

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-Graduação em Informática

Agripino Gabriel Miranda Damasceno

**BASCOP: UM ESQUEMA DE PRECIFICAÇÃO  
PARA REDES DE CELULAR BASEADO NO  
CONGESTIONAMENTO DE ESTAÇÕES BASE**

Belo Horizonte

2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

D155b Damasceno, Agripino Gabriel Miranda  
BASCOP: um esquema de precificação para redes de celular baseado no congestionamento de estações base / Agripino Gabriel Miranda Damasceno. Belo Horizonte, 2014.  
71 f. : il.

Orientador: Humberto Torres Marques Neto  
Coorientadora: Raquel Aparecida de Freitas Mini  
Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Informática.

1. Telefonia celular. 2. Telefonia pela Internet - Preços. 3. Arquitetura de redes de computador. 4. Provedores de serviços da Internet. 5. Usuários da Internet. I. Marques Neto, Humberto Torres. II. Mini, Raquel Aparecida de Freitas. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Informática. IV. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 681.3.01:621.39

Agripino Gabriel Miranda Damasceno

**BASCOP: UM ESQUEMA DE PRECIFICAÇÃO  
PARA REDES DE CELULAR BASEADO NO  
CONGESTIONAMENTO DE ESTAÇÕES BASE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Humberto T. Marques-Neto  
Co-orientadora: Raquel A. F. Mini

Belo Horizonte  
2014

Agripino Gabriel Miranda Damasceno

**BASCOP: UM ESQUEMA DE PRECIFICAÇÃO  
PARA REDES DE CELULAR BASEADO NO  
CONGESTIONAMENTO DE ESTAÇÕES BASE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

---

**Humberto T. Marques-Neto (PUC Minas)**  
Orientador

---

**Raquel A. F. Mini (PUC Minas)**  
Co-orientadora

---

**Jussara Marques de Almeida (UFMG)**  
Convidada

---

**Fátima Duarte Figueiredo (PUC Minas)**  
Convidada

Belo Horizonte, 2 de Setembro de 2014

## RESUMO

O crescimento do tráfego de Internet nas redes de telefonia celular tem desafiado os provedores de serviços (Internet Service Providers - ISPs) a melhorarem o gerenciamento de seus recursos, principalmente, durante períodos de alta de demanda. Soluções alternativas à tarifa plana (*Flat Rate Pricing Scheme*), na qual todos os usuários pagam o mesmo valor pelo serviço de acesso à Internet, propõem a especificação de preços diferenciados por horário de uso, o que, de certa forma, pode contribuir para a solução desse problema enfrentado pelos ISPs. Entretanto, nesse tipo de esquema de precificação, a demanda em cada estação base, normalmente, não é considerada na definição de preços. Devido às diferenças de demanda nas estações, esse tipo de esquema pode não ser justo, principalmente, para usuários fora de uma zona de congestionamento. Esta dissertação apresenta um esquema de precificação baseado no horário de uso e no histórico de demanda das estações base com o objetivo de proporcionar um melhor controle do congestionamento na rede do ISP. A análise e a comparação do esquema de precificação proposto frente a outros esquemas encontrados na literatura são realizadas através da simulação com dados artificiais, gerados a partir de trabalhos de caracterização do comportamento dos usuários de Internet móvel. Os resultados mostram que, com o uso do esquema proposto, os ISPs podem incentivar uma distribuição geográfica mais uniforme da carga de trabalho na rede, gerando assim economia de recursos e benefícios para os seus usuários.

Palavras-chave: Precificação baseada no tempo; Precificação baseada no congestionamento; Internet móvel.

## **ABSTRACT**

The increasing of mobile Internet traffic generated in cellular networks has challenged Internet Service Providers (ISPs) to improve the management of their resources' usage, e.g. during hours of peak demand. We claim that the time-based pricing schemes could be used to address this problem. However, in this kind of scheme, the workload of each base station is not normally considered for pricing definition. During network peak periods, different base stations do not have the same workload and, consequently, a time-based pricing can be unfair to users who are outside of a congestion area. This paper presents a time-based pricing scheme that uses base stations' historical workload data to differentiate prices in order to control the geographical congestion in the ISP network. The results of experiments shows that the scheme can be used to foster the redistribution of the network workload among a larger number of base stations leading to significant resource savings and benefits to users.

**Key-words:** Time-Dependent Pricing; Congestion-Base Pricing; Mobile Internet.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Figura1  | – Crescimento na quantidade de assinaturas de planos de dados . . . . .        | 18 |
| Figura2  | – Arquitetura da rede 3G no domínio da comutação de pacotes. . . . .           | 23 |
| Figura3  | – Processo de bilhetagem dos serviços de Internet móvel . . . . .              | 24 |
| Figura4  | – Arquitetura do sistema de cálculo de preços do TUBE. . . . .                 | 32 |
| Figura5  | – Exemplo de limiares de utilização das estações base da rede. . . . .         | 41 |
| Figura6  | – Usuários ativos durante um dia típico na rede. . . . .                       | 44 |
| Figura7  | – Localização real das estações base na praia de Copacabana . . . . .          | 46 |
| Figura8  | – Carga de trabalho na rede durante o dia ( <i>Random Waypoint</i> ) . . . . . | 48 |
| Figura9  | – Carga de trabalho em duas estações bases em um dia típico . . . . .          | 50 |
| Figura10 | – Carga de trabalho nas estações base ( <i>Random Waypoin</i> ). . . . .       | 52 |
| Figura11 | – Carga de trabalho na rede durante o dia (RIO) . . . . .                      | 53 |
| Figura12 | – Redução da carga de trabalho nas estações base às 13:00 horas . . . . .      | 54 |
| Figura13 | – Carga de trabalho nas estações base (RIO). . . . .                           | 55 |
| Figura14 | – Carga de trabalho na rede durante o dia (SLAW) . . . . .                     | 56 |
| Figura15 | – Carga de trabalho nas estações base (SLAW). . . . .                          | 57 |
| Figura16 | – Carga de trabalho na rede durante o dia (SMOOTH) . . . . .                   | 59 |
| Figura17 | – Carga de trabalho nas estações base (SMOOTH). . . . .                        | 60 |

## LISTA DE TABELAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabela1  | – Parâmetros utilizados pelo BaSCoP. . . . .   | 40 |
| Tabela2  | – Carga de trabalho média dos usuários em cada período do dia . . . . .              | 44 |
| Tabela3  | – Parâmetros da carga de trabalho . . . . .  | 45 |
| Tabela4  | – Configuração dos cenários de simulação . . . . .                                   | 46 |
| Tabela5  | – Percentual da carga de trabalho na rede - <i>Random Waypoint</i> . . . . .         | 49 |
| Tabela6  | – Períodos de alta demanda nas estações base (%) ( <i>Random Waypoint</i> ). . . . . | 51 |
| Tabela7  | – Percentual da carga de trabalho na rede - RIO . . . . .                            | 54 |
| Tabela8  | – Percentual da carga de trabalho na rede - SLAW . . . . .                           | 56 |
| Tabela9  | – Períodos de alta demanda nas estações base (%) (SLAW). . . . .                     | 58 |
| Tabela10 | – Redução da demanda nas estações base no TUBE (%) (SMOOTH) . . . . .                | 60 |
| Tabela11 | – Redução da demanda nas estações base no BaSCoP (%) (SMOOTH) . . . . .              | 61 |

## LISTA DE SIGLAS

|               |   |
|---------------|---|
| <b>3G</b>     | Terceira geração de padrões e tecnologias de telefonia móvel        |
| <b>AM</b>     | Aparelho Móvel  |
| <b>BaSCoP</b> | <i>Base Station Congestion-based Pricing</i>                        |
| <b>BD</b>     | <i>Billing Domain</i>   |
| <b>BPS</b>    | <i>Broadband Pricing Scheme</i>                                     |
| <b>BTS</b>    | <i>Base Transceiver Station</i>                                     |
| <b>CDRs</b>   | <i>Charging Data Records</i>  |
| <b>CETIC</b>  | Centro de Estudos sobre a Tecnologia da Informação e da Comunicação |
| <b>CN</b>     | <i>Core Network</i>   |
| <b>FBC</b>    | <i>Flow Based Charging</i>  |
| <b>GGSN</b>   | <i>Gateway GPRS Support Node</i>                                    |
| <b>ISP</b>    | <i>Internet Service Provider</i>                                    |
| <b>M2M</b>    | <i>Machine-to-Machine</i>   |
| <b>OCS</b>    | <i>Online Charging Service</i>                                      |
| <b>PDP</b>    | <i>Packet Data Protocol</i>   |
| <b>PMP</b>    | <i>Paris Metro Pricing</i>  |
| <b>RAN</b>    | <i>Radio Access Network</i>   |
| <b>RNC</b>    | <i>Radio Network Controller</i>                                     |
| <b>SDF</b>    | <i>Service Data Function</i>  |
| <b>SGSN</b>   | <i>Serving GPRS Support Node</i>                                    |
| <b>TUBE</b>   | <i>Time-dependent Usage-based Broadband pricing Engineering</i>     |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b>                                    | 17 |
| 1.1   | Objetivo   | 20 |
| 1.2   | Contribuições  | 20 |
| 1.3   | Organização do Trabalho                              | 21 |
| 2     | <b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>                        | 23 |
| 2.1   | Rede 3G  | 23 |
| 2.1.1 | <i>Sistema de Bilhetagem da Rede 3G</i>              | 24 |
| 2.2   | Caracterização dos Usuários de Internet Móvel        | 25 |
| 2.3   | Esquemas de Precificação                             | 27 |
| 2.3.1 | <i>Esquema de precificação estáticos</i>             | 28 |
| 2.3.2 | <i>Esquema de precificação dinâmicos</i>             | 29 |
| 2.3.3 | <i>TUBE</i>  | 31 |
| 2.4   | Modelos de Mobilidade                                | 34 |
| 2.4.1 | <i>Random Waypoint</i>                               | 35 |
| 2.4.2 | <i>RIO</i>   | 35 |
| 2.4.3 | <i>SLAW</i>  | 36 |
| 2.4.4 | <i>SMOOTH</i>  | 37 |
| 3     | <b>BASCOP: BASE STATION CONGESTION-BASED PRICING</b> | 39 |
| 4     | <b>RESULTADOS DE SIMULAÇÃO</b>                       | 43 |
| 4.1   | Cenário de Simulação                                 | 43 |
| 4.2   | Análise dos Resultados                               | 47 |
| 4.2.1 | <i>Random Waypoint</i>                               | 47 |
| 4.2.2 | <i>RIO</i>   | 52 |
| 4.2.3 | <i>SLAW</i>  | 55 |
| 4.2.4 | <i>SMOOTH</i>  | 58 |
| 4.2.5 | <i>Discussão</i>                                     | 61 |
| 5     | <b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>                | 65 |
| 5.1   | Trabalhos Futuros                                    | 66 |
| 5.2   | Publicações  | 67 |
|       | Referências  | 69 |

## 1 INTRODUÇÃO

A popularização de dispositivos móveis equipados com tecnologias de acesso a Internet, como *tablets* e *smartphones*, tem proporcionado o crescimento no número de usuários de Internet móvel e, conseqüentemente, o aumento da demanda por Internet móvel como mostram alguns relatórios publicados recentemente (CISCO, 2013; CETIC, 2013). Com a utilização desses novos dispositivos móveis, os usuários têm a possibilidade de estarem sempre conectados à Internet, ocasionando o surgimento de diversos aplicativos móveis. Alguns desses aplicativos, desenvolvidos com base em serviços localizados na Internet, têm como característica o consumo de grande volume de dados. Um exemplo é o YouTube<sup>1</sup>, um popular serviço de *streaming* de vídeo que tem cerca de 40% do seu tráfego originado nas redes móveis (DAILY, 2013). A popularidade desses aplicativos, grandes consumidores de dados, tem contribuído para o aumento da carga de trabalho na rede dos provedores de acesso (*Internet Service Providers* - ISPs) principalmente em períodos de pico de utilização. Ressalta-se que, durante esses períodos de alta demanda, podem ocorrer congestionamentos na rede, provocando atrasos na resposta de requisições e/ou perda de pacotes.

No Brasil, o CETIC (Centro de Estudos sobre a Tecnologia da Informação e da Comunicação) apontou, em um recente estudo, o crescimento na utilização dos sistemas de Internet móvel como tecnologia de acesso à Internet nos domicílios, aumentando de 10% em 2010 para 21% em 2012 (CETIC, 2013). A popularidade dos dispositivos de telefonia móvel, presentes em cerca de 88% dos domicílios brasileiros, é um dos motivos deste crescimento que está alinhado com as tendências internacionais de mobilidade e de crescimento da demanda por serviços consumidores de banda, como *streaming* de áudio e vídeo. O crescimento no acesso à Internet móvel no Brasil proporciona um cenário que viabiliza oportunidades para a superação do cenário de exclusão digital. Considerando que este crescimento ocorreu principalmente em domicílios da região norte e entre famílias de baixa renda, ele pode ser considerado um agente de integração social pois permite o acesso a informações como governo eletrônico, portais de programas sociais e notícias além das populares redes sociais.

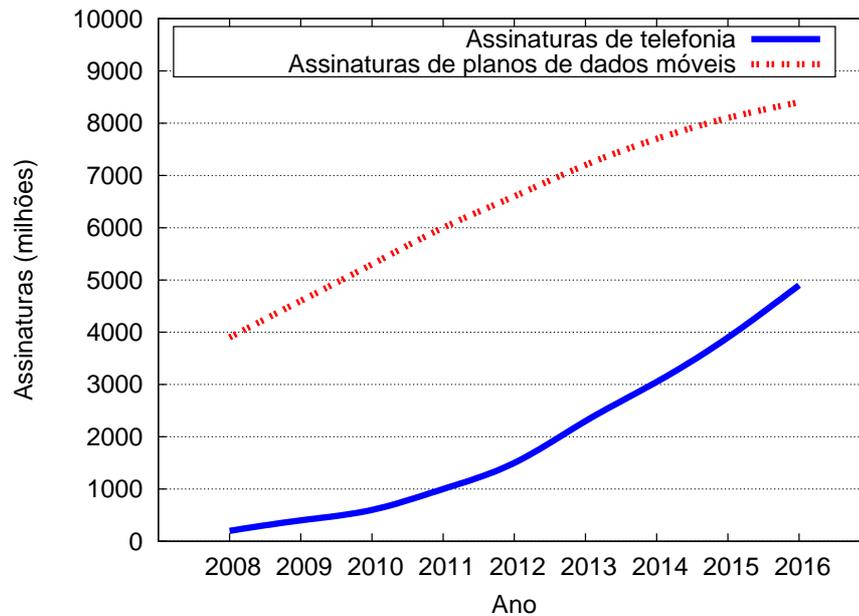
Em um relatório sobre a demanda por serviços de Internet, publicado pela CISCO, são apresentadas previsões de crescimento anual que chegam a taxas de 66% entre os anos de 2012 à 2017 (CISCO, 2013). Durante este período, as taxas de crescimento do volume de tráfego IP originado a partir de telefones móveis e *tablets* podem chegar a 104% e 79%, respectivamente. A Figura 1 mostra como a quantidade de assinaturas de planos de dados móveis tem aumentado nos últimos anos, apontando uma previsão de crescimento na quantidade de assinaturas até o

---

<sup>1</sup> YouTube: <<http://www.youtube.com>>

ano de 2016 (ERICSSON, 2011). O aumento no número de assinaturas tem influência direta no planejamento dos ISPs, que devem preparar suas estruturas de rede para acomodar as novas demandas por serviços de Internet móvel.

**Figura 1 – Crescimento quantidade de assinaturas de planos de dados móveis de 2008 à 2016 excluindo M2M**



**Fonte: Ericsson (2011)**

A implantação de novas estações base pode ser considerada uma das maneiras mais simples para que os provedores aumentem a capacidade da rede. Isto possibilita o aumento da quantidade de usuários e do volume de dados suportados. Entretanto, esta solução se torna inviável devido ao alto custo da implantação de novas estações base (PAUL; BUDDHIKOT; DAS, 2012). Nesse contexto, esquemas de precificação podem ser utilizados como alternativa para o controle dos níveis de demanda na rede, possibilitando aos ISPs acomodarem uma maior quantidade de usuários e reduzindo os custos envolvidos na expansão da rede e no controle de congestionamento.

Diversos estudos encontrados na literatura propõem a utilização de esquemas de precificação com o objetivo de controlar a demanda na rede dos provedores (ODLYZKO, 1999; MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010; EL-SAYED et al., 2011; HA et al., 2012). Esses trabalhos podem ser divididos de acordo com o processo de definição dos preços de utilização que pode ser realizado de maneira estática ou dinâmica. Na abordagem estática, os preços são pré-determinados pelos ISPs baseados no histórico de utilização dos recursos da rede e nos custos operacionais. Por outro lado, na abordagem dinâmica, os preços de utilização podem ser ajustados de acordo com o período do dia e/ou a carga de trabalho da rede.

A tarifa plana (*Flat Rate Pricing Scheme*) é um esquema de precificação de abordagem estática que teve grande aceitação pelos ISPs, principalmente, devido à facilidade de implementação e controle (ODLYZKO, 2001; SHAKKOTTAI et al., 2008). Nesse esquema, o usuário paga um valor fixo, normalmente mensal, que está atrelado a uma velocidade máxima de conexão (MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010). Além disso, o provedor não impõe restrições de horários e/ou de volume de tráfego de dados. Contudo, apesar da simplicidade, a tarifa plana pode incentivar o desperdício de recursos pelos usuários o que pode aumentar a demanda na rede, principalmente em períodos de pico de utilização. Como alternativa para controlar tais desperdícios, os ISPs, como a AT&T e a Verizon, têm parado de oferecer os planos de tarifa plana ofertando para novos usuários planos com limites de dados. Nesses novos planos, o usuário adere a um contrato de prestação de serviços no qual recebe periodicamente um *budget* (HA et al., 2012; CHEN et al., 2012). O *budget* é o limite máximo de dados que o usuário pode utilizar e é definido no momento da assinatura do contrato.

Diversos estudos existentes na literatura (MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010; EL-SAYED et al., 2011; HA et al., 2012) propõem a utilização de esquemas de precificação que consideram a demanda histórica da rede na definição dos preços de utilização. Nesses esquemas, os ISPs podem definir os preços considerando *quando* os usuários utilizam os serviços. Esta decisão deve ser tomada com base no custo/benefício percebido por cada usuário que deve considerar tanto o preço de utilização da Internet, quanto a necessidade em utilizar um determinado aplicativo. Visando economizar nos gastos com o uso de Internet, os usuários podem optar por adiar a utilização para períodos de menor demanda, devido ao preço de utilização ser maior em períodos de pico. O objetivo é reduzir a demanda nos períodos de pico utilizando incentivos para que os usuários movam sua demanda não urgente para períodos, historicamente, de menor demanda.

Normalmente, os esquemas de precificação dinâmicos não consideram a localização do usuário no processo de definição dos preços de utilização. Entretanto, considerando que a arquitetura das redes de telefonia é composta por um conjunto de estações base geograficamente distribuídas e que a carga de trabalho em cada uma das estações base pode ser diferente em um determinado período (PAUL et al., 2011; LANER et al., 2012; PAUL; BUDDHIKOT; DAS, 2012). Sendo assim, os esquemas de precificação dinâmicos deveriam considerar também a localização do usuário na definição de preços. Quando a localização não é considerada, usuários que se encontram em áreas com alta demanda acabam sendo subsidiados por usuários que estão em áreas de demandas mais baixas pois o preço cobrado será o mesmo para todos os usuários do ISP. A utilização de informações sobre a localização no processos de definição de preços e bilhetagem pode permitir aos provedores a utilização de mecanismos que possam incentivar a utilização de recursos em estações base que, normalmente, possuem menor carga de trabalho evitando ociosidade de recursos.

