando e controle, métricas de roteamento, boa performance.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o assunto comunicações Ad Hoc tem se tornado tema recorrente nos fóruns científicos. No Brasil, a comunidade científica tem envidado esforços para se manter na vanguarda das inovações tecnológicas requeridas para este segmento. Uma dessas inovações é o protocolo de comunicações de roteamento inteligente. Estes protocolos apresentam características que permitem maior flexibilidade nos ambientes hostis à comunicação de dados.

Como se pode observar na figura 1, o protocolo que considera o menor número de saltos escolheu a rota ABCDEF, saltando cinco vezes (cor vermelha, traço dois pontos). Esta rota visivelmente não é a melhor opção, pois utiliza dois nós como pontes intermediárias, C e D, sujeitas à elevada taxa de erros. Por outro lado, o outro protocolo - que captura informações do ambiente, ou seja, percebe que os nós roteáveis C e D estão sob perda de pacotes de dados, inteligentemente as evita, utilizando a rota ABGHIJEF e saltando sete vezes (cor verde, linha tracejada). Embora, pareça ser uma opção que degrada a performance, pois aumenta o tempo de chegada até o nó roteável participante F, isso não se verifica. Já que os nós roteáveis intermediários não estão sujeita a alta taxa de erros, na realidade, a vazão (bit por segundo) aumenta em relação à rota anterior, comprovado através dos resultados da simulação na seção IV. A motivação deste artigo foi: numa simulação de redes de comunicação sem fio, com 40 nós roteáveis se comunicando simultaneamente durante 100 segundos, numa área de 16 quilômetros quadrados, qual a influência da Métrica de roteamento que captura Status de Taxa de Erro e Capacidade de Enlace no *throughput* (vazão BPS) e nas pontes de rede intermediárias submetidas à perda de pacotes de dados?

A caracterização da metodologia científica corroborou para a análise do impacto no *throughput* quando se confrontaram duas métricas de roteamento. Dessa forma, Taxa de Erro, Capacidade de Transmissão e *Hop Count* (Contagem de Saltos) são os três fatores que contribuem para manifestação do fenômeno a ser observado, o qual teve o *throughput* como principal indicador. Este indicador foi observado através de experimento, auxiliado por um simulador de rede de comunicações, conforme (JIST/SWANS, 2004).

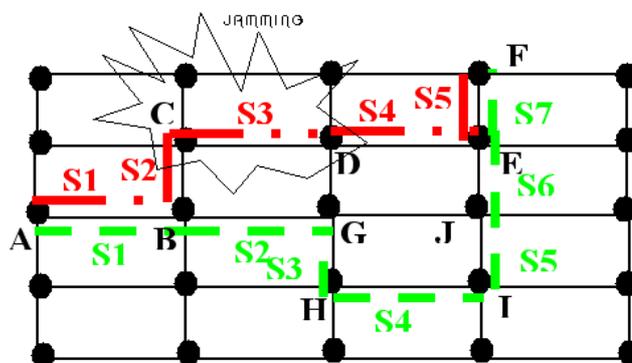


Figura 1 – Exemplo de uma rede do tipo Mesh, grade. Participante A deseja se comunicar com o participante F. Existem dois protocolos de roteamento: primeiro semelhante ao protocolo de comunicações Ad Hoc, escolhe a rota com o menor número de saltos (S1 S2 S3 S4 S5) através dos nós roteáveis participantes B, C, D e E; e o segundo que escolhe a rota que evita a taxa de erros através dos nós roteáveis participantes B, G, H, I, J e E.

