

Análise de Uso e Mobilidade em uma Rede sem Fio Urbana de Larga Escala

Fernanda Vilas Boas Fuscaldi¹, Cristina Duarte Murta¹

¹Departamento de Computação — CEFET-MG
Belo Horizonte, MG

crisrina@decom.cefetmg.br

Resumo. *Redes sem fio de larga escala estão sendo implantadas em grandes áreas urbanas. Este artigo apresenta uma análise do uso de uma rede sem fio urbana de larga escala e acesso público e gratuito, implantada na cidade de Montreal, Canadá. Os dados de acesso à rede foram coletados continuamente, durante um período de três anos. Os aspectos analisados incluem a evolução do uso da rede, caracterização de tráfego, perfis de usuários e padrões de mobilidade. Os resultados são importantes para o planejamento de redes sem fio urbanas de larga escala, bem como para a geração de modelos de carga para experimentos e simulação.*

Abstract. *Wireless networks have being widely deployed in large urban areas. This paper presents an analysis of usage data collected of a large-scale free public access wireless network deployed in the city of Montreal, Canada. The network access data were collected continuously for a period of three years. Some aspects discussed include the evolution of the network usage, traffic characterization, user profiles and mobility patterns. These results are important for the planning of large-scale wireless networks, as well as for the generation of accurate workload models for experiments and simulation.*

1. Introdução

Redes sem fio urbanas de larga escala e acesso gratuito estão pouco a pouco tornando-se realidade nos grandes centros. Encontradas frequentemente em instituições, empresas e escolas, as redes sem fio estão surgindo em grandes áreas públicas, tendo como foco uma região geográfica maior, como o centro de uma grande cidade. Montreal, San Francisco, New York, Adelaide, Orlando e Austin são exemplos de cidades que já implantaram redes sem fio extensas. Projetos similares estão sendo implantados em cidades brasileiras como, por exemplo, em Belo Horizonte [BH Digital 2009].

Mobilidade e flexibilidade são duas características inerentes às redes sem fio. Em conjunto com dispositivos de mão que permitem conexão à Internet, estas redes contribuem para facilitar o acesso a Internet a partir de qualquer lugar. A possibilidade de acessar aplicações e serviços na Web independentemente do tipo de rede de acesso e da mobilidade do usuário encontra desafios tais como heterogeneidade dos dispositivos de acesso, ambientes híbridos, problemas de desempenho, além de questões econômicas relacionadas a tarifação e contabilização de uso.

A caracterização do uso, da mobilidade e da experiência do usuário provê informações importantes para o projeto e o dimensionamento das redes, bem como para

a análise e previsão de desempenho de programas e aplicações destinadas a ambientes móveis. Além disso, a caracterização e análise dos dados são fundamentais para a geração de modelos que podem ser usados em ferramentas de simulação que incluem modelos de mobilidade, resultando em redes sem fio mais confiáveis.

Diversos estudos têm sido publicados descrevendo características de acesso e de uso de redes sem fio públicas e privadas. No entanto, a maioria dos estudos trata de redes em ambientes relativamente pequenos, como residências [Papagiannaki et al. 2006], centros de pesquisa [Balazinska and Castro 2003, Tang and Baker 2000] ou ambientes acadêmicos limitados a um campus [Campos and Papadopoull 2005]. Caracterizações de redes maiores são recentes [Brik et al. 2008, Afanasyev et al. 2008]. Independentemente do alcance da rede, todos estes trabalhos apresentam o estudo da rede em um período curto, o que não permite a análise da evolução do uso da rede.

Este artigo apresenta uma caracterização e análise do tráfego e do uso da rede sem fio denominada *Île Sans Fil* [Île Sans Fil 2008], implantada na cidade de Montreal, Canadá. O objetivo deste trabalho é investigar o tráfego e o uso de uma rede sem fio em uma grande área urbana. Dados de uso da rede foram coletados de forma contínua durante um período de três anos, o que permite um estudo da evolução do uso da rede neste período. Este artigo se distingue dos demais pelo fato de analisar a evolução do uso de uma rede grande, urbana, de acesso público e gratuito, em período longo. Quanto ao nosso conhecimento, este é o primeiro artigo que analisa o uso de uma rede com estas características.

