

## Sobre medidas de desempenho da Internet para o uso em aplicações de redes

Antonio Augusto de Aragão Rocha<sup>1\*</sup>

Orientadores: Edmundo A. de Souza e Silva<sup>1</sup>

Rosa M. Meri Leão<sup>1</sup>

Co-orientador: Donald F. Towsley<sup>2</sup>

<sup>1</sup>COPPE/Prog. de Engenharia de Sistemas e Computação

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Brasil  
{arocha, rosam, edmundo}@land.ufrj.br

<sup>2</sup>Computer Science Department

University of Massachusetts (UMass-Amherst) – USA  
towsley@cs.umass.edu

**Palavras-chave:** avaliação de desempenho, medições em redes, aplicações peer-to-peer, atraso em um sentido, capacidade de transmissão, disponibilidade, tempo de download.

**Resumo.** *Este artigo apresenta as principais contribuições da tese de doutorado de Antonio Augusto de Aragão Rocha. O trabalho original trata do desenvolvimento de novas técnicas e avaliações de medidas de desempenho para o funcionamento adequado de algumas aplicações da Internet.*

### 1. Apresentação

A tese de doutorado apresentada em [Rocha, A.A.A. 2010] aborda problemas relacionados à elaboração de novas técnicas e avaliações de medidas de desempenho da Internet, fundamentais para o funcionamento adequado de algumas das mais populares aplicações utilizadas na rede atualmente. Este artigo relata, de forma resumida, as principais contribuições alcançadas no desenvolvimento da tese de doutorado, que foram realizados em duas etapas distintas. A primeira etapa ocorreu, exclusivamente, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob a orientação dos professores Rosa Maria Meri Leão e Edmundo A. de Souza e Silva. A segunda etapa teve início durante o período de estágio de doutoramento (doutorado sanduíche) do aluno, realizado na Universidade de Massachusetts-Amherst, sob a co-orientação do professor Donald F. Towsley, e se estendeu após o seu retorno ao Brasil. Durante a segunda etapa, o aluno integrou um grupo de pesquisa em aplicações *peer-to-peer* (P2P) daquela universidade e alguns dos trabalhos realizados pelo grupo tiveram participação ativa dos seus orientadores brasileiros.

O restante deste artigo encontra-se estruturados da seguinte forma. Na Seção 2 é apresentada uma visão geral sobre o tema abordado pela tese. A Seção 3 discorre sobre as motivações, objetivos e principais contribuições do trabalho desenvolvido. Por fim, na Seção 4 são listadas as principais publicações obtidas com as contribuições da tese.

### 2. Visão geral sobre o tema de tese

Os serviços mais populares da Internet deixaram de ser exclusivamente aqueles tradicionais, como correio eletrônico, Web, acesso remoto e transferência de arquivo. Os

---

\* Atualmente, professor adjunto do Instituto de Computação da UFF (arocha@ic.uff.br).

usuários, acessando à Internet com taxas de transmissão cada vez mais altas, estão agora interessados também em uma nova gama de serviços como voz sobre IP (VoIP), vídeo sob demanda ou em tempo real, aplicações P2P, jogos “on-line”, dentre outros. Ao contrário das aplicações tradicionais que são menos sensíveis ao atraso e mais intolerantes à perda de pacotes, alguns desses novos serviços possuem estreitos requisitos quanto ao desempenho da rede. Por exemplo, para que usuários do Skype possam utilizar o serviço de VoIP oferecidos por esta aplicação de forma satisfatória, a taxa de perda e o atraso dos pacotes dessas aplicações não podem ser muito altos. Do contrário, a qualidade do som e a interatividade da conversa serão insatisfatórias.

As aplicações P2P são, sem dúvida, as mais populares dentre todas da “nova geração”. Recentes estudos apresentados por [Schulze and Mochalski 2009] indicam que as aplicações P2P (tais como, BitTorrent, Emule, PPLive e Sopcast) são responsáveis por mais da metade do tráfego gerado atualmente na Internet.