Sendo assim, este trabalho propõe o BaSCoP (*Base Station Congestion-based Pricing*), um esquema de precificação que permite aos ISPs incentivarem a utilização de serviços de Internet em regiões nas quais as estações base possuem históricos de baixa demanda. O objetivo do esquema proposto é que a carga de trabalho seja distribuída entre uma maior quantidade de estações base, reduzindo a demanda em pontos de congestionamento local. O esquema de precificação proposto é baseado nos históricos de demanda das estações base e no constante monitoramento da sensibilidade dos usuários aos preços aplicados. De forma resumida, destaca-se como principal contribuição deste trabalho a utilização e análise do histórico de demanda das estações base no processo de definição de preços de utilização dos serviços de Internet móvel.

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho de pesquisa é propor e avaliar um esquema de precificação de tráfego de internet móvel baseado nos históricos de utilização das estações base ao longo do dia. Como as estações base com históricos de alta demanda terão preços mais altos, o BaSCoP possibilita a redistribuição geográfica da demanda de forma mais uniforme. Para alcançar tal objetivo, este trabalho utiliza os históricos de demanda das estações base no processo de definição dos preços de utilização. Trabalhos de caracterização propostos na literatura mostram as diferenças nos níveis de demanda entre as estações base em diversos períodos do dia o que justifica a criação de um esquema de precificação que considere tais características. A validação e a comparação do esquema proposto com outros esquemas de precificação descritos na literatura são realizadas através da simulação da utilização dos serviços de Internet móvel pelos usuários. Para simular o comportamento dos usuários foram utilizados parâmetros definidos com base em trabalhos de caracterização encontrados na literatura.

## 1.2 Contribuições

A principal contribuição alcançada com o desenvolvimento desta pesquisa é a criação de um esquema de precificação para serviços de Internet móvel (BaSCoP - *Base Station Congestion-based Pricing*). Este esquema promove melhor uso dos recursos da rede do ISP

que pode reduzir tanto os custos operacionais quanto os períodos de ociosidade da rede. Para os usuários, a utilização do esquema proposto pode reduzir a demanda em locais com alta carga de trabalho, reduzindo a ocorrência de atrasos e perdas de pacotes devido a congestionamentos. Tal esquema é apresentado na Capítulo 3. O BaSCoP considera os históricos de demanda nas estações base no processo de definição de preços. Ou seja, estações base que têm históricos de demanda mais altos têm preços de utilização maiores permitindo que usuários que se encontrem em estações base menos utilizadas possam se beneficiar dos descontos oferecidos nestas áreas. Comparado com a tarifa plana e o TUBE (HA et al., 2012), um esquema de precificação dinâmico baseado no horário de utilização, o BaSCoP foi capaz de reduzir a demanda nas estações base nos períodos de alta demanda local promovendo uma distribuição da carga de trabalho de maneira mais uniforme entre todas as estações base.

Essa contribuição também está descrita em artigos científicos apresentados em conferências nacionais e internacionais. Uma visão geral desses artigos é apresentada no Capítulo 5 em conjunto com as conclusões e com os trabalhos futuros.

### **1.3 Organização do Trabalho**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica e os trabalhos relacionados. O Capítulo 3 apresenta o esquema de precificação proposto. O Capítulo 4 apresenta as simulações e análise dos resultados obtidos. O Capítulo 5 conclui este trabalho.

O Capítulo 2 apresenta alguns fundamentos teóricos sobre as redes de telefonia móvel, uma breve descrição do funcionamento do sistema de bilhetagem das redes 3G. Nele são apresentados os principais componentes da rede de telefonia e dados móveis que são responsáveis pelo controle da rede. Neste capítulo também são apresentados alguns trabalhos de caracterização utilizados para gerar a carga de dados artificiais para as simulações, trabalhos sobre precificação de serviços de Internet móvel e uma descrição dos modelos de mobilidade utilizados neste trabalho de pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta o esquema de precificação proposto. Neste capítulo é apresentado o funcionamento do BaSCoP explicando como é realizado o processo de definição de preços utilizando os históricos de carga de trabalho das estações base.

O Capítulo 4 descreve a metodologia adotada neste trabalho. Nele, são apresentados o simulador adotado, a carga de trabalho artificial utilizada e os cenários simulados.

Por fim, o Capítulo 5 conclui o trabalho. Nele, são descritas as vantagens e desvantagens da utilização do BaSCoP e possíveis trabalhos futuros.

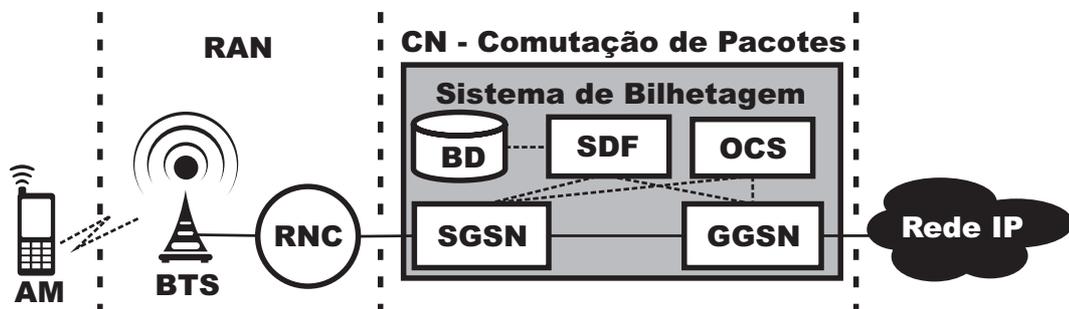
## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta a análise das principais referências utilizadas na fundamentação teórica que têm influência nas contribuições apresentadas neste trabalho de pesquisa. Os trabalhos estão organizados em seções que representam uma visão do tema em questão.

### 2.1 Rede 3G

A arquitetura da rede 3G (MALAB, 2010), mostrada pela figura 2, é composta pelo *Radio Access Network* (RAN) e o *Core Network* (CN). O RAN é responsável por fornecer a cobertura de sinal para os Aparelhos Móveis (AM), agrupar as chamadas e gerenciar a utilização de rádio frequência para que os serviços não sejam interrompidos mesmo que o usuário se mantenha em constante movimento. Basicamente, fazem parte deste sistema os AM, *Base Transceiver Station* (BTS) e o *Radio Network Controller* (RNC). A BTS, também conhecida como estação base ou antena móvel, é responsável por prover as interfaces necessárias para conectar os sinais de voz e dados do AM com a rede. Cada BTS é conectada a um RNC que é o elemento responsável por controlar os processos de transferência de chamadas entre células adjacentes, processo conhecido como *handover*. O RNC faz a separação dos tráfegos de voz e dados, encaminhando cada um para o respectivo destino dentro da rede.

Figura 2 – Arquitetura da rede 3G no domínio da comutação de pacotes



Fonte: Adaptada de Malab (2010)

O CN é responsável pelo controle de autenticação, chamadas, bilhetagem e o tratamento de todo o tráfego de dados do AM até a conexão com rede IP. Dois elementos importantes no CN são o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e o *Gateway GPRS Support Node* (GGSN)

que são os elementos responsáveis pela comunicação do AM com a rede IP. O SGSN é quem fornece suporte à autenticação do AM, a bilhetagem do uso de dados, a entrega dos pacotes de dados vindos do AM. O GPRS é o responsável por fazer a interconexão do CN com a rede IP, fornecer ao SGSN informações de bilhetagem e ser o roteador do AM na conexão com as redes externas.

### 2.1.1 Sistema de Bilhetagem da Rede 3G

No sistema de serviços de dados móveis, o processo de bilhetagem pode ser realizado tanto *online* quanto *offline* (PENG et al., 2012). Quando a bilhetagem é realizada *offline* o SGSN e o GGSN coletam dados de utilização e geram *Charging Data Records* (CDRs) que são encaminhadas para o o *Service Data Function* (SDF). O SDF é o responsável por validar as CDRs e enviá-las para o o *Billing Domain* (BD). Na bilhetagem *offline*, as CDRs são armazenadas para posterior contabilização dos gastos e emissão da conta para o usuário. Quando a bilhetagem é feita de maneira *online*, o *Online Charging Service* (OCS) fica responsável por verificar se o usuário possui créditos pré-pagos para autorizar ou não a conexão de dados.

**Figura 3 – Processo de bilhetagem dos serviços de Internet móvel**



Fonte: Peng et al. (2012)

O passo a passo de como é realizada a bilhetagem no domínio do ISP pode ser visualizada na Figura 3. Quando um usuário ativa o serviço de dados no AM este estabelece comunicação com o sistema de autenticação da rede para ativar a conexão de dados. No processo de autenticação o AM abre uma conexão com o PDP (*Packet Data Protocol*) Context fornece todas as informações necessárias para a conexão de dados na rede 3G (etapa 1). Após a ativação da conexão, é iniciado o processo de bilhetagem (etapa 2) e o AM está autorizado a abrir conexões com redes externas através do SGSN e GGSN, elementos responsáveis pela contabilização do volume de dados utilizado pelos usuários. A cada conexão do usuário com a rede de dados um identificador único (*Charging ID*) é associado à sessão aberta pelo AM para controle da

utilização do usuário (etapa 3). O *Charging ID* é utilizado pelo BD para identificar o usuário responsável pela CDRs. No 3G é possível realizar a bilhetagem por fluxo de dados chamado de *Flow Based Charging* (FBC). Ou seja, o FBC permite que a bilhetagem seja feita de maneira particular para cada tipo de serviço como web, VoIP e E-mail.

Após as etapas de autenticação e abertura da conexão (etapas 1 à 3) o AM está conectado à rede de dados. Durante o período em que a sessão estiver aberta, o SGSN e o GGSN vão rotear os pacotes de dados recebidos para/da rede externa (etapa 4) e estarão contabilizando o volume de dados utilizados e gerando as CDRs (etapa 5). O processo de bilhetagem (etapa 5) continua até que a sessão seja encerrada (etapa 6). Finalmente, as CDRs são fechadas e enviadas para o BD (Etapa 7), que é responsável por gerar os itens de cobrança para o devido usuário de acordo com o *Charging ID* das CDRs.

## 2.2 Caracterização dos Usuários de Internet Móvel

Os trabalhos de caracterização têm como objetivo entender e modelar tanto o comportamento dos usuários quanto a carga de trabalho gerada na rede. A modelagem da carga de trabalho é uma tarefa importante para os ISPs devido a necessidade de gerenciamento dos recursos da rede, principalmente, em períodos de pico de demanda durante os quais intervenções podem ser necessárias para o controle de possíveis congestionamentos. De modo análogo, modelar o comportamento dos usuários é importante para o planejamento da rede servindo também de orientação para modificações e expansões. Um exemplo é a identificação de regiões nas quais as estações base possam estar sobrecarregadas devido à concentração de uma quantidade de usuários maior que a suportada. Neste caso o ISP pode utilizar os resultados da caracterização no planejamento da expansão da rede.

Recentes trabalhos de caracterização do tráfego de Internet móvel apresentam algumas características comuns ao comportamento dos usuários (ZHANG; ARVIDSSON, 2012; LANER et al., 2012; ZHOU et al., 2012). Nestes trabalhos é possível observar como um pequeno grupo de usuários, em média de 1% (PAUL et al., 2011) à 3% (JIN et al., 2012) do número total de usuários, é responsável pela utilização de grande parte do volume de dados na rede do ISP. Esse grupo de usuários, responsável por gerar, em certos casos, até 60% do tráfego da rede, pode ser facilmente definido pelo seu comportamento comum. Normalmente, fazem uso de um conjunto pequeno de serviços como o *streaming* de áudio e vídeo que consomem grandes volumes de dados.

Em Paul et al. (2011), os autores apresentam um estudo sobre as características espaciais e temporais do tráfego na rede de dados móveis. Como citado anteriormente e mostrado em outros estudos de caracterização, cerca de 60% do volume de dados que trafega na rede é originada de um pequeno grupo de usuários que é composto, normalmente, pelos usuários com maior mobilidade entre as estações base do provedor. Em relação à mobilidade dos usuários, cerca de 95% dos usuários se movimentam entre um número máximo de 10 estações base por dia. Utilizando uma medida chamada *Radius of Gyration*, que calcula o espaço linear ocupado pela trajetória de um usuário (GONZALEZ; HIDALGO; BARABASI, 2008), foi mostrado como os padrões de movimentação dos usuários respeitam um grupo definido de localizações, principalmente, considerando períodos de 24 horas. Durante estes períodos, mesmo os usuários com maior índice de mobilidade, podem ser encontrados com facilidade nos locais mais visitados por eles.

Qian et al. (2013) apresentam dados que mostram quando e em quais volumes os usuários fazem uso dos serviços de Internet móvel. Para isto, os autores realizaram a divisão do dia em quatro períodos (1AM ~ 7AM, 7AM ~ 2PM, 2PM ~ 6PM, 6PM ~ 1AM) considerando os momentos onde o número de usuários ativo na rede sofreu grande alteração. Como em outros estudos de caracterização, foi observado que os usuários com maior mobilidade não só utilizam os serviços de Internet com maior frequência como são também os responsáveis por gerar maiores volumes de dados na rede. Apesar de possuir a menor média de usuários ativos, o período entre 1AM ~ 7AM é o período com a maior média de utilização por usuário. Foram analisados ainda a mobilidade dos usuários e a utilização da rede pelo ponto de vista das estações base. As estações base possuem cargas de trabalho diferentes em diferentes períodos do dia com baixa correlação entre elas.

Algumas características podem ser encontradas em diversos destes trabalhos de caracterização de usuários de Internet móvel, principalmente, quanto à mobilidade dos usuários, o volume de dados e a utilização das estações base. Os usuários com maior mobilidade são citados como os que mais contribuem para o volume de dados que trafegam na rede. Estes usuários podem ser divididos em dois grupos de acordo com a utilização de dados. O primeiro é composto por uma quantidade relativamente pequena de usuários, de 1% a 3% nos estudos apresentados, que são responsáveis por até 60% do volume de dados. Este primeiro grupo é composto por usuários que, normalmente, fazem muito uso dos sistemas de *streaming* de vídeo. O segundo grupo é composto pela grande maioria dos usuários do ISP e que utilizam a Internet móvel com menor frequência, principalmente para acessar serviços de Web e E-mails (PAUL et al., 2011; JIN et al., 2012). Quanto às estações base, é observado que existem grandes diferenças no volume de dados trafegados em diferentes estações base. Em Paul et al. (2011), por exemplo, os autores mostram que cerca de 50%-60% do volume de dados da rede passa por apenas 10% das estações base. Resultados similares podem ser encontrados nos trabalhos de Laner et al. (2012) e Qian et al. (2013).

## 2.3 Esquemas de Precificação

A popularização de dispositivos móveis cada vez mais equipados com tecnologias que permitem o acesso a Internet e a execução de aplicativos de alta complexidade (ERICSSON, 2011; CISCO, 2013; CETIC, 2013; ALLOT, 2014) tem influenciado o recente crescimento na demanda por Internet móvel. Com a utilização de um *smartphone*, o usuário tem a possibilidade de se manter sempre conectado a Internet com acesso em tempo real a diversos aplicativos como emails, redes sociais, serviços de *streaming* de conteúdo áudio visual, etc. A tecnologia presente nesses dispositivos têm possibilitado o desenvolvimento de uma nova geração de aplicativos móveis, alguns destes baseados em serviços hospedados na nuvem e com capacidade de consumir grandes volumes de dados (SEN et al., 2012). O YouTube anunciou recentemente que cerca de 40% do tráfego de seu aplicativo é originado a partir de dispositivos móveis (DAILY, 2013). Recentemente, o Facebook<sup>1</sup>, atualmente uma das redes sociais mais populares do mundo, publicou dados que mostram o crescimento na quantidade de usuários que utilizam o aplicativo da rede social através de um dispositivo móvel (TECHCRUNCH, 2013; VENTUREBEAT, 2014), comprovando a tendência no aumento da utilização deste serviço. A grande utilização desse tipo de aplicativo pode aumentar a demanda na rede forçando os ISPs a estudarem novas estratégias para manter a rentabilidade do sistema e a qualidade dos serviços na rede que, principalmente nos períodos de pico, pode sofrer com congestionamentos que podem causar atrasos na resposta de requisições e/ou perda de pacotes (MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010).

Nesse contexto, esquemas de precificação podem ser utilizados como uma forma alternativa de controle de tráfego na rede dos ISPs (LOISEAU et al., 2013). O controle dos níveis de demanda na rede do ISP é importante pois os períodos de congestionamento podem ser considerados responsáveis por grande parte dos custos operacionais da rede (SHAKKOTTAI et al., 2008). Na literatura, são encontrados trabalhos de diversos autores que propõem esquemas de precificação para serviços de Internet (ODLYZKO, 1999; EL-SAYED et al., 2011). De forma simplificada, considerando como é realizado o processo de definição de preços de utilização, estes trabalhos podem ser divididos em esquemas estáticos e dinâmicos (SEN et al., 2013). Na abordagem de precificação estática, os preços são pré-determinados pelos ISPs baseados no histórico de utilização dos recursos da rede e nos custos operacionais. Os preços de utilização são atualizados em intervalos de tempo relativamente grandes (mensalmente ou anualmente) e não sofrem influência das alterações de demanda na rede. Esse tipo de modelo de precificação se tornou popular devido a facilidade de implementação e controle tanto para os ISPs quanto para seus usuários (MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010). Nos modelos de precificação dinâmicos dados da carga de trabalho podem ser utilizados na definição dos preços

<sup>1</sup> Facebook: <<http://www.facebook.com>>

de utilização (HA et al., 2012). O período de atualização dos preços é mais curto (por hora ou diariamente) do que na abordagem estática e os ISPs devem fornecer uma maneira simples de checagem do preço de utilização e gerenciamento dos gastos para os usuários.

As seções seguintes apresentam uma breve descrição sobre alguns modelos de precificação estáticos (Seção 2.3.1) e dinâmicos (Seção 2.3.2) e cita algumas das vantagens e desvantagens desses tipos de abordagem de precificação.

### 2.3.1 Esquema de precificação estáticos

A tarifa plana é um esquema de precificação de abordagem estática que tem sido utilizada pelos ISPs como principal esquema de precificação de serviços de Internet móveis, principalmente, devido à facilidade de implementação e controle (SEN et al., 2013). Neste esquema, os usuários pagam uma taxa fixa, normalmente mensal, para utilizar dos serviços dos ISPs independente do volume de dados utilizados. Isto permite que o ISP possa realizar uma previsão da renda a partir do número de assinaturas de planos de dados. Para os usuários, esse esquema permite controlar facilmente os gastos com Internet móvel pois o valor pago é fixo. Como o valor pago pelos usuários não depende do volume de bytes utilizados, a tarifa plana pode incentivar o desperdício de recursos o que pode tornar o sistema insustentável, principalmente, devido aos possíveis aumentos nos gastos com o controle de congestionamento na rede (MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010). Além disso, é comum que grupos compostos por uma pequena quantidade dos usuários sejam responsáveis pela utilização de grande volume de dados na rede do provedor (PAUL et al., 2011; JIN et al., 2012; QIAN et al., 2013). Esses pequenos grupos acabam sendo subsidiados pelos usuários que não utilizam toda a capacidade de banda contratada.

