



Avaliação do Desempenho do TCP para as Variantes de Controle de Congestionamento CUBIC, *New Reno* e *Compound TCP*

Eliel Poggi², Daiana Correia de Lucena², Joyce Maia Franco², Michel Coura Dias¹

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica UFCG e professor do IFPB. e-mail: michel.dias@ifpb.edu.br

²Alunos da Graduação em Engenharia Elétrica - IFPB. E-mail: elielpoggi@gmail.com

Resumo: O TCP é o protocolo da camada de transporte do TCP/IP mais utilizado na Internet. Dentre as funções que ele exerce destaca-se o de controle de congestionamento dos fluxos por ele controlado. Neste aspecto muitas variantes foram propostas para melhorar o algoritmo clássico e mais utilizado conhecido como Reno. Este artigo faz uma avaliação experimental de três algoritmos propostos como evolução do Reno e utilizados por dois dos sistemas operacionais mais utilizados atualmente, o Linux e o Microsoft *Windows*. A análise dos resultados mostrou o CUBIC e o *New Reno* como os algoritmos mais efetivos em termos de equidade com outros fluxos, *goodput* na presença de um fluxo UDP e *smoothness*. O desempenho do CUBIC se manteve mesmo quando o atraso fim a fim foi incrementado.

Palavras-chave: TCP, Controle de Congestionamento, CUBIC, *New Reno* e *Compound TCP*

1. INTRODUÇÃO

O perfil atual de tráfego na Internet é bem diferente daquele observado no início de sua operação e até mesmo do observado na década de 90. O aumento da vazão e redução da latência dos acessos de última milha proveu a infraestrutura necessária para que fossem oferecidos aos usuários conteúdos multimídia em tempo real e com longa duração. Isto permitiu que aplicações como Voz sobre IP (VoIP), Vídeoconferência, Jogos Online e WebTV se popularizassem. A cada dia o número de empresas como o Google, Netflix, Hulu e Skype que oferecem estes serviços se multiplica (SALES; ALMEIDA; PERKUSICH, 2011).

Segundo previsões da CISCO, um dos maiores fabricantes mundiais de equipamentos de interconexão de redes de computadores, o tráfego de vídeo em 2014 será maior que o de P2P em 2009 (SALES; ALMEIDA; PERKUSICH, 2011). Em Março de 2011 apenas a Netflix, empresa que distribui vídeos sob demanda, foi responsável por 24,71% do tráfego no período de pico nas redes de acesso fixas dos Estados Unidos, quando se considera o tráfego agregado. Neste mesmo período o entretenimento de tempo real representou 49,2% do tráfego desta rede contra apenas 29,5% em 2009, um crescimento de 66,7%. (SANDVINE INTELLIGENT BROADBAND NETWORKS, 2011).

A não ser que seja investido maciçamente no aumento da capacidade do *backbone* das grandes operadoras de telecomunicações, a tendência é que haja um colapso em alguns anos dada a velocidade que o tráfego vem crescendo. Além do custo proibitivo para um aumento deste porte, o tempo para a implantação de uma mudança deste tipo nas estruturas principais de comunicações faria com que houvesse o risco de ao término, haver necessidade de ser realizada outra ampliação. Desta forma, fica claro que esta não deve ser a única forma de buscar a solução para o problema. Deve-se investir então, dentre outras coisas, no desenvolvimento de mecanismos de controle de congestionamento que minimizem o atraso fim-a-fim no transporte dos pacotes, garantam a equidade entre vários fluxos concorrentes de tráfego e permitam o uso eficiente da rede (FLOYD ; HANDLEY; KOHLER, 2006)(PAPADIMITRIOU; WELZL; SCHARF; BRISCO, 2011).