As aplicações P2P revolucionaram o modelo de disseminação de conteúdo na Internet. Os sistemas P2P possuem diversas vantagens em relação ao modelo cliente/servidor e aparecem como principal opção para a distribuição de conteúdo digital que visam as melhorias de desempenho (por exemplo, menor tempo de download e maior disponibilidade), redução de custos para grandes servidores (como economia no consumo de banda) e aumento da escalabilidade. A tendência é que cada vez mais empresas de entretenimento como a CNN, Netflix e Globo utilizem soluções P2P que explorem a capacidade ociosa de seus clientes para auxiliar na disseminação do conteúdo pela Internet.

O princípio adotado no desenvolvimento da arquitetura da Internet foi de um modelo simples e descentralizado de conectividade “fim-a-fim”. Embora esse modelo de arquitetura tenha possibilitado o rápido crescimento da popularidade da Internet, essa característica resultou também em limitados serviços oferecidos pelo sistema às aplicações. Algumas dessas limitações são:

- As aplicações não são informadas pela rede a respeito das medidas de desempenho (por exemplo, atraso ou taxa de perda) no caminho entre as duas máquinas;
- As aplicações também não sabem detalhes sobre as características do caminho de rede até a máquina remota. Não têm conhecimento da capacidade de transmissão dos enlaces dos roteadores ao longo do caminho de rede, nem se a máquina remota está conectada à Internet por uma conexão de alta ou baixa capacidade de transmissão, ou mesmo se a largura de banda dos enlaces entre as estações finais satisfazem os requisitos daquela aplicação;
- O serviço oferecido não provê garantias de que os dados serão entregues ao destino ou que os pacotes das aplicações com maior restrição de desempenho terão prioridade.

### **2.1. Por que é importante medir o desempenho da rede?**

Em se tratando de sistemas distribuídos, o desempenho da rede é fundamental para a eficiência do funcionamento de algumas aplicações. Diferentes aplicações exigem distintos requisitos de desempenho da rede. Devido à inexistência na Internet de meios automáticos para garantir a reserva de recursos da rede, ou que ao menos forneçam informações sobre o desempenho da rede, realizar medições e analisar os resultados de desempenho obtidos são tarefas fundamentais para algumas aplicações, além de importante também para usuários e provedores.

### Algumas importantes medidas de desempenho da rede são:

- **Atraso em um sentido (ou unidirecional):** tempo que um pacote leva para percorrer um caminho de rede entre a origem e o destino;
- **Capacidade de transmissão:** taxa com que o dispositivo envia dados pela rede;
- **Tempo de download:** tempo necessário para receber por completo um determinado conteúdo (um arquivo, por exemplo);
- **Disponibilidade:** percentual de tempo que determinado serviço fica disponível em relação ao tempo total de observação.

### Exemplos práticos do uso de medidas por aplicações, usuários e provedores:

- **Adaptação automática às condições de desempenho da rede:** aplicações multimídia podem, por exemplo, estimar a capacidade de transmissão existente em um caminho de rede e ajustar as taxas de envio de dados ou alterar a codificação de áudio e vídeo de suas transmissões.
- **Escolha de rotas overlay:** Skype e outras aplicações P2P formam redes *overlays* e utilizam máquinas de seus usuários como retransmissores para encaminhar pacotes da aplicação, quando a comunicação direta entre as máquinas originais não é possível ou apresenta qualidade inferior. Como o atraso unidirecional é uma métrica fundamental para a eficiência da interatividade de aplicações VoIP, as escolhas das rotas *overlay* podem levar em consideração essa medida;
- **Criação e validação de modelos:** os resultados de medições são constantemente utilizados para auxiliar analistas na modelagem de sistemas;
- **Verificação de cumprimento dos acordos de serviços:** clientes podem utilizar ferramentas de medições para verificar o cumprimento, por parte dos provedores, dos acordos de serviços (e vice-versa, provedores podem monitorar clientes para conferir cumprimento de contratos);
- **Identificar e implementar soluções para problemas na rede:** é comum o uso de medições por parte dos provedores para identificar eventuais problemas ou pontos de falha na rede. Por exemplo, dispositivos sem-fio, operando a taxas de transmissão muito inferiores, podem comprometer a qualidade dos demais usuários da WLAN;
- **Reduzir custos:** medidas de desempenho como disponibilidade e tempo de *download* são de grande utilidade para provedores que usam os sistemas P2P para distribuição de seus conteúdos. Para conteúdos com alta disponibilidade, provedores podem reduzir seus custos (com diminuição do tráfego em seus enlaces) deixando a tarefa de disseminar o conteúdo por conta dos clientes do sistema P2P, sem afetar o tempo de *download* do usuário.

