

# Avaliação de Desempenho do Protocolo DCCP na Presença de Erros de Transmissão

Priscila Gonçalves Doria, Marco Aurélio Spohn

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Campina Grande – PB

plgdoria@gmail.com, maspohn@dsc.ufcg.edu.br

**Resumo.** *O DCCP é um proeminente protocolo de transporte que vem atraindo a atenção da comunidade científica pelos seus rápidos avanços e bons resultados. Trabalhos anteriores consideram a avaliação de desempenho do DCCP comparado a protocolos clássicos; entretanto, limitando-se a um protocolo de cada vez por enlace e, além disso, enlaces supostamente isentos a falhas. Este trabalho visa comparar o desempenho de duas variantes do DCCP e do TCP SACK em um cenário mais realista, em que os protocolos competem no mesmo meio, onde erros de transmissão podem ocorrer. Os resultados demonstram que o DCCP, em especial com o CCID3, é mais eficiente na presença de erros de transmissão do que o TCP SACK, que se sobressai em enlaces sem erros.*

**Abstract.** *DCCP is an outstanding transport protocol that has attracted the attention of the scientific community for its rapid progress and good results. Previous works have compared the performance of DCCP with standard transport protocols, however limited to a single protocol per link, in assumed errorless links. We evaluate the performance of two DCCP variants and TCP SACK in a more realistic scenario, where protocols fight for the same link and transmission errors can occur. The results point to a better performance of DCCP, specially the CCID3 variant, when there are link errors, and TCP SACK outperforms DCCP variants in errorless scenarios.*

## 1. Introdução

As transmissões multimídia (e.g., fluxo de áudio e vídeo, voz sobre IP, vídeo interativo) estão sendo consideradas serviços importantes em redes modernas. Isso requer que os protocolos de rede usados para transmitir os serviços multimídia cooperem em harmonia com os protocolos usados para os serviços de dados.

Muitos aplicativos multimídia não adotam o TCP [Postel 1980a] como protocolo de transporte, mas o UDP [Postel 1980b], porque este privilegia o desempenho de transmissão em vez da confiabilidade. Essa característica se encaixa perfeitamente no padrão de comportamento dos aplicativos que usam multimídia em tempo real, cuja demanda principal é a entrega de pacotes dentro de limites restritos de tempo. Entretanto, as transmissões UDP ocorrem a uma taxa constante, alheia à capacidade disponível da rede. Em particular, isso interpõe um obstáculo à implantação desse tipo de serviço em tecnologias

com largura de banda limitada e com taxas de erro de transmissão variáveis como, por exemplo, as redes sem fio.

A preocupação com o impacto do congestionamento provocado por transmissões multimídia via UDP motivou o *Internet Engineering Task Force* (IETF) a produzir um novo protocolo padrão da Internet: o *Datagram Congestion Control Protocol* (DCCP) [Kohler et al. 2006]. A inovação do DCCP está no fato de priorizar o desempenho de entrega, como o UDP, apto também a realizar controle de congestionamento, como o TCP. O DCCP vem ganhando notoriedade, atraindo a atenção da comunidade científica, pela velocidade em que avança o seu desenvolvimento e pelos resultados já alcançados.

Este trabalho visa comparar o desempenho do DCCP, representado pelas suas variantes CCID2 [Floyd and Kohler 2006] e CCID3 [Floyd et al. 2006], com o TCP, representado por sua variante TCP SACK [Mathis et al. 1996]. A Seção 2 trata dos trabalhos relacionados e faz uma rápida explanação sobre o estado da arte. A Seção 3 versa sobre o DCCP e as variantes utilizadas. Os três protocolos são comparados dois a dois, disputando espaço no mesmo enlace, de forma a ser possível comparar também o aspecto concernente à justiça (i.e., *fairness*) de cada protocolo. Para tanto, foram realizadas simulações detalhadas, através do simulador de redes NS-2 [Fall and Varadhan 2007]. A Seção 4 descreve a metodologia utilizada para o comparativo dos protocolos e os resultados são analisados na Seção 5. Por fim, a Seção 6 conclui este trabalho.

## 2. Trabalhos Relacionados

Trabalhos anteriores realizaram simulações para comparar diferentes protocolos de transporte com o DCCP. Os artigos [Bhatti et al. 2008a] [Bhatti and Bateman 2009] [Bhatti et al. 2008b] apresentam comparações de desempenho dos protocolos TCP NewReno, TCP BIC, TCP CUBIC e DCCP CCID2. Os autores buscaram medir a propriedade justiça de cada protocolo e concluíram que: (i) o DCCP CCID2 é justo com o TCP NewReno quando o valor do RTT está entre 25ms e 200ms e (ii) o TCP BIC e o TCP CUBIC são injustos com o DCCP CCID2, quando o RTT tem valores superiores a 25ms.

Takeuchi et al. [Takeuchi et al. 2005] compararam os protocolos UDP, DCCP CCID2, TCP SACK, TCP NewReno e TCP RENO e concluíram que a justiça entre os fluxos do TCP SACK e do DCCP CCID2 depende fortemente do valor utilizado no RTT. Também, os autores concluíram que a injustiça mensurada nas simulações, é causada pela incompatibilidade entre o DCCP e o algoritmo de recuperação rápida do TCP.

Sales [de Sales et al. 2008] comparou os protocolos UDP, DCCP CCID2, DCCP CCID3, TCP CUBIC, em redes *ad hoc* com aplicações multimídia. Nos cenários propostos, o TCP CUBIC e o DCCP puderam partilhar a mesma largura de banda da rede, sem prejuízos. Entretanto, em geral o UDP se mostrou o protocolo mais injusto, consumindo toda a banda disponível.

Mattsson [Mattsson 2004] comparou os protocolos DCCP CCID2 e TCP SACK. O autor relatou que o módulo do DCCP foi criado para ter um rendimento melhor do que o TCP, mas as simulações mostraram que a taxa de perda e o atraso são semelhantes.

Esse artigo se diferencia dos seus predecessores porque defende que tais trabalhos adotaram metodologias pouco realistas, como executar um protocolo de cada vez em cada enlace, evitando assim a disputa entre os protocolos e, além disso, assumindo ausência

total de falhas de transmissão nos enlaces.

### 3. Descrição dos Protocolos DCCP e TCP SACK

#### 3.1. DCCP

O DCCP é um protocolo da camada de transporte, orientado a conexão, que não garante nem a ordenação nem a entrega dos dados. Dentre os aplicativos que podem usar o DCCP estão aqueles que priorizam o desempenho de entrega de pacotes em vez de confiabilidade. Esses aplicativos se beneficiam da semântica de envio baseado em fluxo do TCP, mas não precisam de uma entrega ordenada e confiável. Particularmente, os aplicativos de multimídia em tempo real são indicados a usar o DCCP. O DCCP é uma alternativa ao UDP para entrega eficiente de conteúdos multimídia, porque pode cooperar de forma mais justa com outros protocolos de transporte.