A disponibilidade de informações sobre o uso de uma rede grande, comunitária e de acesso gratuito, durante um tempo tão longo é uma oportunidade ímpar para um estudo de evolução do uso do sistema. Entre as questões de interesse estão como e quando as pessoas usam a rede, qual foi o crescimento do número de usuários e do tráfego na rede no período, quais são as principais características da mobilidade dos usuários e a distribuição da carga nos pontos de acesso.

As principais conclusões do artigo são as seguintes. A maior parte dos usuários utilizou a rede apenas uma vez. No entanto, observa-se uma fração significativa de usuários muito frequentes e com alta mobilidade. A distribuição da carga na rede é desigual, uma fração pequena de pontos de acesso responde pela maior parte da carga. O crescimento do número de usuários e do número de acessos foi expressivo durante o período. No entanto, não houve aumento na duração da sessão. Os usuários utilizam a rede predominantemente no período diurno.

O conhecimento resultante deste trabalho pode ser aplicado no planejamento e dimensionamento de outras redes sem fio de porte similar, e em pesquisa na área de redes sem fio. Por exemplo, a caracterização da diversidade dos usuários em termos de uso da rede e da mobilidade oferece oportunidades para novas propostas de escalonamento e comunicações oportunistas.

Este artigo está organizado em cinco seções. A Seção seguinte discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a descrição da rede e da informação disponível para análise. A Seção 4 apresenta os resultados e a Seção 5 conclui o trabalho.

Tabela 1. Algumas redes sem fio analisadas na literatura

Rede	Hotspots	Período	Cobertura	Uso	Ambiente
RoofNet	38	horas	6 km ²	teste	urbano
UNC	232	2 meses	3 km ²	não comercial	campus
TFA@Rice	18	minutos	4 km ²	não comercial	urbano
MadMesh	224	2 semanas	26 km ²	comercial	urbano
Google WiFi	500	28 dias	31 km ²	misto	urbano
Île Sans Fil (este artigo)	206	3 anos	16 km ²	não comercial	urbano

2. Trabalhos Relacionados

Há numerosos trabalhos relacionados à caracterização e análise de redes sem fio. A Tabela 1 compara algumas redes analisadas na literatura. A rede experimental RoofNet [Aguayo et al. 2004] instalada pelo MIT na cidade de Cambridge, MA, foi objeto de um experimento cujo objetivo foi analisar padrões de perdas de pacotes, em particular, investigar a importância relativa das perdas e das interações entre perdas no desempenho geral da rede, e suas implicações no projeto de protocolos de roteamento.

Uma análise de mobilidade e padrões de acesso observados na rede sem fio UNC instalada em um campus é apresentada em [Campos and Papadopoull 2005]. O artigo propõe também uma metodologia para caracterizar acessos a redes sem fio baseadas em visitas e sessões. Os resultados são fortemente associados aos horários das atividades na instituição e à disposição e distância entre os prédios do campus. A relação entre maior mobilidade e menor duração da visita a um *site* do campus é apontada no artigo.

Redes maiores são analisadas em artigos mais recentes [Camp et al. 2006, Brik et al. 2008, Afanasyev et al. 2008]. O primeiro artigo [Camp et al. 2006] analisa a rede urbana TFA@Rice implantada na cidade de Houston, TX, particularmente em relação ao ambiente de propagação, perdas e *throughput*. A análise dos experimentos indica que o conhecimento detalhado do ambiente de propagação e da relação entre o sinal e o *throughput* são críticos para a implantação da rede. A rede comercial MadMesh, descrita em [Brik et al. 2008], está instalada na cidade de Madison, WI. Os objetivos daquele estudo foram analisar a eficácia das estratégias de implantação da rede, a experiência do usuário em relação ao desempenho observado e as características de uso da rede. A rede Google WiFi, discutida em [Afanasyev et al. 2008], está instalada na cidade de Mountain View, CA, e é uma rede de uso misto (comercial e não comercial) com taxa de transmissão limitada a 1Mb/s para clientes individuais. Os objetivos daquele estudo foram caracterizar o acesso temporal dos usuários, suas demandas de tráfego e sua mobilidade na rede. Três tipos de usuários foram identificados, e cada tipo apresentou características distintas em relação aos aspectos estudados.

Modelos de mobilidade tem grande efeito nos resultados de simulação e podem afetar de forma significativa os resultados de estudos de desempenho da rede [Hong et al. 2001]. Uma proposta para caracterização da mobilidade é apresentada em [Campos and de Moraes 2007]. Uma análise da trajetória de cem mil usuários de telefone celular é feita em [Gonzalez et al. 2008]. As conclusões indicam que as trajetórias humanas apresentam alto grau de correlação temporal e espacial e seguem padrões simples e de fácil reprodução.

