

Precificação de tráfego de Internet de banda larga baseada no comportamento do usuário

Humberto T. Marques-Neto¹, Jussara M. Almeida², Virgílio A. F. Almeida²

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

² Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
31.270-010 - Belo Horizonte - Brasil

humberto@pucminas.br, {virgilio,jussara}@dcc.ufmg.br

Abstract. *This work shows a pricing scheme for broadband Internet traffic based on user behavior during the day which could be fair to users and profitable for Internet Service Provider (ISP). The design of this scheme is driven by the results of a recent characterization of broadband traffic logs from an ISP with respect to user behavior. The validation and the comparison of the scheme with previously proposed ones are carried out with trace-driven simulation. The results of experiments show that the scheme leads to significant bandwidth savings and benefits to users and ISP, when compared to the other schemes analyzed.*

Resumo. *Este artigo apresenta um esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga baseado no comportamento dos usuários ao longo do dia, que pode ser justo sob o ponto de vista dos usuários e vantajoso para o provedor de serviços. O projeto desse esquema é direcionado pelos resultados de uma caracterização recente de comportamento de usuários de Internet de banda larga, realizada com dados reais de um Internet Service Provider (ISP). A validação e a respectiva comparação do esquema de precificação com outros descritos na literatura são realizadas por simulação com dados reais. Os resultados mostram que a economia de banda e os benefícios de usuários e ISP com o uso desse esquema podem ser melhores que os esquemas simulados.*

1. Introdução

O uso de Internet de banda larga está cada vez mais frequente e importante. De fato, relatórios da OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) e das Nações Unidas [OECD 2008, UNCTAD 2006] apontam o crescimento e a importância econômica e social do uso da Internet de banda larga nos últimos anos. De acordo com a [OECD 2008] houve um crescimento de 13% no número de assinantes de Internet de banda larga nos 30 países que fazem parte dessa organização¹. Em média, os países membros da OECD possuem uma taxa de 24 assinaturas para cada 100 habitantes

¹Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia, Suíça, Turquia.

[OECD 2008], sendo que Dinamarca, Holanda, Noruega, Suíça, Islândia, Suécia, Coreia e Finlândia possuíam, em 2008, as maiores taxas de utilização desse tipo de tecnologia (acima de 30%). No Brasil, conforme pesquisa divulgada em 2008 pelo CETIC², cerca de 58% dos domicílios da área urbana que têm acesso à Internet utilizam conexões de banda larga. O estudo apresentado por [Bruder 2009] mostra que a taxa de utilização da Internet de banda larga no Brasil está em torno de 6%, totalizando quase 11 milhões de conexões, das quais 89% são assinaturas residenciais.

O relatório sobre a economia da informação produzido em 2006 pelas Nações Unidas [UNCTAD 2006] já ressaltava que a Internet de banda larga pode contribuir para o desenvolvimento econômico de países emergentes e até mesmo ser comparada com um bem de consumo básico, tal como a água potável e a energia elétrica. Por outro lado, o crescimento do uso da Internet de banda larga gera preocupações para os provedores do serviço de acesso (*Internet Service Providers – ISPs*). Enquanto prestadores de serviços, os ISPs precisam reduzir seus custos, recuperar os seus investimentos e aumentar seus lucros [Varian 2006]. Para isso, eles precisam conhecer e monitorar a demanda de seus usuários para definirem o preço que será cobrado pelo serviço.

A precificação do acesso à Internet de banda larga com tarifa mensal plana (*flat monthly rate*), atrelada a uma velocidade máxima de transmissão que, geralmente, determina as classes de assinaturas sem restrições de horários de uso ou de variação do volume de tráfego de dados, é um esquema de precificação cuja simplicidade facilita tanto a operação do ISP quanto a previsibilidade de gasto do usuário com o serviço de acesso [Courcoubetis and Weber 2003]. Contudo, apesar da sua simplicidade, o uso da tarifa mensal plana pode não ser justo sob o ponto de vista daqueles que pagam, principalmente, se estiverem em um ambiente em que os usuários têm padrões de comportamento bastante heterogêneos. Se uma classe de usuários de um ISP que pratica a tarifa mensal plana utiliza poucos recursos se sente prejudicada, seus usuários podem resolver utilizar mais recursos do ISP para compensar o que estão pagando. Este fenômeno é denominado pelos economistas por: *a Tragédia dos Comuns* [Hardin 1968]. Dessa forma, a prática da tarifa mensal plana pode não ser vantajosa para o ISP sob o ponto de vista de investimentos e remuneração, pois, o comportamento dos seus usuários pode comprometer a carga de trabalho do seu *backbone* e, conseqüentemente, criar uma situação que prejudique a qualidade do serviço que oferece.

Este artigo apresenta e valida um esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga baseado nos padrões de comportamento dos usuários ao longo do dia. Este esquema, chamado *Broadband Pricing Scheme (BPS)*, pode ser justo sob o ponto de vista dos usuários e vantajoso para o provedor de serviços. O BPS foi proposto pelos autores deste artigo em [Marques-Neto et al. 2007]. Como principal contribuição sobre o artigo [Marques-Neto et al. 2007], este apresenta uma análise muito mais detalhada do BPS e apresenta resultados de simulações com dados mais recentes, avaliando os benefícios deste esquema para diferentes classes de usuários. Em outras palavras, enquanto em [Marques-Neto et al. 2007] a análise foi feita considerando todos os usuários indistintamente de forma agregada, aqui, a análise é feita para usuários com diferentes perfis (uso ou não de aplicações par-a-par (P2P)).

²Centro de Estudos do CGI (Comitê Gestor da Internet no Brasil) sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (<http://www.cetic.br>).

A seção 2 apresenta os principais esquemas de precificação existentes. Uma visão geral do esquema de precificação proposto é apresentada na seção 3. Alguns resultados das comparações do BPS com outros esquemas de precificação são apresentados e discutidos na seção 4. Conclusões e trabalhos futuros são sumarizados na seção 5.