Para apoiar a entrega de pacotes multimídia, o DCCP possui um mecanismo denominado *escolha tardia de dados*. O conceito de escolha tardia de dados consiste em possibilitar à camada de aplicação a alteração do conteúdo de um pacote antes deste ser transmitido à rede, mesmo que os dados não estejam mais na camada de aplicação. Esse mecanismo é vantajoso para aplicações multimídia porque, dependendo do nível de contenção da rede, alguns pacotes atrasados podem não ser mais relevantes para a camada de aplicação. O DCCP possui controle de congestionamento modular, sendo possível acoplar um novo algoritmo de controle de congestionamento sem que seja necessário reescrever o protocolo. Durante negociação de uma conexão DCCP, o tipo de controle de congestionamento é definido através do *Congestion Control Identifier* (CCID). As variantes do DCCP (i.e., CCID2, CCID3 e CCID4 [Floyd and Kohler 2009]) oferecem diferentes mecanismos de controle de congestionamento.

A variante DCCP *TCP-Like Congestion Control* (CCID2) realiza controle de congestionamento de forma similar ao TCP SACK, através de janelas de congestionamento. Quando o nó emissor recebe um pacote de confirmação (i.e., ACK) do receptor, atualiza o tempo de espera para os demais ACKs e aumenta o tamanho da janela de transmissão. Quando o emissor perde um pacote por confirmação duplicada ou quando expira seu temporizador de espera de confirmação, o tamanho da janela é reduzido.

A variante DCCP *TCP Friendly Rate Control* (CCID3) realiza controle de congestionamento baseado em relatórios emitidos pelo receptor. Os relatórios carregam informações sobre a taxa de recepção de pacotes, o intervalo de perda e o tempo que um pacote permanece no *buffer* de recepção. Essas informações são úteis para calibrar a taxa de transmissão de pacotes e evitar congestionamento nas filas dos roteadores.

A variante DCCP *TCP-Friendly Rate Control for Small Packets* (CCID4) é uma sutil modificação do CCID3, com pacotes menores e otimizados. Essa versão ainda é considerada experimental e não será considerada neste trabalho.

#### 3.2. TCK SACK

O *TCP Selective Acknowledgment* (TCP SACK) é uma variante do protocolo TCP, que se diferencia pelo método utilizado nas retransmissões de pacotes perdidos. Sempre que um receptor TCP perde um pacote, informa a perda ao nó emissor, um pacote de cada vez. Um receptor TCP SACK envia um pacote de confirmação referente a um conjunto

de pacotes de dados não sequencial. Assim, em apenas uma mensagem, o emissor toma conhecimento dos pacotes que necessitam ser retransmitidos.

#### 4. Metodologia

Para comparar o desempenho dos protocolos DCCP CCID2, DCCP CCID3 e TCP SACK, foram realizadas simulações de rede com o simulador *Network Simulator 2* (ns2) na sua versão 2.33. A topologia utilizada é detalhada na Seção 4.1. As simulações foram realizadas com os protocolos agrupados em pares para facilitar a percepção da noção de justiça de cada protocolo. O conceito de justiça utilizado foi o de coexistência dos protocolos quanto ao acesso ao meio para transmissão. Um protocolo é dito justo quando não impede que os protocolos concorrentes adquiram recursos para sua execução. Os pares formados foram: (a) TCP SACK *versus* DCCP CCID2, (b) DCCP CCID2 *versus* DCCP CCID3 e (c) TCP SACK *versus* DCCP CCID3.

O TCP SACK foi escolhido para a comparação porque a idéia foi comparar protocolos gradualmente diferentes. O controle de congestionamento CCID2 do DCCP se assemelha ao controle de congestionamento do TCP SACK. A diferença mais significativa entre esses dois protocolos é o mecanismo de retransmissão do TCP SACK. O DCCP CCID3 possui controle de congestionamento significativamente diferente do TCP SACK e do DCCP CCID2.

Para verificar o comportamento dos protocolos na ocorrência de falhas de transmissão nos enlaces, em alguns cenários, o simulador foi instruído a provocar perdas sistemáticas de pacotes no enlace principal da topologia (entre os roteadores R1 e R2). Cada cenário proposto foi simulado três vezes, introduzindo-se diferentes quantidades de falhas de transmissão no enlace principal, como segue: (i) sem falhas de transmissão, (ii) com falhas de transmissão, na razão de 1:10.000 pacotes, e (iii) com falhas de transmissão, na razão de 1:1.000 pacotes.

##### 4.1. Descrição do Ambiente de Simulação

A topologia, em halteres, é formada por dois roteadores (R1 e R2) e quatro nós (X, Y, Z e W). O nó X e o nó Z se comunicam através do protocolo TCP SACK ou DCCP CCID2. O nó Y e o nó W se comunicam através do protocolo DCCP CCID2 ou DCCP CCID3. A Figura 1 ilustra a topologia utilizada nas simulações.

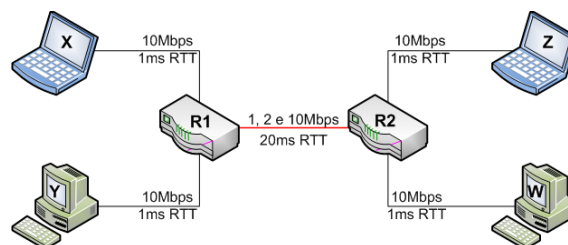


Figura 1. Topologia adotada nas simulações.

Nos quatro enlaces que ligam os nós aos roteadores, a largura de banda foi ajustada para 10 Mbps, com latência de 1 ms. No enlace entre os roteadores R1 e R2 foram utilizadas, separadamente, três opções de largura de banda: 1 Mbps, 2 Mbps e 10 Mbps,

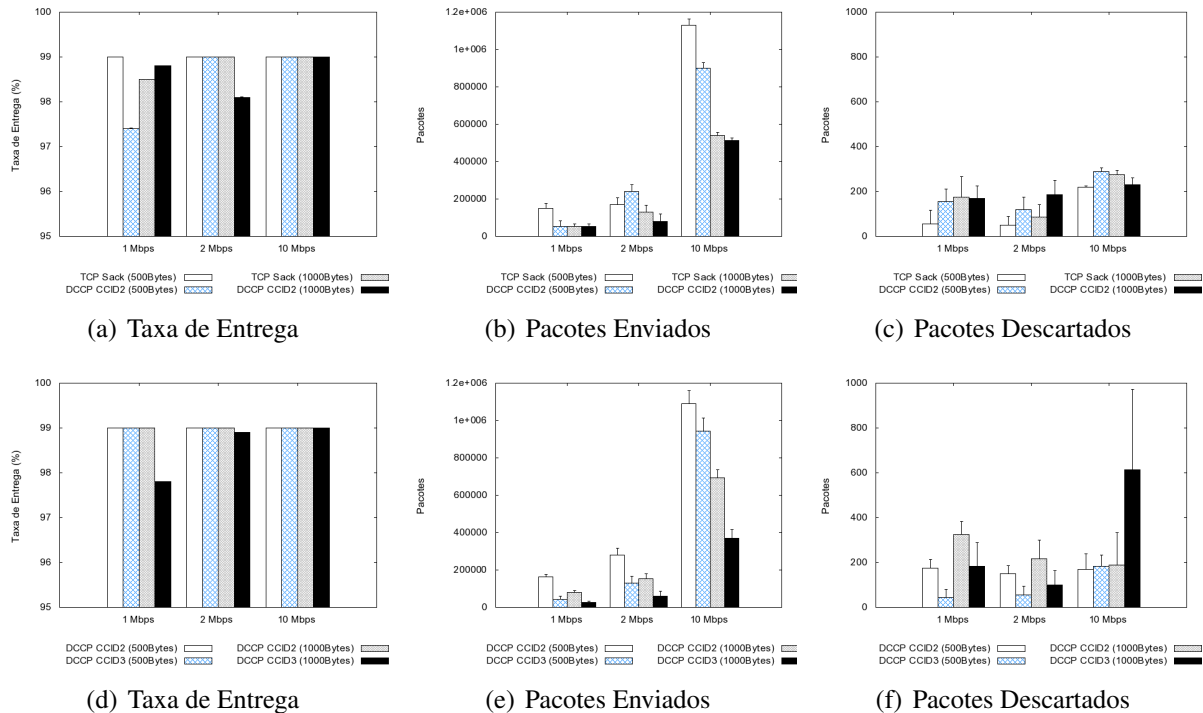


Figura 2. Taxa de Entrega (Enlace Sem Falhas).

todas com latência de 20 ms. A capacidade máxima da fila entre os roteadores foi ajustada para 500 pacotes, com a política de descarte *DropTail*.