Em conformidade com (ZENG Wang, 1996, p.1228), nota-se que o *Hop Count* é uma métrica simplificada e não captura a variedade de características importantes do ambiente de comunicações de dados. E esta necessidade de se caracterizar o ambiente com informações de Capacidade do Enlace e da Taxa de Erros de Pacotes foi uma preocupação constante deste trabalho. Yaling Yang em (YALING Yang, 2005, p.2) afirmou, através dos teoremas de sua pesquisa, que para projetar uma métrica de roteamento que apresente boa performance é necessário atender quatro requisitos: garantir estabilidade de rota, bom desempenho para rotas de peso mínimo, existência de algoritmos para calcular a rota de custo mínimo e garantia de rotas livres de laço. Consolidou-se nesta pesquisa: que isto só é atingido se a métrica é isotônica, dependente da topologia e captura características do ambiente de comunicação.

O desenvolvimento desta pesquisa seguiu a estruturação: na seção II, para analisar a influência das métricas de roteamento na performance de uma rede sem fio foi necessário entender o contexto da limitação enfrentada pelos protocolos de roteamento. Na seção III, foi mostrada a teoria que embasou a pesquisa. Na seção IV, foram mostrados os parâmetros utilizados na simulação para obtenção dos valores de performance médio. Os resultados foram apresentados sob

a forma de gráficos de topologias, gráficos de *Throughput*, Taxa de Erro de Pacotes, Capacidade de Enlace, Comprimento da Rota, e Bytes descartados todos em relação às métricas, foco deste estudo.

## II. INFLUÊNCIA DA MÉTRICA DE ROTEAMENTO

A influência da métrica de roteamento é aqui caracterizada para ao final auxiliar na escolha de novas regras de roteamento para protocolo de comunicações Ad Hoc. Estas novas regras devem capturar informações do ambiente de telecomunicações inteligentemente para escolha de rotas de melhor performance. Estas informações podem ser obtidas pela captura de informações do ambiente de comunicações através da teoria “*Cross-layer Information Aware*” ou consciência das informações cruzadas das Camadas.

Algumas hipóteses foram inicialmente levantadas:

1) -Numa situação de concentração de perda de pacotes de dados em um nó roteável ou um conjunto de nós roteáveis, o *throughput* de uma rede de comunicações aumenta quando leva em consideração, na sua métrica de roteamento, a captura de Status de Taxa de Erro e Capacidade de Transmissão.

2) -Numa situação de concentração de perda de pacotes de dados em um nó roteável ou um conjunto de nós roteáveis, o protocolo de roteamento constrói a rota evitando estes nós roteáveis (pontes de rede intermediárias), aumentando a capacidade de comunicações de dados.

Após contextualizar influência da Métrica de roteamento, faz-se mister descrever na seção III a metodologia para investigação de protocolos de comunicação em uma rede sem fio, bem como os requisitos necessários para se projetar uma métrica de roteamento, a qual contribua para uma boa performance.

## III. MÉTRICA DE ROTEAMENTO EM REDES SEM FIO DO TIPO MESH

Nesta seção, os procedimentos de pesquisa são descritos, bem como a teoria sobre métricas é apresentada. Na primeira subseção, é descrita a metodologia utilizada para verificar o impacto da performance da rede de comunicações. Na segunda subseção, são apresentadas as métricas que embasaram este relatório e a teoria envolvida.

### A. Metodologia

Esta pesquisa se propôs analisar o impacto no *throughput* quando se confrontam duas métricas de roteamento. Para tal existem quatro fatores que contribuem para manifestação do fenômeno traduzido pelo *throughput*: Taxa de Erro, Capacidade de Transmissão e *Hop Count* (Contagem de Saltos). Foi utilizado, para tal experimento, um simulador de rede de comunicações, JIST/SWANS, conforme (JIST/SWANS, 2004). Este simulador possui na pilha de protocolo de comunicações as regras de roteamento similares a maioria dos protocolos.

A simulação considerou uma variação não determinística da taxa de erros de 0% a 10% para cada nó roteável participante; capacidade de transmissão nominal foi de 10 Kbps; protocolo de roteamento DSR; métrica; Métrica Flexível (MF) - o modo de funcionamento deste protocolo é semelhante ao anterior:

população de 40 nós roteáveis participantes; área considerada para a rede mesh, grade, de 4 quilômetros por 4 quilômetros.; e tempo de simulação de 2 minutos.

