

# Uma Rede WiFi Aberta de Larga Escala como Infraestrutura para Cidades Inteligentes

Juliano Ratusznei, Waleska Silva, Nilton Pinheiro, Raul Melo, Carlos Kamienski

Universidade Federal do ABC (UFABC) – Santo André, SP – Brasil

{juliano.r, waleska.silva, cak,}@ufabc.edu.br  
{nilton.pinheiro, raul.melo}@aluno.ufabc.edu.br

**Resumo.** *Cidades Inteligentes necessitam de uma infraestrutura complexa para oferecer serviços aos cidadãos e conectividade à Internet com níveis adequados de qualidade de acesso, disponibilidade e desempenho. A prefeitura de São Paulo iniciou em 2014 a implantação de serviço WiFi com acesso livre em praças distribuídas em diferentes regiões da cidade. Este artigo analisa dados provenientes das empresas operadoras do serviço e do SIMET Box instalado em cada praça. Os resultados iniciais mostram que embora o planejamento esteja atingindo níveis adequados de serviço, existem vários aprimoramentos que devem ser realizados para garantir um serviço com qualidade e se tornar a base de uma cidade inteligente.*

**Abstract.** *Smart cities need a complex infrastructure for providing services to their citizens and the most underlying one is connectivity to the Internet with adequate levels of access, availability and performance. The municipality of São Paulo started in 2014 the deployment of a free WiFi service in plazas distributed over different city regions. This paper analyzes data coming from service providers and SIMET Box installed in each plaza. Initial results show that on the one hand planning is resulting in adequate service levels in some situations, but on the other hand improvements must be made for guaranteeing adequate service levels for becoming the foundation for a smart city.*

## 1 Introdução

Sociedades inteligentes em todo o mundo precisam encontrar soluções para as principais tendências que irão mudar o mundo e o modo como vivemos nas próximas décadas. Uma solução importante é o acesso livre à Internet. Diversas cidades do mundo já estão adotando políticas de abertura de sinal de rede sem fio para acesso à Internet, principalmente pelo uso da tecnologia Wi-Fi, possuindo variações quanto a área de cobertura.

Em 2014 a Prefeitura de São Paulo iniciou a implantação do programa WiFi Livre SP<sup>1</sup>, desenvolvido com o objetivo de tornar a Internet mais acessível ao cidadão, disponibilizando sinal WiFi gratuito em praças, parques e outros locais públicos. O programa WiFi Livre SP prevê implantar 120 praças digitais, das quais em novembro de 2014, o website do programa contabilizava 80 em operação, 19 em implantação e 21 em projeto, atendendo todos os 96 distritos da Capital. Nestas praças digitais, o acesso é irrestrito e gratuito a qualquer cidadão, que pode fazer uso da rede por meio de diferentes dispositivos.

---

<sup>1</sup> <http://wifilivre.sp.gov.br>

Para que a política pública de abertura de sinal seja bem sucedida, é essencial que estudos sejam realizados para monitorar a qualidade do serviço e a utilização dos cidadãos. Os estudos precisam se aprofundar nos efeitos da Internet na vida dos cidadãos atendidos pela política de abertura de sinal de rede sem fio. Existem diferentes modelos de implantação de redes Wi-Fi, e independente do modelo utilizado, sempre haverá a necessidade de mensurar e divulgar métricas de desempenho da rede que demonstram a qualidade e estabilidade da conexão oferecida à Internet. É essencial que o poder público do município tenha controle sobre os níveis de qualidade obtidos a partir da abertura do sinal, para que as políticas e o orçamento possam ser efetivamente usados para gerar qualidade para o cidadão.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação preliminar do serviço prestado pelas empresas operadoras do WiFi Livre SP, revelando informações que poderão ser utilizadas para aprimorar os aspectos técnicos da abertura de sinal WiFi. Na sequência deste trabalho, a seção 2 apresenta a metodologia utilizada para realizar as coletas, processamento e análise de dados, a seção 3 apresenta os principais resultados e a seção 4 apresenta algumas conclusões e caminhos para investigações futuras.

## **2 Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho tem por objetivo revelar informações que poderão ser utilizadas para aprimorar a abordagem da implementação técnica do projeto, instalação e operação das praças digitais.

### **2.1 Objetivo**

O principal objetivo deste trabalho é revelar informações que poderão ser utilizadas para aprimorar os aspectos técnicos da abertura de sinal, garantindo três aspectos que relevam para o cidadão a qualidade da experiência (QoE) ao utilizar o serviço.

- Acesso: para cada praça foi predeterminado um número máximo de usuários conectados simultaneamente.
- Disponibilidade: as praças devem oferecer o serviço em regime de 24x7. Medir a disponibilidade é importante para garantir que o acesso à Internet atenda as demandas da população em todos os momentos que forem necessários.
- Desempenho: cada praça deve oferecer um serviço compatível com certos parâmetros de qualidade, como a taxa de transferência (download) e atraso (latência). A capacidade dos pontos de acesso sem fio (AP Wi-Fi, ou simplesmente AP) e do enlace de comunicação com a Internet deve ser configurada de tal modo a oferecer uma taxa média de download de 512 Kbps por usuário, a latência média deve ser de no máximo 5 ms entre o aparelho do usuário e o AP e a disponibilidade do serviço deve ser de no mínimo 96% . A avaliação do desempenho das praças compara os valores predeterminados com os observados, além de correlacionar informações fornecidas pelas empresas contratadas e medidas pelo SIMET Box.