2. Contextualização e Trabalhos Relacionados

O acesso à Internet de banda larga é realizado tanto através de redes a cabo, geralmente de propriedade de empresas de TV por assinatura, quanto através de redes DSL (*Digital Subscriber Line*), normalmente construídas sobre a infra-estrutura da rede de telefonia fixa das companhias de telecomunicações [Dischinger et al. 2007]. A alta disponibilidade do acesso (*always-on*) e a velocidade de transmissão de dados, que pode variar de 256 Kbps (Cabo ou DSL) até 1 Gbps (FTTH – *Fiber-to-the-home*), são características importantes da Internet de banda larga que influenciam o comportamento dos usuários.

Além de consolidar e ampliar a utilização de aplicações como o correio eletrônico e a navegação na rede (*browsing*), o acesso à Internet através de banda larga também promove o crescimento do uso de outras aplicações, tais como, aplicações par-a-par (P2P) e aplicações de transmissão de vídeo e áudio sob demanda (*download*). Alguns trabalhos de caracterização estabelecem uma ligação direta da expansão do uso dos sistemas par-a-par com a popularização da banda larga [Hamada et al. 2004, Lakshminarayanan et al. 2004, Marques-Neto et al. 2009]. Todavia, ressalta-se que aplicações que geram essa carga de trabalho (P2P e transmissão de vídeo e voz) são capazes de verificar os recursos disponíveis e ajustar suas respectivas taxas de transferência de dados em resposta à mudanças do ambiente e, por isso, podem ser classificadas como *aplicações adaptativas* [Wang and Schulzrinne 2006].

De acordo com [Courcoubetis and Weber 2003], a precificação pode ser utilizada como um mecanismo para controle do uso de recursos e para gerenciamento da sua respectiva demanda. Sendo assim, com o propósito de controlar a sobrecarga de trabalho da rede, de aumentar o faturamento dos provedores de acesso e de garantir qualidade do serviço prestado aos usuários, alguns esquemas de precificação de serviços de Internet vêm sendo propostos nos últimos anos.

O esquema de precificação denominado *Paris Metro Pricing* (PMP) foi proposto por [Odlyzko 1999] com o objetivo de prover serviços diferenciados em redes como a Internet. Este esquema foi inspirado no tempo em que o metrô de Paris diferenciava o preço de alguns vagões sem, entretanto, oferecer algum tipo de serviço adicional. No PMP, a rede é dividida em canais, cuja única diferença é o preço de uso de cada um. De acordo com [Odlyzko 1999], a precificação pode integrar o conjunto de ferramentas de gerenciamento de tráfego. Como os canais com preço mais alto terão um tráfego menor daqueles com preço mais baixo, o provedor de acesso pode oferecer um serviço diferenciado apenas ajustando o preço e a capacidade de transmissão de cada canal.

[Wang and Schulzrinne 2006] propõem um esquema de precificação de recursos de rede para aplicações adaptativas baseado tanto no custo do provimento de diferentes níveis de serviço quanto na demanda de recursos das possíveis classes de serviço. Neste esquema, denominado aqui por *Wang & Schulzrinne Scheme* (WSS), a atualização do preço é feita periodicamente considerando os níveis de serviço oferecidos, bem como o uso e o estado de sobrecarga de trabalho da rede para incentivar as aplicações adaptarem

a sua taxa de envio de requisições. A estratégia de preço utilizada pelo WSS é baseada na quantidade de bytes transferidos (*volume-based pricing*), dependente das classes de serviços existentes e o preço é atualizado periodicamente de acordo com o estado de sobrecarga de trabalho da rede (*congestion-price-based*), independente da “hora do dia”. O preço é decomposto em (i) preço de retenção (*holding price*), utilizado para cobrar a conexão dos usuários, provendo um controle de admissão, (ii) preço de uso dos serviços do provedor (*usage price*) e (iii) preço de congestionamento (*congestion price*), determinado a partir de um percentual da quantidade total da banda e também pelo uso do espaço de memória dos roteadores, e utilizado para incentivar os usuários escolherem um plano de acesso compatível com sua demanda real.

Uma forma alternativa para efetuar a cobrança do serviço de banda larga seria através da contabilização da quantidade de banda utilizada por cada usuário (*usage-based pricing*) [Courcoubetis and Weber 2003]. Esse tipo de cobrança pode ser mais justo sob o ponto de vista da maioria dos usuários, pois, cada um paga somente o que realmente foi utilizado e, conseqüentemente, os usuários que utilizam menos deixam de subsidiar aqueles que utilizam mais. Porém, estimar o custo de cada tipo de serviço e contabilizar a quantidade de bytes enviados e/ou recebidos (*billing*) não são tarefas fáceis, pois, o volume de tráfego processado pelos ISPs é muito grande e, em alguns casos, difícil de ser classificado precisamente.

A partir da análise das observações apresentadas por [Fukuda et al. 2005] e [Cho et al. 2006] percebe-se que alguns usuários de Internet de banda larga concentram o início de suas atividades na rede em alguns períodos do dia, principalmente, no período da manhã e no início da noite. Este comportamento é de certa forma previsível, pois, vários usuários residenciais realizam atividades rotineiras fora de casa (trabalho e escola) durante períodos típicos do dia. Isso implica em um aumento da demanda dos recursos do ISP em alguns intervalos de tempo e em uma ociosidade parcial do *backbone* do provedor em outros momentos. Ou seja, um cenário propício para uso de um esquema de precificação baseado no horário de uso (*time-based pricing*) [Courcoubetis and Weber 2003]. Nesse tipo de esquema, horários de alta demanda possuem preços mais elevados que os horários de menor demanda. Esse modelo é utilizado em outras áreas que precisam cobrar por serviços prestados, tais como, energia elétrica e telefonia.

O esquema de precificação *Broadband Pricing Scheme* (BPS), apresentado neste trabalho, conjuga a cobrança de um valor mensal fixo (*flat monthly pricing*) para definir os créditos de cada usuário e a cobrança baseada no consumo e em horários específicos do dia (*usage-based pricing* e *time-based pricing*) para garantir que períodos, que no passado tiveram alta demanda, tenham um preço de uso superior a períodos que tiveram baixa demanda. Como proposto em [Wang and Schulzrinne 2006], o preço é calculado com base no histórico de uso dos recursos do ISP. Ainda em consonância com [Wang and Schulzrinne 2006] o BPS define os momentos de sobrecarga de trabalho da rede a partir de um percentual de uso da banda total disponível. Uma diferença importante deste esquema de precificação está relacionada à predição do consumo futuro do usuário com base em seu comportamento. Ou seja, [Wang and Schulzrinne 2006] não contemplam o padrão de uso da rede por parte dos usuários para definir a quantidade de créditos que será utilizada para o consumo.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no BPS.