### B. Métricas de Roteamento

Métrica de roteamento é uma entidade que representa um valor instantâneo de uma ou mais características de um enlace direto. Este valor é utilizado pelo protocolo de roteamento para identificar se uma determinada rota de transmissão de pacotes de dados de um nó roteável participante origem para o destino é melhor do que outra. Métricas podem incluir informações tais como: capacidade de transmissão (BPS), Comprimento da Rota (segundos), *Hop Count* (número de saltos), confiabilidade, TEP (Taxa de Erros), etc. Estamos interessados nas características Capacidade de Enlace (BPS), *Hop Count* (número de saltos), TEP (Taxa de Erros) e Comprimento da Rota. Estas métricas tem sido objeto de estudo de várias pesquisas e cada uma apresenta características que as associam a boa performance.

#### B.1 Requisitos de uma Boa Performance

O projeto de Métricas de roteamento tomado como referência, neste artigo, é o “*Designing Routing Metrics for Mesh Networks*”, (YALING Yang, 2005, p.2). Apresentamos quatro requisitos fundamentais para projetar métricas de roteamento em redes do tipo *Mesh*, obtendo boa performance, ou seja, os participantes estão conectados em grade.

A determinação das características do enlace de dados deve obedecer a um critério. Este critério é requerido para a métrica de roteamento. Portanto, para garantir boa performance numa rede de comunicações sem fio, as métricas de roteamento devem preencher quatro condições, como pode ser visto em (YALING Yang, 2005, p.2). Estes critérios são:

1) Estabilidade da rota – pesos das rotas que variam constantemente podem degradar a performance de qualquer rede *Mesh*.

2) A melhora da performance através de rotas de peso mínimo – A idéia principal é encontrar uma rota tal que os pacotes dados “viajem” do nó roteável origem para o nó roteável destino através de enlaces de peso mínimo de acordo com uma métrica de roteamento específica.

3) A habilidade de algoritmos calcularem rotas de peso mínimo em tempo polinomial – os protocolos de roteamento são formados por certos tipos de algoritmos eficientes, entre eles, há os algoritmos Bellman-Ford e o Dijkstra’s que calculam as rotas com peso mínimo aliado a métrica de roteamento que garantem uma boa performance.

4) A habilidade de algoritmos calcularem rotas de peso mínimo livre de laço – além da propriedade da métrica de roteamento isotônica que garante a existência de algoritmo de descoberta de rota em tempo polinomial, há outra propriedade, métrica de roteamento monotônica que garantida, os algoritmos encontrarão rotas livres de laços.

#### B.2 Características do Ambiente

As características do ambiente capturam as informações básicas de um ambiente de comunicação de dados. As principais são: Taxa de Erros de Pacotes e Capacidade de Enlace e Comprimento da Rota (CR).

### 1) Taxa de Erros de Pacotes (TEP)

Em (LUIGI Iannone, setembro 2004, p.321), a Taxa de Erros de Pacotes (TEP) não é derivada da maneira tradicional. Normalmente, TEP é derivado com as hipóteses que são uniformemente distribuídas nos bits dentro de um pacote como  $TEP = 1 - (1 - BER)^{TM}$ , onde TM é o tamanho do pacote de dados em número de bits. Muito embora, os erros verificados na saída de um decodificador não são uniformemente distribuídos. Devido ao seu valor variar de acordo com todos os enlaces envolvidos na rota selecionada, esta métrica é operativa e sendo definida a seguir:

Define-se  $d(i,j)$  como uma métrica para o enlace  $(i,j)$  e qualquer rota  $p$ :

$$d(p) = 1 - ((1 - d(i, j)) * (1 - d(j, k)) * \dots * (1 - d(l,m)))$$

Para ilustrar como esta métrica esta sendo tratada na simulação segue exemplo na Figura 2:

