

BaSCoP: um Esquema de Precificação para Redes de Celular Baseado no Congestionamento de Estações Base

Agripino G. M. Damasceno, Raquel A. F. Mini, Humberto T. Marques-Neto

¹Departamento de Ciência da Computação
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)
Belo Horizonte – MG – 30.535-901 – Brasil

agripino.damasceno@sga.pucminas.br, {raquelmini, humberto}@pucminas.br

***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 large scale events. 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 proposed 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.*

***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, como por exemplo, durante eventos de larga escala. Soluções alternativas à tarifa plana, 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. Entretanto, nesse tipo de esquema de precificação, a demanda em cada estação base, normalmente, não é considerada na definição de preços. Devido as diferenças de demanda nas estações, esse tipo de esquema pode não ser justo, principalmente, para usuários fora de uma zona de congestionamento. Este trabalho 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. 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.*

1. Introdução

Com a popularização de aparelhos móveis com tecnologias de acesso a Internet, como *tablets* e *smartphones*, a carga de trabalho imposta às redes de Internet móvel tem crescido a

taxas anuais de até 66% [Cisco 2013]. A crescente utilização de serviços capazes de consumir grande quantidade de dados tem levado a carga de trabalho das redes dos provedores de acesso (*Internet Service Providers* - ISPs) a níveis elevados em diferentes períodos do dia e, particularmente, durante eventos de larga escala, tais como competições esportivas, manifestações sociais e eventos religiosos. 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 [Paul et al. 2012].

Acomodar esse crescimento se tornou um desafio para os ISPs, principalmente, devido ao custo envolvido na aquisição de novas estações base e no desenvolvimento de tecnologias mais eficientes de utilização do espectro de frequência [Paul et al. 2012]. Esquemas de precificação podem ser utilizados no controle dos níveis de demanda na rede, auxiliando na redução de gastos com o controle de congestionamento e com aquisição de novas tecnologias para expansão da capacidade do sistema. Estudos da literatura [Marques-Neto et al. 2010, Ha et al. 2012] propõem 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. Como o preço de utilização tende a ser maior nos períodos de pico, os usuários podem optar por postergar a utilização para períodos de baixa demanda reduzindo seus gastos com Internet.

Normalmente, os esquemas de precificação baseados no horário de uso não consideram a localização do usuário no processo de definição do preço de utilização. Considerando a arquitetura das redes de telefonia, compostas por um conjunto de estações base geograficamente distribuídas e que a carga de trabalho em cada uma estação base pode ser diferente em um determinado período [Paul et al. 2011, Paul et al. 2012], os esquemas de precificação deveriam considerar também a localização do usuário. Quando a localização não é considerada, usuários que se encontrem em áreas com alta demanda acabam sendo subsidiados por usuários que estão em áreas de demandas mais baixas pois ambos pagarão o mesmo preço de utilização.

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 distribuir a carga de trabalho 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 artigo a utilização e análise do uso do histórico de demanda das estações base no processo de definição de preços de utilização dos serviços de Internet móvel.

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma. Primeiramente é apresentada uma visão geral dos esquemas de precificação propostos na literatura e como são utilizados na prática pelos ISPs (Seção 2.1). O funcionamento do TUBE [Ha et al. 2012], utilizado na comparação e avaliação do esquema proposto, é descrito na Seção 2.2. A seguir, o funcionamento do BaSCoP é apresentado (Seção 3). O ambiente de simulação e os resultados obtidos se encontram na Seção 4. Por fim, na Seção 5, são apresentadas as considerações finais acerca deste trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

2.1. Esquemas de Precificação

As abordagens de precificação de serviços de Internet podem ser divididas em abordagens estáticas e dinâmicas [Sen et al. 2012]. Na abordagem de precificação estática, os preços são pré-determinados pelos ISPs baseados no histórico de utilização dos recursos da rede. Por outro lado, na abordagem dinâmica os preços de utilização podem ser ajustados de acordo com o período do dia e/ou com a carga de trabalho da rede.

