

O comportamento dos Usuários e sua Influência no Dimensionamento das Redes de Telecomunicação

Helio Waldman e Rodrigo C. Bortoletto

Resumo— Este artigo discute as estratégias de dimensionamento e a ação dos agentes reguladores em um mercado formado por operadoras que tem como intuito prover canais para usuários em um mesmo ambiente de negócios. Assume-se que os usuários competem pelo melhor serviço, requisições atendidas com a menor probabilidade de bloqueio, enquanto que as operadoras desejam maximizar seus lucros. Devido ao compartilhamento do mercado entre as operadoras, a eventual assimetria de capacidades gera uma assimetria na captura de usuários, avaliada pelo modelo proposto.

Palavras-Chave—probabilidade de bloqueio, teoria de jogos, dimensionamento de redes, cadeia de Markov.

Abstract— This paper discusses the dimensioning strategies and the action of regulatory agents in a market that consists of operators has the intention to provide channels for users in the same business environment. It is assumed that users compete for the best service, requests met with lower blocking probability, while operators want to maximize their profits. Due to market sharing between operators, the possible asymmetry of capabilities creates an asymmetry in the capture of users, evaluated by the model proposed.

Keywords— blocking probability, game theory, dimensioning of networks, Markov chain.

I. INTRODUÇÃO

Em um mercado onde cada vez mais existe uma diversificação de serviços, e a concorrência encontra-se em todas as áreas, em especial atenção ao mercado de telecomunicações, estudos relacionados com o comportamento dos usuários e sua influência sobre o mercado encontram-se entre os tópicos mais relevantes da atualidade.

A competição em redes de telecomunicação, em especial em relação ao seu núcleo levanta questões a respeito de seu dimensionamento, custos e rentabilidade em mercados incertos [1]. Estas questões não são abordadas quando do uso do dimensionamento clássico [2].

O modelo clássico tem como princípio a presença de uma única operadora que é autorizada por uma agência regulamentadora a operar no mercado, neste caso inexistente concorrência, contudo se mais de uma operadora for autorizada a operar sob um mesmo mercado, nenhuma das operadoras pode ser responsabilizada pela probabilidade de bloqueio dos usuários que foram bloqueados por todas as operadoras presentes no mercado.

No caso em que temos múltiplas operadoras em um mesmo mercado, a probabilidade de bloqueio depende unicamente da quantidade de canais disponibilizados por cada operadora presente neste ambiente de negócios.

Neste artigo propõem-se uma abordagem teórica do jogo, no qual são respeitadas as características de mercado, ou seja, os jogos dos usuários tem por objetivo a minimização da probabilidade de bloqueio [4].

Na seção II, introduz-se o modelo Markoviano que gera as probabilidades de bloqueio para duas operadoras, dado um número de canais disponibilizados e uma dada intensidade de tráfego para cada operadora. Na seção III, buscamos o equilíbrio entre as intensidades de tráfego de cada operadora de tal forma que ocorra o equilíbrio entre os usuários das operadoras, gerando uma situação em que nenhum dos usuários tem como objetivo alterar sua operadora primária, sendo este conhecido como equilíbrio de Nash [3].

II. O MODELO DE BLOQUEIO

Em [5], foi proposto um modelo markoviano que capta os comportamentos descritos acima e fornece a probabilidade de bloqueio suave para cada uma das operadoras quando é dada a intensidade de tráfego primário direcionado a cada uma delas. Consideremos o caso do duopólio formado pelas operadoras 1 e 2. Seja v_m a intensidade de tráfego das requisições submetidas à operadora m e C_m o número de canais disponibilizados pela operadora m . Em um duopólio, $m \in \{1,2\}$, então a intensidade de tráfego total gerado pelos usuários é dada por:

$$v = v_1 + v_2, \quad (1)$$

e o número total de canais disponibilizados por todas as operadoras é:

$$C = C_1 + C_2. \quad (2)$$

A figura 1a ilustra a cadeia de Markov proposta para um duopólio quando $(C_1, C_2) = (3, 2)$. O sistema está no estado (i, j) quando a operadora 1 tem $i \leq C_1$ canais ativos e a operadora 2 tem $j \leq C_2$ canais ativos. Observa-se que a taxa de transição do estado (i, j) para o estado $(i + 1, j)$ é dada por v_1 apenas quando a operadora 2 não está em um estado de bloqueio ($j < C_2$), e por v quando a operadora 2 está em um estado de bloqueio ($j = C_2$), fazendo com que seu tráfego primário seja encaminhado para a operadora 1. De forma análoga, a taxa de transição do estado (i, j) para o estado $(i, j + 1)$ é dada por v_2 quando a operadora 1 não está em um estado de bloqueio ($i < C_1$) e por v quando a operadora 1 está

Helio Waldman, Universidade Federal do ABC – Santo André, SP – Brasil
e-mail: helio.waldman@ufabc.edu.br.