Recentemente, ISPs, como a AT&T e a Verizon, começaram a descontinuar os planos de tarifa plana sem limites de utilização ofertando aos novos usuários planos com limites de dados. Nesses novos planos, o usuário adere a um contrato no qual recebe periodicamente um *budget* que é definido no momento da assinatura do contratado de prestação de serviços (HA et al., 2012; CHEN et al., 2012). Assim como na tarifa plana, os usuários pagam um valor mensal fixo atrelado ao *budget* contratado. O *budget* do usuário é válido por um determinado período sendo recarregado para o seu valor máximo ao fim deste. Quando o *budget* de um usuário chega ao fim antes do período de recarga, o ISP pode aplicar algumas penalidades que são definidas no contrato. Entre as penalidades mais comuns estão o interrompimento do serviços, a cobrança

proporcional pelos bytes utilizados além do *budget* contratado e a redução da velocidade máxima de conexão (SEN et al., 2013). A penalidade aplicada a um usuário é válida até que o *budget* seja recarregado.

Odlyzko (1999) propõe um esquema de precificação denominado *Paris Metro Pricing* (PMP). O PMP é um esquema de precificação estático baseado na diferenciação dos preços de utilização dos canais de comunicação. Nesse esquema, o ISP define diferentes preços de utilização para os canais de comunicação. Espera-se que os canais com preços mais altos sejam menos utilizados e, conseqüentemente, fiquem menos congestionados apresentando melhor qualidade de serviço. Segundo Odlyzko (1999), os usuários que desejam economizar com os gastos podem escolher utilizar os canais com os menores preços. Dessa forma, o ISP pode oferecer serviços diferenciados apenas ajustando o preço e a capacidade de transmissão de cada canal.

Apesar das facilidades de gerenciamento e controle, a tarifa plana e os demais esquemas de precificação estáticos não consideram os problemas causados pela alta demanda nos períodos de pico. Durante esses períodos podem ocorrer congestionamentos na rede, o que pode aumentar os custos operacionais para os ISPs e os usuários podem sofrer com atrasos na entrega de pacotes.

### 2.3.2 Esquema de precificação dinâmicos

Nos esquemas de abordagem dinâmica, o ISP pode utilizar dados da carga de trabalho na definição dos preços de utilização (MARQUES-NETO; ALMEIDA; ALMEIDA, 2010; HA et al., 2012). Nesses esquemas, o período de atualização dos preços é menor e os ISPs devem fornecer uma maneira simples para que os usuários possam verificar os preços de utilização que estão sendo praticados e controlar os seus gastos. Como os preços podem ser diferentes de acordo com o período do dia, os usuários podem decidir quando utilizar o sistema com base no custo/benefício percebido. Esta decisão é realizada considerando tanto o preço de utilização da Internet quanto a necessidade de utilização de um determinado aplicativo. A ideia de utilizar modelos de precificação dinâmicos não é nova (SEN et al., 2012) e apesar das complexidades envolvidas na utilização dessa abordagem, eles estão cada vez mais presentes nas discussões sobre a necessidade de se encontrar novas estratégias que possam para auxiliar no controle da demanda pelos ISPs (HA et al., 2012; EL-SAYED et al., 2011; CHEN et al., 2012). Alguns exemplos de abordagens de precificação dinâmica são a cobrança diferenciada por classe de

serviço, a diferenciação de preços em determinados períodos do dia (diurno e noturno) e a cobrança de acordo com a hora do dia (SEN et al., 2012).

Marques-Neto, Almeida e Almeida (2010) propõem um esquema de precificação, denominado *Broadband Pricing Scheme* (BPS), que considera a demanda histórica da rede para definir os preços de utilização dos serviços em diferentes períodos. No BPS, os usuários pagam uma taxa fixa para utilização dos serviços por um determinado período recebendo um *budget* que é calculado baseado na velocidade contratada. Quando o usuário faz uso do sistema, o valor referente aos bytes utilizados é subtraído de seu *budget*. Como a quantidade de *budget* de cada usuário é limitada, ele pode decidir por não utilizar o sistema em períodos de pico, onde o preço cobrado é maior, garantindo, assim, que possa utilizar os serviços até a próxima recarga de seu *budget*.

Paul, Buddhikot e Das (2012) propõem a utilização de um modelo no qual os usuários podem atribuir baixas prioridades a alguns serviços. O objetivo é utilizar a mobilidade dos usuários para postergar a entrega de dados com prioridades baixas. A entrega de dados de serviços menos prioritários pode ser programada para ocorrer quando o usuário se encontra na área de cobertura de uma estação base cuja carga de trabalho esteja reduzida. Nesse trabalho, os autores utilizam dados reais na criação de um modelo de mobilidade dos usuários. Esse modelo é utilizado para prever a movimentação dos usuários e programar a entrega dos dados de baixa prioridade. Diferente desse trabalho, o BaSCoP utiliza os limites de utilização das estações base na definição de preços criando descontos para incentivar os usuários a postergarem a utilização dos serviços de Internet.

O esquema de precificação TUBE foi proposto por Ha et al. (2012) com o objetivo de reduzir a sobrecarga de trabalho na rede do ISP. Nesse esquema, o horário de uso é considerado na definição dos preços de utilização, ou seja, períodos com demandas historicamente mais elevadas possuem preços de utilização mais caros, se comparados com períodos de baixa demanda. Para alcançar este objetivo, são oferecidos descontos em períodos de baixa carga de trabalho na rede. Esses descontos podem incentivar os usuários a postergarem a utilização de alguns serviços, tais como, a atualização de aplicativos, o *download* de filmes, sincronização de dados. Como o TUBE é o trabalho que motivou a criação do BaSCoP, a Seção 2.3.3 apresenta a descrição detalhada desse esquema.

### 2.3.3 TUBE: Time-dependent Usage-based Broadband pricing Engineering

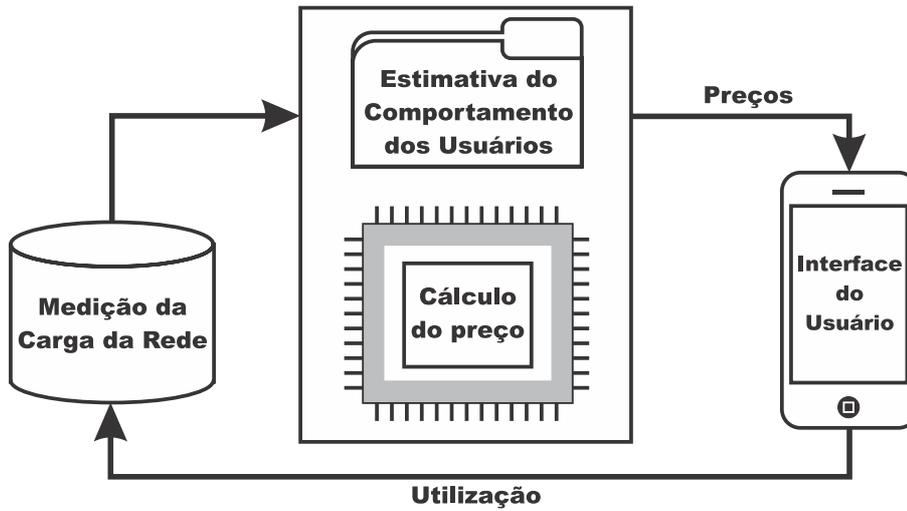
Ha et al. (2012) apresentam um esquema de precificação dinâmico para Internet móvel que considera os históricos de demanda da rede no processo de cálculo dos preços de utilização que serão praticados no dia seguinte (*Day-ahead Pricing*). No TUBE, os preços são atualizados, periodicamente, considerando as alterações de demanda na rede. As alterações nos níveis de demanda podem ocorrer devido ao fato do TUBE oferecer desconto no preço de utilização durante períodos com histórico de baixa demanda. Desta forma, os usuários são incentivados a reduzirem o consumo de dados nos períodos de alta demanda que, conseqüentemente, possuem preços mais elevados. A redução de demanda nos períodos de pico é interessante para o ISP pois pode reduzir os gastos com o controle de congestionamento e a expansão do sistema. Para os usuários, a redução na demanda pode ocasionar em melhoras no tempo de resposta da rede nos períodos de pico além de reduzir os gastos com os serviços de Internet para os usuários que utilizarem a rede nos períodos de baixa demanda.

Considerando que os usuários utilizam um conjunto de aplicações com diferentes níveis de tolerância a atrasos, um usuário pode adiar a utilização de uma determinada aplicação em troca de um desconto no preço de utilização. Ou seja, um usuário pode aguardar algumas horas para atualizar um aplicativo sabendo que economizará R\$1,00. Contudo, o mesmo usuário pode não querer aguardar 30 minutos para assistir a um vídeo em troca do mesmo desconto. Essa “disposição” dos usuários em adiar a utilização de alguns serviços em troca de descontos foi modelada e utilizada para estimar a quantidade de dados que os usuários poderiam deixar de utilizar nos períodos de pico.

O TUBE utiliza uma arquitetura, composta por dois componentes independentes, que permite ao ISP fornecer a seus usuários um *feedback* sobre a situação da rede. O primeiro componente é um servidor gerenciado pelo ISP que é responsável pelas tarefas de monitoramento da demanda, estimativa de uso dos usuários e do processo de definição e divulgação dos preços de utilização que é realizado em períodos de 24 horas. O segundo componente é um aplicativo que é instalado no dispositivo móvel do usuário e é responsável pela exibição dos preços de utilização e monitoramento da utilização de dados. A figura 4 apresenta essa arquitetura de forma esquemática.

Para modelar a “disposição” dos usuários em adiarem a utilização, o ISP deveria realizar um período de testes no qual seriam oferecidos preços diversificados e o comportamento dos usuários fosse estudado. Contudo, para simplificar esta etapa, os autores realizaram uma pesquisa com 676 voluntários. Os participantes, 130 dos EUA e 546 da Índia, foram questionados sobre por quanto tempo aceitariam postergar a utilização de alguns aplicativos em troca de des-

**Figura 4 – Arquitetura do sistema de cálculo de preços do TUBE**



Fonte: Ha et al. (2012)

contos no preço de utilização. As respostas dos questionários foram utilizadas para calcular o percentual de usuários que aceitariam adiar a utilização dos serviços por um determinado intervalo de tempo em troca de descontos. De posse destes dados, foi calculada a derivada discreta em função do tempo (isto é, a diferença entre os percentuais de usuários dividida pela duração do intervalo de tempo) para encontrar os valores dos “índices de paciência” para cada tipo de serviço. Nessa pesquisa, foi observado que a tolerância para adiar a utilização de serviços é menor para aplicativos de *streaming* de vídeo, sendo as atualizações de software e *downloads* de filmes atividades as quais os usuários teriam maior tolerância em adiar a utilização.

Nessa modelagem, foi utilizado um conceito denominado “índice de paciência”, um valor numérico  $p$  que representa a “disposição” dos usuários em adiar a utilização de serviços. O “índice de paciência” foi definido de forma que quanto maior o valor de  $p$  menor a “disposição” dos usuários em adiarem a utilização. Considerando o “índice de paciência” pode ser calculada a probabilidade de um usuário em adiar a utilização por um período  $\tau$  dado um desconto  $d$  que pode ser calculada por:

$$w_p(d, \tau) = \frac{d}{\lambda_p(\tau + 1)^p} \quad (2.1)$$

Onde  $\lambda_p$  é uma constante de normalização escolhida para que o valor de  $w_p(d, \tau)$  possa representar a probabilidade de um usuário postergar a utilização dos serviços de Internet dados os valores de  $\tau$  e  $d$ . Essa constante é geralmente calculada utilizando a seguinte equação

$\lambda_p = \sum_{t=1}^{n-1} w_p(D, \tau)$ , onde  $n$  representa o número de períodos,  $D$  representa o maior desconto possível oferecido em cada período e  $w_p(D, \tau)$  é a forma não normalizada da equação (2.1). Um valor alto de  $p$  indica menor paciência do usuário, enquanto  $p = 0$  indica indiferença ao tempo adiado  $\tau$ . Quanto maiores os valores de  $\tau$  e  $p$ , mais rapidamente cai o valor de  $w_p(d, \tau)$ . Ou seja, quanto maiores os valores de  $\tau$  e  $p$  menor a “disposição” do usuário em adiar o tráfego por um período  $\tau$ . O TUBE considera que o tráfego não será adiado por um período maior que 24 horas, ou seja  $n = 24$ .

A estimativa de tráfego do TUBE realizada a partir dos cálculos de  $w_p(d, \tau)$  Dado um conjunto de descontos  $d_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$ , oferecidos durante os períodos de um dia, a estimativa da quantidade de tráfego que será adiado de um período  $i$  para um período  $k \neq i$  pode ser definida por:

$$A_{ik} = Y_i \sum_{j=1}^m \mu_j w_{p_j^i}(d_k, |k - i|_n) \quad (2.2)$$

onde  $Y_i$  representa a utilização sem o uso do TUBE no período  $i$  e  $|k - i|_n$ , compreendido como módulo  $n$ , representando a diferença de tempo entre os períodos  $i$  e  $k$ . Se  $k < i$ , o período  $k$  ocorrerá após o período  $i$ . Essa equação considera a existência de  $m$  classes de tráfego, sendo a  $p_j$  o índice de paciência e  $\mu_j$  o percentual de tráfego da  $j$ -ésima classe de tráfego.

Para avaliação do TUBE, os autores implementaram o modelo de precificação e realizaram um experimento real com 50 usuários da operadora AT&T. Como os testes foram realizados com um número relativamente pequeno de usuários, as condições de congestionamento foram realizadas através de simulações nos servidores implementados. Os resultados mostram que o TUBE pode ser utilizado como uma ferramenta de redução da carga de trabalho na rede em períodos de pico. Essa redução é possível quando os usuários resolvem adiar a sua demanda para períodos de menor tráfego na rede.

Diferentemente do BaSCoP, o TUBE não considera as diferenças de carga de trabalho nas estações base no processo de definição de preços e pode não ser justo, principalmente, para usuários fora de uma zona de congestionamento. Como descrito na sessão 2.2, diferentes estações base podem ter diferentes níveis de utilização em determinados períodos do dia. Considerar o histórico de carga de trabalho das estações base no processo de definição de preços pode ajudar aos ISPs na redução da carga de trabalho na estações base. A redução da carga de trabalho nas estações base pode permitir, por exemplo, ao sistema, comportar um número maior de usuários sem que sejam realizados investimentos na expansão da infraestrutura.

## 2.4 Modelos de Mobilidade

Os modelos de mobilidades são desenvolvidos, normalmente, para descrever o padrão de movimentação de pessoas. Esses modelos permitem identificar como a localização, a velocidade e a aceleração dos usuários mudam de acordo com o tempo. Na literatura são encontrados vários trabalhos que citam a importância dos modelos de mobilidade na simulação de ambientes móveis (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002). O *Random Waypoint* é um modelo de mobilidade que é frequentemente utilizado na avaliação de sistemas móveis. Neste modelo, os usuários se movimentam em direções e velocidades escolhidas aleatoriamente. Este modelo é frequentemente utilizado devido à sua simplicidade, entretanto, os usuários de sistemas móveis têm complexos padrões de mobilidade que podem afetar a movimentação de forma individual e/ou coletiva. Recentes estudos têm foco no desenvolvimento de modelos de mobilidade que atendam a diferentes características do comportamento dos usuários. Nesses modelos a movimentação dos usuários pode sofrer influência de seu histórico de movimentação ou pela movimentação dos demais usuários (RHEE et al., 2008; AZEVEDO et al., 2009; HONG; LEE; RHEE, 2010).

Os modelos mais realistas são, normalmente, desenvolvidos a partir da análise de *traces* de GPS, localização de celulares e redes wireless. Desta forma, é possível observar o comportamento dos usuários durante determinados períodos e coletar dados como a localização, a direção de movimentação, a popularidade dos locais visitados e a velocidade de movimentação. A partir destes dados é realizado um estudo estatístico que permite criar um modelo matemático que permita simular o padrão de comportamento dos usuários envolvidos no experimento (RHEE et al., 2008; MUNJAL; CAMP; NAVIDI, 2011).

As próximas seções apresentam os quatro modelos de mobilidade que foram utilizados na simulação do esquema de precificação proposto neste trabalho de pesquisa. O primeiro é o *Random Waypoint* um modelo no qual os usuários se movimentam de forma aleatória (BRESLAU et al., 2000). O segundo modelo, denominado Rio, foi criado neste trabalho para simular a caminhada dos usuários pela orla da Praia de Copacabana, localização que foi utilizada como referência para o cenário de simulação. Os demais modelos, *Slaw* (LEE et al., 2012) e *Smooth* (MUNJAL; CAMP; NAVIDI, 2011), são modelos de mobilidade mais realistas que estudam *traces* de GPS para tentar reproduzir as características de mobilidade dos usuários.

### 2.4.1 *Random Waypoint*

O *Random Waypoint* é um modelo de mobilidade no qual os usuários se movimentam de maneira aleatória pelo cenário. Este modelo possui uma implementação no simulador NS-2 (BRESLAU et al., 2000). Nesta implementação os usuários se movimentam da seguinte maneira: quando a simulação começa, cada usuário escolhe aleatoriamente uma posição inicial e uma posição final. Os usuários se movimentam em direção a posição destino em velocidade constante definida de forma uniforme e aleatória entre  $[0, V_{max}]$ , onde  $V_{max}$  é a velocidade máxima comum para todos os usuários. Ao chegar a posição destino o usuário fica parado por um tempo  $T_{pause}$  definido como “tempo de pausa”. Após o tempo  $T_{pause}$  o usuário seleciona uma nova posição destino e se movimenta em direção a ela. Este processo se repete até que a simulação acabe.

No *Random Waypoint* os parâmetros  $V_{max}$  e  $T_{pause}$  são os responsáveis por determinar a mobilidade dos usuários. Se o valor de  $V_{max}$  for baixo e o valor de  $T_{pause}$  for alto haverá pouca movimentação dos usuários. Em contrapartida, se  $T_{pause}$  tiver valor próximo de 0 e os usuários se movimentarem com velocidade maior (alto valor de  $V_{max}$ ) a movimentação dos usuários será altamente dinâmica.

### 2.4.2 *RIO*

Esta seção apresenta o RIO, um modelo de mobilidade que simula a caminhada na orla de Copacabana - RJ - Brasil. Como a localização das estações base são baseadas em sua localização real na rede de um grande ISP brasileiro, este modelo de mobilidade foi desenvolvido neste trabalho de pesquisa na tentativa de reproduzir o comportamento dos usuários no cenário simulado. Detalhes sobre a localização e posicionamento das estações base, bem como as demais informações sobre os cenários de simulação serão apresentados na Seção 4.1.

No RIO, os usuários caminham horizontalmente pelo cenário de simulação, o que se assemelha a uma caminhada pela orla de Copacabana. Ao início da simulação cada usuário escolhe aleatoriamente uma posição inicial  $P_{ini}$  e uma posição final  $P_{fim}$ . Para a velocidade de movimentação no modelo RIO foi escolhido o valor constante de 5 *km/h*. Apesar de se parecer com o *Random Waypoint*, o modelo RIO foi utilizado para criar um cenário onde a

movimentação horizontal dos usuários pelo cenário permita que eles se movimentem por uma maior quantidade de estações base.

### 2.4.3 SLAW: A Mobility Model for Human Walks

O SLAW (*Self-similar Least Action Walk*) (LEE et al., 2012) é um modelo de mobilidade que abstrai os detalhes geográficos que podem alterar de acordo com as configurações de simulação de um ambiente para outro. O objetivo é simular as características fundamentais da mobilidade humana utilizando um modelo que seja fácil de manipular. No SLAW os usuários se movimentam seguindo diversas propriedades estatísticas capturadas a partir de traces de GPS utilizados por voluntários em vários ambientes.

Primeiramente, no SLAW, são definidos os *waypoints* em uma representação 2D. A movimentação dos usuários é gerada sobre essa representação dos *waypoints*. O planejamento da trajetória dos nós é feita considerando que as pessoas tendem a visitar locais próximos uns dos outros antes de visitarem um local mais distante da posição onde se encontram. Esse princípio é conhecido como o princípio da ação mínima (*least-action principle*).