Foram utilizados geradores de tráfego do tipo *Constant Bit Rate* (CBR), com duas opções de tamanho de pacote: 500 Bytes ou 1000 Bytes. As taxas de geração de pacotes foram ajustadas exatamente ao valor de cada largura de banda: 1 Mbps, 2 Mbps e 10 Mbps.

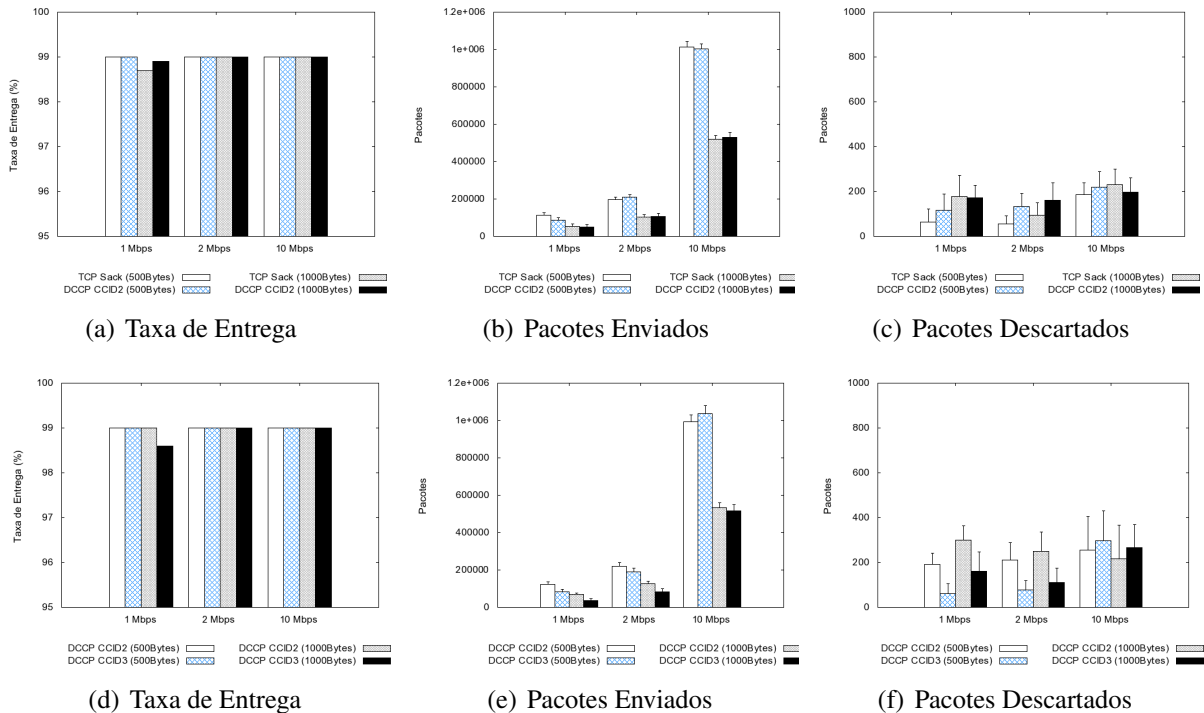
Os resultados das simulações foram dispostos em gráficos, sendo que cada valor plotado em cada gráfico de barras se refere à média de dez rodadas de simulação. Em cada rodada, variou-se de forma aleatória a inicialização dos CBRs, num intervalo entre 0 s e 100 s. Tal variação foi inspirada na ferramenta *CBRGEN* do simulador NS-2, criada para simulações de redes móveis *ad hoc*. Os intervalos de confiança plotados têm confiança mínima de 95%. Os gráficos de linhas foram gerados com base em apenas uma rodada de simulação. A rodada escolhida foi a em que ambos os fluxos CBR iniciam no tempo 0 s. O tempo de duração de cada simulação foi de 900 s.

Os resultados das simulações entre o TCP SACK *versus* DCCP CCID3 e DCCP CCID2 *versus* DCCP CCID3 são similares e por uma questão de espaço, só foram incluídos os resultados do DCCP CCID2 *versus* DCCP CCID3.

## 5. Resultados das Simulações

### 5.1. Taxa de Entrega

Os resultados das simulações (i), (ii) e (iii), definidas na Seção 4, estão representados nas Figuras 2, 3 e 4, apresentando os valores de taxa de entrega, pacotes enviados e pacotes descartados. A taxa de entrega não alcançou 100% em nenhum cenário devido a perdas



**Figura 3. Taxa de Entrega (Enlace com Falhas - 1:10.000 Pacotes).**

ou descartes de pacotes. Na simulação (i) houve descarte de pacotes por abarrotamento da fila no enlace entre os roteadores R1 e R2. Na simulação (ii), além de descartes na fila entre R1 e R2, ocorreram perdas de pacotes no mesmo enlace, provocadas pelas falhas de transmissão programadas. Na simulação (iii), ocorreram apenas perdas de pacotes por falhas de transmissão programadas.

### Simulação (i)

Nota-se no gráfico da Figura 2(b) que o TCP SACK emitiu mais pacotes do que o DCCP CCID2. Isso ocorreu porque ambos os protocolos competem pelo enlace, numa busca natural do aumento da sua janela de transmissão, provocando descartes de pacotes na fila entre R1 e R2 nos momentos de congestionamento. Ao detectarem descartes de pacote, os protocolos TCP SACK e DCCP CCID2 simplesmente reduzem suas janelas de congestionamento e a emissão de pacotes. Como o protocolo DCCP CCID2 sofreu mais perdas de pacotes nessas disputas, o TCP SACK conseguiu aumentar mais sua janela de transmissão e emitiu mais pacotes, como pode ser visto na Figura 2(c).

No gráfico apresentado na Figura 2(e), nota-se que o DCCP CCID2 emitiu mais pacotes do que o DCCP CCID3. Isso ocorreu porque o emissor DCCP CCID3 recebeu relatórios gerados pelo receptor, informando atraso nos pacotes, e reduziu a emissão de pacotes para evitar o abarrotamento da fila entre os roteadores. Oportunamente, o DCCP CCID2 aumentou a sua janela de transmissão. Por enviar mais pacotes, o DCCP CCID2 teve maior probabilidade de descarte de pacotes, o que pode ser conferido na Figura 2(f).