### **2.2 Empresas e Praças Analisadas**

Duas empresas estão prestando o serviço de conectividade à Internet do programa WiFi Livre SP: ZIVA e WCS. A ZIVA está responsável pela oferta do serviço nas Zonas

Norte, Oeste e Sul e a WCS está responsável pelas zonas Leste e Centro, além do Parque da Independência na Zona Sul<sup>2</sup>. Neste trabalho foram incluídas 70 (setenta) praças, de acordo com a Tabela 1, porque dispunham de informações tanto das empresas WCS e Ziva quanto do SIMET.

**Tabela 1: Região, empresa responsável e numero de praças.**

Região	Empresa	Número de Praças
Centro	WCS	16
Norte	Ziva	12
Sul	Ziva	12
Leste	WCS	20
Oeste	Ziva	10
Total	2	70

Particularmente a Tabela mostra a relação de seis praças que foram escolhidas para serem analisadas individualmente e para as quais foram gerados gráficos específicos. Foram escolhidas três praças em funcionamento de cada empresa, de maneira aleatória, de acordo com o número de usuários previstos, isto é, alto, médio ou baixo e utilizando uma única região para posterior comparação.

**Tabela 2: Praças analisadas individualmente.**

Região Empresa	Acessos Previstos		
	Baixa	Média	Alta
Centro - WCS	Pátio do Colégio (50 acessos)	Praça Dom José Gaspar (150 acessos)	Centro Cultural São Paulo (250 acessos)
Sul - Ziva	Bacharel Fernando Braga Pereira da Rocha (75 acessos)	Parque do Nabuco (100 acessos)	Praça João Tadeu Priolli - Campo Limpo (150 acessos)

### 2.3 Dados e Coletas

Os dados utilizados para gerar os resultados que são apresentados provêm de duas fontes distintas.

- SIMET: em todas as praças em operação foi instalado um equipamento para medir a qualidade do serviço oferecido aos usuários, chamado de SIMET (Sistema de Medição de Tráfego Internet)<sup>3</sup>. O SIMET é um software desenvolvido pelo NIC.br<sup>4</sup> e executa testes de desempenho em redes com acesso à Internet instalado pela prefeitura de São Paulo. Quando o SIMET é instalado em um Access Point (AP) ele realiza testes automaticamente que ficam disponíveis para consulta. Os dados provenientes do SIMET para as praças podem ser obtidos a partir do próprio website do programa WiFi Livre SP<sup>5</sup>.
- Empresas: as empresas contratadas oferecem dados sobre a operação dos serviços de conectividade à Internet de sua responsabilidade, disponibilizando arquivos no formato XML em websites específicos (ZIVA e WCS). A WCS

<sup>2</sup> <http://wifilivre.sp.gov.br/index.php?exibe=120>

<sup>3</sup> <http://simet.nic.br>

<sup>4</sup> <http://www.nic.br>

<sup>5</sup> <http://wifilivre.sp.gov.br>

fornece um arquivo XML para cada praça, enquanto que a ZIVA fornece apenas um arquivo XML com os dados de todas as praças.

Estes dados são coletados regularmente a cada hora por um servidor localizado na UFABC. Os dados brutos são armazenados em um servidor de banco de dados MySQL. Os dados analisados foram coletados no mês de outubro de 2014, com exceção de alguns dias, conforme a Tabela .

**Tabela 3: Interrupções nas coletas de dados**

<b>Interrupção</b>	<b>Retorno</b>	<b>Problema</b>
01/10/14 00:00	02/10/14 16:00	Indisponibilidade de programa para coleta da empresa WCS no dia 1º às 0:00h.
11/10/14 22:00	16/10/14 04:00	Problemas com o computador/programa de coleta de dados
19/10/14 01:00	23/10/14 20:00	Alterações nos formatos dos dados fornecidos pelas empresas causaram interrupção da coleta

## 2.4 Métricas

As métricas utilizadas para demonstrar a qualidade da experiência do serviço para os usuários se dividem em três categorias, de acordo com os objetivos apresentados na seção 2.1: acesso, disponibilidade e desempenho.