Parâmetro	Descrição
B	Capacidade do <i>backbone</i> do ISP (bytes)
β_i^T	Créditos do usuário i para o intervalo de tempo T
d_i^t	Demanda do usuário i em t (bytes)
D^t	Total de demanda em t (bytes)
δ_i	Estimativa de crédito para o usuário i até o final de T
H_i	Conjunto com o número de conexões do usuário i
Ω	Fração de q_i^T que é garantida pelo ISP
p^t	Preço de uso da Internet de banda larga em t
P	Conjunto de preços de uso em T
q_i^T	Largura de banda contratada pelo usuário i para T
m_i	Preço médio pago pelo usuário i
μ^t	Média de uso do <i>backbone</i> em unidades de tempo t passadas
N	Número de usuários do provedor
S	Total de banda contratada por todos os usuários do ISP (bytes)
θ^t	Ajusta o preço p^t com base em $tsh1$ e $tsh2$
t	Unidade de tempo, por exemplo, uma hora ou um minuto
T	Intervalo de tempo, por exemplo, uma semana ou um dia
$tsh1$	Limiar que caracteriza uma sobrecarga de trabalho muito alta do <i>backbone</i>
$tsh2$	Limiar que caracteriza uma sobrecarga de trabalho alta do <i>backbone</i>
u_i	Função utilidade do usuário i
w	Número de unidades do intervalo de tempo T

3. Precificação de tráfego de Internet de banda larga

Esta seção apresenta um esquema de precificação de tráfego de Internet de banda larga chamado *Broadband Pricing Scheme* (BPS), que pode auxiliar um provedor de acesso tanto no gerenciamento da sua infra-estrutura quanto no planejamento da capacidade de recursos necessários para alcançar seus objetivos. O BPS incentiva o uso, principalmente, de aplicações que impõem uma grande carga de trabalho no *backbone* do provedor, em períodos de baixa demanda de recursos do ISP, promovendo assim uma redistribuição da carga de trabalho ao longo do dia. Isto se aplica, por exemplo, para os sistemas P2P. Ou seja, os usuários do BPS poderiam obter benefícios configurando algumas de suas aplicações para aumentar suas respectivas taxas de transmissão de dados para períodos tipicamente de baixa demanda dos recursos do provedor, tais como, nas horas da madrugada. A construção e o aprofundamento do estudo do BPS foram motivadas pela análise dos resultados obtidos em caracterizações de tráfego de Internet de banda larga apresentados, respectivamente, em [Marques-Neto et al. 2004] e [Marques-Neto et al. 2009].

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados no esquema de precificação BPS, cujos componentes arquiteturais são detalhados nas sub-seções a seguir, da mesma forma que foi realizado em [Marques-Neto et al. 2007].

3.1. Banco de dados de assinaturas

O banco de dados de assinaturas contém a identificação de cada um dos N usuários do provedor de acesso à Internet de banda larga, bem como a sua respectiva classe de assinatura. Para o funcionamento do BPS, a principal característica da classe de assinatura de um usuário é o valor da velocidade máxima de transmissão que pode ser alcançada em suas conexões à Internet, pois, o BPS utiliza esse banco de dados para construir e atualizar

o banco de dados com os créditos dos usuários (vide próxima seção).

Além disso, o banco de dados de assinaturas permite calcular o total de banda contratada pelos usuários do provedor: $S = \sum_{i=1}^N q_i^T$, onde, q_i^T é a velocidade máxima de transmissão da classe de assinatura do usuário i para cada intervalo de tempo T , por exemplo as 24 horas de um dia. Tal definição pode ser utilizada pelo ISP para estimar a possibilidade de sobrecarga de trabalho do seu *backbone*, sendo que, quanto menor a diferença entre o total de banda contratada por todos os usuários (S) e a capacidade total do *backbone*, maior será a possibilidade de sobrecarga.

3.2. Banco de dados de créditos

Periodicamente, em um intervalo de tempo T , cada usuário do provedor recebe uma verba, proporcional à velocidade máxima de transmissão da sua respectiva classe de assinatura, que forma os seus créditos. O crédito (*budget*) do usuário é o “dinheiro” que ele possui para pagar pela transmissão de cada byte recebido da Internet de banda larga oferecida pelo ISP no intervalo de tempo T . Os créditos de cada usuário são atualizados no banco de dados quando (i) ocorre o uso da Internet por parte desse usuário, (ii) na recarga realizada antes de cada intervalo de tempo T ou (iii) quando esse usuário resolve adquirir mais créditos além daqueles correspondentes a sua classe de assinatura. No BPS, os créditos só são válidos em T , ou seja, antes de uma recarga para um novo intervalo de tempo T , o valor residual é anulado. O acúmulo de créditos por um período indeterminado aumentaria a possibilidade de sobrecarga do *backbone* do provedor, pois, também aumentaria a capacidade de consumo futuro dos usuários. Consequentemente, essa situação dificultaria tanto o gerenciamento da capacidade do ISP quanto o planejamento de suas atividades enquanto prestador de serviços.

Os créditos β do usuário i para o intervalo de tempo T são definidos por

$$\beta_i^T = q_i^T \Omega \quad (1)$$

onde Ω é a fração de q_i^T que será garantida pelo ISP. O valor de Ω depende do total de assinaturas do provedor (S) e do total de banda disponível (B), sendo proporcional à razão entre S e B . Como o ISP não consegue garantir que apenas um grupo de usuários utiliza a Internet em um determinado momento, ele não pode garantir o uso de toda a banda contratada pelo usuário.