---

#### Algoritmo 1: Pseudocódigo SLAW

---

```

1  $V_i$ : Conjunto de todos os waypoints;
2  $V'$ : Conjunto dos waypoints visitados;
3  $s \in V$ : Waypoint inicial;
4  $c \in V$ : Waypoint atual;
5  $c \leftarrow s$ 
6  $V' \leftarrow \{c\}$ ;
7 while  $V_i \neq V'$  do
8   \ \ Calcula a distância para todos os waypoints não visitados;
9    $d(c, v) = \|c - v\|_2 \ \forall v \in V - V'$ 
10  \ \ Calcula a probabilidade de mover para todos os waypoints;
11   $P(c, v) = \frac{\{\frac{1}{d(c,v)}\}^\alpha}{\sum_v \{\frac{1}{d(c,v)}\}^\alpha} \ \forall v \in V - V'$ ;
12  Escolher o próximo waypoint  $v' \in V - V'$  de acordo com  $P(c, v)$ ;
13   $c \leftarrow v'$ ;
14   $V' \leftarrow V' \cup \{c\}$ ;
15 end

```

---

Para restringir a movimentação dos nós de forma que ela não seja aleatória, cada nó é associado a um conjunto pré-determinado de *waypoints*. Ou seja, a movimentação dos usuá-

rios é influenciada pelos locais por onde o usuário passa com maior frequência. No SLAW, é permitido ao usuário se movimentar para locais que não pertençam ao conjunto de *waypoints* definidos para ele. Isto é permitido para adicionar ao modelo de mobilidade características aleatórias na movimentação dos usuários. A visita de locais fora do conjunto de *waypoints* definidos para o usuário é realizada dentro de uma probabilidade controlada.

#### 2.4.4 SMOOTH: A simple Way to Model Human Mobility

O SMOOTH (MUNJAL; CAMP; NAVIDI, 2011) é um modelo de mobilidade que reúne características do comportamento humano em um modelo realista e de simples configuração. No SMOOTH os locais comuns visitados pelos usuários são modelados como *clusters* de forma que os *clusters* mais populares são visitados com mais frequência que os *clusters* não populares. A popularidade de cada *cluster* é definida por um valor  $p\_cluster(i)$ , quanto maior o valor de  $p\_cluster(i)$  de um *cluster* mais popular é ele. Os nós são adicionados no cenário considerando a popularidade dos *clusters*. Ou seja, quanto mais popular um *cluster* maior a probabilidade de que um nó seja posicionado próximo a ele. Esse mecanismo de posicionamento inicial dos nós garante que eles sejam distribuídos de maneira não uniforme no cenário. O pseudocódigo do SMOOTH é apresentado no algoritmo 2. A descrição detalhada do SMOOTH é apresentada a seguir.

---

#### Algoritmo 2: Pseudocódigo SMOOTH

---

```

1 Definir a localização de cada cluster;
2 for Cada nó do
3   | Selecionar um cluster com probabilidade  $p\_cluster(i)$ ;
4 end
5 while ( $t < sim\_time$ ) do
6   | for Cada nó  $n$  do
7     | Gerar  $U \sim (0,1)$ ;
8     | if ( $U > prob\_explore(n)$ ) then
9       | Volta a um local visitado anteriormente satisfazendo a equação;
10    | end
11    | else
12      | Seleciona um novo local para visitar obedecendo a distribuição TPL das
13      | distâncias;
14    | end
15    | Em cada local, parar por um pause-time obedecendo a distribuição TPL;
16  | end
17 end

```

---

Primeiramente, as posições dos *clusters* são definidas. Cada nó escolhe um *cluster* com probabilidade  $p_{cluster}(i)$ . Ou seja, os *clusters* mais populares são escolhidos com maior frequência. Durante a movimentação dos nós a equação 2.3 define a probabilidade de que um nó  $n$  visitar uma nova localização considerando os locais já visitados.

$$prob\_explore(n) = aD_n^{-b} \quad (2.3)$$

Onde  $D_n$  é o número de locais já visitados pelo nó  $n$  e  $a \approx 0.6$  e  $b \approx 0.21 \pm 0.02$  são constantes derivadas de análises empíricas de dados de mobilidade reais. Quanto maior o valor de  $D_n$  menor o valor de  $prob\_explore(n)$ . Ou seja, quanto maior o numero de locais que um nó visitou menor a chance de que ele visite um local ainda não visitado e, portanto, prever os movimentos do nó se torna mais fácil ao longo do tempo.

A probabilidade de um nó voltar à um local visitado anteriormente é proporcional ao número de vezes que o nó visitou este local, ou seja:

$$p(l) \propto n(l) \quad (2.4)$$

Onde  $p(l)$  representa a probabilidade do nó  $n$  visitar a localização  $l$  e  $n(l)$  é o número de vezes que o nó  $n$  visitou a localização  $l$ .

### 3 BASCOP: *BASE STATION CONGESTION-BASED PRICING*

Esta seção apresenta o BaSCoP (*Base Station Congestion-based Pricing*), um esquema de precificação de Internet móvel com o propósito de promover uma cobrança mais justa no uso da Internet móvel o que, conseqüentemente, pode ajudar os ISPs a controlarem os níveis de congestionamento e reduzir os custos de operação da rede. Este esquema pode auxiliar os ISPs no controle de seus recursos pois possibilita uma predição da demanda dos usuários permitindo um maior planejamento da alocação de recursos na rede. A construção do BaSCoP foi motivada pela análise dos resultados dos trabalhos de caracterização apresentados na Seção 2.2 e também inspirada no trabalho de Ha et al. (2012), que propõe um esquema de precificação dinâmica de Internet móvel que utiliza a demanda da rede no processo de definição dos preços de utilização. Todavia, diferente daquele trabalho, o BaSCoP propõe a precificação de serviços de Internet diferenciada para cada estação base. O uso do BaSCoP pode promover a redistribuição da carga entre as estações base ao longo do dia, o que pode aumentar a utilização de estações base que, normalmente, passam por períodos de baixa demanda ao longo do dia. Nos períodos de alta demanda nas estações base, o BaSCoP pode promover a redução da carga de trabalho o que, conseqüentemente pode minimizar a sobrecarga de trabalho na rede.

Para simular a “disposição” dos usuários em adiarem a utilização de dados o BaSCoP aplica o conceito de “*índice de paciência*” apresentado no TUBE e descrito no Capítulo 2.3.3. Como explicado anteriormente, quanto maior o valor do “*índice de paciência*” de um usuário para um determinado serviço menor a “disposição” do usuário em adiar a utilização desse serviço em troca de um desconto. O “*índice de paciência*” é utilizado para realizar a estimativa do comportamento dos usuários de acordo com os descontos oferecidos na rede. Esta estimativa deve ser utilizada para evitar que os descontos oferecidos pelo provedor possam criar novos pontos de congestionamento. Isto pode ocorrer caso grande quantidade de usuários resolvam adiar a utilização de dados para os mesmo locais devido ao desconto que pode ser obtido, assim, causando um novo congestionamento.

Em uma rede móvel, os usuários se movimentam entre diversas estações base durante o dia e estas estações base podem ter diferentes níveis de utilização de recursos em diferentes períodos. Portanto, um esquema de precificação que considere apenas os níveis de demanda da rede no processo de definição de preços pode ser injusto, principalmente, para os usuários que se encontram em regiões nas quais a demanda local é baixa. Nessas regiões de baixa demanda, o BaSCoP possibilita que o ISP ofereça preços de utilização diferenciados o que pode incentivar a utilização da Internet. Esse mecanismo de incentivo, pode ajudar na redução da carga de trabalho nas estações base que, normalmente, têm níveis elevados de demanda.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados na simulação do esquema de precificação BaSCoP. A rede do ISP é composta por um conjunto  $S$  de estações base geograficamente distribuídas, cada estação base  $s$  possui uma capacidade  $B_s$ . Para calcular a capacidade da rede e das estações base, é considerada a demanda em *bytes* por hora. Para o funcionamento do BaSCoP o provedor deve disponibilizar o conjunto de preços de utilização de cada estação base  $P_s$  para cada período de tempo  $t$ , onde cada período  $t$  corresponde à uma hora do dia  $T$ .

**Tabela 1 – Parâmetros utilizados pelo BaSCoP.**

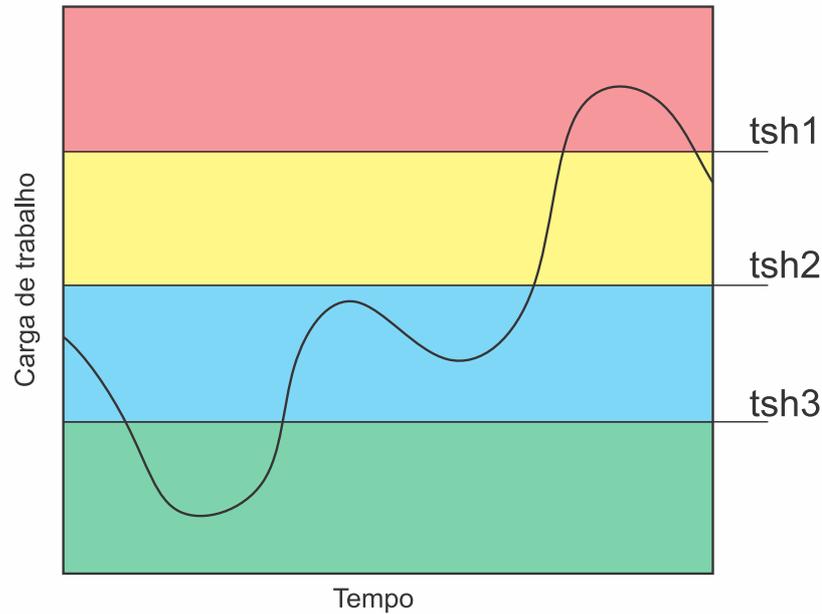
| <i>Parâmetro</i> | <i>Descrição</i>   |
|------------------|--|
| $N$              | Número de usuários   |
| $n$              | Usuário $n$  |
| $S$              | Conjunto de estações base do ISP   |
| $s$              | Estação base $s$ do ISP  |
| $T$              | Intervalo de tempo, por exemplo um dia ou uma hora                       |
| $t$              | Período de tempo $t$   |
| $D$              | Demanda total da rede do ISP   |
| $D_s^t$          | Demanda total da estação base $s$ no período $t$                         |
| $d_{si}^t$       | Demanda total do usuário $i$ na estação base $s$ no período $t$          |
| $B_s$            | Capacidade máxima da estação base $s$                                    |
| $P_s$            | Conjunto de preços da estação base $s$ em $T$                            |
| $p_s^t$          | Preço de utilização na estação base $s$ no período $t$                   |
| $tsh_1$          | Limiar que caracteriza altos níveis de carga de trabalho na estação base |
| $tsh_2$          | Limiar que caracteriza níveis regulares de demanda na estação base       |
| $tsh_3$          | Limiar que caracteriza ociosidade dos recursos da estação base           |
| $\theta_s^t$     | Máximo desconto oferecido no período $t$ para estação base $s$           |
| $P_{byte}$       | Preço do byte cobrado pelo ISP sem descontos ou sobretaxas               |

**Fonte: Dados da pesquisa**

O BaSCoP utiliza um conjunto de três limiares no processo cálculo de preços. Estes limiares são utilizados na definição de quando o ISP deve incentivar, ou desencorajar a utilização dos recursos da rede. Os limiares foram escolhidos para representar, respectivamente, ( $tsh_1$ ) altos níveis de carga de trabalho com possível congestionamento, ou seja  $D_s^t \geq tsh_1$ , ( $tsh_2$ ) altos níveis de carga de trabalho na estação base, ou seja  $tsh_1 > D_s^t \geq tsh_2$ , ( $tsh_3$ ) níveis regulares de demanda, ou seja  $tsh_2 > D_s^t \geq tsh_3$ . Quando  $D_s^t < tsh_3$  pode-se considerar que a demanda na estação base  $s$  está em níveis de ociosidade. A divisão destes limiares pode ser visualizado na Figura 5. Entretanto, apesar da possibilidade de aplicar descontos que possibilitem que os usuários consumam maior volume de dados, neste trabalho, para efeitos de comparação, foi considerado que os usuários consomem o mesmo volume de dados em todas as simulações.

Considerando que a rede de um ISP é composta por um conjunto de estações base  $S$ , a carga de trabalho  $D$  gerada pelos  $n$  usuários conectados à estação base  $s \in S$ , no período  $t_k$ , pode ser calculada por  $D_s^t = \sum_{i=1}^n d_{si}^t$ , onde  $d_{si}^t$  representa a demanda total gerada pelo usuário  $i$  conectado a estação base  $s$  durante o período  $t$ . Seja  $B_s$  a capacidade máxima da estação

**Figura 5 – Exemplo de limiares de utilização das estações base da rede.**



**Fonte: Dados da pesquisa**

base  $s$ , quando  $D_s^t$  é igual ou maior que  $B_s$  a estação base pode estar sobrecarregada. Durante este período, podem ocorrer congestionamentos e os usuários que estejam conectados à estação base  $s$  podem sofrer atrasos perceptíveis nos tempos de resposta da rede e até mesmo perda de pacotes.

Em um intervalo de tempo  $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_{k-1}\}$ , cada estação base tem um preço de utilização  $p_s^t$ . Cada  $p_s^t$  é definido considerando o histórico de demanda  $D_s^t$  na estação base  $s$ . Por exemplo, considerando  $k = 24$  e  $t_{17}$  correspondendo ao período entre 17:00 e 17:59, o valor de  $p_s^{17}$  seria proporcional à média de demanda  $D^{17}$  dos períodos  $t_{17}$  dos dias anteriores. Portanto, considerando dois períodos  $x$  e  $y$  cujas médias históricas de carga de trabalho são  $D_x$  e  $D_y$  respectivamente, se a média  $D_x$  for maior que a média  $D_y$ , o preço de utilização da estação base  $s$  no período  $x$  será maior que o preço de utilização no período  $y$ . Ou seja,  $p_s^{t_x} > p_s^{t_y} \iff D_s^{t_x} > D_s^{t_y}$ .

O conjunto de descontos oferecidos em cada estação base,  $\Theta_s = \{\theta_s^0, \theta_s^1, \theta_s^2, \dots, \theta_s^{k-1}\}$  é calculado e publicado pelo ISP antes do período  $t_0$  de cada  $T$ . Cada  $p_s^t$  é determinado pela Equação 3.1 que considera os limiares definidos para dividir o desconto máximo oferecido pelo ISP proporcionalmente no intervalo definido considerando a média história de demanda  $D_s^t$  na estação base.

$$\theta_s^t = \left( \frac{tsh_{min} - tsh_{max}}{tsh_{min} - D_s^t} \right) \quad (3.1)$$

onde  $tsh_{max}$  e  $tsh_{min}$  representam o limite máximo e mínimo do intervalo de desconto, respectivamente. Ou seja, quando a demanda está entre os limiares  $tsh_2$  e  $tsh_3$  o  $tsh_{max}$  é representado pelo  $tsh_2$  e o  $tsh_{min}$  pelos  $tsh_3$ .

O preço  $p_s^t$  pode ser calculado por  $\theta_s^t \times P_{byte}$ , onde  $P_{byte}$  é o valor base por *byte* aplicado pelo ISP. O  $P_{byte}$  deve ser calculado pelo ISP considerando os custos operacionais e a demanda histórica da rede. Este valor pode ser considerado como a média de preço do *byte* que trafega na rede do ISP com o uso da tarifa plana. Quando um usuário utiliza  $d_s^t$  *bytes*, ele é tarifado por  $p_s^t \times d_s^t$ . Então, os gastos diários  $\mu_i$  de um usuário podem ser calculados por

$$\mu_i = \sum_{s \in S_i} \sum_{t \in T} p_s^t \times d_s^t \quad (3.2)$$

onde  $S_i$  é o conjunto de estações base visitadas pelo usuário  $i$  durante o dia e  $T$  é o conjunto de períodos definidos pelo ISP para diferenciar os preços. O gasto mensal de um usuário é, basicamente, a soma de todos os seus gastos diários.

Se um usuário deseja gastar menos com a Internet, ele pode optar por utilizar os serviços em estações base onde os preços estejam mais baixos. O atraso na utilização de serviços é aceitável para aplicações que não possuem restrições de tempo real, como a atualização de aplicativos e os *downloads* de filmes (HA et al., 2012). Contudo, a diferença no preço de utilização das estações base precisa ser suficientemente grande para que os usuários decidam adiar a utilização até que estejam em locais com baixa tarifação para utilização destes aplicativos.

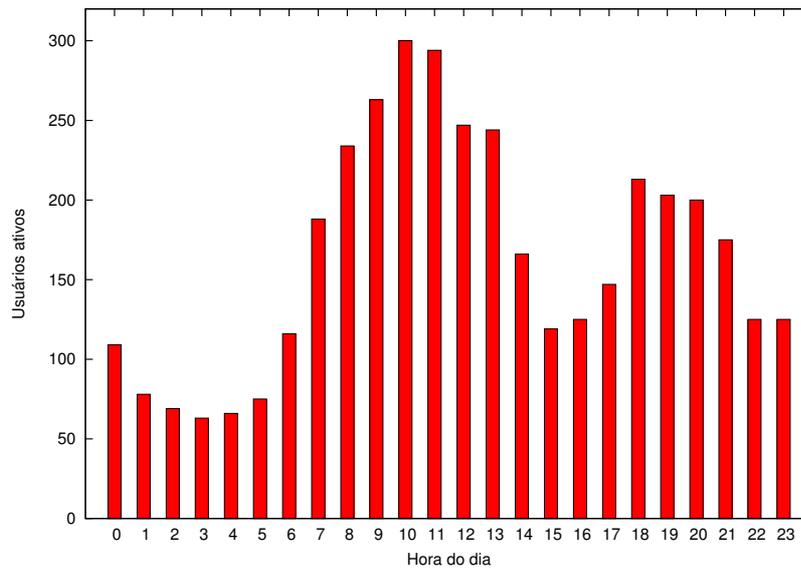
## 4 RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

A proposta deste trabalho de pesquisa é avaliar a melhor utilização dos recursos na rede dos ISPs com a utilização do BaSCoP. Foram realizadas simulações para avaliar o esquema proposto e analisar a economia de recursos da rede e a redistribuição de carga entre as estações base do ISP. Para isto, o BaSCoP é avaliado frente ao esquema de tarifa plana e o esquema de precificação TUBE (HA et al., 2012). As simulações foram realizadas utilizando dados artificiais criados a partir dos trabalhos descritos na Seção 4.1. Nesta Seção, é descrito também o ambiente de simulação utilizando o simulador de rede NS-2 (BRESLAU et al., 2000) (Seção 4.1). Por fim, os resultados alcançados são discutidos na Seção 4.2.

### 4.1 Cenário de Simulação

Para simular a carga de trabalho gerada pelos usuários na rede do ISP, são utilizados alguns trabalhos de caracterização apresentados na Seção 2.2. As distribuições de probabilidade do número de usuários ativos e da quantidade de bytes enviados e recebidos apresentadas nestes trabalhos foram utilizadas para gerar a carga de trabalho artificial. A figura 6 apresenta a quantidade de usuários ativos na rede do ISP durante um dia típico. Essa distribuição considera a existência de 300 usuários e foi utilizada na simulação dos esquemas de precificação avaliados neste trabalho. Por não existir informação sobre quando cada usuário está em um período de atividade, esta divisão foi feita de maneira aleatória. No período entre 1:00 e 7:00 horas os usuários que se encontram ativos na rede não se movimentam pelo cenário. Esta configuração foi definida para tornar a simulação mais realista devido à característica humana de dormir nos períodos noturnos.