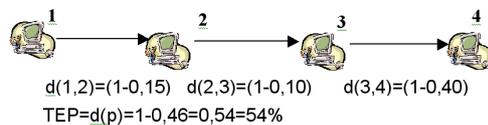


Figura 2 – Exemplo mostrando qual seria a o valor da taxa de erros de pacotes acumulada numa rota  $p$ . Observa-se que o enlace  $d(1,2)$  possui  $TEP_1=15\%$ , ou seja, perde-se 15 pacotes de dados a cada 100 pacotes enviados, bem como  $d(2,3)$  possui  $TEP_2=10\%$  e  $d(3,4)$  possui  $TEP_3=40\%$ . Portanto, a rota completa possuirá um  $TEP=54\%$ .

### 2) Capacidade do Enlace (CE)

Em (ANTON Riedl, 2002, p.129), Capacidade do Enlace (CE) representa a capacidade de transmissão em bits por segundo de um determinado enlace. Esta característica é afetada devido aos mais diferentes motivos, como a distância entre os dois participantes que pretendem se comunicar, a potência do sinal de transmissão e de recepção. Como seu valor é limitado ao menor dos valores ao longo de todos os enlaces envolvidos na rota selecionada, esta métrica é côncava conforme definida a seguir:

Define-se, em (ZENG Wang, 1996, p.1228),  $d(i,j)$  como uma métrica para o enlace  $(i,j)$  e qualquer rota  $p$ :

$$d(p) = \min[d(i, j), d(j, k), \dots, d(l,m)]$$

Para ilustrar como esta métrica esta sendo tratada na simulação segue exemplo na Figura 3:

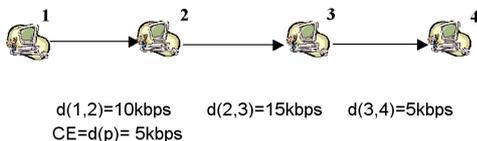


Figura 3– Exemplo mostrando qual seria a o valor da Capacidade do Enlace de dados ao longo de uma rota  $p$ . Observa-se que o enlace  $d(1,2)$  possui  $CE_1=10$  kbps, ou seja, este enlace pode transmitir 10 mil bits em um segundo, bem como  $d(2,3)$  possui  $CE_2=15$  kbps e  $d(3,4)$  possui  $CE_3=5$  kbps. Portanto, a rota completa possuirá uma capacidade de transmissão  $CE=5$  kbps, ou seja, o menor valor ao longo da rota.

### 3) Comprimento da Rota (CR)

Em (YALING Yang, 2005, p.2), o Comprimento da Rota é diretamente ligado à quantidade de entidades, no caso nós roteáveis participantes, as quais fazem o papel de roteadores

intermediários ao longo de uma rota escolhida pelo protocolo de roteamento. Cada um destes roteadores intermediários introduz uma latência adicional e potencialmente acontece perda de pacotes de dados, já que estes podem ser descartados devido a estouro de filas. Devido ao seu valor variar de acordo com a quantidade de saltos ao longo de uma rota selecionada, esta métrica é aditiva e sendo definida a seguir:

Define-se, em (ZENG Wang, 1996, p.1228),  $d(i,j)$  como uma métrica para o enlace  $(i,j)$  e qualquer rota  $p$ :

$$d(p) = d(i, j) + d(j, k) + \dots + d(l,m)$$

Para ilustrar como esta métrica esta sendo tratada na simulação segue exemplo na Figura 4:

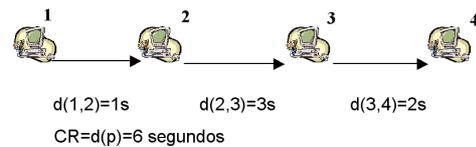


Figura 4– Exemplo mostrando qual seria a o valor do Comprimento da Rota ao longo de uma rota  $p$ . Observa-se que o enlace  $d(1,2)$  possui  $CR_1=1s$ , ou seja, neste enlace o pacote de dados leva 1 segundo para ser transmitido de um nó roteável para o nó roteável mais próxima, bem como  $d(2,3)$  possui  $CR_2=3s$  e  $d(3,4)$  possui  $CR_3=2s$ . Portanto, a rota completa possuirá um Comprimento de Rota  $CR=6$  segundos.