- **Usuários conectados:** É o número de usuários conectados na praça, obtido através dos arquivos disponibilizados pelas empresas, que são coletados a cada hora. Algumas praças possuem vários APs (Access Points) para atingir a cobertura pré-definida, o número de usuários representa a soma de todos os usuários conectados em todos os seus APs.
- **Disponibilidade:** A disponibilidade é calculada como o percentual de tempo em que o serviço está ativo. Não é possível determinar quando uma praça esteve operando normalmente do ponto de vista do usuário, mas apenas do ponto de vista dos dados obtidos a partir das empresas e do SIMET. Para a disponibilidade, 100% e 0% representam que a praça esteve disponível todas as vezes ou nenhuma vez, respectivamente. A disponibilidade foi dividida em duas métricas, para melhor compreender o comportamento do serviço.
  - **Disponibilidade Empresa:** Representa a disponibilidade de acordo com os dados oferecidos pelas empresas. A cada coleta o serviço foi considerado ativo se a empresa forneceu os arquivos e se a taxa de entrada ou de saída de dados foi superior à zero.
  - **Disponibilidade SIMET:** Representa a disponibilidade de acordo com o SIMET Box que está instalado em todas as praças. A cada coleta, o serviço foi considerado ativo se existe valores das métricas do SIMET.
- **Desempenho:** Várias métricas de desempenho são disponibilizadas, tanto pelas empresas quanto pelo SIMET.
  - **Taxa de Entrada (empresas):** Taxa de download que está sendo recebido por todos os usuários conectados em todos os APs da praça.
  - **Número de usuários (empresas):** Número de usuários conectados em todos os APs da praça em cada momento.

- Taxa de entrada por usuário (calculada): Quanto cada usuário está usando em média da capacidade instalada da rede. Esta métrica é calculada dividindo a taxa de entrada pelo número de usuários conectados.
- Download TCP (SIMET): Quanto um usuário consegue obter da capacidade da rede.
- Latência (SIMET): Tempo transcorrido para uma informação (um pacote) percorrer o caminho de ida e volta da origem para o destino, medida em milissegundos (ms).
- Perda de Pacotes (SIMET): Percentual de pacotes perdidos em relação aos pacotes transmitidos.

### 3 Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita na seção 2, focando nos três aspectos essenciais para qualidade de experiência dos usuários, que são a possibilidade de acesso ao serviço, a disponibilidade do serviço e o seu desempenho.

#### 3.1 Acesso

Todas as praças estão sendo planejadas para oferecer acesso a um determinado número de usuários, de acordo com uma estimativa inicial do número potencial de cidadãos que possivelmente seriam usuários do serviço de conectividade oferecido. O número máximo de acessos está sendo usado apenas como uma estimativa para a capacidade necessária de conexão da praça, mas não está sendo imposta nenhuma restrição à conexão de um número maior de usuários do que o estimado inicialmente.

A Figura 1 mostra a média do número de usuários conectados a cada hora do dia durante o período de observação de um mês, nas praças com número alto de acessos previstos de acordo com a Tabela . É possível observar que o Centro Cultural São Paulo, no Centro possui grande utilização, assim como para a praça Dom José Gaspar. Entretanto nas outras praças selecionadas a quantidade de usuários conectados é menor que a taxa de calculo para a largura de banda disponível.

A Figura 2 mostra a média do numero de usuários conectados por região da cidade de São Paulo, os dados desse gráfico são referentes às 70 praças que tiveram dados coletados no mês de outubro. Nota-se que há um grande volume de acessos nas regiões central e leste da cidade de São Paulo. Podemos especular que isto ocorre devido à localidade das praças ou a prestadora de serviço que atende a região (Figura 3). É possível observar que o número de usuários tem um comportamento semelhante ao que se espera, ou seja, maior no meio da tarde e menor durante a madrugada.

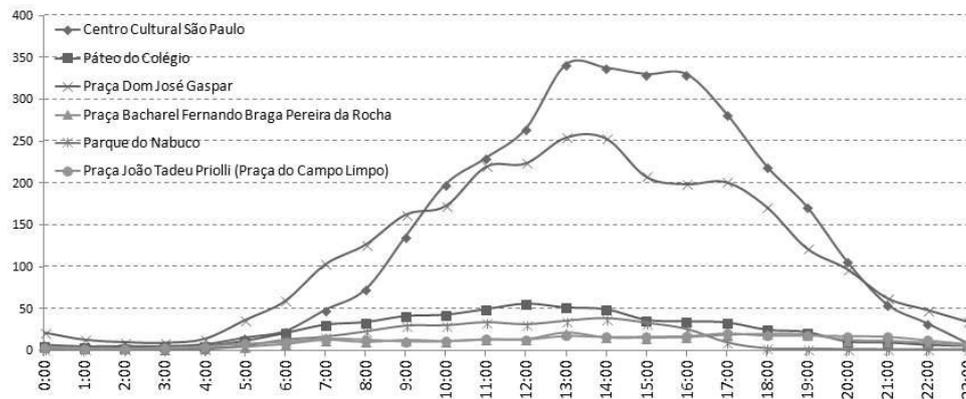


Figura 1. Número de usuários em algumas praças por horas do dia.