Um exemplo de abordagem de precificação estática é a tarifa plana. Neste esquema, os usuários pagam uma taxa fixa, normalmente mensal, para utilizar dos serviços dos ISPs. Como o valor pago pelos usuários é fixo, a tarifa plana pode incentivar o desperdício de recursos pelos usuários o que pode tornar o sistema insustentável devido aos possíveis gastos com o controle de congestionamento na rede. Recentemente, ISPs, como a AT&T e a Verizon, começaram a descontinuar os planos de tarifa plana ofertando aos novos usuários planos com limites de dados. Nesses novos planos, o usuário recebe periodicamente um *budget* que é definido no momento da assinatura do contrato [Ha et al. 2012].

Esquemas de precificação dinâmicos podem utilizar dados da carga de trabalho na definição dos preços de utilização [Marques-Neto et al. 2010, Ha et al. 2012]. Nesses esquemas, o período de atualização dos preços é menor e os ISPs devem fornecer uma maneira simples de checagem do preço de utilização. Os usuários decidem quando utilizar o sistema com base no custo/benefício percebido considerando tanto o preço de utilização da Internet, quanto a necessidade de um determinado aplicativo.

[Marques-Neto et al. 2010] propõem o *Broadband Pricing Scheme* (BPS), que considera a demanda histórica de uma rede cabeada de Internet banda larga para definir os preços de utilização em diferentes períodos. No BPS, os usuários pagam uma taxa fixa para utilização dos serviços por um determinado período. Durante este período os usuários recebem um *budget* que é calculado com base 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, o usuário pode optar por não utilizar a rede em períodos de pico onde o preço cobrado é maior, garantindo o uso dos serviços até a próxima recarga do *budget*.

Em [Paul et al. 2012], os autores propõem a utilização de um modelo no qual os usuários podem atribuir baixas prioridades a alguns serviços. Esses serviços de baixa prioridade podem ser entregues quando o usuário se encontra na área de cobertura de uma estação base cuja carga de trabalho esteja reduzida. Diferente desse trabalho, o BaSCoP utiliza os limiares de utilização das estações base na definição de preços criando descontos para incentivar os usuários a postergarem a utilização dos serviços de Internet.

O TUBE [Ha et al. 2012] considera a demanda histórica da rede na definição de preços. Períodos com demandas historicamente mais elevadas possuem preços de utilização elevados, se comparados com períodos de baixa demanda. Nesse esquema, são oferecidos descontos em períodos de baixa carga de trabalho na rede. Esses descontos podem incentivar que os usuários posterguem a utilização de serviços, tais como, a atualização de aplicativos e o *download* de filmes. A próxima seção apresenta uma descrição detalhada desse esquema de precificação.

2.2. TUBE: Time-dependent Usage-based Broadband pricing Engineering

O TUBE é composto por dois componentes independentes: um servidor gerenciado pelo ISP e um aplicativo de monitoramento que é instalado no equipamento do usuário. O servidor é responsável por realizar medições da utilização dos usuários e determinar os preços de utilização para os próximos períodos. Normalmente, esse processo ocorre a cada 24 horas. O aplicativo cliente exibe os preços determinados pelo servidor e apresenta funcionalidades para controle e monitoramento da utilização de dados.

O TUBE utiliza um conceito chamado “*índice de paciência*”, constituído a partir de pesquisas com usuários, para determinar a “*disposição*” de um usuário em esperar um momento de preços menores para utilizar os serviços de acesso a Internet. A “*disposição*” do usuário em esperar para utilizar esses serviços pode variar dependendo da percepção de valor que cada usuário tem de determinadas aplicações. Um usuário pode aceitar esperar para realizar o *download* de um aplicativo ou para atualizar um software, mas, esse mesmo usuário pode desejar ler seus *e-mails* imediatamente.

A “*disposição*” de um usuário em esperar, denominada “*função de espera*”, representa a probabilidade de um usuário em postergar a utilização dos serviços de Internet por um período τ oferecendo um desconto d . A função de espera pode ser calculada a partir da simples equação

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

O parâmetro p é o “*índice de paciência*” e λ_p é uma constante de normalização escolhida apropriadamente. Um valor alto de p indica menor paciência do usuário, enquanto $p = 0$ indica indiferença ao tempo adiado τ . Quanto maiores os valores de τ e p , mais rapidamente cai o valor de $w_p(d, \tau)$. A constante de normalização é 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 τ e d . Então, a constante de normalização é geralmente escolhida utilizando a seguinte fórmula $\lambda_p = \sum_{t=1}^{n-1} w_p(D, \tau)$, 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 (1).