3. Descrição da Rede e Informação Coletada

Île Sans Fil [Île Sans Fil 2008] é uma organização sem fins lucrativos que oferece em Montreal, Canadá, acesso gratuito à Internet para a comunidade via rede Wi-Fi (padrão IEEE 802.11). Os objetivos da organização são oferecer recursos tecnológicos para as pessoas, promover o trabalho comunitário, além de fortalecer a comunidade local. Em 2007, a organização tornou disponível para a comunidade acadêmica os registros de acesso à rede feitos em um período de três anos, de 2004 a 2007 [CRAWDAD 2008]. A Tabela 2 apresenta os principais números da rede: dados de acesso foram coletados durante exatos 1096 dias, iniciados em 27 de agosto de 2004 e finalizados em 27 de agosto de 2007. Neste período, todos os acessos feitos foram registrados. Quase setenta mil usuários distintos utilizaram a rede no período, realizando mais de 580.000 sessões por meio de 206 pontos de acesso.

Tabela 2. Números Coletados da Rede

Número de sessões	587.780
Usuários únicos	69.689
Número de estações	206
Placas de rede	43.791
Número de dias	1.096

Os dados foram coletados por um software projetado e implementado para auxiliar a operação da rede, denominado WifiDog [Île Sans Fil 2008]. Embora o acesso seja gratuito, os usuários devem registrar-se para acessar a rede. Os dados coletados pelo WifiDog foram registrados por sessão do usuário, definida como o tempo entre o início e o fim da conexão. Cada sessão recebeu um número de identificação, seguido da identificação do usuário, identificação do ponto de acesso (*hotspot*), identificação da placa de rede (*MAC address*), dia e hora de início da sessão, dia e hora de fim da sessão, número de bytes recebidos e número de bytes enviados. Os dados relativos ao usuário, endereço de rede, identificação da conexão e do ponto de acesso foram anonimizados [CRAWDAD 2008]. Os campos de cada registro são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Definição dos Dados Coletados

Campo	Significado
conn_id	Identificação da conexão
timestamp_in	Tempo de início da sessão
node_id	Identificação do ponto de acesso
timestamp_out	Tempo de fim da sessão
user_id	Identificação do usuário
user_mac	Endereço MAC
incoming	Quantidade de dados recebida (Bytes)
outgoing	Quantidade de dados transferida (Bytes)

Um mapa dos pontos de acesso é apresentado na Figura 1. Cada balão representa um ponto de acesso à rede. As setas internas indicam se o ponto de acesso estava operacional (seta para cima) ou não, no momento da captura da imagem. A rede cobre uma área

de 16 km², com pontos de acesso agrupados em uma linha de 8 km na direção norte-sul e 5 km na direção leste-oeste [Crow and Miller 2008].



Figura 1. Localização dos pontos de acesso da rede na cidade de Montreal [Île Sans Fil 2008].

4. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados da caracterização e análise dos registros de acesso à rede Île Sans Fil durante o período de três anos. Inicialmente, o crescimento do uso da rede no período é analisado. A seguir, é apresentada a caracterização das sessões realizadas pelos usuários no período, incluindo o número e a duração das sessões, bem como o tráfego gerado. O perfil do usuário, incluindo a caracterização de mobilidade, é descrito na última subseção.

4.1. Crescimento da Rede no Período

A Figura 2 apresenta dados do crescimento do uso da rede ao longo do período de 1096 dias. O gráfico à esquerda indica o registro de novos usuários. O gráfico no centro da Figura indica o crescimento do número de sessões registradas por dia. O crescimento do número de novos usuários e de sessões no período pode ser modelado por uma função quadrática. O gráfico à direita apresenta a data da primeira ocorrência de cada ponto de acesso nos registros. Este gráfico indica que a infraestrutura da rede também cresceu no período e o crescimento foi linear em relação ao tempo: ao final do primeiro ano havia cerca de 70 pontos de acesso, número que chegou a 140 ao final do segundo ano e 206 ao completar o terceiro ano.