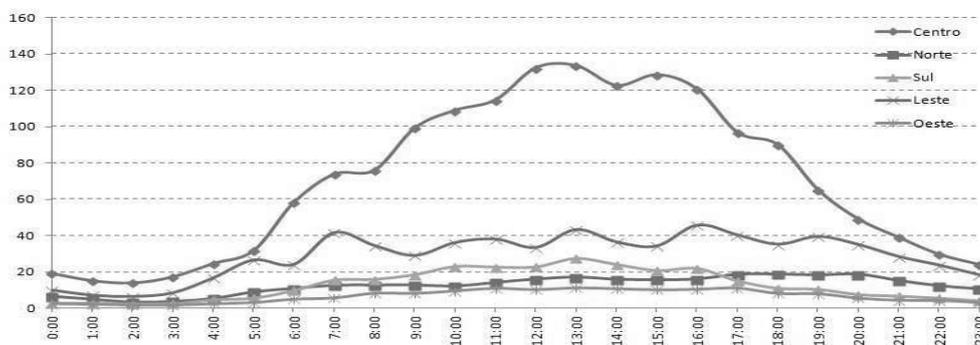


Figura 2. Média de usuários por regiões da cidade de São Paulo.

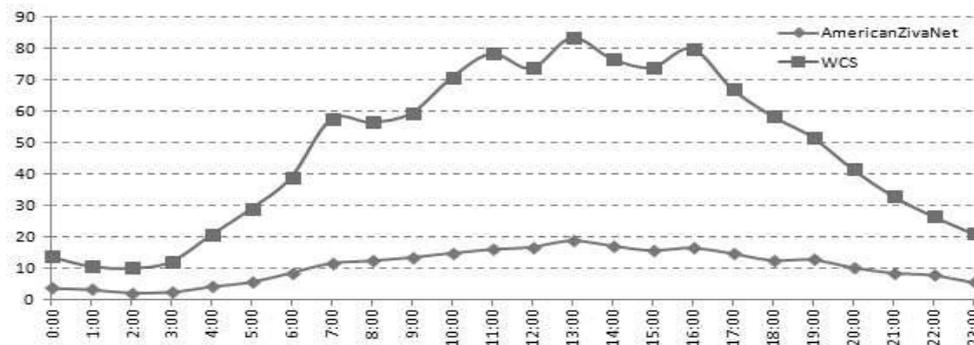


Figura 3. Média de usuários por Empresa

### 3.2 Disponibilidade do Serviço

A disponibilidade do serviço, de acordo com as métricas e condições apresentadas na seção 2.4, é atualmente o maior problema que afeta a qualidade de experiência dos serviços para os usuários. Em primeiro lugar, foi possível verificar que nenhuma praça esteve 100% disponível no período observado. Além disso, existe uma grande variação da disponibilidade do ponto de vista das empresas e do SIMET.

Em geral a média da disponibilidade esteve em 86% quando são considerados os dados das empresas, mas apenas 50% quando considerados os dados provenientes do SIMET as coletas desses dados são analisadas de hora em hora, isto é, para cada dia há

24 medidas de ambos as fontes. As 70 praças analisadas individualmente em fator de disponibilidade podem ser visualizadas na Figura 4. Disponibilidade das praças digitais.