3.3. Cálculo do preço de uso

O total da demanda gerada por todos os usuários em uma unidade de tempo t é definida por $D^t = \sum_{i=1}^N d_i^t$, onde d_i^t é a demanda do usuário i em t . O congestionamento do *backbone* do ISP e, conseqüentemente o aumento da perda e do atraso dos pacotes, pode ocorrer quando D^t é superior à capacidade B do *backbone* em bytes.

Em um intervalo de tempo T , formado por w sub-intervalos, $\{t_0, t_1, t_2, \dots, t_{w-1}\}$, para cada $t \in T$, como por exemplo para cada hora de um dia, um preço de uso p^t é definido. Cada p^t é proporcional à média de todos os valores de D^t em valores anteriores de t . Por exemplo, se $w = 24$ e t_{11} correspondesse ao período entre 11:00 e 11:59, o valor de p^{11} seria proporcional à média da demanda D^{11} de todos os períodos t_{11} dos dias anteriores, ou seja, a média da carga de trabalho do *backbone* do ISP entre 11:00 e 11:59. Portanto, $p^{t_x} < p^{t_y}$ implica em $D^{t_x} < D^{t_y}$.

O conjunto de preços de uso do *backbone*, $P = \{p^0, p^1, p^2, \dots, p^{w-1}\}$, é calculado, publicado e divulgado pelo BPS para todos os usuários antes do início de t_0 de cada T , como por exemplo, no início de um dia. Cada p^t é determinado por

$$p^t = \left(\theta^t + \frac{\mu^t}{B} \right) \quad (2)$$

onde, μ^t é a média de uso do *backbone* e θ^t é o parâmetro para ajuste do preço proporcionalmente à carga de trabalho passada. O valor de θ^t , tal que $0 \leq \theta^t \leq 1$, é definido com base em dois limiares de B , $tsh1$ e $tsh2$, que indicam níveis de sobrecarga dos recursos do ISP: (i) sobrecarga de trabalho muito alta, i.e., $(\mu^t/B) \geq tsh1$, (ii) sobrecarga de trabalho alta, i.e., $tsh2 \leq (\mu^t/B) < tsh1$ e (iii) não há sobrecarga de trabalho, i.e., $(\mu^t/B) < tsh2$.

Quando a sobrecarga de trabalho é alta, ou seja, $(\mu^t/B) \geq tsh1$, $\theta = 1$ e $1 < p^t \leq 2$. O valor de $\theta = 1 - (\mu^t/B)$ e $p^t = 1$ quando $tsh2 \leq (\mu^t/B) < tsh1$. Por fim, quando não há sobrecarga de trabalho, $\theta = 0$ e $0 \leq p^t < 1$. O preço p^t é um valor entre zero e dois, ou seja, $0 \leq p^t \leq 2$. Esse valor é utilizado para incrementar ou diminuir a quantidade de créditos que o usuário precisa gastar para utilizar a Internet em t .

3.4. Estimativa de créditos para o futuro

No BPS, os créditos necessários para o usuário i utilizar os recursos do provedor até a próxima recarga (créditos para o futuro) são estimados com base no seu histórico de conexões em cada unidade de tempo $t \in T$ (H_i), no preço médio pago (m_i) por ele até o momento t_x e no tempo restante para a próxima recarga de créditos ($\frac{(w-t_x)}{w}$). O preço médio pago pelo usuário i é a média ponderada dos preços praticados pelo ISP em cada unidade de tempo t , sendo que a quantidade de conexões desse usuário em cada t estabelece a importância relativa do preço. Considerando que w é o número de unidades do intervalo de tempo T , t_x é a unidade de tempo corrente tal que $t_x \in T$ e $(w - t_x)$ é o tempo para a próxima recarga, os créditos para o futuro necessário para o usuário i são estimados por

$$\delta_i = \beta_i^T \frac{(w - t_x)}{w} m_i \left(\sum_{k=0}^w H_i^k \right) \quad (3)$$

onde, a razão $\frac{(w-t_x)}{w}$ é utilizada para determinar a fração dos créditos β_i^T necessário para que o usuário i utilize os recursos do ISP de banda larga até o final do intervalo de tempo T , caso continue seguindo o seu padrão de conexões determinado pelo preço médio pago (m_i) até o momento t_x e pelo histórico de conexões do usuário (H_i). Ou seja, δ_i é a quantidade de “dinheiro” que o usuário i precisa para utilizar os recursos do provedor de acesso à Internet de banda larga até a próxima recarga de créditos.

3.5. Cobrança do uso da Internet de banda larga

Os usuários precisam utilizar frações dos seus créditos para acessar a Internet de banda larga oferecida pelo provedor de acesso. O custo do uso para o usuário i no intervalo t é dado por $p^t d_i^t$. Quando $p^t = 1$, cada byte recebido pelo usuário é trocado por uma unidade que compõe os seus créditos. Se $p^t > 1$, o usuário deverá pagar mais por cada byte recebido, e quando $p^t < 1$, o usuário acumula o correspondente a $(1 - p^t) d^t$ unidades de seus créditos. Levando em consideração que o preço de cada unidade de

tempo (p^t) é diretamente proporcional à carga de trabalho do *backbone* do ISP em unidades de tempo t passadas, essa prática de precificação pode incentivar o deslocamento da demanda dos usuários para períodos nos quais, historicamente, há ociosidade de recursos, pois, os preços de uso nestes períodos são menores do que um.

No BPS, o deslocamento da demanda com base no preço de uso dos recursos do provedor é realizado a partir da configuração de aplicações adaptativas do usuário i , como por exemplo, os sistemas P2P. As taxas de transmissão de tais aplicações são configuradas com base na “tabela de preços” (P) publicada pelo ISP, nos créditos do usuário i (β_i) e na estimativa de créditos (δ_i) necessário até o final de T , de tal forma que o usuário i não precise adquirir mais unidades para compor os seus créditos. Se houverem créditos suficientes para realizar tanto a demanda em t quanto a demanda estimada até a próxima recarga de *budget*, então os créditos do usuário i são atualizados de tal forma que: $\beta_i \leftarrow \beta_i - p^t d_i^t$. Caso contrário, ou seja, quando não há créditos suficientes para o uso presente e nem para o uso futuro, d_i^t é ajustada de tal forma que os créditos do usuário i sejam iguais à sua estimativa de créditos para o futuro. Ou seja, β_i deverá ser igual a δ_i após a atualização dos créditos do usuário i .