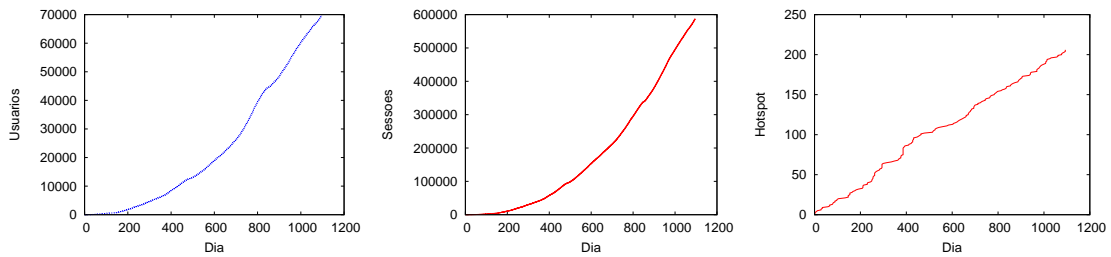


Figura 2. Crescimento do número de usuários, sessões e pontos de acesso ao longo do período.

4.2. Uso da Rede no Período

A seguir analisamos a duração das sessões e a quantidade de bytes transferida em todas as sessões ocorridas no período. A Figura 3 apresenta as curvas PDF e CDF da duração das sessões. Observa-se que 50% das sessões tem duração inferior a 35 minutos e 90% das sessões tem duração inferior a duas horas e 42 minutos. No entanto, há sessões com duração de mais de vinte horas.

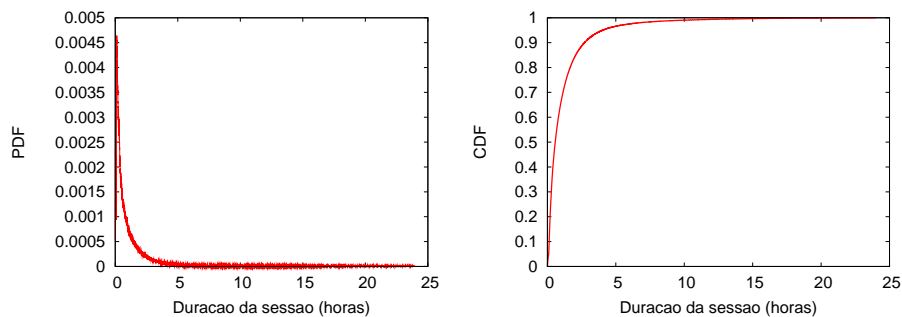


Figura 3. Duração da sessão.

A Figura 4 apresenta os resultados do tráfego gerado pelas sessões. O gráfico à esquerda da Figura apresenta as curvas de frequência acumulada da quantidade de bytes recebida e enviada em cada sessão. Os dados indicam que a quantidade de bytes enviada é inferior à quantidade de bytes recebida em cada sessão, em média. A relação entre a duração da sessão e a quantidade de bytes recebida pode ser analisada no gráfico à direita da mesma Figura. Os pontos apresentam uma correlação no limite inferior do conjunto, indicando que quantidades maiores de bytes são transmitidas em sessões mais longas. No entanto, observamos também que sessões curtas podem transmitir quantidades significativas de dados (em bytes). Um padrão similar foi observado em [Afanasyev et al. 2008].

A Figura 5 apresenta dados do crescimento do uso da rede ao longo dos três anos de acesso. O gráfico à esquerda apresenta o número de sessões registrado a cada dia. Há três quedas significativas no número de sessões, próximas aos dias 120, 485 e 850, que correspondem ao dia de Natal de cada ano. O gráfico no centro apresenta dados do número médio de bytes recebidos por sessão, para todas as sessões de um dia. O gráfico à direita apresenta a duração média das sessões, obtendo-se a média para todas as sessões de um dia. Os gráficos indicam um crescimento expressivo do uso da rede no período quanto ao número de sessões e bytes transmitidos por sessão, mas não na duração da sessão. O número de sessões por dia aumentou de cerca de 100 no primeiro ano para