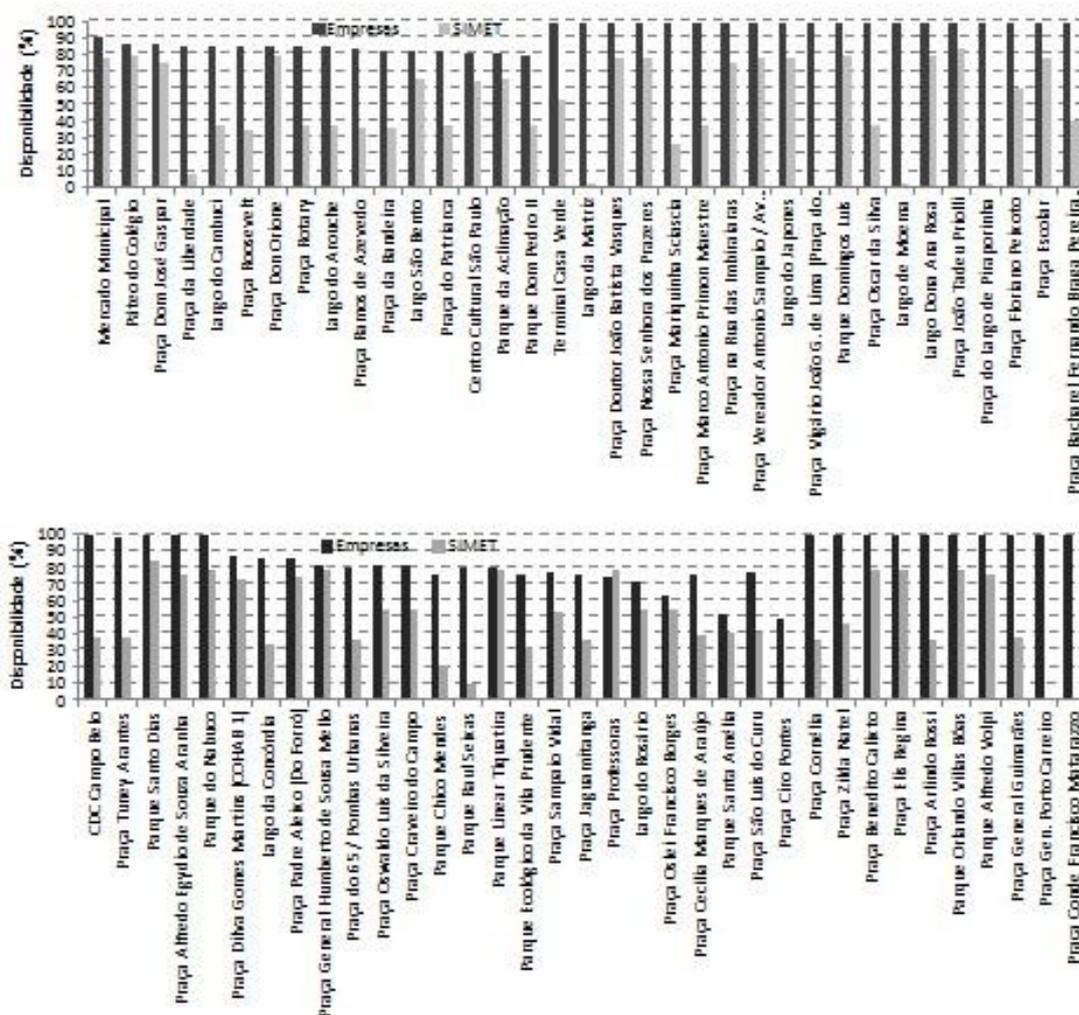


Figura 4. Disponibilidade das praças digitais.

### 3.3 Desempenho Global

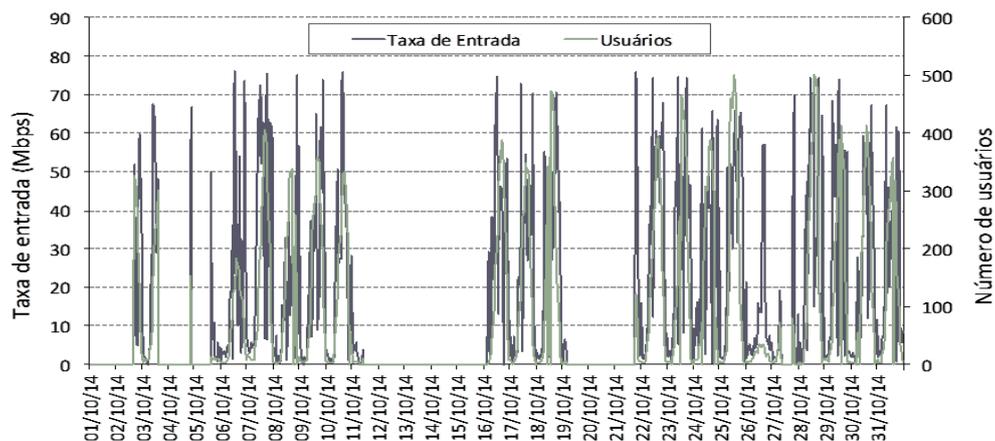
A Tabela 4 apresenta dados do desempenho global, quando consideradas todas as 70 praças analisadas. É possível observar que a soma da taxa de entrada média para todos os momentos de coleta de dados (horas) do período de observação foi de 482 Mbps e a média das médias de todas as praças foi de 6,6 Mbps. A soma do número de usuários médio foi de 1.775 e a média de 24. É importante observar que estas informações se referem a todos os dias do período de coleta, incluindo as horas de menor utilização, como as madrugadas, que diminuem a média. A taxa média por usuário foi de 270 Kbps, enquanto a latência média foi 103,3 ms e o percentual médio de perda de pacotes ficou próximo de 2%.

**Tabela 4: Desempenho médio global**

Praça					SIMET		
Taxa Entrada Soma (Mbps)	Taxa Entrada Média (Mbps)	Número Usuários Soma	Número Usuários Média	Entrada / Usuário Média (Mbps)	Download TCP Média (Mbps)	Latência Média (ms)	Perda Pacotes Média (%)
482,01	6,60	1775	24	0,27	14,88	103,33	2,06

### 3.4 Taxa de Entrada vs. Número de Usuários

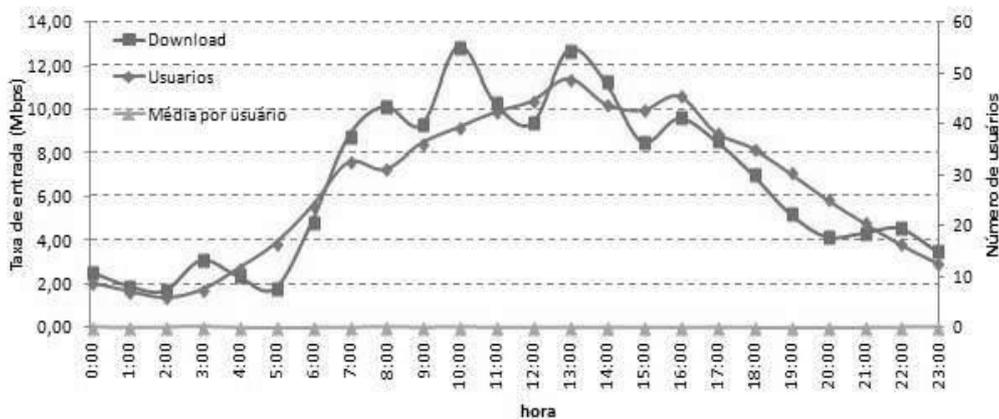
Esta seção faz uma análise comparativa mais detalhada entre a taxa de entrada e o número de usuários conectados. O objetivo é tentar identificar o efeito do aumento do número de usuários na taxa geral das praças e na taxa média que cada usuário consegue obter. A Figura 5 apresenta a série temporal do número de usuários e da taxa de entrada para o Centro Cultural São Paulo. Além dos períodos em que não houve coleta, é possível observar visualmente que os valores de taxa de entrada e número de usuários variam de maneira significativamente síncrona. A taxa de entrada média por usuário (taxa de entrada dividida pelo número de usuários) é mantida razoavelmente constante, mas abaixo de 512 Kbps, com exceção de alguns picos provocados por usuários usando a rede próximo à meia noite.