Na prática, os valores adotados para os índices de paciência p utilizados na Equação 1 deveriam ser obtidos durante um período de testes realizados pela operadora, oferecendo uma variedade de descontos e observando as respostas dos usuários. Entretanto, para simplificar esta etapa foram realizados questionários com os usuários participantes do experimento. 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 descontos no preço de utilização. A pesquisa revelou que, para os entrevistados, o *streaming* de vídeo é uma atividade na qual toleram aguardar por tempos menores do que a atualização de softwares e o *download* de filmes.

Dado um conjunto de descontos $d_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$, oferecidos durante os períodos de um dia, estimativa da quantidade de tráfego que será postergada de um período i para um período $k \neq i$ é definida por

$$A_{ik} = Y_i \sum_{j=1}^m \mu_j w_{pj}(d_k, |k - i|_n) \quad (2)$$

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 μ_j o percentual de tráfego da j -ésima classe de tráfego.

O TUBE é um esquema de precificação capaz reduzir a carga de trabalho na rede em períodos de pico. Contudo, diferente 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. Considerar o histórico de carga de trabalho das estações base possibilita que, utilizando o BaSCoP, os ISPs possam redistribuir a carga de trabalho nas estações base o que pode permitir ao sistema comportar um número maior de usuários sem que sejam realizados investimentos na expansão do sistema.

3. BaSCoP: Base Station Congestion-based Pricing

Nesta seção, é apresentado o BaSCoP (*Base Station Congestion-based Pricing*), um esquema de precificação dinâmico que pode ser utilizado para auxiliar o ISP no gerenciamento de seus recursos. O BaSCoP considera a carga de trabalho das estações base no processo de definição de preços, promovendo assim uma redistribuição da carga de trabalho entre as estações base. A construção do BaSCoP foi motivada por recentes estudos de caracterização da rede de Internet móvel, como [Paul et al. 2011] e [Jin et al. 2012], os quais mostram as diferenças existentes nas cargas de trabalho das estações base.

Considerando a rede de um ISP composta por um conjunto de estações base S , a carga de trabalho gerada pelos n usuários conectados a estação base $s \in S$ no período t pode ser calculada por $D_s^t = \sum_{i=1}^n d_i^t$, onde d_i^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 base s , quando D_s^t é igual ou maior que B_s , podem ocorrer congestionamentos e os usuários conectados à estação base s podem sofrer atrasos perceptíveis nos tempos de resposta da rede.

Em um período $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_k\}$, cada estação base tem um preço de utilização p_s^t que foi calculado com base nos históricos de D_s^t na estação base s . Considerando dois períodos x e y cujos históricos de carga de trabalho são D_x e D_y respectivamente, se D_x possuir valores de demanda maiores que 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, $p_s^{t_x} < p_s^{t_y} \iff D_s^{t_x} < D_s^{t_y}$. Cada preço $p_s^t \in P_s$ é baseado na média histórica das cargas de trabalho d_s^t em um conjunto de períodos passados e é publicado pelo ISP antes do período t_0 de cada T .

Neste trabalho, cada estação base possui um conjunto de limiares de carga que são utilizados na definição do momento no qual o ISP deve incentivar, ou desencorajar, a utilização dos recursos da rede em determinados períodos do dia. Na simulação do BaSCoP, foi utilizado um conjunto de quatro valores de limiares no processo de definição de preços, os quais indicam valores de carga com os quais se pode aplicar descontos ou sobretaxas que poderiam incentivar ou desencorajar a utilização dos serviços de Internet.