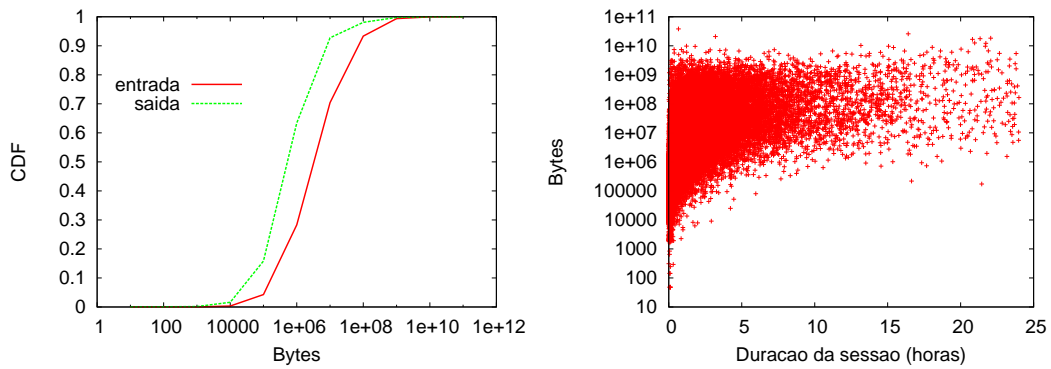


Figura 4. Quantidade de bytes recebida e enviada por sessão (esq.) e bytes transferidos em função da duração da sessão (dir.).

1000 sessões por dia no terceiro ano. O número de bytes recebidos em média por sessão passou de unidades de megabytes para centenas de megabytes. A duração média da sessão manteve-se praticamente estável no período, em torno de 4246 segundos, i.e., uma hora e dez minutos.

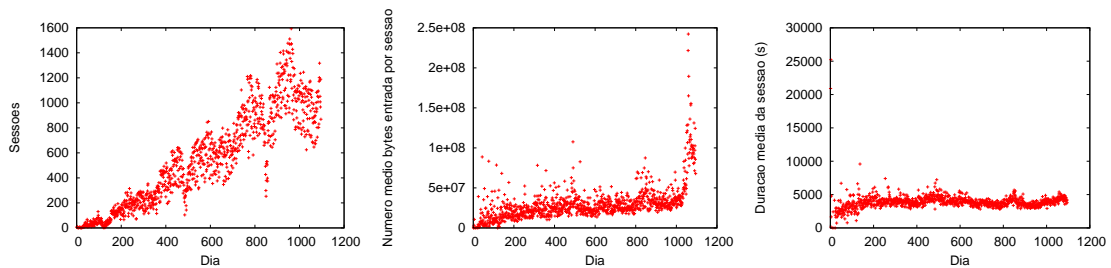


Figura 5. Evolução do acesso à rede ao longo do período.

A Figura 6 apresenta o número de usuários ativos a cada hora do dia, ao longo de um período de vinte e oito dias escolhido aleatoriamente. Observamos um padrão de acesso relacionado à hora do dia, com maior atividade para o período diurno. Há também um padrão semanal, com menor acesso nos fins de semana. O uso da rede ao longo do dia é apresentado na Figura 7. Observamos que a maior parte dos acessos é feita nos horários diurnos, com pico em torno das 15 horas (horário local).

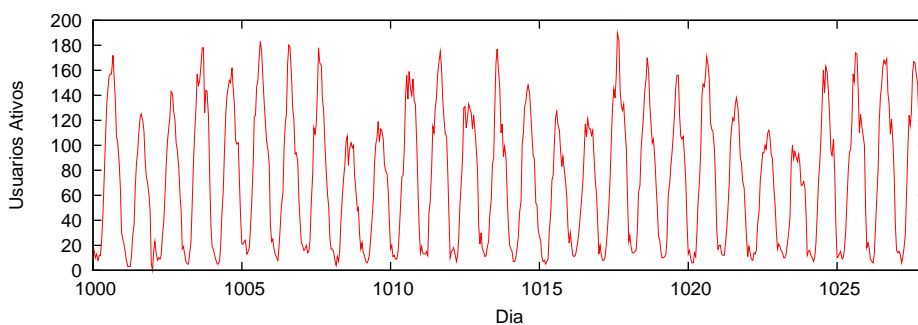


Figura 6. Número de usuários ativos ao longo de 28 dias.

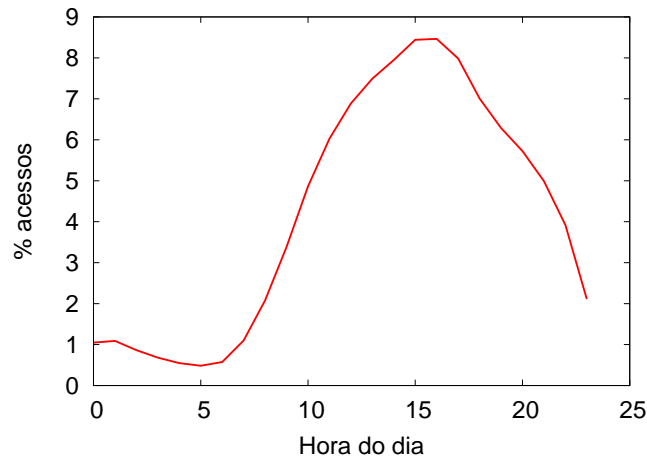


Figura 7. Frequência média de acesso por hora do dia.