O TCP é o protocolo da camada de transporte mais utilizado (ABDELJAOUAD; RACHIDI; FERNANDES.; KARMOUCH, 2010). Ele garante a entrega confiável dos dados, controle de fluxo e controle de congestionamento para as aplicações que o utilizam (KUROSE, 2009). Dado o papel fundamental deste último, vários mecanismos foram propostos e avaliados (MASCOLO; GRIECO, 2004). No entanto, a maior parte destes trabalhos são realizados em ambiente de simulação que, em muitas situações, envolvem simplificações no modelo utilizado em relação ao cenário real. Desta forma,



a avaliação experimental em um *testbed* pode trazer aspectos novos à medida que inclui fatores não previstos em um ambiente simulado.

Aqui se avaliará três dos algoritmos mais utilizados atualmente para controle de congestionamento no TCP: CUBIC (SANGTAE HA; INJONG RHEE; LISONG, XU, 2008), *New Reno* (MICHAEL WELZL, 2005) e *Compound* (TCP K TAN; Q ZHANG; M SRIDHARAN, 2006). Serão verificados a equidade intra e inter protocolo, comportamento na concorrência de um fluxo UDP e *smoothness*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para comparar os mecanismo de controle de congestionamento em tela foi utilizada a topologia *Dumbbell* apresentada na Figura 1. Nela foram utilizadas duas máquinas com o sistema operacional Ubuntu 12.04 com kernel 3.2 e duas máquinas com o *Windows 7 Ultimate* 64 bits. Cada computador é equipado com um processador Intel Core i7 870 e 4 GB de memória RAM DDR3. Para a função de roteamento, dois roteadores da marca CISCO modelo 2811 foram empregador. Cada equipamento destes com duas interfaces *Fast Ethernet* e duas interfaces PDH E1.

Os computadores foram conectados aos roteadores por meio das interfaces *Fast Ethernet*, sendo as mesmas configuradas para uma vazão fixa de 100 Mbps *full-duplex*. Estes por sua vez foram conectados por um enlace de comunicação PDH E1 com taxa efetiva de 1,94 Mbps – 31 intervalos de tempo utilizados dos 32 disponíveis no enlace-, sendo este o “gargalo” da topologia apresentada.

Os *softwares* antivírus e *firewall* foram desabilitados de forma a não influenciar a medição. Para gerar tráfego entre os nós clientes e os nós servidores foi utilizada a ferramenta de *software iperf* (IPERF, 2012) em sua versão 2.0.5. Em cada ensaio do experimento foram gerados um fluxo entre as máquinas *Host2/Server6* e um fluxo entre as máquinas *Host5/Server8* de forma a concorrerem pela utilização do enlace de comunicação E1. Ambos unidirecionais.

Duas situações foram testadas nos ensaios: enlace pdh E1 no limiar do congestionamento e com nível 50% acima da vazão máxima no enlace que constitui o “gargalo”. Foram obtidas amostras da vazão recebida de 1 em 1 segundo durante um período de 100 segundos por ensaio. A Tabela 1 descreve os ensaios. Quando os ensaios tinha a dupla CUBIC-CUBIC ou CUBIC-*New Reno*, os mesmo foram repetidos com RTTs (*Round Trip Time*) de 100 ms, 200 ms e 300 ms.

Tabela 1 – Descrição dos Ensaios Realizados

Número Ensaio	Duração	Intervalo de Amostragem	Protocolo / Vazão Fluxo Gerado (Mbps)		Sentido dos Fluxos Gerados
			Host2/Server6	Host5/Server8	
1	100 s	1 s	UDP / 2 Mbps	TCP CUBIC / 1 Mbps	<i>Host2 para Server6 e Host5 para Server8</i>
2			UDP / 2 Mbps	TCP NEW RENO / 1 Mbps	
3			UDP / 2 Mbps	Compound TCP / 1 Mbps	
4			TCP CUBIC / 1 Mbps	TCP CUBIC / 1 Mbps	
5	TCP NEW RENO / 1 Mbps	TCP NEW RENO / 1 Mbps			
6	Compound TCP / 1 Mbps	Compound TCP / 1 Mbps			