O trabalho de Qian et al. (2013) apresenta as distribuições do volume de dados utilizados pelos usuários de Internet móvel. Para cada período de tempo, os bytes utilizados pelos usuários ativos foram divididos uniformemente entre as horas de atividade dos usuários. Ou seja, isto significa que, se no período de 1 AM às 7 AM, os registros indicassem que os usuários utilizassem em média 600 MB na simulação os usuários utilizariam 100 MB em cada hora deste período. Nas simulações realizadas, a quantidade de bytes utilizada por cada usuário foi considerada a mesma em ambos os esquemas de precificação ou seja, o volume de dados utilizados pelo usuário na tarifa plana, no TUBE e no BaSCoP é a mesma. Esta definição facilita a com-

**Figura 6 – Usuários ativos durante um dia típico na rede.**

**Fonte:** Criado pelo autor com dados extraídos de Qian et al. (2013)

paração dos esquemas estudados permitindo a comparação direta da carga de trabalho gerada na rede e, individualmente, em cada uma das estações base. A Tabela 2 apresenta a divisão de tipos de usuários e sua utilização de bytes utilizadas nas simulações (QIAN et al., 2013).

**Tabela 2 – Carga de trabalho média dos usuários em cada período do dia**

| <i>Período de tempo</i> | <i>Utilização no período<br/>(bytes/usuário ativo)</i> |
|-------------------------|--|
| 01:00 às 07:00          | 435.067  |
| 07:00 às 14:00          | 395.573  |
| 14:00 às 18:00          | 261.688  |
| 18:00 às 01:00          | 490.143  |

**Fonte:** Criada com dados extraídos de Qian et al. (2013)

O tráfego de cada usuário foi dividido entre quatro classes de serviços, aplicativos diversos, e-mail, vídeo e web. Estes grupos são utilizados para representar as classes de serviço mais utilizadas pelo grupo de usuários que consome o maior volume de dados (JIN et al., 2012). A divisão do tráfego em classes de serviço é utilizada na simulação dos esquemas TUBE e BaSCoP para calcular a “disposição” dos usuários em postergar a utilização de algum serviço considerando um desconto oferecido pelo ISP. Este valor é calculado utilizando a Equação (2.1) considerando os “índices de paciência” dos usuários para cada tipo de serviço. Um usuário pode indicar diferentes valores para o “índice de paciência” devido a percepção de necessidade de cada aplicativo. Por exemplo, um usuário pode aceitar uma ou duas horas para fazer a atualização um aplicativo contudo, o mesmo, pode não aguardar alguns minutos para que possa assistir um vídeo ou acessar o seu email (HA et al., 2012).

A Tabela 3 apresenta a média de consumo sem distinção entre *download* e *upload* do volume de dados consumidos por cada classe de serviço, bem como os respectivos valores para o “*índice de paciência*” referente a cada classe de serviço. Os valores de “*índices de paciência*” utilizados neste trabalho foram baseados nos valores apresentados em Ha et al. (2012) e são os mesmos para todos os usuários, independente do dia e/ou hora. Quanto maior o valor do “*índice de paciência*” menor a disposição do usuário em adiar a utilização em troca de descontos. Por exemplo, os valores apresentados na Tabela 3 para os serviços de Vídeo e Web possuem valor 3. Se comparados com , portanto, para que os usuários adiem a utilização destes serviços, o ISP precisa oferecer um desconto maior em comparação com o serviço de atualização de aplicativos cujo “*índice de paciência*” tem valor 0,5.

**Tabela 3 – Parâmetros da carga de trabalho**

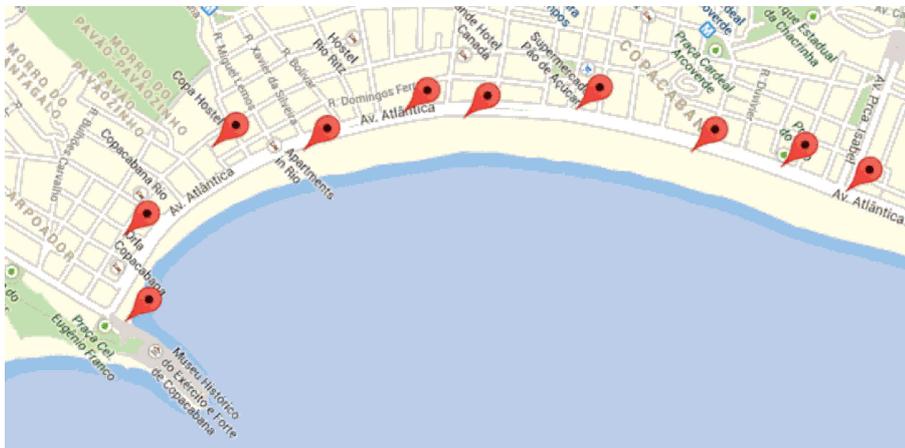
|                    | % de tráfego | “Índice de paciência” |
|--------------------|--------------|-----------------------|
| <b>Aplicativos</b> | 28           | 0,5                   |
| <b>E-mail</b>      | 8            | 3                     |
| <b>Vídeo</b>       | 28           | 2                     |
| <b>Web</b>         | 36           | 3                     |

**Fonte: Dados da pesquisa**

Para facilitar a tarefa de análise e comparação foram utilizados os mesmos cenários para a simulação dos esquemas de precificação utilizados. Nas simulações, foram utilizadas 10 estações base, o que segundo Paul et al. (2011) é uma quantidade suficientemente grande para compreender o número máximo de estações base visitadas por mais de 90% dos usuários de Internet móvel. Além disso, nas simulações realizadas, todas as estações base possuem a mesma capacidade. A disposição das estações base no ambiente de simulação foi baseada na localização das estações base na rede de um dos maiores ISP brasileiros. As estações base escolhidas são responsáveis pela cobertura de sinal de telefonia móvel (voz e dados) da orla da praia de Copacabana. Essa região foi escolhida por se tratar de um ponto turístico conhecido mundialmente, localizado na cidade do Rio de Janeiro - Brasil, que possui fluxo constante de movimentação de pessoas. A posição das estações base na rede do ISP é exibida na Figura 7.

Para simular a mobilidade dos usuários foram utilizados os quatro modelos de mobilidade descritos na Seção 2.4. A utilização de diferentes modelos de mobilidade tem como objetivo analisar a influência da movimentação dos usuários nos resultados obtidos através da simulação. Diferentes cenários de mobilidade podem gerar diferentes cargas de trabalho e, consequentemente, diferentes resultados, principalmente, na simulação do BaSCoP que utiliza os dados da demanda nas estações base no processo de definição de preços. Neste trabalho, não foi considerada a possibilidade de que os preços aplicados pelo ISP pudessem interferir no itinerário dos usuários.

**Figura 7 – Localização real das estações base de um ISP à Internet móvel brasileiro, praia de Copacabana (RJ-Brasil)**



Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 4 – Configuração dos cenários de simulação**

| Parâmetros gerais                  |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| Número total de usuários           | 300               |
| Área                               | 5 km de extensão  |
| Estações base                      | 10                |
| Raio de cobertura da estação base  | 500m              |
| Limiar da rede                     |                   |
| Random                             | $2,5E + 07$ bytes |
| RIO                                | $2,2E + 07$ bytes |
| SLAW                               | $2,2E + 07$ bytes |
| SMOOTH                             | $2,7E + 07$ bytes |
| Limiars das estações base (BaSCoP) |                   |
| $tsh_1$                            | $3E + 06$ bytes   |
| $tsh_2$                            | $2E + 06$ bytes   |
| $tsh_3$                            | $1E + 06$ bytes   |

Fonte: Dados da pesquisa

A tabela 4 apresenta os valores de limiares de utilização definidos para cada modelo de mobilidade e a sumarização dos demais parâmetros utilizados nas simulações dos esquemas de precificação. A extensão da área simulada bem como a quantidade e localização das estações base foi baseada em dados reais da rede o ISP e da orla da praia de Copacabana. Os limiares de utilização, utilizados para definir a carga de trabalho que é caracterizada como alta demanda tanto para a rede quanto para as estações base, foram definidos empiricamente após a simulação e análise dos resultados obtidos na simulação da tarifa plana.

## 4.2 Análise dos Resultados

Nesta Seção são apresentados os principais resultados obtidos na simulação do BaSCoP em comparação aos esquemas de tarifa plana e o TUBE. Os resultados mostram a capacidade do BaSCoP na redistribuição da carga de trabalho entre um maior número de estações base. A redistribuição da carga entre as estações base pode reduzir os níveis de alta demanda nas estações base evitando a ocorrência de congestionamentos nas mesma e, conseqüentemente, na rede.

A simulação do esquema de tarifa plana representa a utilização dos serviços de Internet uma vez que os ISPs praticam esse esquema com algumas variações de comportamento. Os resultados de carga de trabalho na rede e estações base obtidos na simulação da tarifa plana foram utilizadas como parâmetros no processo de definição de preços para os esquemas TUBE e BaSCoP. Na simulação do TUBE, a carga de trabalho da rede é considerada no processo de definição de preços, ou seja, períodos de maior demanda possuem preços mais altos. Por outro lado, no BaSCoP, a demanda individual das estações base também é considerada no processo de definição de preços. Isto permite que usuários localizados na área coberta por estações base com níveis baixos de carga de trabalho possam ter descontos no preço de utilização durante o período de pico da rede.

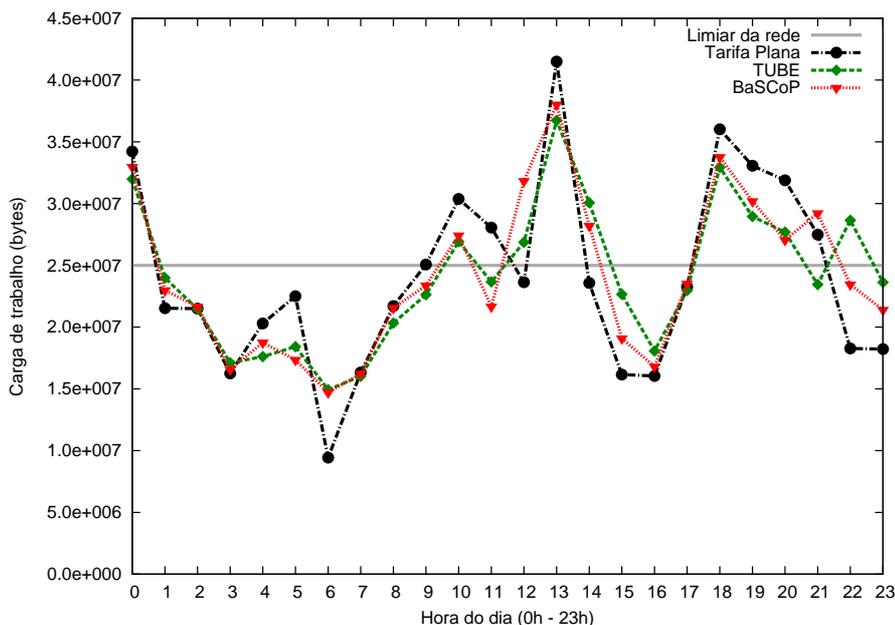
As seções seguintes apresentam os resultados obtidos nas simulações dos esquemas de precificação utilizados para avaliar o desempenho do BaSCoP. Como o modelo de mobilidade tem influência direta no resultados das simulações, os resultados obtidos com cada um dos quatro modelos de mobilidade são apresentados separadamente. Contudo, as simulações apresentaram resultados similares mostrando a capacidade do BaSCoP em redistribuir a carga de trabalho entre uma maior quantidade de estações base.

### 4.2.1 *Random Waypoint*

Esta seção apresenta os resultados obtidos com a utilização do modelo de mobilidade *Random Waypoint* para todos os esquemas de precificação. A Figura 8 apresenta a carga de trabalho da rede durante um dia típico com a utilização do modelo de mobilidade *Random Waypoint*. É possível observar os períodos de pico de carga de trabalho na rede, principalmente

entre 8:00 e 14:00 horas e entre 17:00 e 21:00 horas, períodos nos quais a carga de trabalho é maior que o limiar de utilização da rede. Nesses períodos, a rede pode sofrer sobrecarga de trabalho e podem ocorrer congestionamentos e atrasos na entrega de pacotes. Considerando os períodos onde a demanda da rede na tarifa plana foi superior ao limiar da rede, a utilização dos esquemas de precificação TUBE e BaSCoP proporcionaram uma redução na carga de trabalho em média de 11,52% e 8,35% respectivamente.

**Figura 8 – Carga de trabalho na rede durante o dia (*Random Waypoint*)**



**Fonte: Dados da pesquisa**

Esquemas de precificação que consideram o período de utilização da rede, como o TUBE e o BaSCoP, têm eficiência em reduzir o tráfego principalmente quando períodos de alta demanda na rede são seguidos de períodos de ociosidade. Como nos períodos de ociosidade o ISP pode oferecer descontos para estimular a utilização da rede os usuários podem aceitar aguardar por uma ou duas horas para utilizar serviços menos prioritários. Observando a Figura 8 é possível perceber três períodos onde esta característica é encontrada na carga de trabalho da rede. Estes períodos são das 10:00 às 12:00 horas, das 13:00 às 16:00 horas e das 18:00 às 23:00 horas. Nestes períodos o tempo adiado em troca de descontos se torna um atrativo para os usuários que precisam aguardar poucas horas para se beneficiar dos descontos oferecidos. Apesar da baixa carga de trabalho no período noturno, de 1:00 às 7:00 horas, é possível observar a redução de tráfego entre 4:00 e 5:00 horas. Isto ocorre devido ao desconto oferecido aos usuários as 6:00 horas período no qual a carga de trabalho na rede aumentou em aproximadamente 58% e 56% com a utilização do TUBE e do BaSCoP, respectivamente.

A Tabela 5 apresenta os percentuais da carga de trabalho durante um dia típico com a utilização do TUBE e do BaSCoP em relação a tarifa plana. É possível observar que ambos

os esquemas, TUBE e BaSCoP, foram capazes de reduzir a carga de trabalho na rede nos períodos de pico, principalmente às 9, às 13 e às 18 horas. O cuidado na escolha do limiar de carga de trabalho no qual não serão aplicados descontos resultou no não aparecimento de novos picos de congestionamento, ou seja, esse é um fator importante na escolha de um esquema de precificação dinâmico. O aumento de 6,29% na carga de trabalho às 21 horas com a utilização do BaSCoP pode ser justificado pela utilização das cargas de trabalho das estações base na definição dos preços de utilização. Como o TUBE não considera a carga de trabalho nas estações base na definição dos preços, não são oferecidos descontos neste período e, consequentemente, a carga de trabalho às 21 horas tende a ser reduzida devido aos descontos nas horas subsequentes.

**Tabela 5 – Percentual da carga de trabalho na rede em relação a tarifa plana - *Random Waypoint***

| <b>Hora do dia</b> | <b>TUBE</b> | <b>BaSCoP</b> | <b>Hora do dia</b> | <b>TUBE</b> | <b>BaSCoP</b> |
|--------------------|-------------|---------------|--------------------|-------------|---------------|
| 0                  | 93,45%      | 96,34%        | 12                 | 113,68%     | 134,67%       |
| 1                  | 111,36%     | 106,74%       | 13                 | 88,50%      | 91,63%        |
| 2                  | 99,85%      | 100,69%       | 14                 | 127,53%     | 119,63%       |
| 3                  | 105,35%     | 101,96%       | 15                 | 140,24%     | 118,10%       |
| 4                  | 86,79%      | 92,39%        | 16                 | 112,62%     | 104,80%       |
| 5                  | 81,86%      | 77,08%        | 17                 | 98,69%      | 101,02%       |
| 6                  | 158,45%     | 156,07%       | 18                 | 91,43%      | 93,75%        |
| 7                  | 98,15%      | 99,30%        | 19                 | 87,56%      | 91,32%        |
| 8                  | 93,67%      | 99,36%        | 20                 | 86,86%      | 84,84%        |
| 9                  | 90,27%      | 93,25%        | 21                 | 85,31%      | 106,29%       |
| 10                 | 88,64%      | 90,26%        | 22                 | 156,74%     | 128,30%       |
| 11                 | 84,35%      | 77,20%        | 23                 | 129,68%     | 117,45%       |

**Fonte: Dados da pesquisa**

Nos períodos onde a carga de trabalho na rede atinge valores inferiores ao limiar, por exemplo entre 14:00 e 17:00 horas, podem ser considerados períodos de ociosidade e, portanto, podem ser definidos descontos para incentivar aos usuários utilização dos recursos do provedor. Com a utilização de esquemas de precificação dinâmicos como o TUBE e o BaSCoP, o aumento da utilização da rede em períodos de baixa demanda pode aumentar a rentabilidade dos serviços prestados pelo ISP. Nestes períodos, de ociosidade na rede, se uma determinada estação base tem alta carga de trabalho a utilização do BaSCoP possibilita que o ISP defina preços menores nessa estação base tornando o esquema de precificação mais justo com os usuários que se encontram nas áreas de menor demanda.

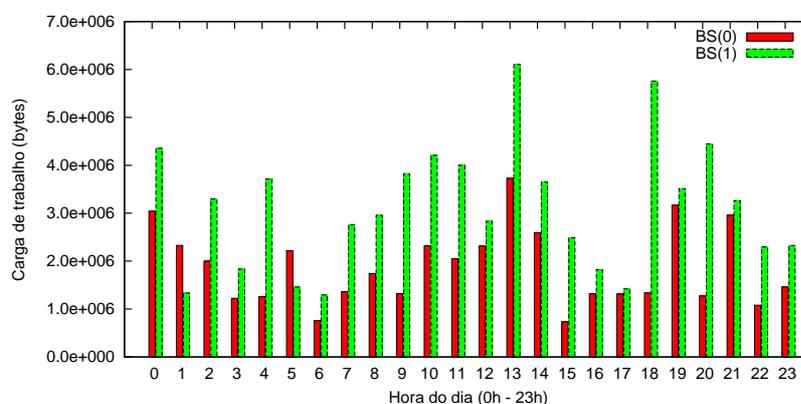
É possível observar um aumento considerável na carga de trabalho da rede nos períodos onde o histórico de demanda atinge ao valor mínimo local como observado às 6:00, 12:00, 14:00 e 21:00 horas. Este resultado mostra a capacidade do TUBE e do BaSCoP em redistribuir a carga de trabalho da rede dos períodos de pico de utilização entre os demais períodos. Em

alguns períodos de ociosidade, como às 4:00 e 5:00 horas, houve uma redução na carga de trabalho da rede. Esta redução de demanda é causada pela proximidade destes períodos com um período no qual o desconto oferecido é maior causando um aumento considerável na demanda como ocorrido às 6:00 horas.

É possível observar que em relação a utilização da tarifa plana, ambos os esquemas, TUBE e BaSCoP, foram capazes de reduzir a carga de trabalho na rede nos períodos de pico, ambos apresentando resultados similares. A escolha do limiar de carga de trabalho, valor que define quando serão aplicados descontos, deve ser escolhido com cuidado para evitar que os usuários adiem para um determinado período um volume de dados maior do que a rede suporta resultando no aparecimento de novos picos de congestionamento.

O TUBE tem a capacidade de mover parte do tráfego dos período de alta demanda para os períodos de maior ociosidade. Contudo, os resultados das simulações mostram que algumas estações base ficam com cargas de trabalho elevadas enquanto outras podem estar ociosas. A Figura 9 mostra a utilização de duas estações base ao longo da simulação para o esquema de tarifa plana onde é possível verificar as diferenças na carga de trabalho das estações em vários períodos. Com a utilização do TUBE um usuário que se encontre na estação base BS(0) às 18:00 será tarifado considerando o mesmo preço de utilização que um usuário que se encontre na estação base BS(1) neste mesmo período. Nesta situação, o usuário que está na estação base BS(0) pode se sentir injustiçado pois se encontra fora da área que pode ocorrer um congestionamento. Em contrapartida, os usuários que se encontram na área da estação base BS(1) pode sofrer atrasos na entrega de pacotes devido à grande volume de dados que passa por esta estação base. O BaSCoP pode ser utilizado para incentivar que os usuários que se encontram na área da estação base BS(1) às 18:00 adiem a utilização de serviços menos urgentes o que pode reduzir o volume de dados nesta estação base e evitar possíveis congestionamentos.