### Simulação (ii)

Com a introdução de falhas de transmissão, os protocolos em disputa tiveram o

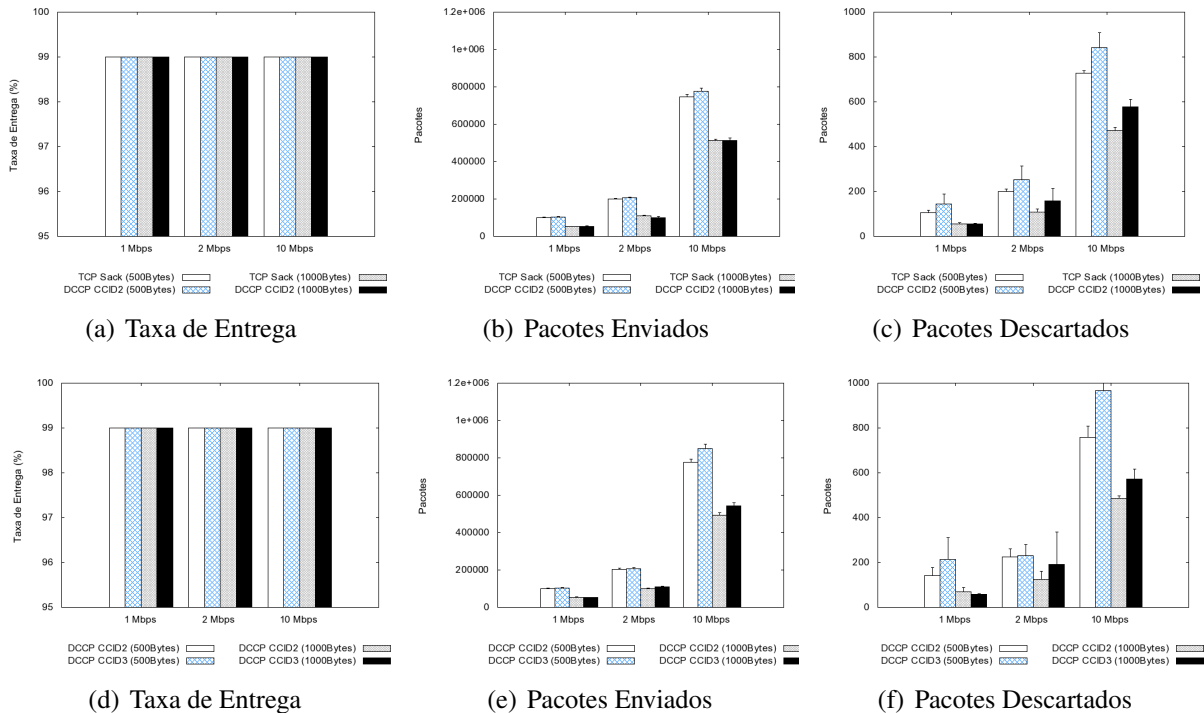


Figura 4. Taxa de Entrega (Enlace com Falhas - 1:1.000 Pacotes).

descarte de pacotes acentuado quando comparado ao das simulações sem falhas de enlace. Isso ocorreu porque, além dos descartes por abarrotamento da fila dos roteadores, as falhas de transmissão programadas forçaram, de maneira alternada, um protocolo a reduzir a emissão de pacotes e deram ao protocolo adversário a oportunidade de aumentar a emissão de pacotes. Assim, como resultado final, os protocolos enviaram aproximadamente a mesma quantidade de pacotes, tiveram uma taxa de entrega melhor e um pequeno aumento no número de pacotes descartados, conforme ilustrado na Figura 3.

### Simulação (iii)

Com o aumento na razão de falhas de transmissão, o TCP SACK e o DCCP CCID2 foram forçados a reduzir suas janelas de transmissão diversas vezes e, conseqüentemente, a emissão de pacotes. Por outro lado, como não houve muito atraso nos pacotes, o DCCP CCID3 recebeu relatórios informando que o protocolo poderia aumentar a sua transmissão de pacotes. Tais relatórios permitiram que o DCCP CCID3 emitisse mais pacotes que nas simulações anteriores e obtivesse um desempenho superior aos protocolos DCCP CCID2 e TCP SACK. Nota-se nos gráficos da figura 4 que os protocolos descartaram muitos pacotes, tiveram valores de emissão de pacotes próximos e mantêm uma taxa de entrega de 99% para todas as simulações.

Os três cenários proporcionaram uma oportunidade de se medir o fator justiça quando os protocolos coexistem em diversas situações. Por exemplo, as simulações com enlaces sem falhas de transmissão apontaram que DCCP CCID3, em disputa com o TCP SACK ou o DCCP CCID2, reduz a emissão de pacotes para reduzir o atraso, sendo que esse objetivo nunca é alcançado porque o protocolo adversário oportunamente aumenta sua emissão de pacotes. Isso aponta para o fato de que, embora o TCP SACK e o DCCP

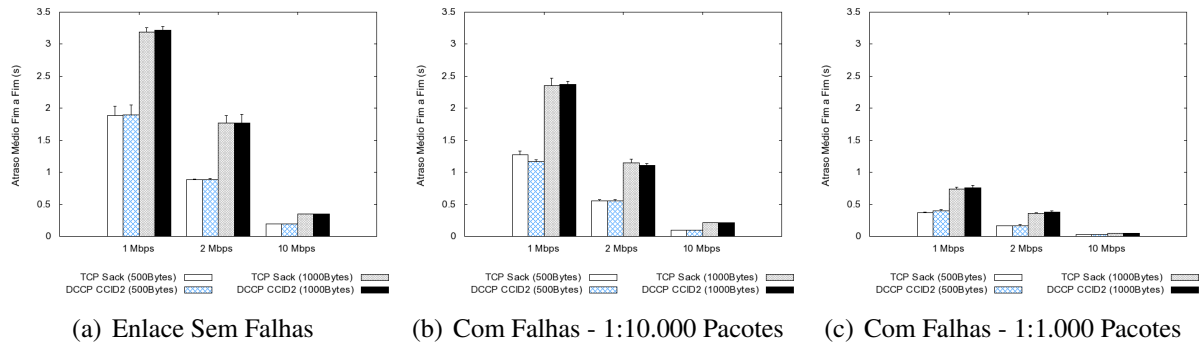


Figura 5. Atraso Médio.

CCID2 realizem controle de congestionamento, e por isso sejam mais justos que o UDP, ainda assim oprimem o DCCP CCID3 quando em ambiente compartilhado. É fácil perceber que, nessa situação, o DCCP CCID3 atende melhor ao quesito justiça do que seus oponentes considerados neste trabalho. Prova disso foi o bom desempenho do DCCP CCID3, quando o TCP SACK e o CCID2 foram forçados a recuar, na presença de falhas de transmissão da simulação (iii).