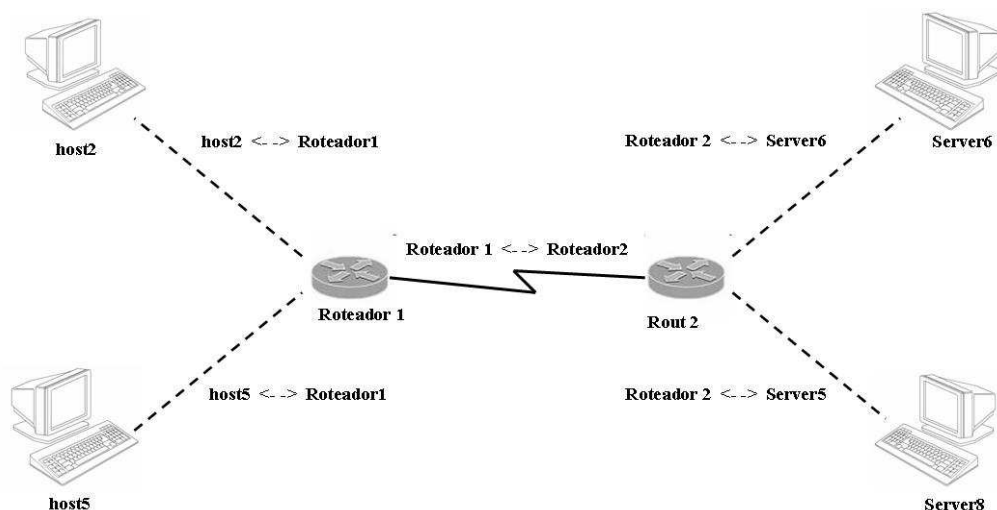


Figura 1 – Topologia utilizada no experimento

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro quesito a ser avaliado foi a equidade. Para tanto foi utilizado o índice de Jain [Jain] obtido a partir dos valores de *Goodput* recebidos pelos servidores (*Server6* e *Server8*) ao longo do tempo de observação. No cenário intra protocolo, foram considerados fluxos concorrentes que

utilizavam o mesmo mecanismo de controle de congestionamento. Os valores do índice de Jain obtidos são apresentados na Figura 2, com valores medidos de 1s em 1s e RTT de 2 ms.

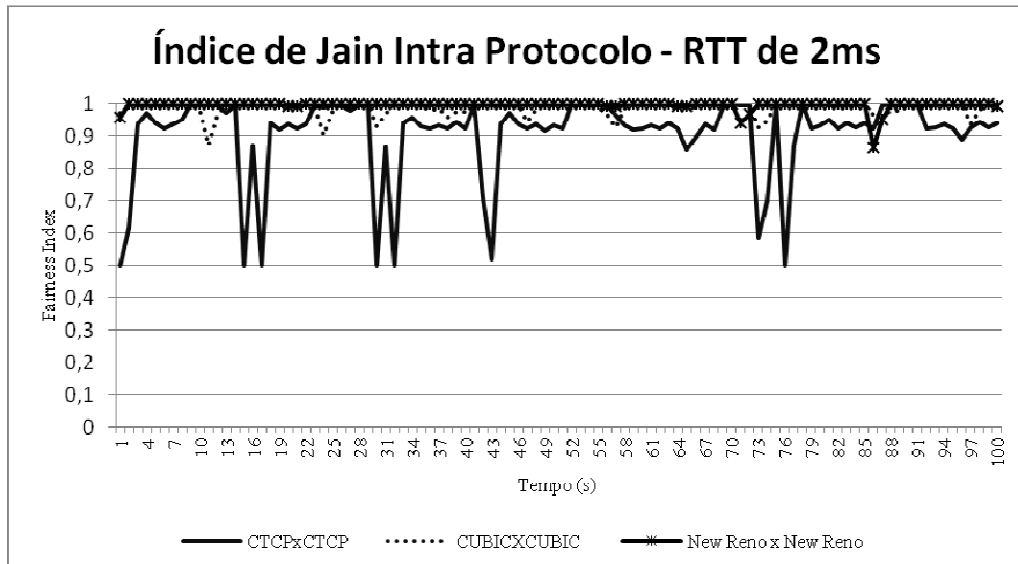


Figura 2 – Variação do índice de Jain no cenário intraprotocolo ao longo do tempo de observação do experimento