4.3. Perfil do Uso da Rede por Usuário e Mobilidade

Esta seção focaliza o perfil dos usuários quanto ao uso da rede e sua mobilidade. O perfil de uso refere-se à frequência de acesso à rede no período analisado. A mobilidade é analisada relacionando a sessão do usuário ao ponto de acesso registrado para cada sessão feita.

A Figura 8 apresenta dois gráficos. O gráfico à esquerda mostra a curva CDF do número de sessões realizadas por usuário. Observamos que a maioria dos usuários (63%) utilizou a rede somente uma vez (*one-time users*). Este é um valor alto comparado com outros estudos. Por exemplo, na rede Google WiFi, 35% dos usuários fizeram apenas uma conexão ao sistema [Afanasyev et al. 2008]. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que a rede Google WiFi é uma rede com apelo comercial, o que indica interesses diferentes por parte dos usuários quanto ao uso da rede. A rede *Île Sans Fil* é uma rede de acesso público e gratuito, para a população em geral. Além disso, o intervalo de tempo analisado no nosso caso é muito maior (vide Tabela 1) e entendemos que o número de *one-time users* aumenta com o tempo de coleta de dados, para sistemas em implantação, como é o caso destas duas redes. Ainda no mesmo gráfico (à esquerda da Figura 8) observamos que uma pequena fração de usuários utiliza intensamente a rede. O eixo x está em escala logarítmica.

O gráfico à direita da Figura 8 apresenta a curva CDF do número de pontos de acesso utilizado pelos usuários em suas sessões. Além dos 63% de usuários que utilizaram a rede apenas uma vez e, portanto, utilizaram somente um ponto de acesso, 20% dos usuários utilizaram a rede mais de uma vez mas sempre a partir do mesmo ponto de acesso. Portanto, 11.311 usuários (17%) utilizaram mais de um ponto de acesso e estes são os usuários móveis, do ponto de vista deste estudo.

A relação entre o número de sessões realizadas pelos usuários móveis e o número de pontos de acesso utilizados para estas sessões é mostrada na Figura 9. O gráfico indica que há usuários muito frequentes que utilizam poucos pontos de acesso, dois a cinco, por exemplo, e há usuários frequentes que utilizaram muitos pontos de acesso.

A mobilidade de alguns usuários é representada na Figura 10. A mobilidade é

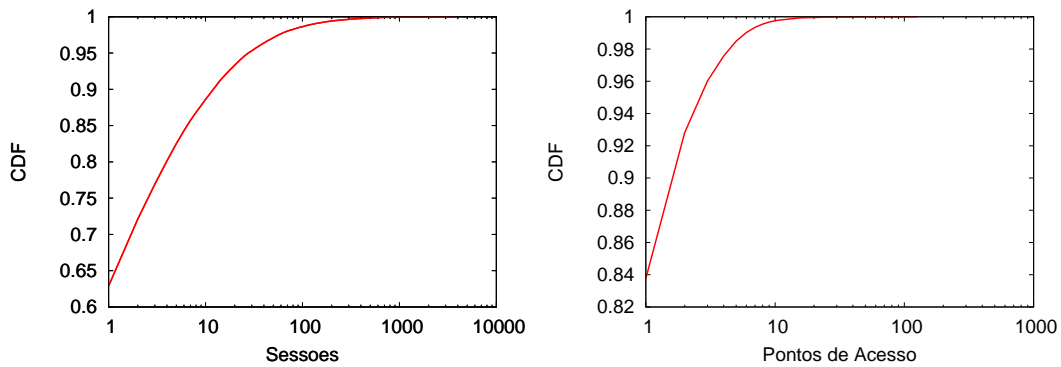


Figura 8. Número de sessões por usuário (esq.) e número de pontos de acesso utilizados por usuário (dir.) durante o período analisado.