## 5.2. Atraso Médio Fim a Fim

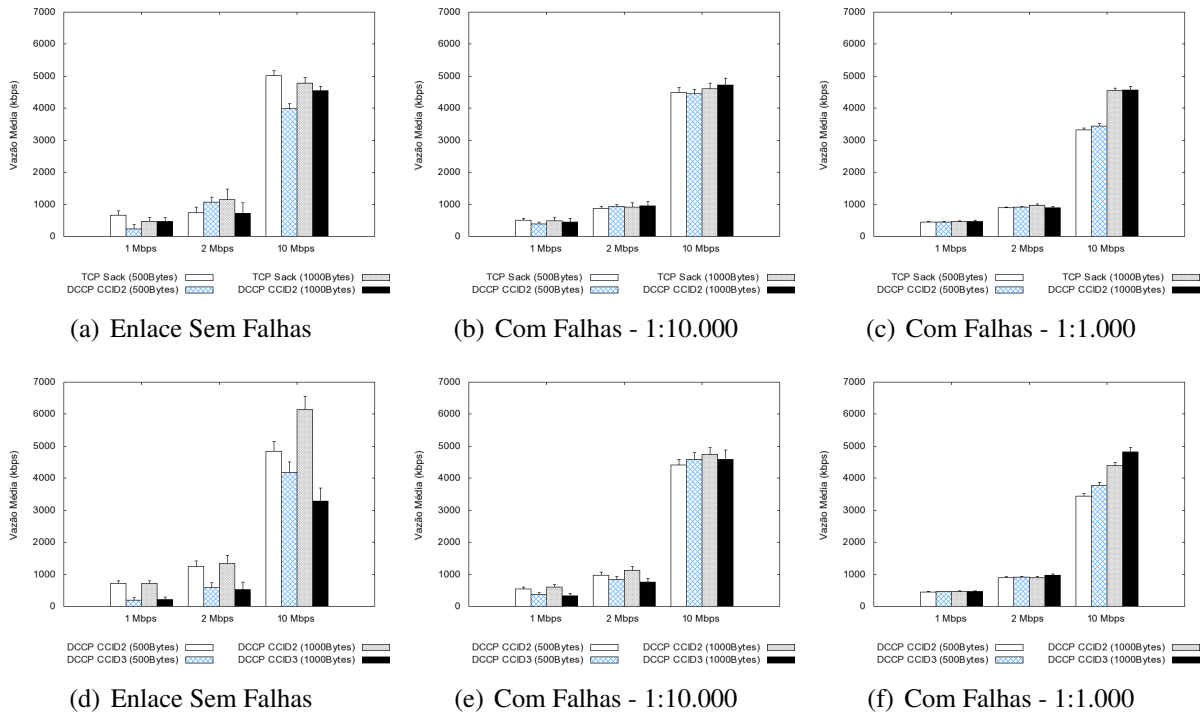
Conforme apresentado na Figura 5(a), na simulação (i) o atraso é maior porque a fila do enlace entre R1 e R2 atinge o seu limite frequentemente, fazendo com que os pacotes passem muito tempo no *buffer* da fila e acarretando descarte de pacotes por insuficiência de espaço. Na simulação (ii), o atraso é similar ao da simulação (i), com discreta redução. O atraso dos pacotes na simulação (iii) é consideravelmente menor porque a introdução das falhas programadas fez com que os protocolos reduzissem suas taxas de emissão de pacotes e não obstruíssem a fila do enlace entre os roteadores R1 e R2. O comportamento ilustrado no gráfico da Figura 5 é similar às demais simulações e, por questão de espaço limitado, não foram incluídos neste artigo. É possível perceber ainda que os pacotes de 1000 Bytes produzem um atraso correspondente ao dobro do atraso dos pacotes de 500 Bytes, o que é perfeitamente aceitável e esperado.

## 5.3. Vazão Média

Como pode ser observado no gráfico da Figura 6, o TCP SACK teve sua vazão média prejudicada à medida que falhas de transmissão foram introduzidas nas simulações. Como nas considerações anteriores, o TCP SACK recua o tamanho da janela de transmissão quando percebe perda de pacotes, produzindo resultados favoráveis ao oponente DCCP. Quando disputando com TCP SACK, as variantes do DCCP melhoraram sua vazão média à medida que as falhas de transmissão aumentaram.

Os gráficos referentes a vazão e latência examinados até aqui fornecem elementos que sugerem uma melhor aptidão do DCCP para transmissões em meios com propensão a falhas de transmissão, como ocorre nas redes móveis *ad hoc*. Também, pode-se depreender dos resultados que o controle de congestionamento do DCCP CCID3 reage de maneira mais precisa e menos abrupta às variações no congestionamento da rede. Esse resultado é desejável, visto que pode evitar efeito de fase em cenários compartilhados reais.





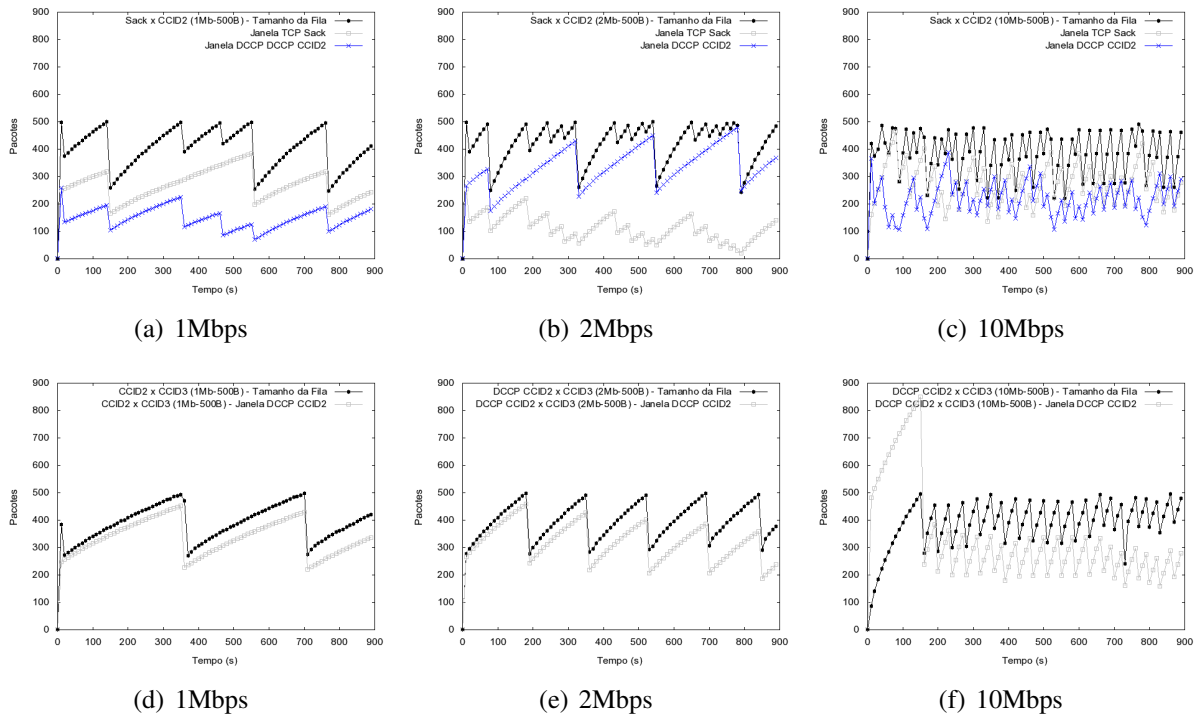
**Figura 6. Vazão Média.**

#### 5.4. Análise de Comportamento dos Protocolos

Nos gráficos das figuras 7 a 12, que apresentam os resultados do tamanho da fila *versus* tamanho da janela e os resultados de vazão instantânea, cada ponto do gráfico é referente a um intervalo de 10 s de simulação. O valor de 10 s foi escolhido porque valores menores produzem um gráfico com variações muito densas, dificultando a análise. Por definição, o NS-2 configura as filas de pacotes nos enlaces. Como mencionado na Seção 4.1, a capacidade máxima da fila de pacotes no enlace entre R1 e R2 foi ajustada para 500 pacotes. O tamanho das janelas de transmissão dos protocolos nos nós X e Y e o tamanho da fila no enlace de saída em R1 no enlace com R2 foram monitorados através do mecanismo de monitoramento nativo do simulador NS-2. Nos gráficos concernentes ao DCCP CCID3 só foram plotadas as janelas do TCP SACK ou do DCCP CCID2, porque o DCCP CCID3 não controla congestionamento por janelas, mas sim através de relatórios enviados pelo receptor.