**Figura 9 – Carga de trabalho em duas estações bases em um dia típico**



**Fonte: Dados da pesquisa**

A Tabela 6 apresenta os dados sobre as cargas de trabalho nas 10 estações base geradas durante as simulações. O BaSCoP foi capaz de reduzir os períodos de alta demanda na maioria das estações base, quando comparado com a tarifa plana e ao TUBE. Em termos gerais, o BaSCoP obteve uma redução na quantidade de períodos de pico em 3,75% e 7,08% em média sobre a tarifa plana e sobre o TUBE, respectivamente. Apesar dos resultados similares na utilização geral da rede entre o TUBE e o BaSCoP a Tabela 6 mostra como o TUBE pode aumentar a demanda em estações base que possuem alta demanda gerando períodos de pico local que podem causar congestionamentos nas estações base.

**Tabela 6 – Períodos de alta demanda nas estações base (%) (*Random Waypoint*).**

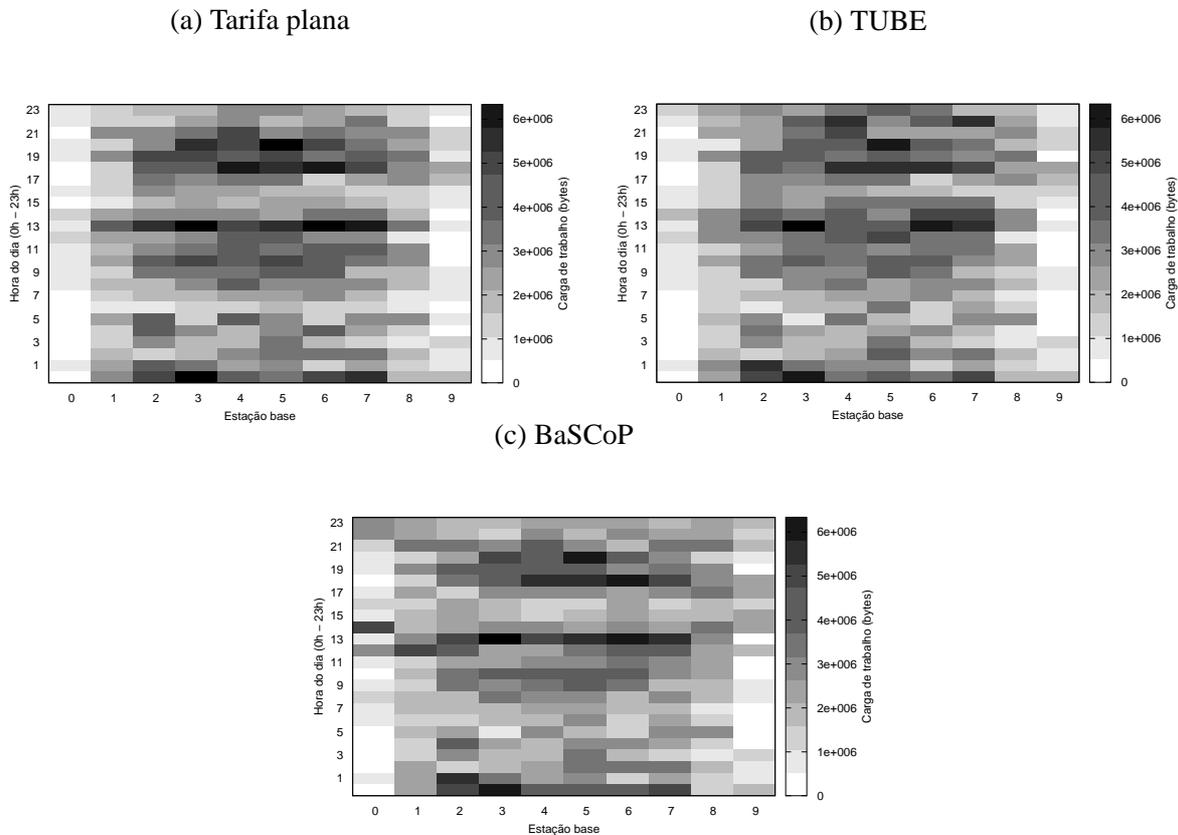
| <b>Estação base</b> | <b>Tarifa plana</b> | <b>TUBE</b>       | <b>BaSCoP</b>     |
|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 0                   | 0 (0,00)            | 0 (0,00)          | 2 (8,33)          |
| 1                   | 3 (12,50)           | 0 (0,00)          | 2 (8,33)          |
| 2                   | 10 (41,67)          | 12 (50,00)        | 10 (41,67)        |
| 3                   | 12 (50,00)          | 14 (58,33)        | 9 (37,50)         |
| 4                   | 13 (54,17)          | 17 (70,83)        | 11 (45,83)        |
| 5                   | 13 (54,17)          | 15 (62,50)        | 11 (45,83)        |
| 6                   | 12 (50,00)          | 15 (62,50)        | 10 (41,67)        |
| 7                   | 11 (45,83)          | 10 (41,67)        | 8 (33,33)         |
| 8                   | 2 (8,33)            | 1 (4,17)          | 4 (16,67)         |
| 9                   | 0 (0,00)            | 0 (0,00)          | 0 (0,00)          |
| <b>Total</b>        | <b>76 (31,67)</b>   | <b>84 (35,00)</b> | <b>67 (27,92)</b> |

**Fonte: Dados da pesquisa**

Os mapas da Figura 10 mostram as utilizações das estações base ao longo da simulação para os esquemas de tarifa plana, para o TUBE e para o BaSCoP, respectivamente. A intensidade da escala de cinza em cada posição nessas figuras representa graficamente a demanda na estação base em determinado período, ou seja, quanto mais escura a posição maior a utilização da estação base no período. É possível observar que no período noturno, entre 1:00 e 7:00 horas, maior ociosidade nas estações base. Nesses períodos, grande parte dos usuários pode estar dormindo tornando a tarefa de aumentar a utilização um grande desafio pois depende da utilização de aplicativos que possam se adaptar as condições da rede. Entretanto, soluções podem ser desenvolvidas para que os usuários possam programar serviços como atualização de aplicativos e *download* de filmes para esses períodos de baixa demanda como proposto em Marques-Neto, Almeida e Almeida (2010). Possíveis evoluções no modo como operam alguns serviços de Internet, como por exemplo o YouTube que pretende permitir que seus usuários assistam vídeos em modo *offline* em seus dispositivos móveis<sup>1</sup>, podem criar oportunidades para a inserção de novos modelos de precificação, como o BaSCoP, que podem aumentar a rentabilidade da rede nesses períodos.

<sup>1</sup> <<http://youtubecreator.blogspot.com>>

**Figura 10 – Carga de trabalho nas estações base durante um dia típico com a utilização do modelo de mobilidade *Random Waypoint***

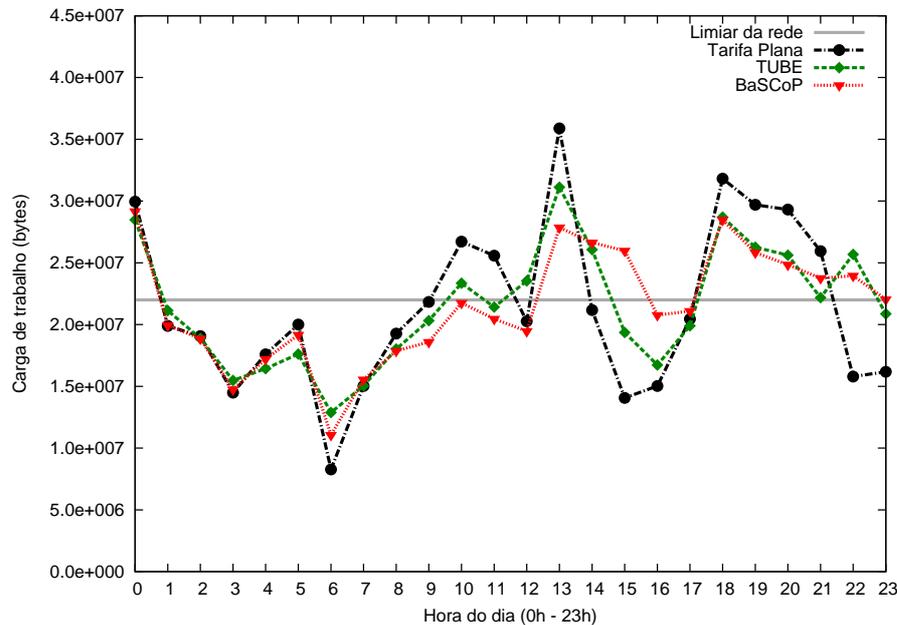


**Fonte: Dados da pesquisa**

#### 4.2.2 RIO

A Figura 11 apresenta a carga de trabalho da rede durante um dia típico com a utilização do modelo de mobilidade RIO. Como este modelo de mobilidade tem como característica a caminhada dos usuários de forma horizontal pelo cenário, grande parte dos usuários têm contato com um maior número de estações base. Nos períodos de pico o BaSCoP conseguiu reduzir a carga de trabalho da rede em 13,96% contra uma redução de 11,39% alcançada pelo TUBE. Esta redução ocorreu principalmente no período entre 10:00 e 13:00 horas. Este período é seguido por um período de demanda baixa na rede e conseqüentemente em algumas estações base e os descontos oferecidos nas estações base influenciaram esta alteração no tráfego. Esta redução no volume do tráfego pode ser observado também entre 18:00 e 21:00 horas como pode ser observado na Figura 11.

Em alguns períodos de pico, o BaSCoP foi capaz de reduzir consideravelmente a demanda nas estações base. A Figura 12 mostra como o BaSCoP alcançou um nível de redução

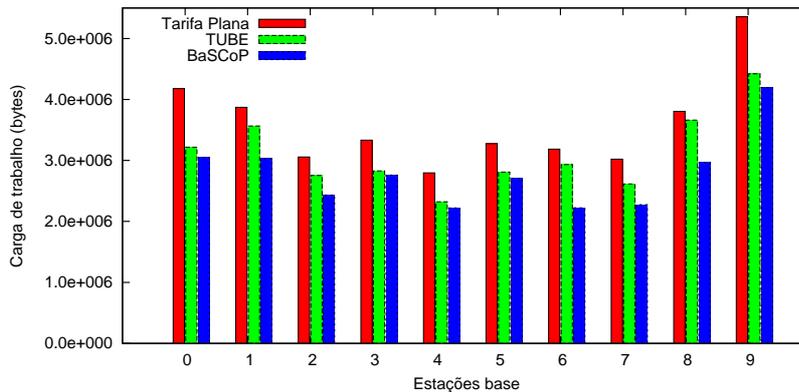
**Figura 11 – Carga de trabalho na rede durante o dia (RIO)**

**Fonte: Dados da pesquisa**

na demanda em todas as 10 estações base no período entre 13:00 e 13:59 horas. Considerando o limiar de utilização das estações base de  $3E + 06$  bytes como apresentado na Tabela 4, o BaSCoP foi capaz de reduzir a demanda para valores abaixo deste limiar em 5 das 9 antenas que possuíam demanda superior a  $3E + 06$  bytes. Este resultado foi possível devido a movimentação dos usuários entre grande quantidade de estações base permitindo que os serviços de dados sejam utilizados nos locais que possuem maiores descontos. Na Tabela 7 é possível observar os percentuais da carga de trabalho alcançada nos períodos de pico pelo TUBE e o BaSCoP em relação a tarifa plana. É interessante observar que no período de maior volume de carga de trabalho, às 13:00, o BaSCoP foi capaz de reduzir o tráfego em 22,36%. A redução neste período foi consideravelmente alta devido à proximidade com um período de baixa carga de trabalho que proporcionou descontos tanto na rede quanto em algumas estações base.

É possível observar que no BaSCoP os períodos entre 14:00 e 17:00 horas ocorreu um grande aumento no volume de dados na rede em comparação com a tarifa plana e o TUBE. Este resultado pode ser explicado pelo fato do modelo de mobilidade RIO permitir maior movimentação dos usuários entre as estações base. Desta forma, os preços oferecidos em algumas estações base se tornam atrativos para os usuários que procuram descontos no período. Na Tabela 7, é possível observar os períodos onde houve aumento no volume de dados nos períodos fora de pico na rede.

Em termos gerais, o TUBE e o BaSCoP foram capazes de reduzir a demanda tanto na rede quanto nas estações base durante os períodos de pico. Como no modelo de mobilidade

**Figura 12 – Redução da carga de trabalho nas estações base às 13:00 horas**

Fonte: Dados da pesquisa

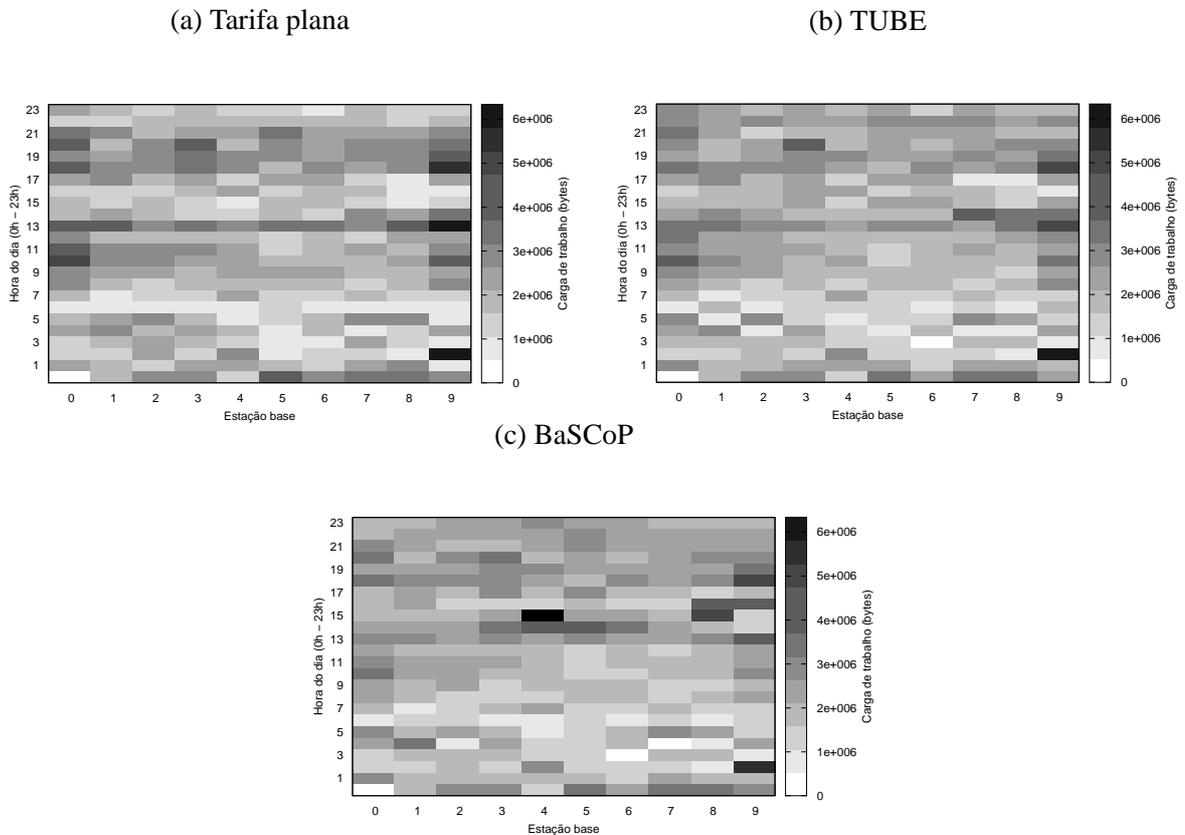
**Tabela 7 – Percentual da carga de trabalho na rede em relação a tarifa plana - RIO**

| Hora do dia | TUBE    | BaSCoP  | Hora do dia | TUBE    | BaSCoP  |
|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| 0           | 95,07%  | 97,37%  | 12          | 116,13% | 96,05%  |
| 1           | 106,23% | 100,24% | 13          | 86,75%  | 77,64%  |
| 2           | 99,02%  | 98,93%  | 14          | 123,13% | 125,83% |
| 3           | 106,86% | 101,78% | 15          | 137,67% | 184,73% |
| 4           | 93,37%  | 97,81%  | 16          | 111,30% | 138,22% |
| 5           | 88,01%  | 95,80%  | 17          | 97,33%  | 103,11% |
| 6           | 155,67% | 133,65% | 18          | 90,22%  | 89,51%  |
| 7           | 100,09% | 103,40% | 19          | 88,44%  | 87,00%  |
| 8           | 93,53%  | 92,74%  | 20          | 87,42%  | 84,76%  |
| 9           | 93,04%  | 85,12%  | 21          | 85,47%  | 91,56%  |
| 10          | 87,36%  | 81,40%  | 22          | 162,62% | 151,69% |
| 11          | 83,73%  | 80,00%  | 23          | 129,01% | 136,21% |

Fonte: Dados da pesquisa

RIO os usuários trafegam por um número maior de antenas em comparação com os demais modelos de mobilidade a carga de trabalho é mais distribuída entre as estações base. Como o BaSCoP utiliza a disparidade entre as cargas de trabalho entre as estações base para redistribuir a demanda, a maior uniformidade da carga de trabalho entre as estações base reduz a sua eficiência. Os mapas da Figura 13 mostram como a demanda nas estações base no modelo de mobilidade RIO estão mais distribuídas entre as estações base mesmo para os esquemas de precificação de tarifa plana e o TUBE, principalmente se comparados com os mapas da Figura 10 onde estão apresentados os dados de utilização das estações base com a utilização do modelo de mobilidade *Random Waypoint*.

**Figura 13 – Carga de trabalho nas estações base durante um dia típico com a utilização do modelo de mobilidade RIO**

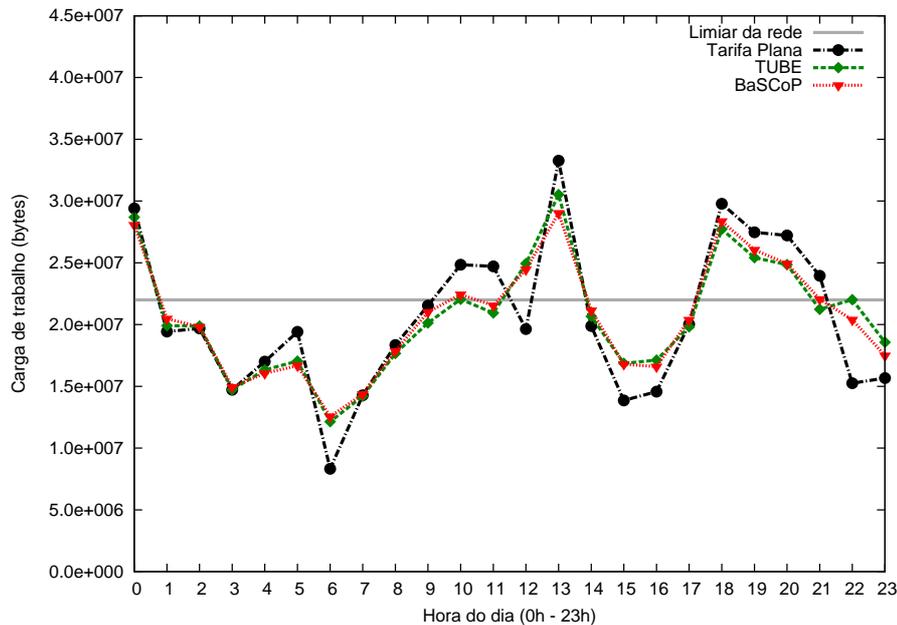


Fonte: Dados da pesquisa

### 4.2.3 SLAW

A utilização do modelo de mobilidade SLAW proporcionou uma alteração na carga de trabalho similar para os esquemas TUBE e BaSCoP como pode ser observado na Figura 14. É possível observar que o resultado foi similar ao resultado obtido na simulação do modelo de mobilidade *Random Waypoint*. A redução da demanda nos períodos de pico foi um pouco menor chegando a valores em média de 8,68% e 7,62% para o TUBE e o BaSCoP, respectivamente. Considerando esta redução na demanda nos períodos de pico o BaSCoP teve resultados muito próximos do TUBE. Isto ocorre devido à concentração da movimentação de grande parte dos usuários entre um grupo de cinco estações base reduzindo a capacidade do BaSCoP em redistribuir a carga de trabalho entre uma maior quantidade de estações base.