### B.3 Métrica Derivada

A métrica derivada é aquela que captura características básicas do ambiente. Estas características são confrontadas com os requisitos de uma boa performance para se identificar a melhor composição em uma função peso. Nesta pesquisa, as métricas derivadas são *Hop Count* (Contagem de Saltos) e *Métrica Flexível* (MF).

#### 1) Hop Count

*Hop Count* é a métrica de roteamento mais freqüentemente usada pelos protocolos de roteamento. Esta considera a performance quando o número de saltos em uma rota varia. É isotônica e monotônica, portanto habilitada a calcular rotas de peso mínimo em tempo polinomial e encontrar rotas livres de laço, mas negligencia a CE e TEP.

Análise do Critério confrontado os quatro requisitos fundamentais – Esta métrica apresenta considerável estabilidade de rotas, porque depende da topologia da rede, tendo nenhuma ou pequena sensibilidade à carga. Tem performance ruim para rotas de caminho mínimo, porque não captura características da rede como CE e TEP.

Há algoritmos capazes de calcular rotas de peso mínimo em tempo polinomial como os algoritmos Bellman-Ford e Dijkstra's para encontrar rotas de peso mínimo ou mínimo número de saltos. Como pode ser visto pela condição satisfeita pelo CR que é a métrica de roteamento ser isotônica. Esta é também livre de laços porque é monotônica.

#### 2) Métrica Flexível (MF)

A MF intenciona capturar características de redes *Mesh* como TEP e CE. A MF de um enlace  $l$  é definida como a taxa de perda de pacote dividido pela capacidade do enlace neste mesmo enlace  $l$ . A função peso de uma rota é a soma da MF de todos os enlaces da rota. A expressão é dada por:

$$MF_i = \frac{TEP_i}{CE_i} \quad (1)$$

onde  $TEP_i$  é a taxa de erros de pacotes do enlace  $i$  e  $CE_i$  é a capacidade deste mesmo enlace.

A idéia aqui é construir uma métrica derivada que capture a perda de pacotes de dados indiretamente através do status da TEP e ao mesmo tempo a capacidade de transmissão pelo CE. Além do mais, se o protocolo de roteamento for sensível à perda de pacotes de dados, as rotas escolhidas por este tenderão a evitar a perda de pacotes de dados.

Análise do Critério confrontado os quatro requisitos fundamentais – Esta métrica apresenta considerável estabilidade de rotas, pois é independente da carga. Tem performance média através das rotas com função peso mínimo, capturando característica de rede como CE e TEP.

#### IV. RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

Nesta seção os valores médios de performance foram obtidos após simular os cenários descritos na seção III.

A Figura 5 mostra a topologia de rede MESH para a métrica Hop Count, HC, e para a métrica MF (Métrica Flexível). As linhas mais escuras mostram as rotas que foram descobertas e utilizadas pelo protocolo de roteamento ao transmitir os pacotes de dados. As linhas mais claras mostram as rotas que muito embora sejam ativas, apresentaram função peso com os piores valores no que tange a métrica de roteamento, neste caso a rota de setas contínuas de caminhos mais longos, HC, por outro lado, a rota de setas tracejadas aliando baixa Capacidade de Enlace, CE, com elevada Taxa de Erros de Pacote, TEP.