Nas simulações sem falhas de transmissão no enlace, as perdas de pacotes ocorreram devido a descartes por abarrotamento da fila no enlace entre os roteadores. Como pode ser visto no gráfico apresentado na Figura 7, a fila dos roteadores alcança o seu limite de 500 pacotes diversas vezes, especialmente no enlace de 10 Mbps.

Como destacado na Seção 5.1, a emissão de pacotes do TCP SACK *versus* DCCP CCID2 se alternaram ao longo da avaliação. Com pacotes de 500 bytes, no enlace de 1 Mbps, o TCP SACK emitiu mais pacotes do que o DCCP CCID2. Já no enlace de 2 Mbps, o DCCP CCID2 emitiu mais pacotes do que o TCP SACK. Finalmente, no enlace de 10 Mbps o TCP SACK voltou a emitir mais pacotes. Pode-se extrair dos resultados apresentados na Figura 7 que a janela de transmissão do TCP SACK permaneceu maior

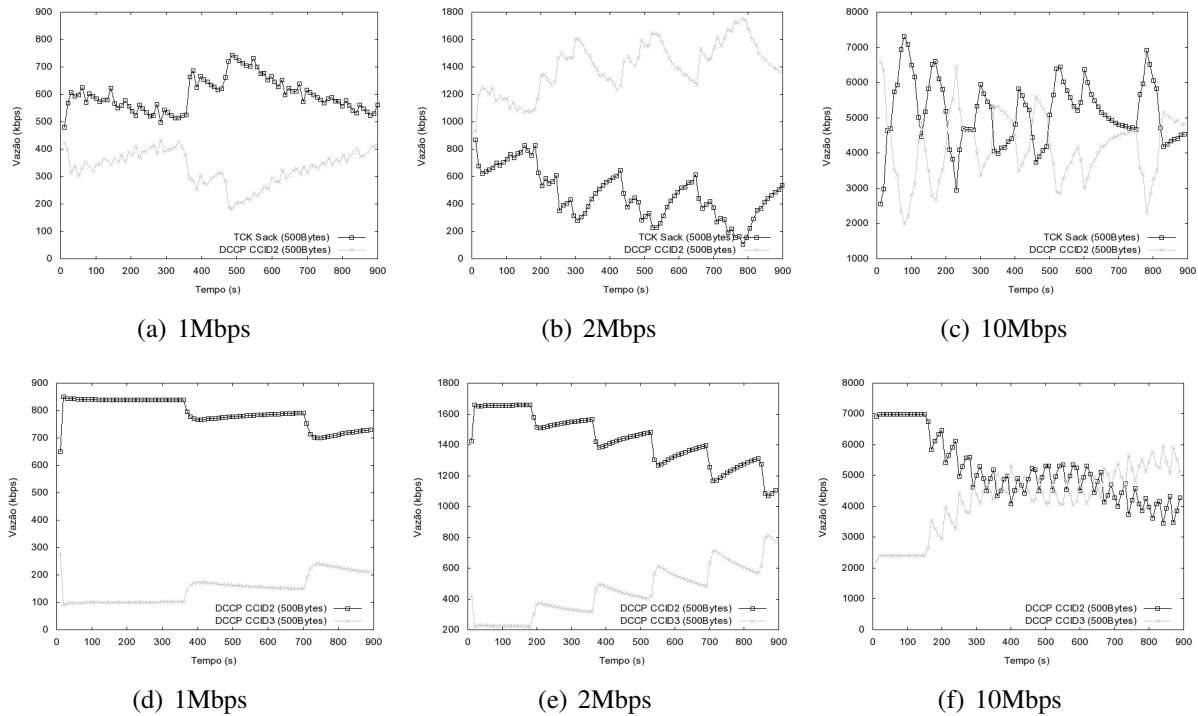


**Figura 7. Tamanho da Fila x Tamanho da Janela, Sem Falhas de Transmissão.**

nos enlaces de 1 Mbps e 10 Mbps. A janela do DCCP CCID2 esteve melhor no enlace de 2 Mbps. Enfatiza-se novamente que o CCID3 não tem sua curva de desempenho mostrada na Figura 7, considerando-se que o CCID3 não adota mecanismo de controle de congestionamento por janela de segmentos.

Nota-se nos gráficos referentes a vazão instantânea, uma simetria vertical das linhas dos protocolos TCP SACK e DCCP. Quando ocorreu um aumento na vazão de um protocolo, imediatamente ocorreu redução na vazão do protocolo adversário. O gráfico da Figura 8 indica que no enlace de 1 Mbps o TCP SACK teve uma vazão maior. No enlace de 2 Mbps, o DCCP CCID2 teve uma vazão maior ao longo de toda simulação. No enlace de 10 Mbps as vazões desses protocolos se alternaram. Esse comportamento se deve ao aumento e redução do tamanho da janela de transmissão. A vazão instantânea do DCCP CCID3 foi menor nos enlaces de 1 Mbps e 2 Mbps, quando a janela de transmissão do DCCP CCID2 se manteve por mais tempo em crescimento. Nota-se no gráfico apresentado na Figura 7(f), que a janela do DCCP CCID2 teve um crescimento significativo entre 0 s e 150 s, mas após esse instante a janela foi reduzida. Como pode ser visto no gráfico da Figura 8(f), a vazão instantânea desse protocolo foi maior no instante entre 0 s e 350 s, embora após esse instante a vazão do DCCP CCID3 tenha aumentado e se mantido superior até o fim da simulação.

Apenas no enlace de 10 Mbps o DCCP CCID3 conseguiu uma vazão maior do que a dos protocolos TCP SACK e DCCP CCID2. Isso ocorreu porque as perdas de pacotes ocorreram com maior frequência, reduzindo a janela de transmissão do oponente diversas vezes. O DCCP CCID3 não obteve um valor de emissão de pacotes maior porque não manteve uma vazão superior durante toda a simulação. Assim, a média dos pacotes enviados do TCP SACK e do DCCP CCID2 foi maior do que a do DCCP CCID3.