Como vê-se no gráfico da Figura 2 o *New Reno* apresentou a menor variação do índice de Jain em torno do objetivo de equidade que é a unidade. Isto é esperado dado que este algoritmo tem seu melhor desempenho em redes com um baixo BDP (*bandwidth-delay product*). O CUBIC teve um comportamento bem próximo do *New Reno* seguido do CTCP, o qual apresentou a maior variação.

Também foram feitos ensaios de forma a verificar o comportamento do CUBIC quando submetido a valores diferentes de RTT (*round trip time*). Foram escolhidos os valores de 2 ms, 100 ms, 200 ms e 300 ms para reproduzir valores obtidos comumente em redes locais, de longa distância e enlaces satelitais (dois últimos valores) respectivamente. O resultado é apresentado na Figura 3. Não houve diferença significativa quanto ao número e amplitude das variações entre 2 ms e 100 ms. O mesmo fenômeno quando comparados os gráficos para 200 ms e 300 ms. Quando se toma o *Goodput* médio para todo o período de ensaio (100 s) o índice de Jain obtido é de 0,99 (RTT 2ms), 0,99 (RTT 100 ms), 0,96 (RTT 200 ms) e 0,95 (RTT 300 ms). Isto reforça a afirmação de que a variação do RTT não tem impacto no CUBIC (ABDELJAOUAD; RACHIDI; FERNANDES; KARMOUCH, 2010).

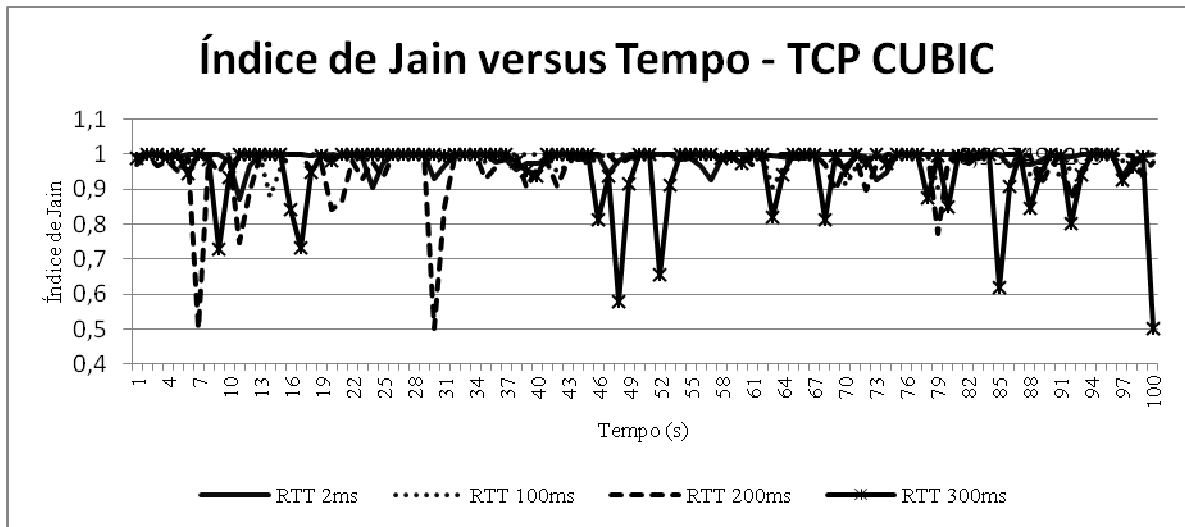


Figura 3 – Variação do índice de Jain no cenário intraprotocolo TCP CUBIC para diferentes valores de RTT ao longo do tempo de observação do experimento.