Na Tabela 8 é possível observar que mesmo com a baixa demanda as 6:00 horas ocorreu uma redução na carga de trabalho neste período. Esta queda de utilização foi seguida por um aumento na utilização no período seguinte tanto para o TUBE quanto para o BaSCoP. Isto

**Figura 14 – Carga de trabalho na rede durante o dia (SLAW)**

**Fonte: Dados da pesquisa**

**Tabela 8 – Percentual da carga de trabalho na rede em relação a tarifa plana - SLAW**

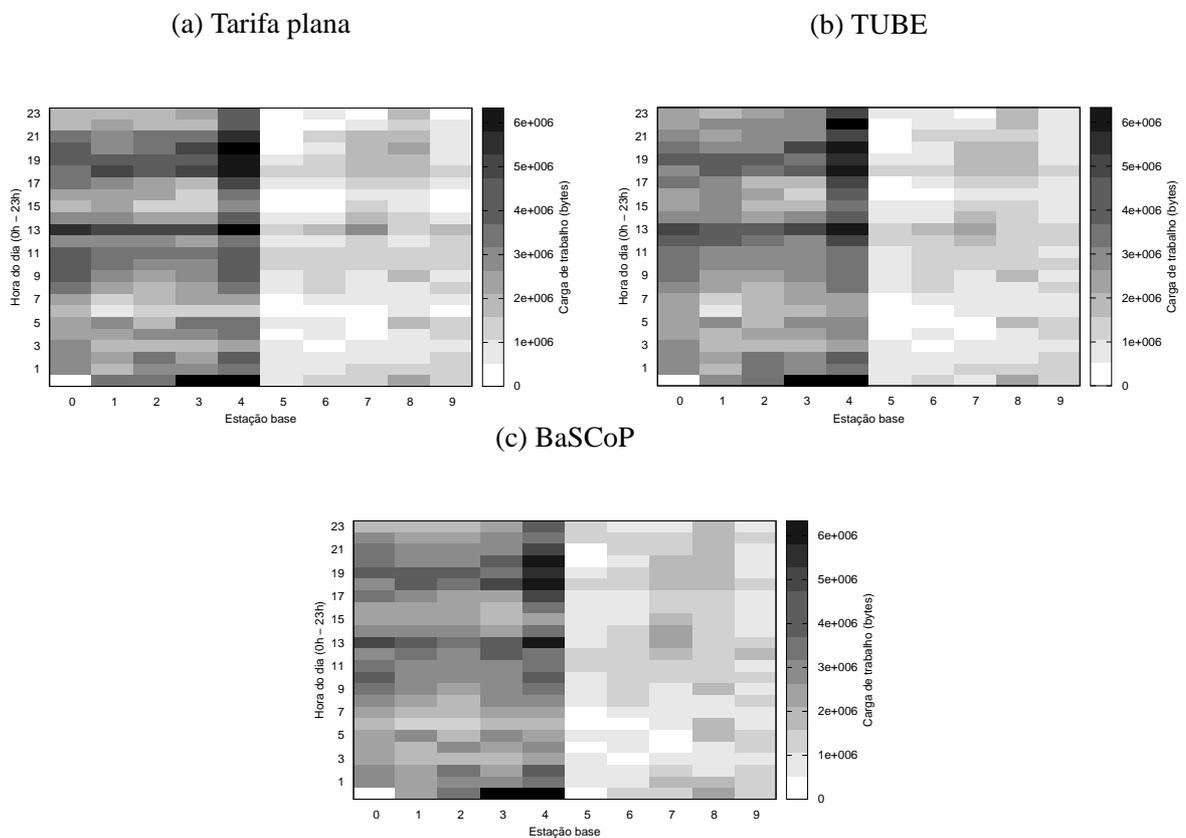
| Hora do dia | TUBE    | BaSCoP  | Hora do dia | TUBE    | BaSCoP  |
|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| 0           | 97,56%  | 95,42%  | 12          | 126,97% | 124,57% |
| 1           | 102,47% | 105,33% | 13          | 91,76%  | 87,26%  |
| 2           | 101,01% | 100,68% | 14          | 103,95% | 106,37% |
| 3           | 100,04% | 101,43% | 15          | 121,63% | 121,23% |
| 4           | 96,08%  | 94,42%  | 16          | 117,52% | 113,95% |
| 5           | 87,75%  | 85,87%  | 17          | 98,97%  | 101,78% |
| 6           | 145,96% | 150,92% | 18          | 93,08%  | 95,26%  |
| 7           | 99,55%  | 100,62% | 19          | 92,51%  | 94,80%  |
| 8           | 96,30%  | 97,33%  | 20          | 91,33%  | 91,58%  |
| 9           | 93,49%  | 97,56%  | 21          | 88,65%  | 92,10%  |
| 10          | 88,77%  | 90,30%  | 22          | 144,37% | 133,65% |
| 11          | 84,71%  | 87,16%  | 23          | 118,48% | 111,61% |

**Fonte: Dados da pesquisa**

ocorre pois o desconto oferecido na rede para o TUBE e nas estações base para o BaSCoP é suficientemente grande para influenciar os usuários a aguardarem o período seguinte para utilizar alguns serviços. Isto ocorre também entre 22:00 e 23:00 horas, períodos de baixa demanda para os quais os usuários adiaram a utilização de serviços nos períodos de pico, redução que pode ser observada na Tabela 8.

No mapa da Figura 15 é possível observar como a concentração dos usuários no grupo de cinco estações base tem influência na redistribuição da carga de trabalho entre as demais estações base. Nesta figura a demanda nas estações base numeradas de 5 à 9 possuem baixa demanda entretanto o BaSCoP não consegue redistribuir a carga de trabalho entre elas devido as características de mobilidade dos usuários que não visitam estas regiões com frequência. Contudo, se observamos a carga de trabalho nas estações base com maior demanda, numeradas de 0 à 4 na Figura 15, podemos verificar que o BaSCoP promove a redistribuição da carga de trabalho. O que na figura é representado pela suavização dos tons mais escuros que se aproximam do cinza. Este comportamento é visível principalmente nos períodos entre 9:00 e 21 horas.

**Figura 15 – Carga de trabalho nas estações base durante um dia típico com a utilização do modelo de mobilidade SLAW**



**Fonte: Dados da pesquisa**

Neste mesmo período, entre 9:00 e 21 horas, a estação base 4 na Figura 15 não sofre a mesma redução de demanda que as estações base numeradas de 0 à 4. Isto ocorre devido a permanência dos usuários na área de cobertura das estações base numeradas de 0 à 4, não permitindo que os descontos praticados no BaSCoP pudessem influenciar a redistribuição da demanda entre estações base com menor carga de trabalho. No entanto, considerando as restrições de distribuição de carga entre as estações base devido à mobilidade dos usuários o BaSCoP atingiu uma redução dos períodos de demanda acima do limiar de utilização definido para as es-

tações base. A redução alcançada chegou a 4,58% e 2,91% em média considerando os resultados obtidos com a tarifa plana e o TUBE respectivamente. A Tabela 9 mostra a sumarização destes dados para as cinco estações base mais utilizadas. As demais estações base foram omitidas pois nenhuma delas teve carga de trabalho com valores acima ou próximos limiar de utilização utilizado. Os números apresentados nesta tabela representam a quantidade de períodos nos quais a demanda nas estações base foi superior ao limiar de utilização definido. Por exemplo, a carga de trabalho na estação base BS(0) foi superior ao limiar estipulado em 12 das 24 horas do dia, representando 50% do dia. Durante a simulação da BaSCoP, a demanda nesta mesma estação base foi superior ao limiar definido em 10 horas distintas, representando uma redução de 8,33% dos períodos de pico em relação a tarifa plana.

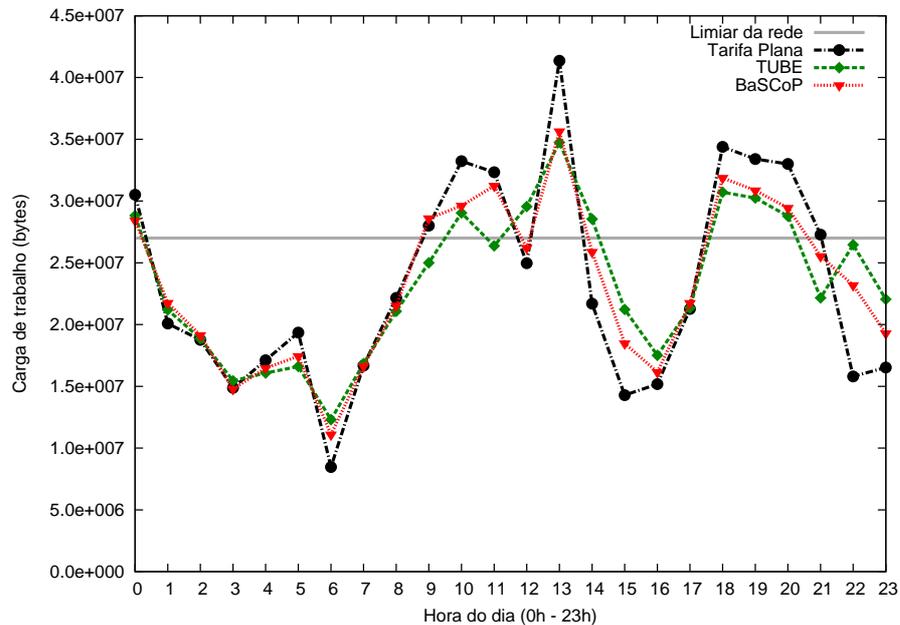
**Tabela 9 – Períodos de alta demanda nas estações base (%) (SLAW).**

| <b>Estação base</b> | <b>Tarifa plana</b> | <b>TUBE</b>        | <b>BaSCoP</b>      |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 0                   | 12 (50,00%)         | 13 (54,17%)        | 10 (41,67%)        |
| 1                   | 8 (33,33%)          | 7 (29,17%)         | 6 (25,00%)         |
| 2                   | 10 (41,67%)         | 9 (37,50%)         | 8 (33,33%)         |
| 3                   | 10 (41,67%)         | 7 (29,17%)         | 7 (29,17%)         |
| 4                   | 20 (83,33%)         | 20 (83,33%)        | 18 (75,00%)        |
| <b>Total</b>        | <b>60 (25,00%)</b>  | <b>56 (23,33%)</b> | <b>49 (20,42%)</b> |

**Fonte: Dados da pesquisa**

#### 4.2.4 SMOOTH

Nas simulações utilizando o modelo de mobilidade SMOOTH, os resultados de carga de trabalho na rede foram similares para os esquemas de precificação TUBE e BaSCoP. A Figura 16 mostra as alterações no tráfego para os esquemas de precificação TUBE e BaSCoP em relação a tarifa plana. Nas simulações com a utilização do SMOOTH foi possível alcançar uma redução de 12,78% e 7,22% em média nos períodos de pico para o TUBE e o BaSCoP respectivamente. O modelo de mobilidade SMOOTH gerou um cenário no qual a grande maioria do tráfego ficou restrito a duas estações base. Observando a Figura 16, é possível verificar que a maior parte da carga de trabalho da rede está concentrada nas estações base 1 e 2. Como neste cenário os usuários ficam concentrados em um pequeno grupo de estações base, o BaSCoP tem menor capacidade de redistribuição da carga de trabalho. Deste modo, a taxa de redução alcançada pelo TUBE foi maior que a taxa alcançada pelo BaSCoP. Essa concentração de usuários dificulta tanto a tarefa do BaSCoP em redistribuir a carga de trabalho entre as demais estações base quanto a eficiência em reduzir a demanda nos períodos de pico na rede.

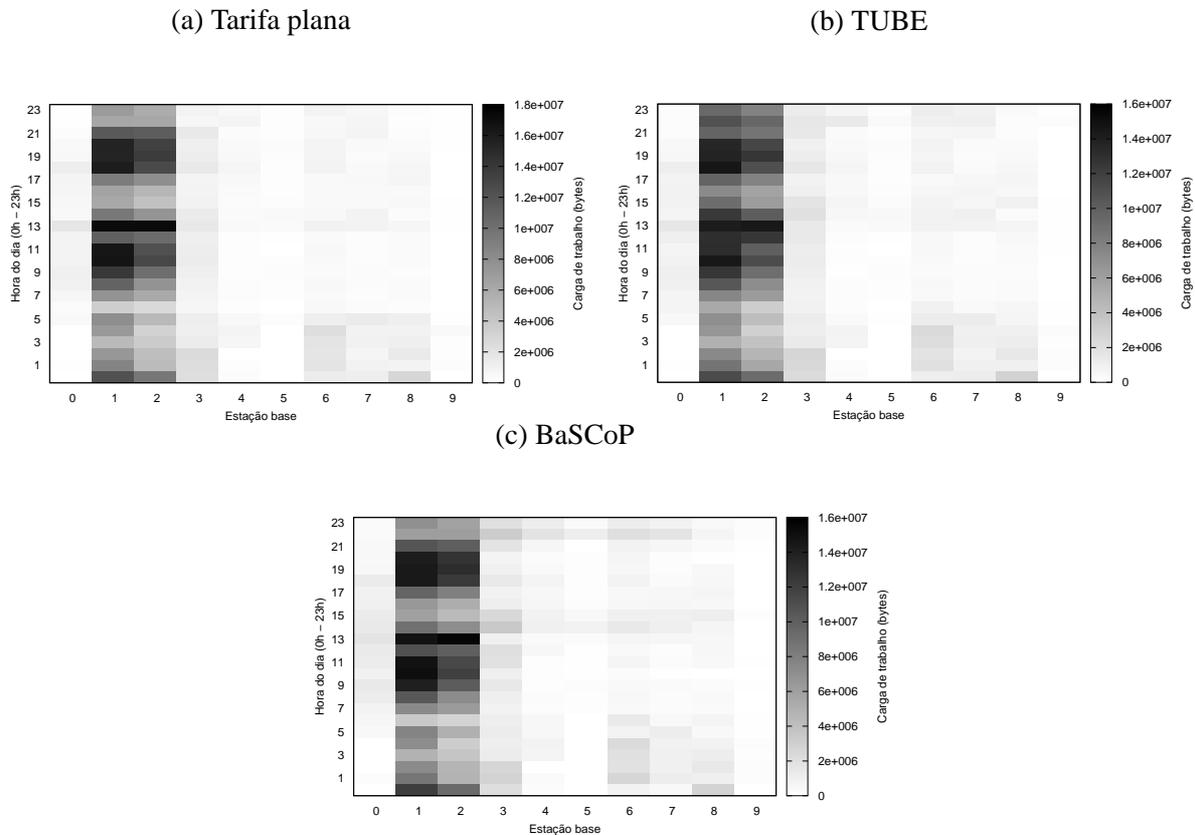
**Figura 16 – Carga de trabalho na rede durante o dia (SMOOTH)**

**Fonte: Dados da pesquisa**

A diferenciação de preços por estação base necessita que os usuários se movimentem entre diferentes estações base. Apesar da desvantagem para o BaSCoP em reduzir a demanda das estações base devido a movimentação dos usuários no modelo de mobilidade SMOOTH é possível analisar as alterações na demanda das duas estações base que foram mais utilizadas. A Tabela 10 apresenta os percentuais de redução de demanda nas duas estações mais utilizadas na simulação do modelo de mobilidade SMOOTH. Mesmo com a alta demanda nestas estações base, com a utilização do TUBE ocorreu um aumento em média de 5,84% na antena BS(1) e de 3,52% na estação base BS(2). Como o TUBE considera apenas os períodos de baixa demanda na rede para oferecer descontos para os usuários, nestes períodos de baixa demanda o aumento na carga de trabalho destas estações base chegou a taxas de até 74,08% as 22:00 horas na estação base BS(2).

A utilização do BaSCoP permite a utilização de descontos por estação base o que possibilita reduzir a demanda nas estações base mesmo em períodos de pico. A Tabela 11 mostra os percentuais de redução na carga de trabalho nas duas estações base mais utilizadas na simulação com o modelo de mobilidade SMOOTH. Diferente do TUBE a utilização do BaSCoP permitiu uma redução em média de 3,92% na antena BS(1) e de 2,57% na estação base BS(2). Em alguns casos, nos períodos de baixa demanda na rede é possível observar que não houve alterações na utilização de recursos em relação à tarifa plana. Isto ocorre devido a concentração de usuários na área das duas estações base citadas. Como estas estações base ficam muito sobrecarregadas nos períodos de pico os usuários que utilizam serviços de dados nestes períodos de baixa demanda nas estações base não têm incentivos para adiarem a utilização dos serviços.

**Figura 17 – Carga de trabalho nas estações base durante um dia típico com a utilização do modelo de mobilidade SMOOTH**



Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 10 – Redução da demanda nas estações base mais utilizadas no TUBE (%) (SMOOTH).**

| Hora         | BS(1)         | BS(2)         | Hora | BS(1)   | BS(2)   |
|--------------|---------------|---------------|------|---------|---------|
| 0            | 7,91%         | 3,98%         | 12   | -16,44% | -20,16% |
| 1            | -0,76%        | -15,60%       | 13   | 17,31%  | 16,11%  |
| 2            | -1,16%        | -0,67%        | 14   | -30,19% | -34,37% |
| 3            | -2,83%        | -4,76%        | 15   | -48,93% | -39,94% |
| 4            | 8,58%         | 5,61%         | 16   | -13,47% | -13,60% |
| 5            | 12,37%        | 15,92%        | 17   | -5,66%  | 3,20%   |
| 6            | -55,98%       | -18,04%       | 18   | 8,77%   | 13,54%  |
| 7            | 0,40%         | -3,17%        | 19   | 10,46%  | 8,27%   |
| 8            | 4,48%         | 6,09%         | 20   | 11,99%  | 13,41%  |
| 9            | 10,07%        | 11,58%        | 21   | 16,82%  | 23,58%  |
| 10           | 12,64%        | 13,12%        | 22   | -74,08% | -52,81% |
| 11           | 19,94%        | 18,35%        | 23   | -32,43% | -34,02% |
| <b>Total</b> | <b>-5,84%</b> | <b>-3,52%</b> |      |         |         |

Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 11 – Redução da demanda nas estações base mais utilizadas no BaSCoP (%) (SMOOTH).**

| Hora         | BS(1) | BS(2)  | Hora | BS(1)  | BS(2)  |
|--------------|-------|--------|------|--------|--------|
| 0            | 1,52% | 2,70%  | 12   | 2,52%  | 3,63%  |
| 1            | 0,91% | 0,27%  | 13   | 13,51% | 9,22%  |
| 2            | 0,21% | 0,00%  | 14   | 5,84%  | 5,15%  |
| 3            | 0,00% | 0,00%  | 15   | 3,16%  | 1,17%  |
| 4            | 1,35% | 0,00%  | 16   | 0,00%  | 0,00%  |
| 5            | 3,43% | 0,00%  | 17   | -4,84% | 0,75%  |
| 6            | 0,39% | -4,35% | 18   | 9,77%  | 3,45%  |
| 7            | 4,11% | -2,97% | 19   | 6,55%  | 4,43%  |
| 8            | 5,10% | 5,56%  | 20   | 8,43%  | 4,92%  |
| 9            | 0,15% | 0,03%  | 21   | 8,74%  | 11,78% |
| 10           | 8,98% | 7,16%  | 22   | 3,37%  | 2,02%  |
| 11           | 9,40% | 6,71%  | 23   | 1,49%  | -0,05% |
| <b>Total</b> | 3,92% | 2,57%  |      |        |        |

Fonte: Dados da pesquisa

Na simulação com o modelo de mobilidade SMOOTH não foi possível utilizar o BaSCoP para reduzir a quantidade de períodos de pico nas estações base mais utilizadas. Contudo, com a utilização do TUBE as estações base mais utilizadas tiveram aumento na carga de trabalho nos períodos de baixa demanda na rede. Incentivar a utilização de serviços nas áreas cobertas por estas estações base pode causar congestionamentos e consequentemente insatisfação por parte dos usuários que podem sofrer com atrasos na entrega de pacotes. Apesar da concentração de usuários em apenas duas estações base o BaSCoP pôde ser utilizado para reduzir a demanda nestas estações base. Acreditamos que em um ambiente real no qual existem diversos grupos de usuários e os padrões de movimentação não são restritos a duas estações base, como apresentado nos trabalhos descritos na Seção 2.2, o BaSCoP possa ser utilizado para reduzir a demanda nas estações base.