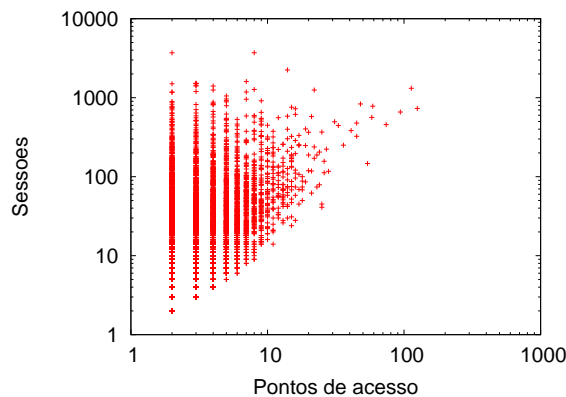


Figura 9. Número de sessões e pontos de acesso utilizados por usuários frequentes.

analisada em termos da realização de sessões consecutivas no mesmo ponto de acesso ou em um ponto de acesso distinto. Entre os usuários móveis, selecionamos os 5% que apresentaram maior mobilidade e analisamos a frequência de mudança de ponto de acesso para sessões consecutivas. A análise indica que 54% dos acessos destes usuários foi feito no mesmo ponto de acesso da sessão anterior, e em 46% dos casos os acessos foram feitos a partir de um ponto de acesso diferente.

Para avaliar a carga nos pontos de acesso, contamos a frequência de acessos em cada ponto de acesso, que é mostrada no gráfico à esquerda da Figura 11. O gráfico à direita da mesma Figura apresenta a frequência acumulada, considerando os pontos de acesso ordenados do mais utilizado para o menos utilizado. Observamos que 20 pontos de acesso (aproximadamente 10%) são responsáveis por 50% do uso da rede, e 85 (cerca de 41%) recebem 90% da carga.

5. Conclusões

Este artigo apresentou uma caracterização do acesso à rede sem fio *Île Sans Fil*, considerada a melhor rede sem fio canadense em vários aspectos [Crow and Miller 2008]. Todos os dados coletados foram analisados. A rede tem foco comunitário e isso parece refletir no seu uso, sendo, portanto, difícil comparar os resultados com outras análises de redes sem fio instaladas em universidades e instituições ou redes comerciais. No entanto, é razoável

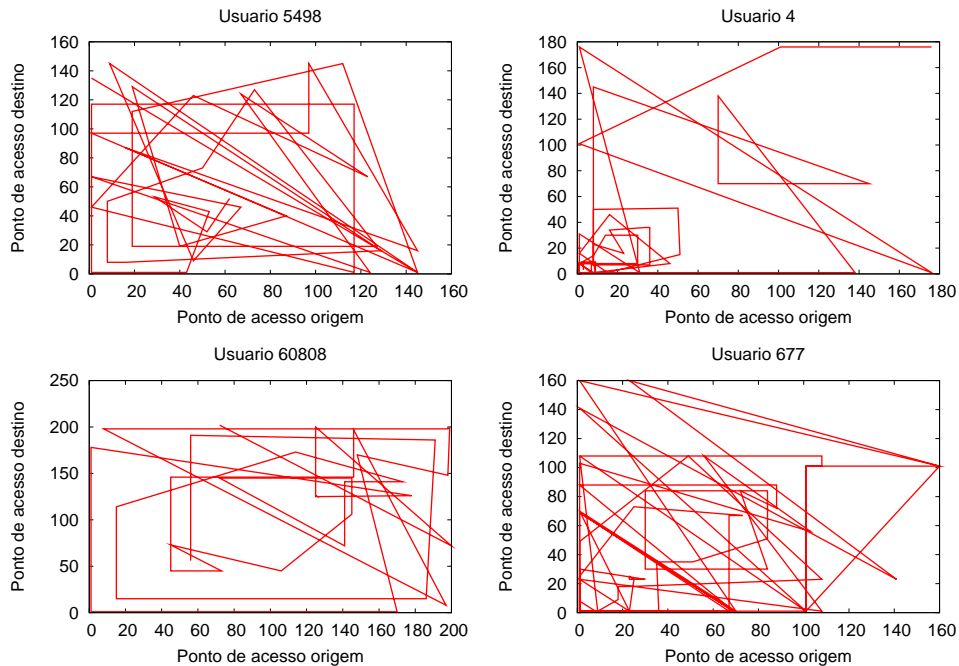


Figura 10. Mobilidade de alguns usuários: linhas representam sessões consecutivas feitas a partir de pontos de acesso diferentes.

esperar que redes sem fio com este foco sejam implantadas amplamente em várias cidades do mundo. Neste sentido, este artigo contribui com informações importantes para o projeto e o dimensionamento de redes similares. Além disso, as informações podem ser utilizadas em simulações e análises de desempenho. A análise da mobilidade a partir da localização física de cada ponto de acesso e das distâncias entre eles é uma possibilidade de trabalho futuro com o objetivo de propor um modelo de mobilidade a partir dos dados reais coletados.