Os limiares foram escolhidos para representar, respectivamente, (tsh_1) alta carga de trabalho com níveis de congestionamento, ou seja $(D_s^t/B_s) \geq tsh_1$, (tsh_2) altos níveis de carga de trabalho sem níveis de congestionamento, ou seja $tsh_1 > (D_s^t/B_s) \geq tsh_2$,

(tsh_3) níveis regulares de demanda, ou seja $tsh_2 > (D_s^t/B_s) \geq tsh_3$, e (tsh_4) níveis de ociosidade dos recursos da estação base, ou seja $(D_s^t/B_s) < tsh_3$. Esses valores são definidos pelo ISP, sendo possível aplicar descontos diferenciados de acordo a carga de trabalho de cada estação base, por exemplo, para períodos com carga de trabalho abaixo de tsh_4 . Enfim, o ISP pode optar por oferecer grandes descontos que poderiam encorajar a utilização de serviços como *streaming* de vídeo e atualização de aplicativos, sem que os usuários comprometessem o seu *budget*.

Para encorajar a utilização de recursos nos períodos em que uma estação base se encontra com baixos níveis de carga de trabalho, ou seja tsh_3 ou tsh_4 , o ISP pode definir um conjunto de descontos entre θ_{min} e θ_{max} . Então, o ISP pode calcular o desconto θ_s^t em períodos de baixa demanda aplicando a seguinte equação

$$\theta_s^t = \left(\frac{d_s^t - ths_{min}}{ths_{max} - ths_{min}} \right) \times (\theta_{max} - \theta_{min}) + \theta_{min} \quad (3)$$

onde ths_{max} e ths_{min} representam o limite máximo e mínimo do intervalo de desconto, respectivamente. Quando a demanda em uma estação base se encontra em níveis de alta carga de trabalho tsh_1 e/ou tsh_2 , o ISP pode somar 1 ao resultado da Equação 3 para sobretaxar os usuários e desencorajar o acesso a Internet móvel.

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 em períodos de demanda controlada, sem descontos ou sobretaxas. Quando um usuário utiliza d_s^t bytes, ele é tarifado por $p_s^t \times d_s^t$. Então, os gastos diários μ_i de um usuário podem ser calculados por

$$\mu_i = \sum_{s \in S_i} \sum_{t \in T} p_s^t \times d_s^t \quad (4)$$

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.

No BaSCoP, o processo de definição de preços de utilização nas estações base deve considerar também o carga de trabalho total da rede. Se em um determinado momento os históricos da rede e de uma estação base se encontram em níveis de baixa utilização, o ISP pode utilizar esse período para oferecer descontos ainda maiores nessa estação base e com isto incentivar os usuários a utilizarem os serviços e, conseqüentemente, aumentar a rentabilidade dos recursos que trabalhariam em níveis de ociosidade.

Como o TUBE não considera a carga de trabalho das estações base no processo de definição de preços, os períodos com descontos no preço de utilização da rede podem coincidir com períodos de alta demanda em uma estação base. Nesses períodos, estações base com cargas de trabalho altas podem sofrer aumento de demanda e, conseqüentemente, podem ocorrer congestionamentos. Além disso, em períodos de alta demanda na rede, usuários que se encontram em áreas de baixa demanda local podem se sentir injustiçados pois pagam o mesmo preço que os usuários que se encontram em áreas de congestionamento. O BaSCoP tenta resolver esse problema considerando a demanda de trabalho nas estações base.

Acredita-se que um usuário pode optar por utilizar os serviços em períodos de preços mais baixos reduzindo os gastos. Adiar a utilização de dados 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, o desconto oferecido precisa ser suficientemente interessante para que os usuários decidam aguardar por períodos de baixa tarifação para praticar este tipo de utilização dos recursos da rede.

Ao considerar a carga de trabalho das estações base no processo de definição de preços, é necessário que o ISP gerencie ocorrência de grandes eventos que ocorram na área de cobertura de sua rede. Estes eventos têm influencia direta na carga de trabalho das estações base, e uma vez que não refletem o estado cotidiano da rede, não devem ter influência nos preços de utilização. Este problema pode ser resolvido com a utilização de pesos para que os históricos de carga de trabalho mais antigos tenham maior influência do que os mais novos.