### 3. Motivações, objetivos e contribuições da tese

O desenvolvimento de técnicas de medições que permitam conhecer melhor as características da rede e a análise do desempenho de aplicações na Internet sob diferentes perspectivas são dois importantes tópicos de pesquisa, dentro da comunidade de redes na atualidade. Apenas através das medições é possível estimar as características de desempenho da rede. Embora algumas métricas sejam triviais de serem obtidas, outras medidas requerem algoritmos e/ou dispositivos sofisticados para serem estimadas. A análise experimental da operação das aplicações na Internet permite também compreender melhor o estado atual da rede e, possivelmente, melhorar o desempenho do serviço oferecido.

Os objetivos definidos para a tese foram: (i) desenvolver novas técnicas de medições para estimar algumas métricas de desempenho fundamentais para o funcionamento de aplicações em redes; (ii) analisar, por meio de medições em larga escala, o desempenho de aplicações para disseminação de conteúdo na Internet e identificar soluções eficientes para aumentar a disponibilidade do conteúdo e/ou reduzir o custo para os provedores, utilizando aplicação BitTorrent. Esses objetivos foram alcançados com três conjuntos de contribuições. Motivações e detalhes específicos de cada um desses conjuntos de contribuições são descritos a seguir.

### **3.1. Uma técnica de medição ativa não cooperativa para estimar a média e a variância da distribuição do atraso em um sentido na Internet**

Suponha que pacotes sejam gerados a partir máquinas fonte (e.g.,  $A$  e  $B$ ) para uma máquina alvo ( $D$ , por exemplo). Computar o atraso unidirecional experimentado pelos pacotes na rede não é trivial. A não ser que dispositivos específicos para sincronização de relógios como GPS sejam utilizados, os relógios de duas máquinas diferentes dificilmente possuem taxas de crescimento idênticas e, portanto, o cálculo do atraso unidirecional requer o uso de algoritmos sofisticados para um tratamento especial às diferenças existentes entre os relógios envolvidos na medição [Zhang et al. 2002]. O problema torna-se ainda mais complexo quando o analista não tem acesso à máquina remota ( $D$ , neste caso) [Chen et al. 2005]. Isso porque, sem acesso a esta máquina é impossível coletar informações sobre os instantes de chegada dos pacotes para computar o atraso. Portanto, um dos problemas tratados nesta tese aborda a seguinte questão: como estimar  $d_{AD}$  e  $d_{BD}$ , isto é, o atraso unidirecional sofrido por pacotes enviados a partir de máquinas fonte ( $A$  e  $B$ ) para uma máquina alvo ( $D$ ), sem privilégios de acesso à máquina alvo?

O primeiro conjunto de contribuições da tese está relacionado ao desenvolvimento de uma nova técnica de medição ativa que contorna ambos os problemas (falta de acesso e falta de sincronismo), permitindo que um analista estime a média e a variância da distribuição do atraso em um sentido. Para lidar com a falta de acesso à máquina remota, foram desenvolvidas duas versões para a técnica proposta. As versões se distinguem quanto ao pré-requisito para a geração das sondas; no entanto, após coletadas as sondas, os algoritmos aplicados são semelhantes. Uma primeira versão requer que o sistema operacional da máquina alvo implemente um contador global para os valores do campo IPID dos pacotes enviados (e.g., MS Windows). Quando a máquina alvo não possui um sistema operacional com IPID global, uma segunda versão da técnica pode ser utilizada. Neste caso, é necessário que ao menos uma das máquinas fonte envolvidas na medição seja capaz de transmitir pacotes com *spoofing* do endereço IP.