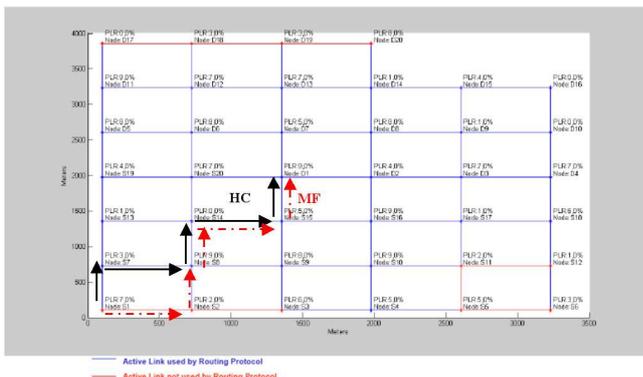


Figura 5 – Topologia de rede Mesh para 40 nós roteáveis, utilizando-se a métrica de roteamento HC (Contagem de Saltos), submetidas a taxa de erros variando de 0% a 10%, onde “Active Link used by Routing Protocol” é o enlace ativo que foi usado como rota e “Active Link not used by Routing Protocol” é o enlace, embora ativo, não foi usado como rota.

Analisando o comportamento na escolha da rota pelo protocolo de roteamento DSR, observa-se que ao utilizar-se a métrica MF, a escolha da rota do nó S1 ao nó D1 foi a melhor, pois escolheu um caminho submetido a uma baixa TEP acumulada relativa. Comprovou-se, então, que a métrica MF escolheu rotas de caminho curto com baixa taxa de erros de pacotes. Em outras palavras, os nós roteáveis participantes intermediários S2-S8-S14-S15 fizeram parte de uma rota que evitou os nós roteáveis submetidos à perda de pacotes de dados. Isto aconteceu, pois através da fórmula da seção B.2,

obteve-se 29,86% como taxa de erros de pacotes acumulada ao longo desta rota, traduzindo-se num ganho significativo em relação à métrica HC.

A Figura 6 mostra o *throughput* médio por rota em bytes por segundo. A métrica MF apresentou a melhor vazão, *throughput*, atingindo 520 Kbytes. A combinação entre o TEP e o CE contribuiu para esta performance, porque as rotas com mais baixo TEP e mais alto CE foram preferidas em relação a outras. Uma importante conclusão é o fato do *throughput* utilizando a métrica MF ser 12% maior do utilizando a métrica HC ou número de saltos mínimos.

O *throughput* é um bom indicativo de performance de um protocolo de comunicações. Contudo, a subseção B. apresenta a discussão dos resultados teóricos esperados para que a métrica de roteamento MF refletisse uma boa performance.

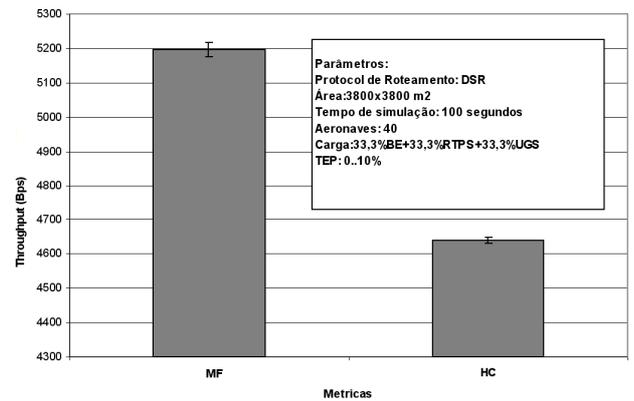


Figura 6 - Throughput por rota versus Métrica – Modo Mesh.

Para tal, a métrica derivada MF atendeu alguns requisitos aliados a algumas características de rede sem fio. Portanto, segue algumas figuras que mostram as características capturadas do ambiente pelas duas métricas confrontadas: a métrica proposta MF; e a métrica utilizada pelo protocolo de comunicações Ad Hoc, HC.

A Figura 7 mostra a Taxa de Erros de Pacotes por rota utilizada. A TEP acumulada da métrica HC apresentou rotas com elevadas taxa de erros, atingindo em média 48% da TEP ao longo da rota. Por outro lado, a métrica MF apresentou os melhores resultados, atingindo 40%, ou seja, 20% menor do que a características TEP acumulada capturada pela métrica HC.