**Figura 5. Taxa de entrada e Número de usuários – Centro Cultural São Paulo.**

Na Figura 6 é apresentado o número de usuários juntamente com a taxa de entrada geral da praça e a média da taxa por usuário nas horas do dia. Esses dados analisados não levam em conta os períodos em que não houve coleta, é possível observar visualmente que os valores de taxa de entrada e número de usuários variam de maneira significativamente síncrona, de uma forma geral esse comportamento é esperado para todas as praças.

Em média geral se todos os usuários estivessem efetuando uma transmissão de dados via download a taxa média que cada um disponibilizaria seria de 0,13 Mbps. Dificilmente isto irá ocorrer, pois em alguns casos os usuários estão somente conectados a praça ou somente passaram pelo lugar que há sinal livre e o aparelho conectou-se automaticamente à rede. Levando em consideração esse aspecto isso é extremamente positivo, pois a conexão está sendo suprida conforme o esperado.

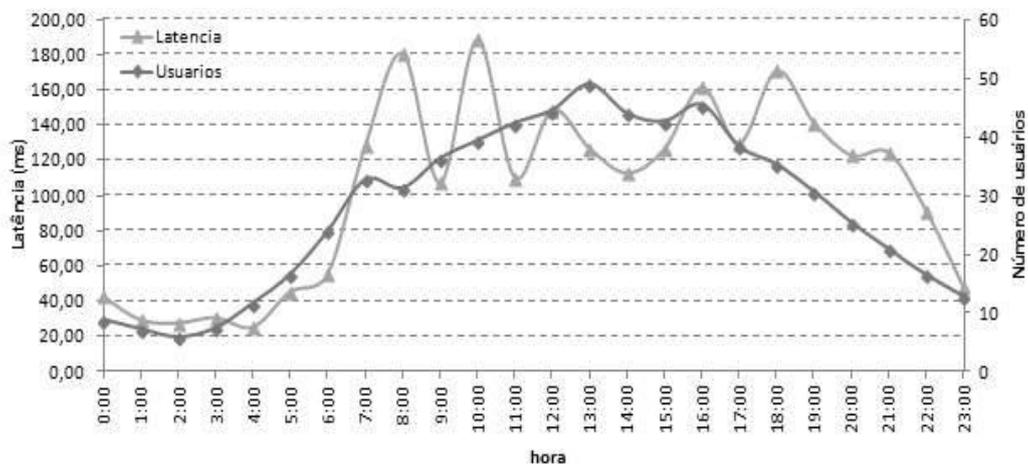


**Figura 6. Taxa de entrada vs. Número de usuários.**

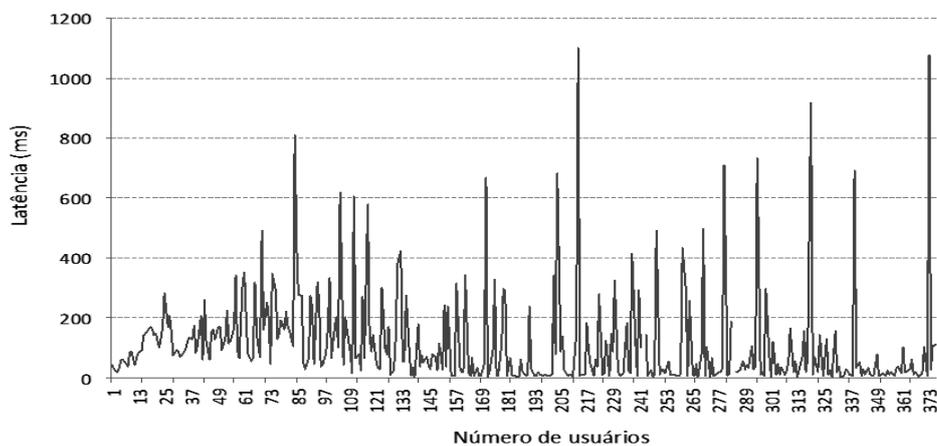
### 3.5 Latência vs. Número de Usuários.