4. Simulação

A proposta do BaSCoP é o desenvolvimento de um esquema de precificação que promova uma melhor utilização de recursos na rede dos ISPs. Foram realizadas simulações para avaliar o esquema proposto e analisar a economia de recursos da rede, a redistribuição de carga entre as estações base do ISP e os benefícios alcançados pelos usuários. Para isso, o BaSCoP é comparado com o esquema de tarifa plana e com o TUBE [Ha et al. 2012]. A carga de trabalho utilizada nas simulações é descrita na Seção 4.1. A Seção 4.2, apresenta o ambiente de simulação utilizando o simulador de rede ns-2 [NS2 2002].

4.1. Caracterização do Comportamento dos Usuários

A simulação da carga de trabalho gerada pelos usuários na rede do ISP foi realizada com base em trabalhos de caracterização propostos na literatura. Distribuições de probabilidade do número de usuários ativos e da quantidade de bytes enviados e recebidos foram utilizadas para gerar uma carga de trabalho sintética. Para isso, foram utilizados os estudos de [Paul et al. 2011] e [Jin et al. 2012]. A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros utilizados na simulação da carga de trabalho gerada pelos usuários baseados em [Ha et al. 2012] e [Jin et al. 2012].

Tabela 1. Parâmetros da carga de trabalho.

	Apps	E-mail	Vídeo	Web
<i>Índice de paciência</i>	0.5	3	2	3
% de tráfego (Heavy)	28	8	28	36
% de tráfego (Normais)	20	24	5	51

[Paul et al. 2011] apresentam dados sobre a relação entre a movimentação e o consumo dos usuários. O padrão de movimentação dos usuários mostra uma alta probabilidade para um usuário retornar diariamente às mesmas estações base, principalmente, em períodos de 12 e 24 horas. Mais de 90% dos usuários visitam entre 1 a 10 estações base diariamente, sendo que usuários que se movimentam mais têm, normalmente, maior consumo de dados.

Os usuários foram divididos em dois grupos, *Heavy* e *Normais*, de acordo com a utilização dos serviços de Internet [Jin et al. 2012]. O grupo *Heavy* é composto por cerca de 3% dos usuários, sendo responsável pela utilização de aproximadamente 50% dos dados trafegados. O tráfego de cada usuário foi dividido em apps, e-mail, vídeo e web, representando as classes de serviço mais utilizados por cada grupo de usuário [Jin et al. 2012].

A divisão do tráfego de cada classe de serviço, apresentada na Tabela 1, representa a média de consumo sem distinção entre *download* e *upload* de dados.

A divisão dos usuários em grupos e do tráfego em classes de serviços foi utilizada para permitir a simulação da “*disposição*” dos usuários em postergar a utilização de serviços devido a um desconto oferecido pelo ISP. Este valor é calculado utilizando a Equação (1) considerando os “*índices de paciência*” dos usuários para cada tipo de serviço. Os “*índices de paciência*” utilizados nesse trabalho foram baseados nos dados apresentados por [Ha et al. 2012].

4.2. Cenário de Simulação

Para obter uma base de comparação do BaSCoP, os mesmos cenários foram utilizados para a simulação do esquema de tarifa plana e do TUBE. Nas simulações foram utilizadas 12 estações base todas com as mesmas capacidades. Segundo [Paul et al. 2011], esta quantidade de estações base cobre a quantidade máxima de estações base visitadas por de mais de 90% dos usuários. A disposição das estações base no ambiente de simulação foi baseada em sua localização real na rede de um dos maiores ISP brasileiros. As estações base escolhidas são responsáveis pela cobertura de sinal da orla da praia de Copacabana, região que foi escolhida por se tratar de um ponto turístico conhecido mundialmente, localizado na cidade do Rio de Janeiro - Brasil, além de possuir fluxo constante de movimentação de pessoas. A posição das estações base na rede do ISP é apresentada na Figura 1.



Figura 1. Localização estações base.

Parâmetros gerais	
Número total de usuários	300
Posição inicial dos usuários	aleatória
Velocidade de movimentação	5 km/h
Área	4 km de extensão
Estações base	12
Raio de cobertura da estação base	500m
Limiar da rede	1,5e + 07 bytes

Tabela 2. Configuração cenários de simulação.