**Figura 8. Vazão Instantânea Sem Falhas de Transmissão no Enlace.**

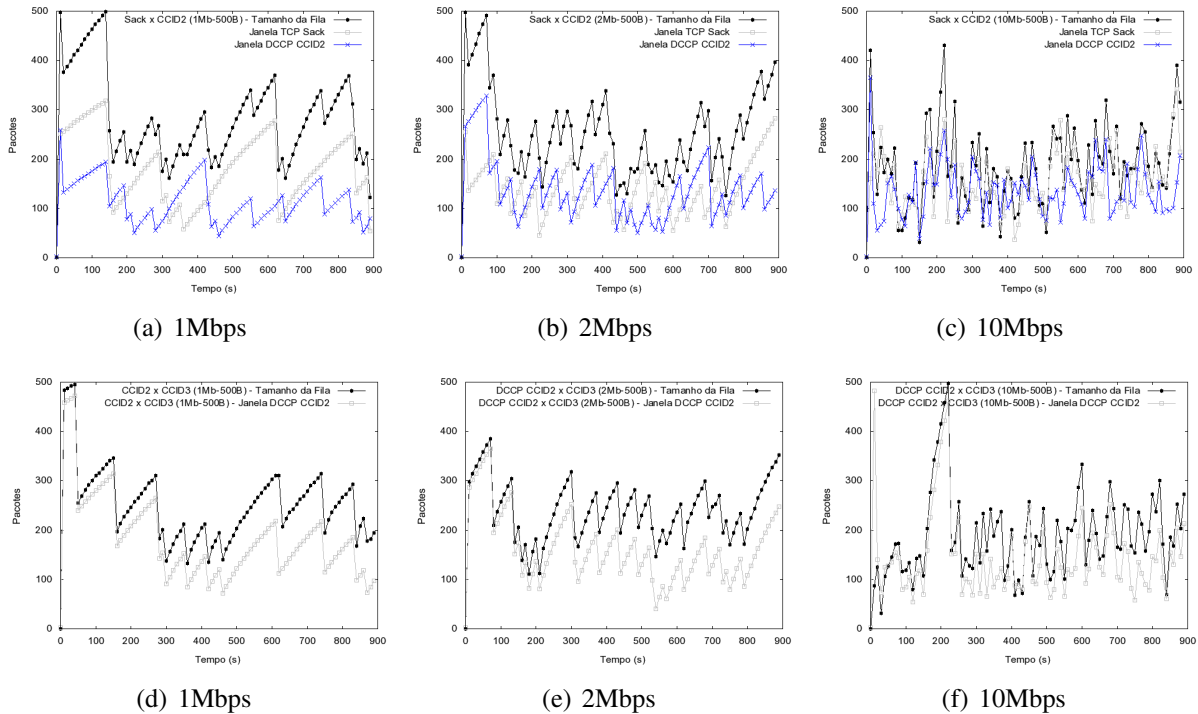
Nota-se nos gráficos apresentados na Figura 9 que, após os instantes iniciais, não houve mais disputa pelo enlace e os protocolos foram forçados a reduzir suas emissões de pacotes, resultado das falhas de transmissão programadas. Com essa situação, o DCCP CCID3 recebeu poucos relatórios informando atraso e pôde enviar mais pacotes do que nas outras simulações.

O gráfico ilustrado na Figura 9(a) demonstra que no enlace de 1 Mbps, o TCP SACK obteve um desempenho melhor do que o DCCP CCID2, o que pode ser também comprovado no gráfico 10(a). Nos enlaces de 2 Mbps e 10 Mbps, os valores de janela dos protocolos se intercalam e se sobrepuseram ao longo da simulação, o que definiu também uma vazão intercalada. Nota-se nos gráficos (a), (b) e (c) da Figura 10 que a vazão instantânea dos protocolos se intercalam nos três tipos de enlace, o que não ocorreu na ausência de falhas de transmissão (veja Figura 8).

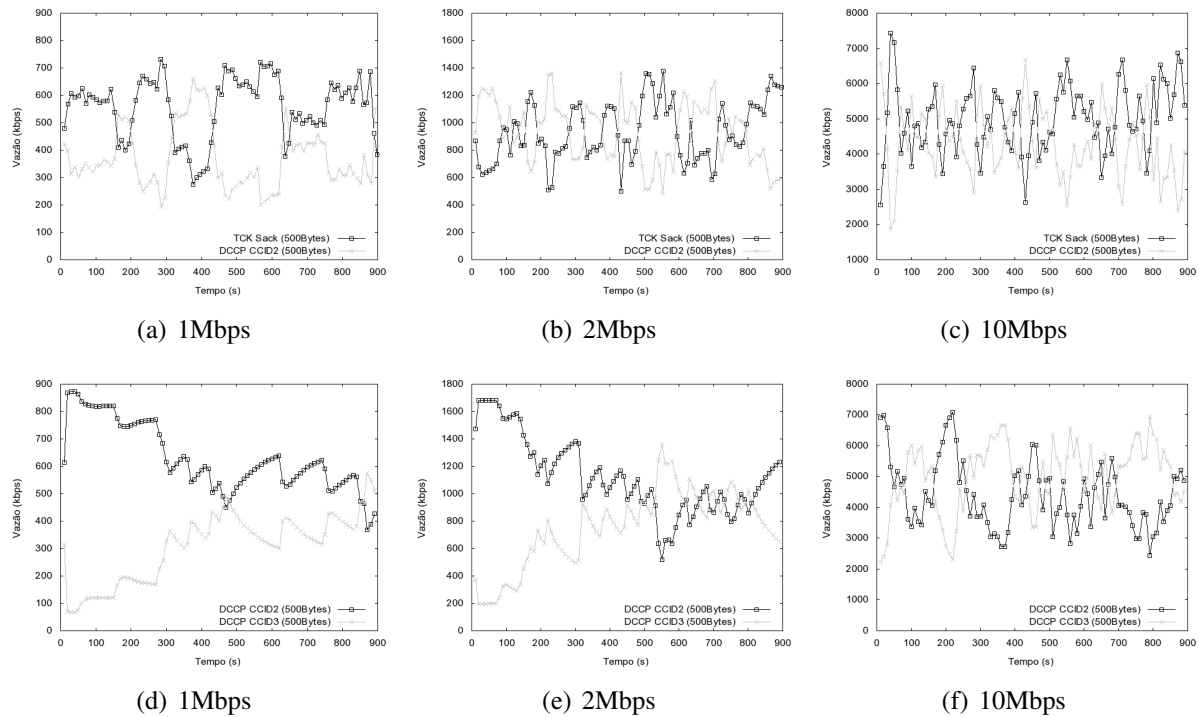
Na disputa entre DCCP CCID2 e DCCP CCID3, a vazão instantânea do DCCP CCID3 foi maior nos cenários com falhas de transmissão. No enlace de 10 Mbps os protocolos apresentaram vazão intercalada desde o início da simulação. Nos resultados apresentados na Figura 11 é possível ver que na simulação (iii) os descartes de pacotes ocorreram devido às falhas de transmissão.