Quando a latência assume valores excessivamente altos, o usuário frequentemente é afetado negativamente, como atraso em carregar aplicativos ou uma página Web ou a baixa qualidade de voz num serviço como o Skype.

A Figura 7(a) mostra uma análise comparativa entre a latência e o número de usuários de todas as praças nas horas do dia. Nesse gráfico se pode observar que há uma relação entre a média de número de usuários e a média da latência que indica que a qualidade do serviço decaiu conforme cresce o número de usuários. Para aplicações de Voz sobre IP (VoIP), de acordo com o 3GPP (3GPP 2014), valores de atraso em média uma direção deveriam estar idealmente abaixo de 150ms no caso em média esse valor é alcançado para o número médio de usuários igual a 50 é possível concluir que a cada usuário a latência média sobe 3,88 ms. No entanto, quando considerados os dados de todas as praças por número de usuários conectados, os resultados foram diferentes. É possível observar na Figura 7(b) que não há crescimento observável da latência devido ao aumento do número de usuários. Para a maioria dos números de usuários considerados (de 1 a 501) o valor permaneceu em patamares aceitáveis e o coeficiente de correlação foi próximo de zero. Embora aparentemente incoerentes, os dois resultados fornecem visões complementares. Não necessariamente o número de usuários afeta o desempenho quando analisado o aumento de usuários um a um, como na Figura 7(b). No entanto, quando analisadas as horas do dia, fica claro que o aumento dos usuários no horário de pico aumenta a latência. O que ocorre é que na Figura 7(b) em algumas circunstâncias os valores da latência são aumentados ou diminuídos em função de alguns usuários com maior ou menor uso. Por isso a latência tem grande variação. Já na Figura 7(a) a redução das médias para apenas 24 (horas do dia) gera uma amenização dos dados da latência que mostram a correlação entre as duas métricas.



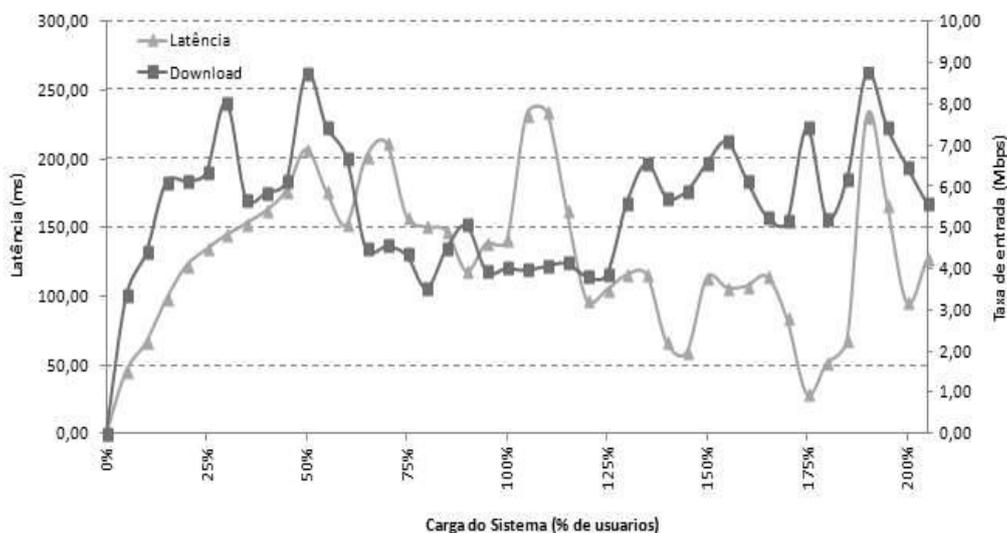
a)



b)

**Figura 7. Latência vs. Número de usuários.**

A Figura 8 mostra uma análise comparativa entre a latência e a carga do sistema e a taxa de entrada em Mbps e a carga do sistema, nesse caso obtém-se a carga do sistema como a porcentagem de usuários conectados no momento da medição pelo total máximo de usuários suportados pela conexão disponível. A quantidade máxima de usuários é definida antes da implantação da praça e é fixa, entretanto a quantidade máxima não é fator limitante do numero de usuários ela influencia na largura de banda, portanto é possível uma praça estar acima da capacidade do número máximo de usuários. Assim a partir dessa definição de carga de sistema, pode-se observar que a latência e taxa de entrada comporta-se regular até cerca de 45% do total máximo de usuários por praça isso ocorre porque dentre as 70 praças analisadas, cerca de 40 possuem essa quantidade de carga e a medida que a porcentagem aumenta, a quantidade de praças diminui. Por exemplo, quando a carga máxima é de 100%, pois somente 20 dentre as 70 praças possuem essa carga.



**Figura 8. Latência e taxa de entrada vs. carga do sistema.**

O fato das praças suportarem um número maior de usuários do que o previsto pode representar um fato auspicioso ou não, dependendo de como a rede foi provisionada. De acordo com as especificações de contrato, as praças devem ser capazes de oferecer uma capacidade média de 512 Kbps por usuário.