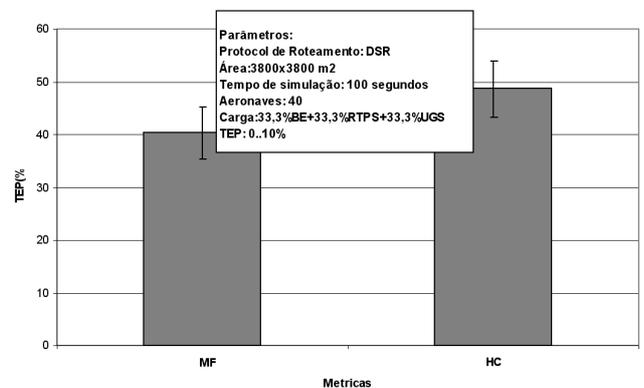


Figura 7- Taxa de Erro de Pacotes por rota versus métrica – Modo Mesh.

A Figura 8 apresenta a Capacidade do Enlace (CE) de dados médio por rota escolhida. A métrica MF mostrou ter a

habilidade de captura da característica CE, atingindo 13.750 bits por segundo. A métrica HC, por outro lado, não capturou perfeitamente esta característica, apresentando uma CE acumulada menor do que a CE acumulada capturada pela MF. Isto demonstrou a insensibilidade da métrica HC para captura de enlace com taxa de dados elevada.

A Figura 9 mostra o Comprimento da Rota (CR) médio por rota utilizada. Muito embora, a métrica HC tenha priorizado caminhos curtos, aqui, esta apresentou piores resultados de performance, atingindo 235 milissegundos. Ou seja, a métrica MF capturou a característica CR, obtendo 23,4% de latência menor do que captura a métrica HC. Uma possível razão para isto foi que o meio de perdas da rota escolhida pela HC pode ter tido uma influência negativa nesta. Já a métrica derivada MF capturou a CR apresentando similaridade com resultados obtidos em (YALING Yang, 2005, p.2).

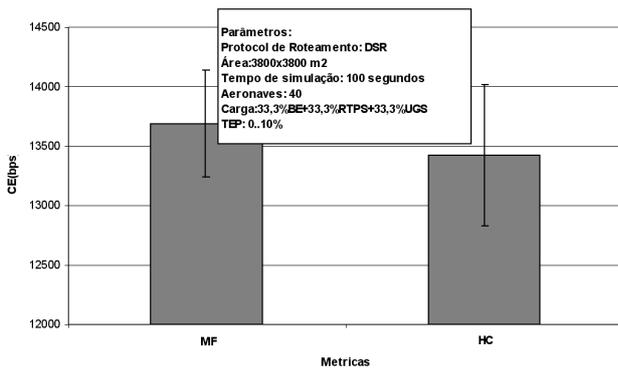


Figura 8 - Capacidade de Enlace de dados por rota versus métrica - Mesh.

Do exposto, observou-se a confirmação, através da simulação, dos critérios apresentados na seção B no que tange as métricas:

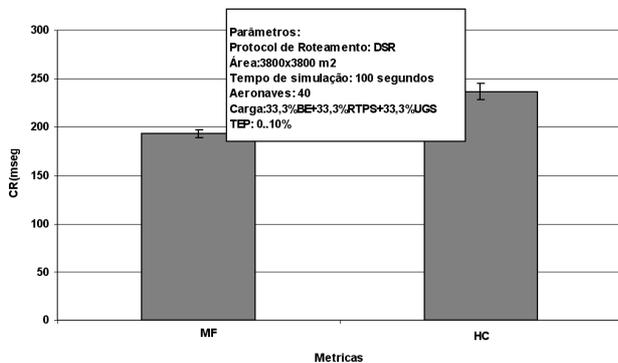


Figura 9 - Comprimento da Rota médio por rota utilizada versus métrica.