Já no cenário interprotocolo o CUBIC e o *New Reno* obtiveram um melhor índice de Jain do que a situação CUBIC versus CTCP. Para o primeiro caso o valor obtido para o tempo de 100s foi de 0,98 e o segundo foi de 0,92.

Mesmo variando o RTT a equidade CUBIC versus *New Reno* não é afetada. Nestes ensaios os valores do índice de Jain foram de aproximadamente 0,98 para os RTTs de 2ms, 100 ms e 200 ms.

Também foram avaliados o comportamento do *Goodput* para cada uma das variantes face a concorrência de um fluxo UDP em uma situação de alto congestionamento, onde a soma da vazão enviada por cada um dos fluxos estava 50% acima da capacidade do enlace de comunicação E1 entre os roteadores. O CUBIC e o *New Reno* apresentaram um menor número e amplitude de oscilações do que o CTCP, apresentando melhores resultados no quesito *smoothness*. É apresentado nas Figuras 4 e 5 os ensaios do CUBIC e CTCP face a concorrência de um fluxo UDP.

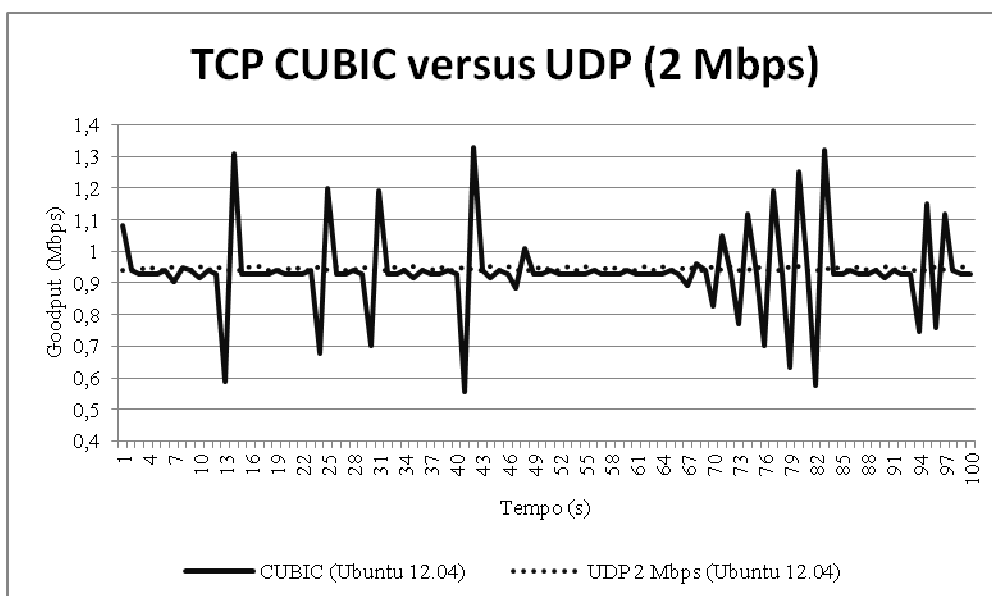


Figura 4 – *Goodput* do CUBIC face a uma fluxo UDP concorrente de 2 Mbps de vazão enviada