3.6. Benefícios do BPS para usuários e provedor

O BPS pode ter benefícios tanto para o usuário quanto para o provedor do ISP. Do ponto de vista do usuário, ele incrementa o resultado da função utilidade, que define seus benefícios quando utiliza os serviços prestados pelo provedor em períodos de baixa demanda do *backbone*. Nesses períodos, o usuário gasta uma fração menor dos seus respectivos créditos, pois, o preço de uso da Internet em períodos de baixa demanda é menor que o preço do uso em períodos nos quais o *backbone* do ISP fica, normalmente, sobrecarregado. Sendo assim, a função utilidade do usuário i pode ser definida como

$$u_i = \sum_{t=0}^w (1 - p^t) d_i^t \quad (4)$$

Caso a utilização dos recursos advindos do provedor ocorrer quando $0 \leq p^t < 1$, o usuário gastará menos unidades de créditos na troca pelos bytes recebidos e, consequentemente, não aumentará o seu custo de acesso à Internet de banda larga. Esse tipo de comportamento do usuário transfere a carga de trabalho dos recursos do provedor de períodos de alta demanda para períodos de baixa demanda. Tal transferência poderá viabilizar o aumento das taxas de transferência das aplicações adaptativas a partir do uso das economias feitas em períodos de alta demanda se o uso ocorrer em períodos nos quais, tipicamente, ocorre ociosidade do *backbone* do ISP.

Do ponto de vista do provedor, o BPS pode ser benéfico, pois ele pode recuperar seus custos e investimentos, principalmente, através dos valores das assinaturas pagos pelos seus usuários. Os recursos do ISP são estimados, normalmente, com base na quantidade da largura de banda contratada pelos usuários. A remuneração do ISP no BPS não é menor que a remuneração alcançada com o esquema de precificação de tarifa mensal plana. Contudo, no BPS, o provedor pode aumentar a sua remuneração quando os usuários pagam mais para utilizar o seu *backbone* em períodos de alta demanda e ainda

oferecer os seus serviços para mais usuários de Internet que estariam utilizando as economias de banda alcançadas com a transferência da carga de trabalho para os períodos de baixa demanda.

O esquema de precificação proposto ainda pode evitar o desperdício de recursos, otimizando o seu uso a partir da distribuição da carga de trabalho do *backbone* ao longo do dia e da criação de um ambiente no qual o ISP possa aumentar racionalmente o seu número de assinantes. Além disso, o provedor poderá ter melhores condições para gerenciar os seus recursos e melhorar continuamente a qualidade do serviço prestado.

4. Simulação dos esquemas de precificação

Com o propósito de analisar a economia de recursos do ISP, bem com os benefícios alcançados pelos diferentes grupos de usuários com padrões de comportamento diferentes, foi construído um simulador capaz de reproduzir o BPS e também o funcionamento de três outros esquemas de precificação. São eles: (i) tarifa plana (*flat rate pricing* ou FR), normalmente utilizado por ISPs de banda larga, (ii) o *Paris Metro Pricing* (PMP) com dois canais – comum e *premium* –, proposto por [Odlyzko 1999] e (iii) um esquema proposto em [Wang and Schulzrinne 2006] e denominado aqui por WSS (*Wang & Schulzrinne Scheme*). Os parâmetros do simulador construído são os limiares (*thresholds*) *tsh1* e *tsh2*, que identificam os níveis de sobrecarga dos recursos do ISP, a fração da banda máxima contratada pelo usuário que é garantida pelo provedor (Ω), o intervalo entre duas recargas dos créditos (*w*) dos usuários e classes de assinaturas praticadas pelo ISP.

As simulações foram realizadas com os mesmos dados reais utilizados no trabalho de caracterização hierárquica do comportamento dos usuários de sistemas par-a-par de um ISP de banda larga brasileiro que pratica o esquema de precificação de tarifa plana [Marques-Neto et al. 2009]. Nesse trabalho de caracterização, uma metodologia foi proposta e aplicada com um conjunto significativo de dados reais coletados na infra-estrutura do provedor, cujos conteúdos permitem a organização da carga de trabalho em sessões de usuários. Tais sessões foram classificadas com base na presença ou não de transações de protocolos P2P, mais especificamente eDonkey/eMule e BitTorrent. As análises foram realizadas tanto com o conjunto geral de sessões quanto com sub-conjuntos de sessões, permitindo realizar uma caracterização hierárquica em três níveis: (1) todas as sessões, (2) sessões não-P2P vs. sessões P2P e (3) sessões *light*-P2P vs. *heavy*-P2P. Estes dois últimos grupos de sessões (*light*-P2P e *heavy*-P2P) são definidos pelo volume de tráfego eDonkey/eMule e BitTorrent existentes na sessão [Marques-Neto et al. 2009].

Uma visão geral da carga de trabalho dos dois primeiros níveis hierárquicos dessa caracterização é provida na Tabela 2 e do terceiro nível hierárquico é apresentado na Tabela 3. A partir da Tabela 2 observa-se que mais de 90% das sessões foram classificadas como não-P2P e transferiram apenas 40% de todos os bytes recebidos e 16% dos bytes enviados. Com base na Tabela 3 pode-se destacar que menos de 3% de todas as sessões (*heavy*-P2P) são responsáveis por aproximadamente 58% de todos os bytes recebidos e 74% dos bytes enviados. Além disso as sessões *heavy*-P2P duraram cerca de 12 vezes mais que as sessões não-P2P.

Os quatro esquemas de precificação discutidos acima são avaliados, via simulação, quanto aos benefícios para os usuários (em termos de quantidade de créditos gasto para uso do recurso desejado) e para o provedor (em termos de horas com economia de

Tabela 2. Visão geral da carga de trabalho.