### **3.2. Proposta de uma técnica para estimar a taxa de transmissão de enlaces em uma rede local sem fio IEEE 802.11**

As redes locais sem fio (*WLANs*), baseadas nos padrões IEEE 802.11, têm se tornado uma das formas mais populares de acesso à Internet. As taxas de transmissão alcançadas pelos padrões 802.11a/b/g podem variar de valores relativamente altos (54Mbps) até valores significativamente muito baixos (1 ou 2Mbps), dependendo das características do meio de propagação. Quando o usuário de uma aplicação estiver acessando a Internet através de uma rede local sem fio, conhecer a taxa de transmissão na qual está operando o dispositivo pode auxiliar na qualidade do serviço oferecido pela aplicação ao usuário. Em serviços

de mídia contínua, por exemplo, a estimativa desta taxa pode ser utilizada para ajuste da taxa de transmissão do servidor para o cliente multimídia [Nichols et al. 2004].

O segundo conjunto de contribuições da tese refere-se ao desenvolvimento de uma técnica simples e acurada para estimar a taxa de transmissão (capacidade em bits por segundo) do enlace de acesso à Internet, quando este trata-se de uma rede local sem fio IEEE 802.11. A técnica consiste em uma extensão do método tradicional de pares de pacotes, adaptado para computar a dispersão dos pacotes decorrente da capacidade de transmissão do enlace da rede local. A técnica leva em consideração aspectos como o *overhead* causado pelo protocolo 802.11, a existência de tráfego concorrente, a possibilidade de enlaces de capacidade inferior ao longo do caminho de rede e a variação automática da taxa de transmissão do enlace sem fio.

### **3.3. Estudo de soluções para aumentar a disponibilidade e reduzir o custo na distribuição de conteúdo através de aplicações peer-to-peer na Internet**

O uso de sistemas P2P para disseminação de conteúdo tem algumas vantagens em comparação ao método mais tradicional utilizando uma aplicação cliente/servidor. Tais sistemas contam com a capacidade não utilizada dos clientes para possibilitar uma economia de banda do servidor, um tempo menor de download para o usuário e uma maior escalabilidade para a aplicação. No entanto, outras questões são inerentes a essa arquitetura: arquivos pouco populares têm problemas de indisponibilidade no sistema [Ramach et al. 2007] e a disseminação de conteúdos muito populares são extremamente custosos para servidores de conteúdo [Peterson and Siler 2009]. Experimentos realizados utilizando o BitTorrent nos levaram a duas descobertas no mínimo intrigantes a respeito da disseminação de conteúdo na Internet por meio de sistemas P2P. A primeira é que distribuir arquivos agrupados (por exemplo, todos os arquivos agrupados em um único ZIP ou em um ISO) pode aumentar significativamente a disponibilidade dos arquivos e até mesmo reduzir o tempo total de download de conteúdo. A segunda descoberta é a possibilidade de reduzir a (quase) zero o custo para disseminar conteúdos muito populares, isso sem afetar o desempenho (tempo de download) para o usuário.

O terceiro conjunto de contribuições da tese é: (i) uma análise, através de simulações do protocolo BitTorrent, sobre as implicações da popularidade de um conteúdo na sua disponibilidade, custo para disseminação e desempenho experimentado pelos usuários; (ii) avaliação experimental dos benefícios da prática de agrupamento de arquivos na disseminação de conteúdo, que comprovam a possibilidade de aumentar significativamente a disponibilidade e reduzir o tempo total de download do conteúdo se os arquivos forem distribuídos na forma agrupada; e, (iii) estudo de soluções para reduzir a (quase) zero os custos para disseminar um conteúdo através de sistemas P2P.