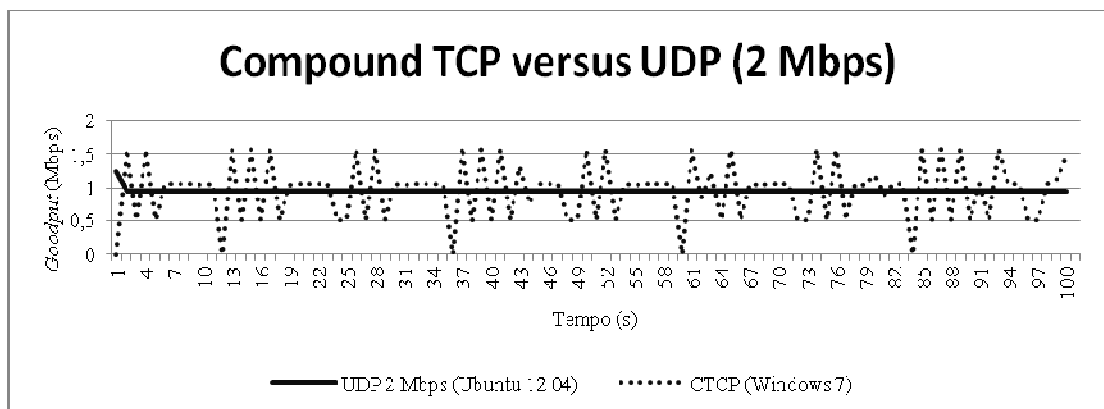


Figura 5 – Goodput do *Compound TCP* face a uma fluxo UDP concorrente de 2 Mbps de vazão enviada

6. CONCLUSÕES

Neste artigo avaliamos o desempenho das variantes do TCP denominadas CUBIC, *New Reno* e *Compound TCP*. O experimento em um *testbed* montado em laboratório mostrou que o CUBIC e *NewReno* apresentam melhor desempenho que o CTCP em termos de equidade, *goodput* e *smoothness* para redes com baixo BDP, como é o caso do *testbed*. Também foi demonstrado que o CUBIC não tem o seu desempenho afetado com o incremento do RTT.

Como trabalhos futuros pretende-se realizar novos experimentos com estas variantes em um *testbed* com alto BDP e com mais fluxos concorrentes e bidirecionais. Também pretende-se avaliar estas variantes em redes sem fio e em redes híbridas (parte cabeada, parte sem fio).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parcialmente financiado pela CAPES/Programa de Educação Tutorial/Engenharia Elétrica/IFPB.

REFERÊNCIAS

SALES, L. M.; ALMEIDA, H. O.; PERKUSICH A.; SILVA R.A.. **Distribuição de Conteúdo Multimídia em Tempo Real com Transporte de Fluxos controlados e Não Confiáveis entre Pares,** in *XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, Campo Grande, 2011.

SANDVINE INTELLIGENT BROADBAND NETWORKS. **Sandvine Intelligent Broadband Networks, "Global Internet Phenomena Report," 2010.** Disponível em: <<http://www.slate.com/id/2273314?nav=wp>>. Acesso em: 9 ago. 2012.

FLOYD, S.; HANDLEY, M.; KOHLER, E. **RFC 4336: Problem Statement for the datagram congestion control protocol (DCCP).** 2006. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4336> > Acesso em: 9 de ago. 2012.

PAPADIMITRIOU, D.; WELZL, M.; SCHARF, M.; BRISCOE, B. **RFC 6077: Open Research Issues in Internet Congestion Control.** 2011. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc6077>> Acesso em: 9 de ago, 2012.



ABDELJAOUAD, I.; RACHIDI, H.; FERNANDES, S.; KARMOUCH, A. **Performance Analysis of Modern TCP Variants: A Comparison of Cubic, Compound and NewReno.** *25th Biennial Symposium on Communications*, 2010.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer Networking: A Top-Down Approach**, 5th ed.: Addison Wesley, 2009.

MASCOLO S.; GRIECO, L. A. **Performance evaluation and comparison of Westwood+, New Reno and Vegas TCP congestion control.** *ACM Computer Communication Review*, vol. 34, n°. 2, 2004.

K TAN; Q ZHANG; M SRIDHARAN, **A Compound TCP Approach for High-speed and Long Distance Networks**, in *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, 2006.

MICHAEL WELZL, *Network Congestion Control: Managing Internet Traffic.*: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

SANGTAE HA; INJONG RHEE; LISONG, XU, **CUBIC: A NEW TCP-FRIENDLY HIGH-SPEED TCP VARIANT**, *ACM SIGOPS Operating Systems Review - Research and developments in the Linux kernel*, Volume 42 Issue 5, July 2008, Pages 64-74.

IPERF, THE TCP/UDP Bandwidth Tool, disponível no sítio: <dast.nlanr.net/projects/iperf>. Acesso em JUL, 2012.