Nos resultados constantes da Figura 12, as frequentes reduções da janela de congestionamento do TCP SACK e do DCCP CCID2 não permitiram que a fila entre R1 e R2 ultrapassasse o valor de 150 pacotes após os 10s de simulação. Na disputa entre o TCP SACK e o DCCP CCID2, a diferença de desempenho desses protocolos foi discreta porque ambos os protocolos sofreram com as falhas de transmissão. As vazões dos protocolos se intercalam ao longo de toda a simulação. O comportamento ilustrado nos gráficos

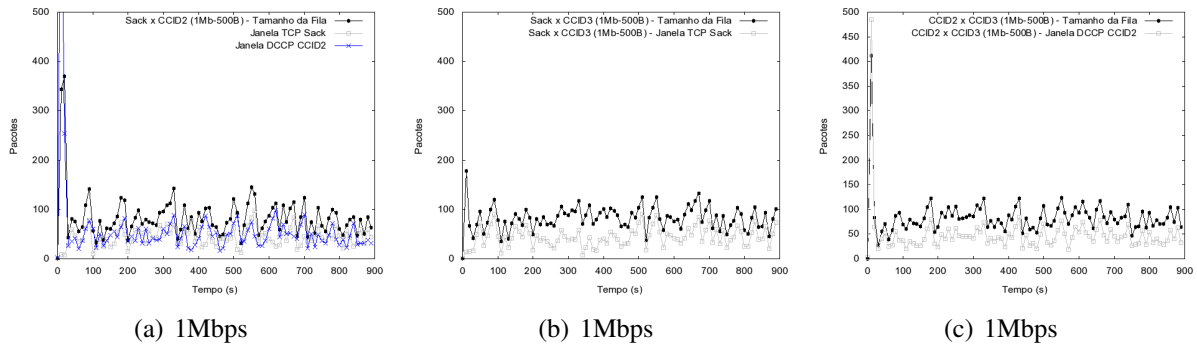
das Figuras 11 e 12 foi observado ao longo de todas as simulações, independentemente do tamanho do pacote e da largura de banda do enlace.



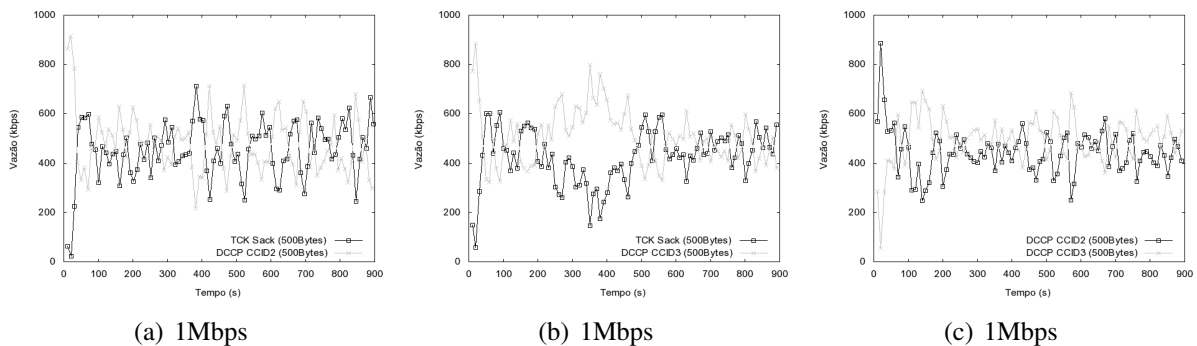
**Figura 9. Tamanho da Fila x Tamanho da Janela, com Falhas de Transmissão - 1:10.000 Pacotes.**



**Figura 10. Vazão Instantânea com Falhas de Transmissão - 1:10.000 Pacotes.**



**Figura 11. Tamanho da Fila x Tamanho da Janela, com Falhas de Transmissão - 1:1.000 Pacotes.**



**Figura 12. Vazão instantânea com taxa de erro para cada 1.000 pacotes no enlace.**

## 6. Conclusão

Neste trabalho foram comparados os desempenhos dos protocolos de transporte DCCP CCID2, DCCP CCID3 e TCP SACK, em cenários mais realísticos, onde foram introduzidas falhas de transmissão no enlace e os protocolos compartilharam o mesmo enlace dois a dois. Para tanto, foi utilizado o simulador de redes *Network Simulator 2* (ns2). Trabalhos anteriores já compararam o desempenho do DCCP com outros protocolos de transporte; entretanto, neste trabalho, até o limite do nosso conhecimento, esta é a primeira vez que os protocolos são comparados coexistindo num mesmo enlace e com presença de falhas de transmissão no enlace.

Foi possível colher impressões sobre a propriedade da **justiça** dos protocolos comparados. Os resultados demonstraram que, embora os três protocolos em questão possuam controle de congestionamento e sejam mais justos que o UDP, o TCP SACK e o DCCP CCID2 são menos justos que o DCCP CCID3, quando em disputa por espaço num mesmo enlace. De fato, o DCCP CCID3 teve sua emissão de pacotes oprimida pelo avanço do protocolo adversário, na maioria das simulações.

Da análise dos resultados, também foi possível perceber que o DCCP CCID3 sobressaiu em cenários onde as falhas de transmissão foram mais constantes. Esse é um resultado significativo, sobretudo porque indica o uso do DCCP CCID3 para transmissões multimídia em cenários reais, onde falhas de transmissão são esperadas, como as redes móveis sem fio. A motivação para esse fenômeno está no fato de o DCCP ser mais

resiliente a perdas de pacotes que o TCP SACK. Por fim, o DCCP CCID3 demonstrou ter o mecanismo de controle de congestionamento mais célere e preciso dos três protocolos, ajustando a sua emissão de pacotes de maneira menos abrupta que seus concorrentes.

## Referências

- Bhatti, S. and Bateman, M. (2009). Transport protocol throughput fairness. *Journal of Networks*, 4(9):881–894.
- Bhatti, S., Bateman, M., and Miras, D. (2008a). A comparative performance evaluation of dccp. In *Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 2008. SPECTS 2008. International Symposium on*, pages 433–440.
- Bhatti, S., Bateman, M., Rehunathan, D., Henderson, T., Bigwood, G., and Miras, D. (2008b). Revisiting inter-flow fairness. In *Proceedings of BROADNETS 2008*, pages 585–592.
- de Sales, L. M., Almeida, H. O., and Perkusich, A. (2008). On the performance of tcp, udp and dccp over 802.11 g networks. In *SAC '08: Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*, pages 2074–2078, New York, NY, USA. ACM.
- Fall, K. and Varadhan, K. (2007). The network simulator ns-2: Documentation. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.
- Floyd, S. and Kohler, E. (2006). Profile for Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) Congestion Control ID 2: TCP-like Congestion Control. RFC 4341 (Proposed Standard).
- Floyd, S. and Kohler, E. (2009). Profile for Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) Congestion ID 4: TCP-Friendly Rate Control for Small Packets (TFRC-SP). RFC 5622 (Experimental).
- Floyd, S., Kohler, E., and Padhye, J. (2006). Profile for Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) Congestion Control ID 3: TCP-Friendly Rate Control (TFRC). RFC 4342 (Proposed Standard). Updated by RFC 5348.
- Kohler, E., Handley, M., and Floyd, S. (2006). Datagram Congestion Control Protocol (DCCP). RFC 4340 (Proposed Standard). Updated by RFCs 5595, 5596.
- Mathis, M., Mahdavi, J., Floyd, S., and Romanow, A. (1996). TCP Selective Acknowledgment Options. RFC 2018 (Proposed Standard).
- Mattsson, N.-E. (2004). A dccp module for ns-2. Master's thesis, Lulea University of Technology.
- Postel, J. (1980a). DoD standard Transmission Control Protocol. RFC 761.
- Postel, J. (1980b). User Datagram Protocol. RFC 768 (Standard).
- Takeuchi, S., Koga, H., Iida, K., Kadobayashi, Y., and Yamaguchi, S. (2005). Performance evaluations of dccp for bursty traffic in real-time applications. In *SAINT '05: Proceedings of the The 2005 Symposium on Applications and the Internet*, pages 142–149, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.