Na simulação dos esquemas TUBE e BaSCoP, durante o período ativo de um usuário, o mesmo pode decidir se irá postergar a utilização de um determinado serviço para outros períodos considerando o desconto oferecido pelo ISP. Esta escolha é realizada através do cálculo de probabilidade da “*disposição*” de cada usuário em adiar a utilização. Esse cálculo é feito utilizando a Equação (3) descrita na Seção 3. A Tabela 2 apresenta a sumarização dos parâmetros utilizados nas simulações dos esquemas de precificação.

Nas simulações realizadas, a quantidade de bytes utilizada por cada usuário foi considerada a mesma em todos os esquemas de precificação, ou seja, a utilização de bytes dos usuários na tarifa plana, no TUBE e no BaSCoP é a mesma. Essa definição facilita a comparação dos esquemas estudados permitindo a comparação direta da carga de trabalho gerada na rede e, individualmente, em cada uma das estações base.

Cada usuário ativo possui uma posição inicial a , uma posição final b , uma velocidade de movimentação v km/h e uma taxa de utilização de dados. Devido a limitações da simulação, foram considerados apenas usuários caminhando pela área de cobertura das estações base com uma velocidade de movimentação de 5 km/h. As posições a e b do

usuário u são definidas de maneira aleatória, ou seja, em um momento t o usuário u sai da posição a e caminha em direção a posição b a uma velocidade v . Durante esse percurso o usuário pode (ou não) estar utilizando os serviços de Internet. A definição das posições inicial e final é feita de maneira aleatória, sendo que os cenários de movimentação aplicados para simulação de cada esquema de precificação são idênticos para possibilitar a avaliação da mudança de carga de trabalho entre as estações base.

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

4.3. Resultados

Os esquemas de precificação de tarifa plana, TUBE e BaSCoP foram avaliados, via simulação, quanto à capacidade de redistribuição da carga de trabalho entre um maior número de estações base. As simulações foram realizadas considerando a utilização diária de 300 usuários na rede do ISP. As cargas de trabalho utilizadas foram geradas artificialmente a partir dos trabalhos descritos na Seção 4.1. Em todas as simulações foram consideradas as mesmas movimentações dos usuários, o que permite avaliar a capacidade de cada esquema de precificação em influenciar a utilização de serviços de Internet.

A simulação do esquema de tarifa plana representa a utilização real dos serviços de Internet, uma vez que os ISPs praticam esse esquema com algumas variações de comportamento. As cargas de trabalho obtidas como resultado da 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 com históricos 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.

No esquema de precificação do TUBE é necessário definir o limiar de utilização para a rede. Os períodos onde a carga de trabalho na rede atinge valores inferiores ao limiar podem ser considerados períodos de ociosidade e, portanto, nesses períodos, podem ser definidos descontos para incentivar aos usuários utilização dos recursos do provedor.

Para calcular os preços para a simulação do TUBE, nos momentos onde a carga de trabalho foi maior ou igual a $1,5e + 07$ bytes, o ISP não oferece descontos. Essa definição é necessária para que, considerando a Equação (1), os usuários estejam dispostos a postergar a utilização dos serviços de Internet de acordo com o desconto oferecido. Assim, nos períodos entre 10 e 22 horas não foram oferecidos descontos aos usuários pois o aumento de utilização nesses períodos poderia levar a rede a níveis de congestionamento.

A Figura 2 apresenta a carga de trabalho da rede durante um dia típico com a utilização do esquema de tarifa plana, TUBE e BaSCoP. 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. 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.

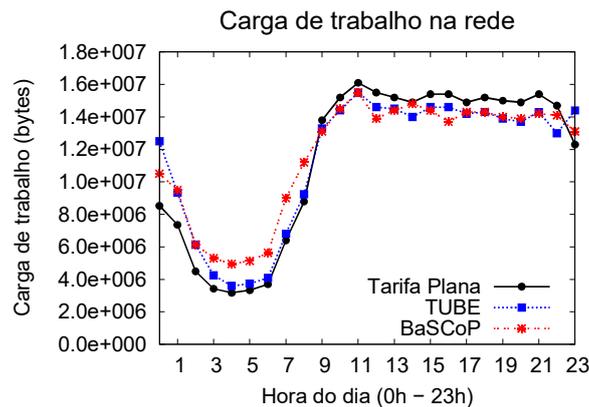


Figura 2. Carga de trabalho durante a simulação da Tarifa plana, TUBE e BaSCoP.