<i>Período: 08/06/2008 a 05/07/2008 (28 dias)</i>	Todos	não-P2P	P2P
Total de sessões	1.879.315	1.703.919	175.396
Total de bytes enviados (TB)(%P2P)	59,15 (80,23%)	9,37 (0,00)	49,78 (95,33%)
Total de bytes recebidos (TB)(%P2P)	116,44 (45,45%)	47,06 (0,00)	69,38 (76,28%)
Média (CV) da duração das sessões (hora)	1,79 (3,17)	1,29 (2,66)	6,65 (2,15)
Média (CV) de serviços distintos / sessão	1,96 (0,59)	1,94 (0,59)	2,55 (0,61)
Média (CV) de amostras / sessão	3.053,68 (15,79)	1.129,56 (5,19)	21.745,92 (7,15)
Média (CV) de bytes enviados / sessão (MB)	33,00 (26,58)	5,77 (122,08)	297,57 (6,15)
Média (CV) de bytes recebidos / sessão (MB)	64,97 (14,68)	28,96 (16,64)	414,76 (6,54)

Tabela 3. Visão geral da carga de trabalho de sessões P2P.

<i>Período: 08/06/2008 a 05/07/2008 (28 dias)</i>	P2P	light-P2P	heavy-P2P
Total de sessões	175.396	127.963	47.433
Total de bytes enviados (TB)(%P2P)	49,78 (95,33%)	6,00 (93,87%)	43,78 (95,53%)
Total de bytes recebidos (TB)(%P2P)	69,38 (76,28%)	2,08 (28,38%)	67,30 (77,76%)
Média (CV) da duração das sessões (hora)	6,65 (2,15)	3,50 (1,42)	15,16 (1,60)
Média (CV) de serviços distintos / sessão	2,55 (0,61)	2,43 (0,60)	3,32 (0,60)
Média (CV) de amostras / sessão	21.745,92 (7,15)	8.238,02 (2,13)	58.187,04 (5,06)
Média (CV) de bytes enviados / sessão (MB)	297,57 (6,15)	49,13 (5,58)	967,81 (3,51)
Média (CV) de bytes recebidos / sessão (MB)	414,76 (6,54)	17,03 (1,40)	1.487,76 (3,40)

banda). A avaliação é feita utilizando os dados dos logs reais, considerando alguns níveis da caracterização hierárquica do comportamento de usuários de Internet de banda larga. Neste ponto, o presente trabalho difere do estudo preliminar apresentado em [Marques-Neto et al. 2007], no qual não se analisou o BPS separadamente para grupos de usuários com comportamentos distintos. Em outras palavras, foram realizadas simulações com cada um dos esquemas, considerando (1) todas as sessões, (2) sessões não-P2P e (3) sessões *heavy-P2P* durante todas as horas da quatro semanas da carga de trabalho real utilizada. As sessões *light-P2P* não serão discutidas neste trabalho devido a baixa representatividade da sua quantidade de bytes recebidos.

Na simulação do BPS, para cada usuário i do *log* real, o simulador estima os créditos necessários para o usuário chegar até a próxima recarga de orçamento e verifica o preço (p^t) do uso dos recursos do ISP no intervalo de tempo t . Para cada $t \in T$, o preço p^t é calculado com base no histórico de uso do *backbone* do provedor e nos limiares $tsh1$ e $tsh2$, como explicado na seção 3. Se há créditos suficientes para realização da demanda estimada do usuário i , os créditos são atualizados e a simulação continua. Se os créditos não são suficientes para cobrir toda a demanda, somente parte desta é realizada e o restante é armazenado para ser realizado após a próxima recarga de orçamento ou quando houver créditos suficientes.

A simulação do esquema de precificação de tarifa plana (FR) reproduz o uso real da Internet de banda larga, já que o ISP pratica tal esquema. Na simulação do PMP (*Paris Metro Pricing*), para cada entrada do *log*, a sobrecarga de trabalho do *backbone* do ISP é verificada. As aplicações dos usuários decidem utilizar o canal *premium* se o uso do *backbone* está acima do segundo limiar $tsh2$ que indica momentos de uma certa sobrecarga de trabalho do *backbone* do provedor. Na simulação do esquema WSS, inspirado no trabalho de [Wang and Schulzrinne 2006], para cada $t \in T$, o preço de acesso

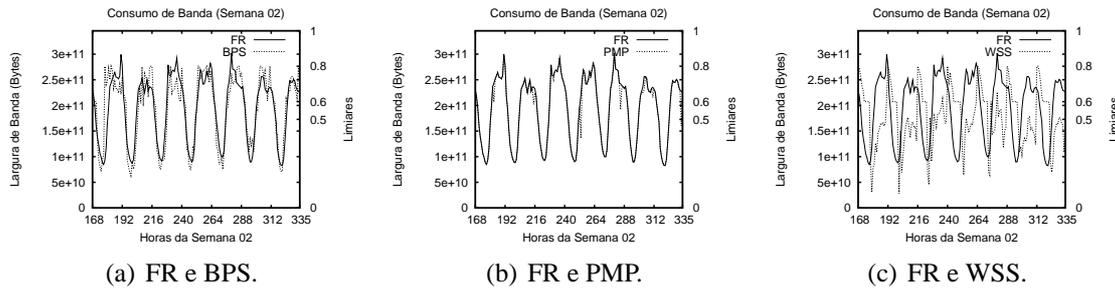


Figura 1. Simulações com todas as sessões.

à Internet é composto pelo (i) preço de retenção (*holding price*), utilizado para cobrar a conexão dos usuários, (ii) preço de uso dos serviços do provedor (*usage price*) e (iii) preço de congestionamento (*congestion price*), determinado a partir de um percentual da quantidade total da banda e utilizado para incentivar os usuários escolherem um plano de acesso compatível com sua demanda real. Como a análise não contempla o controle de admissão dos usuários, para o propósito da simulação desse esquema, o preço de retenção foi ajustado para zero. Os demais preços são calculados tais como são apresentados em [Wang and Schulzrinne 2006].