Agradecimentos

Agradecemos às equipes do CRAWDAD e da *Île Sans Fil* por tornarem disponíveis os dados de acesso à rede, sem os quais este trabalho não seria possível. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pela FAPEMIG.

Referências

- Afanasyev, M., Chen, T., Voelker, G. M., and Snoeren, A. C. (2008). Analysis of a Mixed-Use Urban WiFi Network: When Metropolitan becomes Neapolitan. In *Internet Measurement Conference*, San Diego, USA.
- Aguayo, D., Bicket, J., Sanjit Biswas, G. J., and Morris, R. (2004). Link-level Measurements from an 802.11b Mesh Network. In *ACM SIGCOMM*.
- Balazinska, M. and Castro, P. (2003). Characterizing Mobility and Network Usage in a Corporate Wireless Local-Area Network. In *1st International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys)*, San Francisco, CA.
- BH Digital (2009). BH Digital. <http://blog.mg.gov.br/bh-digital-implanta-espacos-gratuitos-de-acesso-a-internet>.

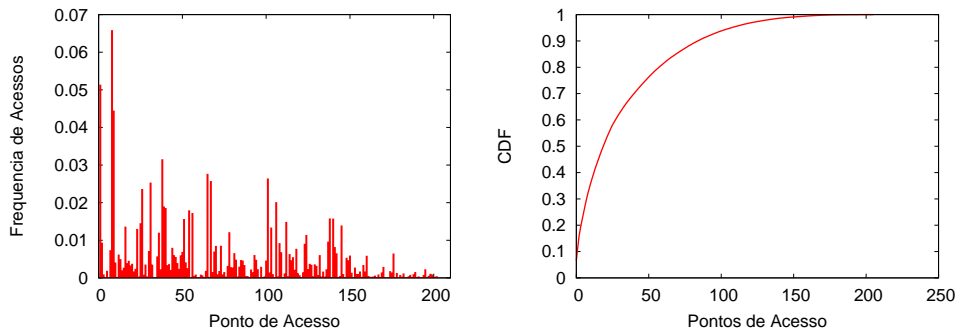


Figura 11. Frequência de uso de cada ponto de acesso (esq.) e frequência acumulada do uso dos pontos de acesso (dir.)

- Brik, V., Rayanchu, S., Saha, S., Sen, S., Shrivastava, V., and Banerjee, S. (2008). A Measurement Study of a Commercial-grade Urban WiFi Mesh. In *Internet Measurement Conference*, Madison, USA.
- Camp, J., Robinson, J., Steger, C., and Knightly, E. (2006). Measurement driven deployment of two-tier urban mesh access network. In *ACM MobiSys*.
- Campos, C. A. V. and de Moraes, L. F. M. (2007). Uma Proposta de Caracterização da Mobilidade de Usuários Sem Fio Através de Medição Real. In *XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*.
- Campos, F. H. and Papadopoull, M. (2005). A Comparative Measurement Study of the Workload of Wireless Access Points in Campus Networks. In *IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, volume 3, pages 1776–1780.
- CRAWDAD (2008). Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth. <http://crawdad.cs.dartmouth.edu>.
- Crow, B. and Miller, T. (2008). Community Wireless Infrastructure Research Project: Île Sans Fil Case Study Map. <http://www.cwirp.org/>.
- Gonzalez, M., Hidalgo, C., and Barabasi, A.-L. (2008). Understanding Individual Human Mobility Patterns. *Nature*, pages 779–782.
- Hong, X., Kwon, T. J., Gerla, M., Gu, D. L., and Pei, G. (2001). A Mobility Framework for Ad Hoc Wireless Networks. In *MDM '01: Proceedings of the Second International Conference on Mobile Data Management*, pages 185–196, London, UK. Springer-Verlag.
- Île Sans Fil (2008). <http://www.ilesansfil.org>.
- Papagiannaki, K., Yarvis, M., and Conner, S. W. (2006). Experimental Characterization of Home Wireless Networks and Design Implications. In *Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Barcelona, Spain.
- Tang, D. and Baker, M. (2000). Analysis of a Local-area Wireless Network. In *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 1–10, New York, NY, USA. ACM.