A Figura 3 mostra a carga de trabalho na estação base apontada na Figura 1, em um dia típico de utilização. Nos períodos de alta demanda nessa estação base, como entre 18 e 20 horas, o BaSCoP é capaz de reduzir a carga de trabalho. Essa redução pode evitar que a estação base opere em níveis de demanda muito alta e melhorar a experiência de serviço do usuário. Nos períodos onde a carga de trabalho na estação base se encontra em limites aceitáveis, como entre 12 e 17 horas, a carga de trabalho total da rede pode estar alta. Nesse período, o esquema de precificação aumenta o preço de utilização nessa estação base. Nessa situação, quando a rede tem alta demanda e a estação tem níveis aceitáveis de 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.

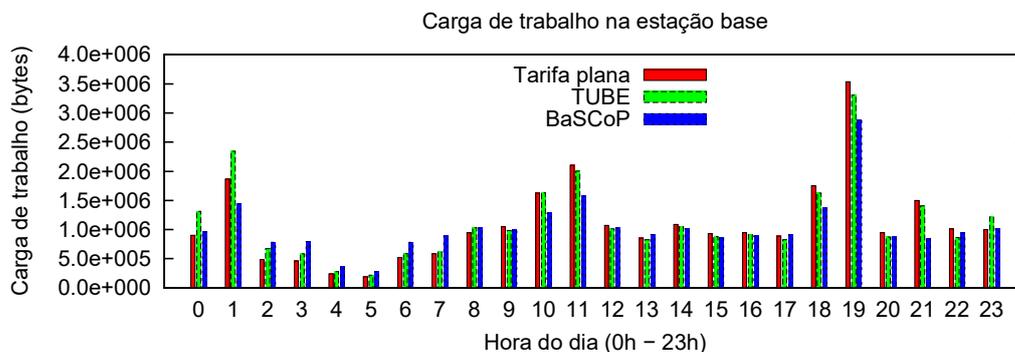


Figura 3. Carga de trabalho durante um dia típico na estação base sinalizada na Figura 1.

O TUBE tem a capacidade de mover o tráfego de um período para outro. Contudo, os resultados das simulações mostram que algumas estações base têm cargas de trabalho elevadas enquanto outras podem estar ociosas. Os mapas da Figura 4 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.

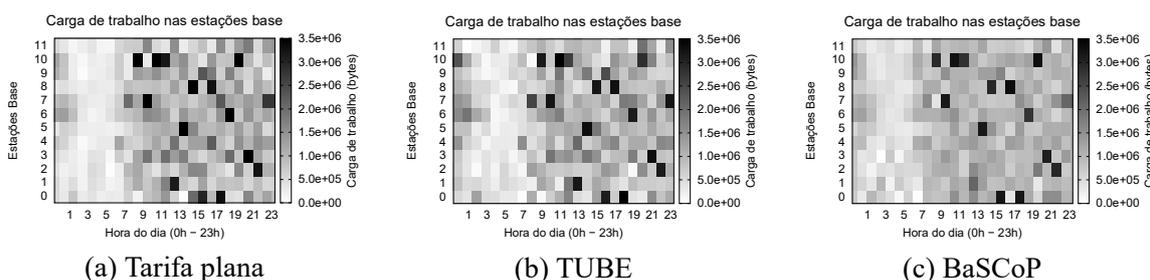


Figura 4. Carga de trabalho em bytes nas estações base durante o dia.

Observando o mapa da Figura 4, é possível perceber como o BaSCoP é capaz de promover a redistribuição das cargas de trabalho entre as estações base. Nessas figuras, o BaSCoP apresenta uma maior distribuição da carga de trabalho entre as estações base. Essa melhor distribuição da carga de trabalho pode permitir ao ISP com a utilização das mesmas estruturas comportar um maior número de usuários, aumentando a rentabilidade do sistema. A Tabela 3 apresenta os dados sobre as cargas de trabalho nas 12 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 7,29% e 8,68% em média sobre a tarifa plana e sobre o TUBE, respectivamente.