### 1) MF

Esta métrica, como observado nas Figura 7 e Figura 8, capturou bem as características do ambiente TEP e CE, confirmando a considerável estabilidade de rotas, devido a independência da carga. Esta superou as expectativas, pois capturou também a característica CR como foi observado na Figura 9, tendo, portanto, performance boa através função peso mínimo, obtida na subseção B.3. Para esta simulação, o algoritmo para o cálculo da rota pelo protocolo de roteamento DSR foi o Dijkstra's, tendo encontrado rotas de peso mínimo para a MF em tempo polinomial e não houve ocorrência de laços ao longo da simulação.

### 2) HC

Esta métrica confirmou, através das simulações, considerável estabilidade de rotas, justamente por depender da topologia da rede e não da carga. Apresentou resultados ruins com respeito a captura das características do ambiente TEP e CE como pode ser observado nas Figura 7 e Figura 8. Ela não capturou bem a característica CR como se observa na Figura 9. Contudo, o HC apresentou este comportamento, pois este é insensível a caminhos com elevada perda. Também para esta simulação, o algoritmo para o cálculo da rota pelo protocolo de roteamento DSR foi o Dijkstra's, encontrando rotas de peso mínimo em tempo polinomial e não houve ocorrência de laços ao longo da simulação.

Pode-se afirmar, portanto, que numa simulação de redes de comunicação sem fio, com 40 nós roteáveis se comunicando simultaneamente durante 100 segundos numa área de 16 quilômetros quadrados, a Métrica de roteamento que captura Status de Taxa de Erro e Capacidade de Transmissão, MF, influencia positivamente no throughput (vazão BPS), apresentando boa performance segundo (YALING Yang, 2005, p.2); e nas pontes de rede intermediárias submetidas à Perda de pacotes de dados.

## V. CONCLUSÃO

O protocolo de comunicações Ad Hoc é uma inovação ainda no estado da arte. Contudo apresenta limitações com respeito a escalabilidade e a boa performance. Com o aumento do número de saltos, a métrica de roteamento HC não é a melhor opção, pois há uma probabilidade significativa desta rota conter nós roteáveis submetidos à perda de pacotes de dados. Portanto, atingimos o objetivo, com a análise da influência da Métrica de roteamento que captura Status de Taxa de Erro e Capacidade de Transmissão no throughput (vazão BPS) e nas pontes de rede intermediárias submetidas a Perda de pacotes de dados. Os resultados confirmaram as hipóteses, através da métrica MF que captura características do ambiente Taxa de Erro de Pacotes, TEP, e Capacidade de Transmissão, CE, numa mesma função de peso mínimo. A MF apresentou os requisitos de uma métrica de boa performance e superou, em performance, a métrica adotada atualmente pelos protocolos de comunicações, HC. Além disso, a métrica MF apresentou também a característica do Comprimento de Rota, CR, demonstrando habilidade de construir rotas de latência mínima entre a transmissão de um pacote de dados e a efetiva recepção deste pacote no nó roteável destino.

## REFERÊNCIAS

- [01] ZENG Wang, Jon Crowcroft, Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications, em *IEEE Journal on Selected Areas, em Communications*, Vol. 14, n. 7, Setembro 1996.
- [02] YALING Yang, Jun Wang, and Robin Kravets, Designing Routing Metrics For Mesh Networks, em *WiMesh*, 2005.
- [03] JIST/SWANS website, Simulador de redes, 2004. Disponível em: <http://jist.ece.cornell.edu/>. Acesso em 9 de maio de 2009.
- [04] LUIGI Iannone, Ramin Khalili, Kave Salamatian and Serge Fdida, Cross-Layer outing In Wireless Mesh Networks, em *Proc. ISWCS*, Setembro 2004.
- [05] ANTON Riedl, A Hybrid Genetic Algorithm For Routing Optimization In IP Networks Utilizing Bandwidth And Delay Metrics, em *Proceedings of IEEE Workshop on IP Operations and Management*, 2002.
- [06] R. DRAVES, J. Padhye, and B. Zill, Comparison Of Routing Metrics For Static Multi-Hop Wireless Networks, em *ACM SIGCOMM*, 2004.