#### 4.2.5 Discussão

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a utilização de um esquema de precificação, BaSCoP - *Base Station Congestion-based Pricing*, para promover a distribuição da carga de trabalho de maneira mais uniforme entre as estações base. O esquema proposto foi simulado utilizando dados artificiais gerados a partir de parâmetros apresentados em recentes

estudos de caracterização da rede de Internet móvel com dois outros esquemas de precificação, a tarifa plana e o TUBE. Com base nos resultados obtidos na simulação utilizando diferentes modelos de mobilidade, observa-se que com a utilização dos esquemas de precificação dinâmicos, TUBE e BaSCoP, foi possível reduzir a carga de trabalho na rede nos períodos de pico. A redução da demanda nos períodos de pico com a utilização destes esquemas foi em média de 7,22% à 13,96%. Os resultados foram similares para ambos os esquemas de precificação e podem ser observados nas figuras 8, 11, 14 e 16.

Com base nos resultados obtidos na simulação utilizando diferentes modelos de mobilidade, observa-se que a tarifa plana e o TUBE não promovem a utilização das estações base de forma distribuída. Este resultado pode ser observado nos mapas das Figuras 10, 13, 15 e 17 que apresentam mapas de calor dos níveis de utilização das estações base ao longo do dia. Mesmo em cenários onde os usuários passam pela área de cobertura de várias estações base, como nos cenários simulados utilizando os modelos de mobilidade *Random Waypoint* e o RIO, algumas estações base podem ter alta demanda causando possíveis atrasos na entrega de pacotes e aumento nos custos operacionais.

Em comparação com a tarifa plana e o TUBE, o esquema proposto pode ser utilizado para redistribuir a carga de trabalho entre as estações base, evitando congestionamento em determinadas áreas e promovendo o uso de recursos em locais de baixa demanda. Este resultado ficou bem evidente nos cenários que utilizaram os modelos de mobilidade *Random Waypoint* e o RIO nos quais os usuários se movimentam entre uma maior quantidade de estações base. Nestes cenários, a quantidade de períodos nos quais a demanda chegou a níveis acima dos limites de carga de trabalho definidos foi reduzida em até 30%.

A utilização do BaSCoP pode trazer benefícios tanto para os ISPs quanto para os usuários. Para os ISPs, este esquema pode ser utilizado para reduzir os gastos com controle de congestionamento além da possibilidade de aumentar a rentabilidade das estações base que possam estar ociosas. Os usuários podem se beneficiar de duas maneiras, na melhoria da qualidade de serviço e na possibilidade de redução dos gastos com Internet móvel. A melhoria na qualidade do serviço pode ser percebida com a redução da demanda em locais com alta carga de trabalho. Já os usuários que se encontram em áreas que, normalmente, têm índices de ociosidade, podem se beneficiar dos descontos oferecidos pelo ISP.

O BaSCoP foi capaz de alcançar melhores resultados na distribuição da carga de trabalho nos cenários onde os usuários passam pela área de cobertura de várias estações base. Os resultados obtidos com a utilização dos modelos de mobilidade *Random waypoint* e RIO tiveram melhores resultados devido a esta característica. Como nos cenários criados com o SLAW e o SMOOTH a movimentação de muitos usuários ficou restrita a uma quantidade menor de estações base, a eficiência do BaSCoP foi menor. Entretanto, quando estes resultados são com-

parados com a tarifa plana e o TUBE, o BaSCoP foi capaz de reduzir redistribuir a demanda nas estações base que foram mais visitadas.



## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A tarifa plana é o principal esquema de precificação de Internet móvel utilizado pelos ISPs. As variações deste esquema permitem que o volume de dados utilizados pelos usuários seja limitado por um *budget* mensal que quando utilizado em sua totalidade causam a redução da velocidade máxima de conexão e/ou o interrompimento do serviço entre outras penalidades. A utilização deste esquema causa uma competição na utilização dos recursos da rede, principalmente, nos períodos de pico podendo gerar congestionamentos e causar atrasos na entrega de pacotes para os usuários. A utilização de esquemas de precificação dinâmicos pode reduzir o impacto dos picos de demanda em alguns períodos. Nestes esquemas a diferenciação de preços pode ser realizada considerando o período em que os dados são utilizados. Com a diferença na utilização das estações base tanto a tarifa plana e suas variações quanto esquemas de precificação que não considerem a demanda das estações base pode ser injusto com os usuários que se encontrem em áreas cobertas por estações base que estejam com baixa demanda.

Com base na análise dos resultados obtidos e de acordo com a literatura sobre caracterização de uso de Internet móvel e esquemas de precificação para Internet móvel, tanto a tarifa plana quanto o TUBE podem ser considerados injustos devido às diferenças de demanda nas estações base. Este trabalho apresenta o BaSCoP - *Base Station Congestion-based Pricing*, um esquema de precificação baseado no congestionamento de estações base para redes Internet móvel. O BaSCoP utiliza os históricos da carga de trabalho nas estações base no processo de definição de preços promovendo uma maior utilização das estações base que pode ter baixa carga de trabalho mesmo em períodos de pico de demanda na rede. Esquemas de precificação dinâmicos, assim como o BaSCoP, podem ser utilizados pelos ISPs para controlar a demanda na rede reduzindo seus custos de operação, permitindo ao sistema comportar um número maior de usuários sem que sejam necessários novos investimentos em expansão da rede. Além disso, para os usuários, os esquemas de precificação dinâmicos permitem programar grandes demandas de dados para períodos de menor demanda na rede permitindo a redução dos gastos e, durante os períodos de pico, pode favorecer a utilização dos serviços urgentes que, devido a menor demanda na rede, podem ser utilizados em períodos com menor concorrência por recursos.

O BaSCoP pode se tornar injusto para usuários que permanecem estáticos em grande parte do dia. Neste caso, estes usuários estáticos podem estar localizados em uma áreas com históricos de alta demanda e conseqüentemente descontos poderiam não ser oferecidos nestas áreas. Entretanto, acredita-se que a utilização do BaSCoP como uma ferramenta de apoio ao controle de congestionamento poderia melhorar o serviços para estes usuários através da redistribuição da demanda de forma mais uniforme entre as estações base do ISP. Ou seja, se o BaSCoP reduzir a carga de trabalho nos locais com históricos de alta demanda, os usuários

desses locais serão beneficiados devido a maior disponibilidade de recursos para a utilização de suas aplicações.

O padrão de mobilidade dos usuários é um fator importante para avaliação da viabilidade de utilização do BaSCoP, uma vez que podem ser definidos diferentes preços de utilização para cada uma das estações base. Quanto maior a mobilidade dos usuários maior a possibilidade do BaSCoP para redistribuir a demanda entre as estações base. Trabalhos de caracterização do comportamento dos usuários de Internet móvel, mostram como os usuários com maior mobilidade são, normalmente, os responsáveis por utilizar grandes volumes de dados. Além disso, os usuários possuem um padrão de comportamento principalmente em períodos de 12 e 24 horas que pode ser considerados como o ciclo diário dos seres humanos. Essas características de mobilidade são favoráveis a utilização de um esquema de precificação que considere a localização na definição dos preços de utilização.

Para tornar a utilização do BaSCoP uma realidade é necessário que os ISPs, utilizem uma arquitetura de serviços que permita a fácil consulta dos usuários aos preços praticados na rede. Com o crescimento na utilização de *smartphones* se torna ponderável considerar a existência de uma aplicação que trabalhe no dispositivo móvel dos usuários sendo responsável pelas tarefas de consulta de preços de utilização e, não menos importante, fornecer ao usuário uma maneira simples de controle de gastos com os serviços de Internet. Este tipo de aplicação já foi testado em um ambiente real controlado por Ha et al. (2012). Neste trabalho, os autores criaram uma aplicação que é instalada no dispositivo móvel do usuário. Essa aplicação é responsável por exibir notificações sobre os preços de utilização praticados pelo ISP e exibir notificações para o usuário sobre descontos e seus gastos. Além dessas funções, o aplicativo fornece opções para controle da utilização de dados pelos aplicativos do usuário e uma interface para consultas sobre o volume de dados utilizado em determinado período.

## 5.1 Trabalhos Futuros

Os resultados deste trabalho de pesquisa sugerem a realização de novos trabalhos. O esquema de precificação de tráfego de Internet móvel proposto cria a possibilidade de desenvolvimento de outros trabalhos, tais como:

- Caso *logs* reais sejam disponibilizados por um ISP, é possível caracterizar o comportamento dos usuários a partir dessa nova fonte de dados, permitindo a realização de novas

simulações do esquema de precificação apresentado. É uma tarefa que pode consolidar os resultados obtidos neste trabalho.

- A realização de um estudo aprofundado sobre os efeitos do “*índice de paciência*” durante diferentes períodos do dia. Isto é, verificar se a hora do dia tem influência na tomada de decisão dos usuários em adiar ou não a utilização dos serviços de Internet.
- A utilização de experimentos com usuários reais de um mesmo ISP para verificação da viabilidade de utilização de um modelo que utilize informações sobre a localização dos usuários no momento de utilização dos serviços de Internet móvel. Este experimento torna possível verificar a resposta dos usuários as alterações de preços de forma mais dinâmica. Espera-se que a diferenciação de preços por regiões crie benefícios tanto para o ISP que pode reduzir gastos com o controle de congestionamento quanto para os usuários possibilitando uma melhor qualidade de serviço percebido devido a redução de demanda nos períodos de pico.
- A avaliação do esquema proposto quanto aos benefícios financeiros que podem ser alcançados tanto pelo ISP quanto pelos usuários. O ISP pode reduzir os gastos com o controle de congestionamento devido a redução da demanda em períodos de pico. A redução dos períodos de pico permite também que um maior número de usuários seja suportado pela rede do ISP. Para os usuários pode ser avaliada a satisfação gerada pelo possível aumento na qualidade de serviço devido a redução do volume de dados nos períodos de pico. Além disso, pode ser avaliada a mudança de comportamento dos usuários que se propõem a adiar a utilização de serviços nos períodos de pico bem como avaliar as alterações nos valores gastos com Internet móvel.
- Estudar a possibilidade de utilizar um modelo de precificação híbrido no qual o BaSCoP e o TUBE possam ser combinados. Em regiões onde os padrões de mobilidade dos usuários dificultem a redistribuição da carga a utilização do TUBE pode ser mais eficiente justificando a utilização dos esquemas de precificação em conjunto.

## 5.2 Publicações

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, foram publicados dois artigos científicos que também descrevem as contribuições deste trabalho e que foram apresentados em conferências nacionais e internacionais:

- DAMASCENO, A. G. M.; MINI, R. A. d. F.; MARQUES-NETO, H. T. A base station congestion-dependent pricing scheme for cellular data network. In: *Proceedings of the 2013 Workshop on Student Workshop*. New York, NY, USA: ACM, 2013. (CoNEXT Student Workshop '13), p. 17–20.
- DAMASCENO, A. G. M.; MINI, R. A. d. F.; MARQUES-NETO, H. T. Bascop: um esquema de precificação para redes de celular baseado no congestionamento de estações base. In: *CSBC 2014 - SEMISH (XLI SEMISH)*. Brasília, Brazil: [s.n.], 2014.

## REFERÊNCIAS

ALLOT. *Mobile Trends Report Q1-2014*. 2014. <<http://www.allot.com>>.

AZEVEDO, T. et al. **an analysis of human mobility using real traces**. In: *Wireless Communications and Networking Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–6. ISSN 1525-3511.

BRESLAU, L. et al. **advances in network simulation**. *Computer*, v. 33, n. 5, p. 59–67, May 2000. ISSN 0018-9162.

CAMP, T.; BOLENG, J.; DAVIES, V. **a survey of mobility models for ad hoc network research**. *Wireless Communications & Mobile Computing (WCMC): Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, v. 2, p. 483–502, 2002.

CETIC. *TIC: Domicílios e Empresas*. 2013. <<http://www.cetic.br/publicacoes/2012/tic-domicilios-2012.pdf>>.

CHEN, J. et al. **qava: quota aware video adaptation**. In: *Proceedings of the 8th international conference on Emerging networking experiments and technologies*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (CoNEXT '12), p. 121–132. ISBN 978-1-4503-1775-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2413176.2413191>>.

CISCO. *Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011-2017*. 2013. <<http://goo.gl/WPdr7>>.

DAILY, S. N. *YouTube now sees 40% of traffic from mobile*. 2013. <<http://goo.gl/DXAd5Y>>.

EL-SAYED, M. et al. **mobile data explosion: Monetizing the opportunity through dynamic policies and qos pipes**. *Bell Lab. Tech. J.*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, v. 16, n. 2, p. 79–99, set. 2011. ISSN 1089-7089. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/bltj.20504>>.

ERICSSON. *LTE: an introduction. What mobile operators need to know*. 2011. <[http://www.ericsson.com/res/docs/2011/lte\\_an\\_introduction.pdf](http://www.ericsson.com/res/docs/2011/lte_an_introduction.pdf)>.

GONZALEZ, M. C.; HIDALGO, C. A.; BARABASI, A.-L. **Understanding individual human mobility patterns**. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 453, n. 7196, p. 779–782, jun. 2008. ISSN 0028-0836. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature06958>>.

HA, S. et al. **tube: time-dependent pricing for mobile data**. In: *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2012 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (SIGCOMM '12), p. 247–258. ISBN 978-1-4503-1419-0. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2342356.2342402>>.

HONG, S.; LEE, K.; RHEE, I. **step: A spatio-temporal mobility model for humans walks**. In: *Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2010 IEEE 7th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 630–635. ISSN 2155-6806.

JIN, Y. et al. **characterizing data usage patterns in a large cellular network.** In: *Proceedings of the 2012 ACM SIGCOMM workshop on Cellular networks: operations, challenges, and future design.* New York, NY, USA: ACM, 2012. (CellNet '12), p. 7–12. ISBN 978-1-4503-1475-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2342468.2342471>>.

LANER, M. et al. **users in cells: A data traffic analysis.** In: *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2012 IEEE.* [S.l.: s.n.], 2012. p. 3063–3068. ISSN 1525-3511.

LEE, K. et al. **slaw: Self-similar least-action human walk.** *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, v. 20, n. 2, p. 515–529, April 2012. ISSN 1063-6692.

LOISEAU, P. et al. **incentive mechanisms for internet congestion management: Fixed-budget rebate versus time-of-day pricing.** *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, PP, n. 99, p. 1–1, 2013. ISSN 1063-6692.

MALAB, C. *Telefonia Móvel de Maneira Simples e Prática.* 1st. ed. Rio de Janeiro - RJ - Brasil: Edição do Autor, 2010.

MARQUES-NETO, H. T.; ALMEIDA, J. M.; ALMEIDA, V. A. F. **precificação de tráfego de internet de banda larga baseada no comportamento do usuário.** In: *XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos.* Gramado, RS, Brasil: [s.n.], 2010. (SBRC 2010), p. 973–986.

MUNJAL, A.; CAMP, T.; NAVIDI, W. C. **smooth: A simple way to model human mobility.** In: *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems.* New York, NY, USA: ACM, 2011. (MSWiM '11), p. 351–360. ISBN 978-1-4503-0898-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2068897.2068957>>.

ODLYZKO, A. **paris metro pricing: the minimalist differentiated services solution.** In: *Quality of Service, 1999. IWQoS '99. 1999 Seventh International Workshop on.* [S.l.: s.n.], 1999. p. 159–161.

ODLYZKO, A. **internet pricing and the history of communications.** *Computer Networks*, v. 36, p. 493–517, 2001.

PAUL, U.; BUDDHIKOT, M.; DAS, S. **opportunistic traffic scheduling in cellular data networks.** In: *Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN), 2012 IEEE International Symposium on.* [S.l.: s.n.], 2012. p. 339–348.

PAUL, U. et al. **understanding traffic dynamics in cellular data networks.** In: *INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE.* [S.l.: s.n.], 2011. p. 882–890. ISSN 0743-166X.

PENG, C. et al. **can we pay for what we get in 3g data access?** In: *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking.* New York, NY, USA: ACM, 2012. (Mobicom '12), p. 113–124. ISBN 978-1-4503-1159-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2348543.2348560>>.

QIAN, L. et al. **characterization of 3g data-plane traffic and application towards centralized control and management for software defined networking.** In: *Big Data (BigData Congress), 2013 IEEE International Congress on.* [S.l.: s.n.], 2013. p. 278–285.

RHEE, I. et al. **on the levy-walk nature of human mobility.** In: *INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE*. [S.l.: s.n.], 2008. p. –. ISSN 0743-166X.

SEN, S. et al. **incentivizing time-shifting of data: a survey of time-dependent pricing for internet access.** *Communications Magazine, IEEE*, v. 50, n. 11, p. 91–99, 2012. ISSN 0163-6804.

SEN, S. et al. **a survey of smart data pricing: Past proposals, current plans, and future trends.** *ACM Comput. Surv.*, ACM, New York, NY, USA, v. 46, n. 2, p. 15:1–15:37, nov. 2013. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2543581.2543582>>.

SHAKKOTTAI, S. et al. **the price of simplicity.** *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, v. 26, n. 7, p. 1269–1276, September 2008. ISSN 0733-8716.

TECHCRUNCH. **Facebook Reveals 78% Of US Users Are Mobile As It Starts Sharing User Counts By Country.** 2013. <<http://goo.gl/YF7ubD>>.

VENTUREBEAT. **Facebook's mobile moment: Nearly a billion mobile users, & majority of revenue from mobile.** 2014. <<http://goo.gl/DyLszR>>.

ZHANG, Y.; ARVIDSSON, A. **understanding the characteristics of cellular data traffic.** In: *Proceedings of the 2012 ACM SIGCOMM Workshop on Cellular Networks: Operations, Challenges, and Future Design.* New York, NY, USA: ACM, 2012. (CellNet '12), p. 13–18. ISBN 978-1-4503-1475-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2342468.2342472>>.

ZHOU, X. et al. **the predictability of cellular networks traffic.** In: *Communications and Information Technologies (ISCIT), 2012 International Symposium on.* [S.l.: s.n.], 2012. p. 973–978.