## **4. Resultados de publicações**

A técnica para estimar a média e a variância da distribuição do atraso em um único sentido, juntamente com um conjunto limitado dos resultados de simulação, foram publicados em [i]. Este trabalho foi premiado como melhor artigo do SBRC 2006. Uma versão ampliada deste artigo, que incluía resultados de experimentos reais e novos resultados de simulação, foi publicada em [ii]. O método proposto para estimar a taxa de transmissão de uma conexão de rede sem fio IEEE 802.11, com os primeiros resultados experimen-

tais, foram publicados em [iii]. Uma versão estendida incluindo os demais resultados experimentais foi apresentada em [iv].

A análise sobre as implicações da popularidade do conteúdo na disponibilidade entre os usuários, custo de disseminação e desempenho são parte do trabalho publicado em [v]. Uma versão estendida deste trabalho foi apresentada em [vi]. Os resultados de experimentos que comprovam o aumento da disponibilidade e a redução no tempo de *download* de conteúdos disseminados de forma agrupada foram publicados em [viii]. Este artigo foi eleito o melhor artigo da conferência e, por isso, uma versão estendida dele será publicada no IEEE/ACM Transactions on Networking. A análise dos custos da distribuição de conteúdo em função da sua popularidade, assim como a observação da possibilidade do uso de soluções que possibilitem a redução do consumo de banda de provedores para a distribuição de conteúdo via sistemas P2P, foi publicada em [ix].

### Principais artigos publicados:

- [i] “Estimando a média e variância do atraso em um sentido utilizando o IPID da máquina remota”, SBC/SBRC 2006
- [ii] “A non-cooperative active measurement technique for estimating the average and variance of the one-way delay”, IFIP/Networking 2007
- [iii] “Estimando a taxa de transmissão de redes de acesso sem fio através de medições fim-a-fim na Internet”, SBC/WPerformance 2006
- [iv] “An End-to-End Technique to Estimate the Transmission Rate of an IEEE 802.11 WLAN”, IEEE/ICC 2007
- [v] “Modeling content availability in peer-to-peer swarming systems”, ACM/Performance Evaluation Review 2009
- [vi] “Estimating self-sustainability in peer-to-peer swarming systems”, Elsevier/Performance Evaluation 2010
- [vii] “Modeling chunk availability in P2P swarming systems”, ACM/Performance Evaluation Review 2009
- [viii] “Content availability and bundling in swarming systems”, ACM/CoNEXT 2009 (Versão estendida a ser publicada no IEEE/ACM Transactions on Networking)
- [ix] “On P2P System for Enterprise Content Delivery”, SBC/SBRC 2009

### Referências

- Chen, W., Huang, Y., Ribeiro, B., Suh, K., Zhang, H., de Souza e Silva, E., Kurose, J., and Towsley, D. (2005). Exploiting the IPID Field to Infer Network Path and End-System Characteristics. In *Passive and Active Measurement (PAM)*, pages 108–120, Boston, MA, USA.
- Nichols, J., Claypool, M., Kinicki, R., and Li, M. (2004). Measurements of the Congestion Responsiveness of Windows Streaming Media. In *International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*, pages 189–202, Cork, Irlanda.
- Peterson, R. and Sirer, E. (2009). Antfarm: efficient content distribution with managed swarms. In *USENIX symposium on Networked systems design and implementation*, pages 107–122, Boston, MA, USA.
- Ramach, A., Sarma, A. D., and Feamster, N. (2007). BitStore: An Incentive-Compatible Solution for Blocked Downloads in BitTorrent. In *Workshop on The Economics of Networked Systems and Incentive-Based Computing*, pages 29–36, San Diego, CA, USA.
- Rocha, A.A.A. (2010). *Sobre medidas de desempenho da Internet para o uso em aplicações de redes*. PhD thesis, COPPE/Prog. de Engenharia de Sistemas e Computação - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Schulze, H. and Mochalski, K. (2009). Internet Study 2008/2009. Technical report, Ipoque. [http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2008\\_2009](http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2008_2009).
- Zhang, L., Liu, Z., and Xia, C. (2002). Clock Synchronization Algorithms for Network Measurements. In *IEEE/Infocom*, pages 160–169, New York, USA.