Tabela 3. Períodos de alta demanda nas estações base (%).

Estação base	Tarifa plana	TUBE	BaSCoP	Estação base	Tarifa plana	TUBE	BaSCoP
0	5 (20.83)	7 (29.17)	6 (25.00)	6	6 (25.00)	8 (33.33)	5 (20.83)
1	3 (12.50)	3 (12.50)	2 (8.33)	7	7 (29.17)	8 (33.33)	6 (25.00)
2	5 (20.83)	5 (20.83)	2 (8.33)	8	3 (12.50)	2 (8.33)	2 (8.33)
3	5 (20.83)	5 (20.83)	4 (16.67)	9	6 (25.00)	6 (25.00)	5 (20.83)
4	7 (29.17)	7 (29.17)	4 (16.67)	10	9 (37.50)	9 (37.50)	5 (20.83)
5	2 (8.33)	2 (8.33)	2 (8.33)	11	6 (25.00)	6 (25.00)	0 (0.00)
				Total	64 (22.22)	68 (23.61)	43 (14.93)

O mapa da Figura 4 apresentam no período noturno, entre 0 e 7 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. 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 aparelhos móveis¹, podem criar oportunidades para a inserção de novos modelos de precificação, como o BaSCoP, que podem aumentar a rentabilidade da rede nesses períodos.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Nesse trabalho, foi apresentado o BaSCoP, um esquema de precificação baseado no congestionamento de estações base para redes de celulares. A ideia é utilizar os históricos da carga de trabalho nas estações base no processo de definição de preços. Geralmente, as estações base possuem diferentes períodos de pico de utilização que podem não coincidir com os períodos de pico da rede. Essa informação pode ser utilizada para evitar

¹<http://youtubecreator.blogspot.com>

o congestionamento nas estações base permitindo aos usuários a utilização dos serviços sem que ocorram grandes atrasos devido a congestionamentos na estação base. 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 disto, para os usuários, os esquemas de precificação dinâmicos permitem programar grandes demandas de dados para períodos de baixa demanda 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 onde a concorrência por recursos seja menor. Como trabalho futuro, é interessante avaliar o comportamento do BaSCoP através de simulações com dados reais da rede de um ISP. Isto permitiria uma análise mais profunda dos impactos do BaSCoP tanto no comportamento dos usuários quanto nos benefícios para o ISP.

Referências

- Cisco (2013). Visual networking index: Forecast and methodology, 2011-2017. <http://goo.gl/WPdr7>.
- Ha, S., Sen, S., Joe-Wong, C., Im, Y., and Chiang, M. (2012). Tube: time-dependent pricing for mobile data. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2012 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication, SIGCOMM '12*, pages 247–258, New York, NY, USA. ACM.
- Jin, Y., Duffield, N., Gerber, A., Haffner, P., Hsu, W.-L., Jacobson, G., Sen, S., Venkataramanan, S., and Zhang, Z.-L. (2012). 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, CellNet '12*, pages 7–12, New York, NY, USA. ACM.
- Marques-Neto, H. T., Almeida, J. M. A., and Almeida, V. A. F. A. (2010). Precificação de tráfego de internet de banda larga baseada no comportamento do usuário. In *XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, SBRC 2010*, pages 973–986, Gramado, RS, Brasil.
- NS2 (2002). The network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- Paul, U., Buddhikot, M., and Das, S. (2012). Opportunistic traffic scheduling in cellular data networks. In *Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN), 2012 IEEE International Symposium on*, pages 339–348.
- Paul, U., Subramanian, A., Buddhikot, M., and Das, S. (2011). Understanding traffic dynamics in cellular data networks. In *INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE*, pages 882–890.
- Sen, S., Joe-Wong, C., Ha, S., and Chiang, M. (2012). Incentivizing time-shifting of data: a survey of time-dependent pricing for internet access. *Communications Magazine, IEEE*, 50(11):91–99.