A infraestrutura para cada praça segue edital conforme proposto pela prefeitura da cidade de São Paulo. Testes de potência de sinal e navegabilidade são efetuados a cada implantação, sendo que as praças somente são liberadas para uso da população quando atinge um valor mínimo necessário de navegabilidade e cobertura da praça que nesse ultimo caso é de 70% de cobertura total da praça.

#### 4 Conclusão

O presente trabalho analisou 70 das 120 praças que estarão disponíveis no final da implantação do sinal de WiFi com acesso livre e irrestrito da cidade de São Paulo, distribuídas em diferentes regiões da cidade. A maior parte das praças se comportam de maneira similar, se comparadas com a mesma empresa contratada.

A concentração dos dados de todas as praças por horas do dia é uma maneira muito interessante de investigação do que está acontecendo nas praças principalmente em termos de latência e quantidade de usuários. Ao passo que aumenta o numero de usuários aumenta a latência, devido a todos os usuários estarem competindo pelo meio físico, nesse caso ondas de radio (ar). Essa métrica obteve bons valores para interação entre usuários e aplicações síncronas como VoIP, mais de 98% das praças estão dentro de padrões aceitáveis.

Outra relação interessante é a carga do sistema, que é o limite de largura de banda de conexão da praça. Entretanto, esta métrica deve fazer mais sentido quando há uma maior quantidade de dados por um período de tempo mais longo, nesse caso as médias ficarão mais suavizadas identificando o comportamento tanto da latência quanto da taxa de entrada dos dados. Em relação à média da taxa de entrada das praças, há um aumento de acordo com o numero de usuários, isto é uma verificação positiva em termos de usabilidade da rede, pois enquanto não atinge o limite de usuários máximo por praça a tendência é aumentar a vazão de dados, somente quando o limite for atingido essa vazão

deve começar a dividir-se entre os usuários. A disponibilidade do serviço ainda é uma métrica que deve ser analisada com maior cuidado, pois ela pode estimular a comunidade a utilizar a conexão da praça ou ter efeito contrário.

Em trabalhos futuros serão incluídos dados de um período de observação maior. Isto possivelmente reduzirá alguns problemas e inconsistências encontradas. Também está sendo estudadas metodologias para realizar medições com teste de vídeo conferência e ou transmissões de vídeos para dispositivos móveis para validar as medições atuais e compreender a qualidade de experiência está adequada aos usuários ou se a rede está limitando a vazão recebida e diminuindo sua sensação de conforto ao utilizar a Internet.

## Referências

- 3GPP,(2014) “Services and service capabilities (Release 12)”, 3GPP TS 22.105 - V12.0.0, Outubro de 2014, <http://www.3gpp.org/DynaReport/22105.htm>.
- Bar, F., Park, N.,(2006) “Municipal Wi-Fi Networks: The Goals, Practices, and Policy Implications of the U.S. Case”, *Communications & Strategies*, no. 61, p. 107, 1<sup>st</sup> quarter 2006.
- Burgess, N. (2004); “Testing of ethernet services in Telecom networks” RFC 2544.[S.I.]: Agilent Technologies.
- Costa, G.H. (2008) “Métricas para avaliação de desempenho em redes QoS sobre IP”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre,RS. Brasil.
- Evenepoel, S., et. al, (2012) "Municipal Wi-Fi value network configurations: impact of motivations, pricing and topology", 11th Conference of Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics.
- Giffinger, R. et. Al, (2007) “Smart cities: Ranking of European medium-sized cities”, Projeto Smart Cities, Relatório Final, <http://www.smart-cities.edu>.
- Hampton, K et. al. (2010) “The Social Life of Wireless Urban Spaces: Internet Use, Social Networks, and the Public Realm”, *Journal of Communication*, 60(4), p. 701-722.
- Heer, T. et. al, (2010) “Collaborative municipal Wi-Fi networks - challenges and opportunities”, 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops).
- Kmpg (2012), “Expect the Unexpected: Building business value in a changing world”, KPMG International, <http://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/building-business-value.pdf>.
- Lopes, D.L. (2006) “Um estudo da aplicação da ferramenta orinoco em redes wireless”. Universidade Presidente Antônio Carlos (UNIPAC). Barbacena, MG, Brasil.
- Shaffers, H., et al. (2011) "Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation." *The future internet*: 431-446.
- Schmidt, T., Townsend, A.(2003) "Why Wi-Fi Wants to be Free", *Communications of the ACM*, 46(5), p. 47-52, Maio de 2003.
- Tanenbaum, A. S., (2010) “Computer Networks”, Prentice Hall, 5th edition.
- Weiss, M. B. H, Huang, KC, (2007) “To Be or Not to Be: A Comparative Study of City-wide Municipal WiFi in the US”, *Telecomm. Policy Research Conference*.
- Kim, K-H, Nam, H., Schulzrinne, H., (2014), “WiSlow: A Wi-Fi network performance troubleshooting tool for end users”, *IEEE INFOCOM 2014*, pp. 862-870.
- Gupta, A., Min, J., Rhee, I., (2012), "WiFox: Scaling WiFi Performance for Large Audience Environments", *ACM CoNEXT'12*, pp. 217-228.