Foram realizadas diversas simulações, variando os valores dos parâmetros $tsh1$, $tsh2$, w e Ω . No cenário de simulação apresentado neste trabalho, os limiares de sobrecarga de trabalho foram $tsh1 = 0,8$ e $tsh2 = 0,6$, i.e., períodos passados com média de uso de banda superior a 80% do total da largura de banda do ISP são períodos de alta demanda e, por isso, têm um preço de uso mais elevado no BPS. No PMP, as aplicações dos usuários utilizam a Internet de banda larga através do canal *premium* quando a média da banda é superior a 60% da largura de banda total. Esses dois parâmetros não interferem na simulação WSS. Ainda nesse cenário, $\Omega = 0,15$ e $w = 24$, ou seja, o ISP garante 15% da largura de banda contratada pelos usuários cujos créditos são atualizados em intervalos de 24 horas. Estes dois parâmetros afetam apenas o BPS e o WSS. Como os créditos do usuário são proporcionais ao Ω , quando o valor deste parâmetro aumenta, as restrições de uso diminuem. O valor de $\Omega = 0,15$ foi definido a partir da observação de que, nos logs reais utilizados, mais de 55% dos usuários, criam sessões que usam menos de 15% do valor máximo da largura de banda contratada. Também foi observado que valores mais altos de w , por exemplo 168 horas (uma semana), concentram o consumo de recurso próximo ao momento de recarga dos créditos dos usuários.

As Figuras 1(a), 1(b) e 1(c) mostram o consumo de banda para cada um dos quatro esquemas de precificação simulados: FR, BPS, PMP e WSS, durante a segunda semana dos logs utilizados (de 15/06/2008 a 21/06/2008). Note que a banda para o FR equivale à carga de trabalho real, uma vez que o ISP pratica exclusivamente este esquema de precificação. Esses gráficos representam o consumo de banda de todas as sessões de usuários, independente da sua classificação quanto ao uso de sistemas P2P. Observa-se nas duas curvas das Figuras 1(a) e 1(c) que uma parte da demanda de períodos, normalmente, com consumo de banda intenso são distribuídos ao longo de outras horas do dia. Nos esquemas BPS e WSS, a carga de trabalho dos usuários é postergada em decorrência do aumento no preço de uso dos recursos do ISP em períodos nos quais, historicamente, há grande demanda de uso. Esta redistribuição da carga de trabalho não ocorre com a mesma inten-

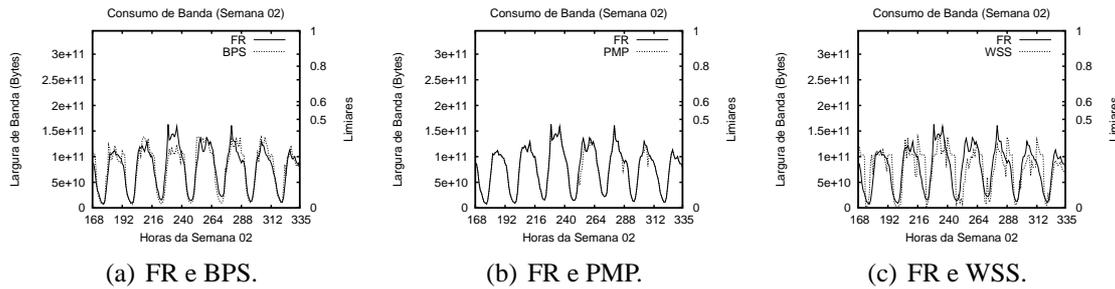


Figura 2. Simulações com as sessões não-P2P.

sidade na simulação do esquema PMP (Figura 1(b)), pois, apenas dois valores de preço de uso são praticados neste esquema.

A economia de banda, se comparada com o esquema de precificação tradicional de tarifa plana (FR), ocorre em 54% das horas da semana analisada com o BPS, sendo que, o consumo é, em média, 13% menor que o consumo do FR. Com o uso do PMP, registra-se uma economia média de banda de 12% em 8% das horas da semana apresentada. Destaca-se que o PMP funcionou como FR em aproximadamente 86% das horas da segunda semana dos *logs*. Isso indica que tal esquema (PMP) só passa a ser efetivo quando há sobrecarga de uso do *backbone* do ISP. Com a simulação do WSS percebe-se uma economia de banda, em relação ao FR, em 58% das horas da semana em análise. O consumo é, em média, 37% menor que o esquema praticado pelo ISP. Entretanto, na simulação do WSS, observa-se um consumo médio 65% superior ao FR nas horas onde não há economia (cerca de 42% das horas). Todavia, no BPS, esse consumo médio superior é 17% maior quando comparado com o FR. Isto aponta um melhor equilíbrio entre horas com economia e horas com gastos adicionais do BPS em relação ao WSS. No geral, a análise desses horários onde há (ou não) economia de banda pode conduzir um estudo mais preciso sobre a quantidade de assinantes suportada pelo ISP.

As Figuras 2(a), 2(b) e 2(c) mostram a comparação do consumo de banda dos esquemas de precificação BPS, PMP e WSS com o esquema de tarifa plana praticado pelo ISP, considerando apenas as sessões que não usam sistemas P2P. A separação das sessões não-P2P aponta que o número de horas onde há economia de banda no BPS cresce de 54% para 62% na semana analisada. Um crescimento de 58% para 64% de horas com economia de banda também é percebido com a simulação do WSS. Contudo, isso não ocorre com o PMP, que tem uma queda de 8% para 6% das horas da segunda semana. Para esse grupo específico de sessões, as não-P2P, também ocorre uma grande diferença entre a economia média e o gasto médio no WSS: 30% e 95%, respectivamente. Isso não ocorre no BPS, que tem uma economia média de 19% e um gasto médio de 23%, comparando sempre com o esquema real de tarifa plana praticado pelo ISP. Novamente o BPS apresenta um melhor equilíbrio entre economia e despesa gerada ao longo do dia.

Pode-se observar nas Figuras 3(a), 3(b) e 3(c) que, também nas sessões de usuários *heavy-P2P*, os períodos com alta carga de trabalho são redistribuídos para outros períodos do dia. Quanto a quantidade de horas onde há economia de banda em relação à carga de trabalho real, ela ocorre em 45%, 30% e 56% para o BPS, PMP e WSS, respectivamente. Nota-se que o PMP passa a ter um resultado mais interessante do que nas análises anteriores. Apesar de se perceber uma queda na quantidade de horas onde há

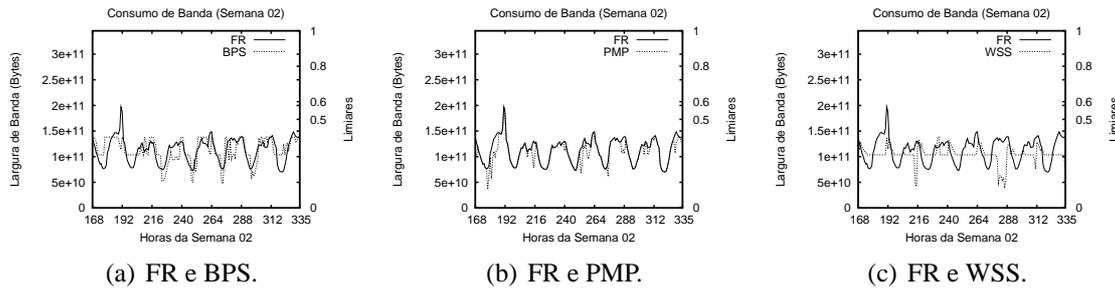


Figura 3. Simulações com as sessões *heavy-P2P*.

economia de banda, mais importante é destacar um melhor equilíbrio entre a economia e o gasto médio: 16% e 18% para o BPS e 22% e 23% para o WSS, respectivamente. Esses resultados evidenciam a importância do comportamento dos usuários nos benefícios que um esquema de precificação pode proporcionar para um ISP de banda larga.

Considerando todas as sessões, em média, 31% dos usuários alcançam benefícios e apenas 1% tem o resultado da função utilidade menor que zero quando o BPS é utilizado. Já com o PMP, nenhum usuário possui benefício e 13% gastam mais créditos do que possuem. Com o WSS, 28% tiveram a função utilidade maior que zero, mas, para 23% dos usuários essa função ficou negativa. Quando a simulação é realizada para apenas um grupo de usuários, os benefícios alcançados por eles se modificam. Por exemplo, na simulação que considera apenas sessões *heavy-P2P*, 15% dos usuários do BPS conseguem benefícios e 7% dos usuários do WSS têm a sua função utilidade maior que zero. O uso do PMP continua sem usuários que conseguem benefícios ao usar este esquema de precificação. Isso mostra mais uma vez a importância do entendimento do comportamento do usuário para definição de um esquema de precificação de tráfego.

5. Conclusões

A caracterização hierárquica do comportamento dos usuários de Internet de banda larga, apresentada em [Marques-Neto et al. 2009], indica que um pequeno grupo de usuários consome um valor muito alto dos recursos do ISP. Observa-se que o esquema tradicional de precificação de Internet de banda larga com tarifa mensal plana (*flat monthly rate*) pode não ser justo para os usuários e ainda pode prejudicar a remuneração do ISP. Este artigo apresenta o *Broadband Pricing Scheme* (BPS), que é baseado no comportamento dos usuários ao longo do dia. A validação e a respectiva comparação do esquema apresentado com outros esquemas de precificação descritos na literatura foram realizadas por simulação com dados reais coletados na infra-estrutura de um ISP de Internet de banda larga brasileiro. Os resultados mostram que o BPS pode apresentar ganhos tanto para o ISP quanto para os seus usuários, principalmente, por promover o uso mais adequado dos recursos utilizados para acesso à Internet de banda larga.

Agradecimentos

Esta pesquisa é parcialmente financiada pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para a Web - INCTWeb (MCT/CNPq 573871/2008-6), pelo Projeto REBU (CTInfo/CNPq 55.0995/2007-2), pela FAPEMIG e pelo Fundo de Incentivo à Pesquisa da PUC-Minas (FIP-2009/3504-S1).

Referências

- Bruder, J. P. (2009). Barômetro cisco da banda larga brasil 2005 – 2010.
- Cho, K., Fukuda, K., Esaki, H., and Kato, A. (2006). The impact and implications of the growth in residential user-to-user traffic. In *SIGCOMM '06: Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 207–218, New York, NY, USA. ACM.
- Courcoubetis, C. and Weber, R. (2003). *Pricing communication networks: economics, technology and modellig*. John Wiley & Sons Ltd.
- Dischinger, M., Haeberlen, A., Gummadi, K. P., and Saroiu, S. (2007). Characterizing residential broadband networks. In *IMC '07: Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 43–56, New York, NY, USA. ACM.
- Fukuda, K., Cho, K., and Esaki, H. (2005). The impact of residential broadband traffic on japanese isp backbones. *ACM SIGCOMM Computer Communications Review*, 35(1):15–21.
- Hamada, T., Chujo, K., Chujo, T., and Yang, X. (2004). Peer-to-peer traffic in metro networks: analysis, modeling and policies. *IEEE/IFIP Network Operations & Management Symposium (NOMS 2004)*.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859):1243–1248.
- Lakshminarayanan, K., Padmanabhan, V. N., and Padhye, J. (2004). Bandwidth estimation in broadband access networks. In *IMC '04: Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 314–321, NY, USA. ACM Press.
- Marques-Neto, H. T., Almeida, V. A. F., and Almeida, J. M. (2007). Pricing broadband internet adaptive services. *15th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 2007. MASCOTS'07.*, pages 158–165.
- Marques-Neto, H. T., Rocha, L. C. D., Guerra, P. H. C., Almeida, J. M., Meira, W., and Almeida, V. A. F. (2004). A characterization of broadband user behavior and their e-business activities. *SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 32(3):3–13.
- Marques-Neto, H. T., Valle, E. V., Castilho, L. H., Almeida, J. M., and Almeida, V. A. F. (2009). Caracterização hierárquica do comportamento dos usuários de sistemas para-para na internet de banda larga. In *SBRC '09: Anais do 27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 61–74, Brasil. SBC.
- Odlyzko, A. (1999). Paris metro pricing for the internet. In *EC '99: Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce*, pages 140–147, New York, NY, USA. ACM Press.
- OECD (2008). Oecd broadband statistics (www.oecd.org/sti/ict/broadband).
- UNCTAD (2006). Information economy report: the development perspective. Technical report, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD).
- Varian, H. R. (2006). *Microeconomia: conceitos básicos*. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Wang, X. and Schulzrinne, H. (2006). Pricing network resources for adaptive applications. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 14(3):506–519.