Rodrigo C. Bortoletto, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Guarulhos, SP – Brasil e-mail: bortoletto@ifsp.edu.br.

em um estado de bloqueio ($i = C_1$). A taxa de transição do estado (i, j) para $(i - 1, j)$ e dada por i para qualquer valor positivo de i , e a do estado (i, j) para $(i, j - 1)$ por j para qualquer valor positivo de j , refletindo o pressuposto de que todos os serviços são independentes e exponencialmente distribuídos com valor médio 1, de modo que todas as taxas de tráfego estão expressas em Erlang. Todas as taxas de transição restantes são iguais a zero, pois supomos que todas as requisições solicitam canais individuais.

A probabilidade de equilíbrio $p_{i,j}$ de cada estado (i, j) do sistema pode ser obtida a partir da análise markoviana padrão [6]. Se P_{bi} é a probabilidade de bloqueio suave da operadora i , as probabilidades de bloqueio suave das operadoras 1 e 2 podem ser expressas como:

$$P_{b1} = \sum_{j=0}^{C_2} p_{C_1,j} \quad (3)$$

$$P_{b2} = \sum_{i=0}^{C_1} p_{i,C_2} \quad (4)$$

O bloqueio duro irá ocorrer sempre que uma requisição encontrar o sistema no estado (C_1, C_2) . Portanto, a probabilidade de bloqueio duro é dada por:

$$P_b = p_{C_1,C_2} \quad (5)$$

Seja U_k o conjunto de todos os estados onde $i + j = k$. Então, podemos observar na figura 1a que a soma de todas as taxas de transição de qualquer estado em U_k para todos os estados em U_{k+1} é v , e a soma de todas as taxas a partir de qualquer estado em U_k para todos os estados em U_{k-1} é k . Portanto, um novo processo de Markov é obtido quando todos os estados de um conjunto U_k são aglomerados em um único estado k , como mostrado na figura 1b.

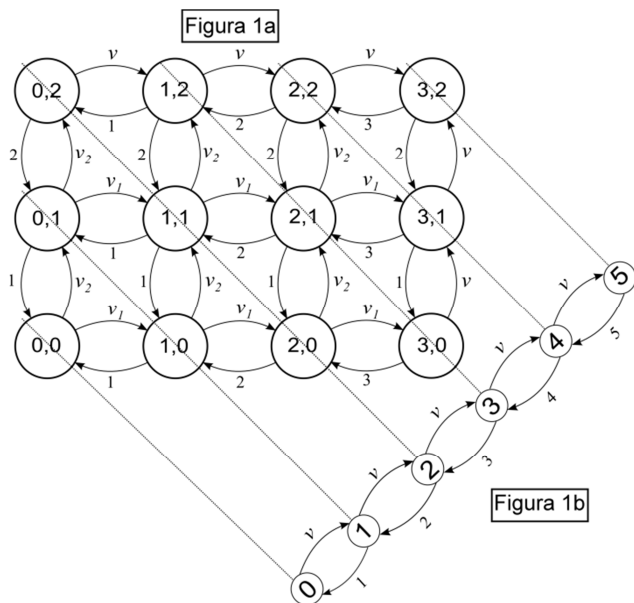


Fig. 1. (a) Processo de Markov para duas operadoras, (b) Todos os estados de cada U_k agrupados em um único estado k .

Este processo gera a probabilidade de bloqueio duro na forma da equação clássica de Erlang-B:

$$P_b = \text{prob}(k = C) = p_{C_1,C_2} = \frac{v^C / C!}{\sum_{k=0}^C v^k / k!} \quad (6)$$

III. JOGO DOS USUÁRIOS

Na seção anterior descreve-se uma situação na qual os usuários poderiam ser alocados para as operadoras por corretores ou agentes. No entanto, se os usuários forem livres para escolher suas operadoras primárias, a divisão do tráfego v em (v_1, v_2) surge do resultado de um jogo entre os usuários.

Em [7], discute-se as condições de equilíbrio gerado por dois tipos de jogos não cooperativos, nos quais cada usuário decide independentemente por permanecer com sua operadora primária ou mudar para outra operadora, est iniciase com uma abordagem ingênua, na qual supomos que os usuários tenham de alguma forma acesso à informação sobre a probabilidade de bloqueio de cada operadora, ou estejam dispostos a estimar seu valor e ocasionalmente testar os valores de bloqueio da operadora secundária. Depois de obter estas informações, o usuário trocará sua operadora primária somente se a operadora secundária tiver uma menor probabilidade de bloqueio.

Nas subseções A e B, discute-se as condições de equilíbrio gerados por 2 tipos de jogos não cooperativos, nos quais cada usuário decide de forma independente por permanecer com a sua operadora primária atual ou mudar para outra operadora. Em cada um dos casos uma estratégia de usuário diferente é adotada por todos os usuários. Na subseção C discute-se uma situação hipotética em que todos os usuários cooperam para minimizar a taxa global de bloqueios suaves.

A. Equilíbrio de Nash

Através do modelo apresentado na Seção II, as probabilidades de bloqueio suave das duas operadoras foram calculadas em função de v_1 quando $(C_1, C_2) = (5, 3)$ e $v = 8$ como mostrado na figura 2. Note que as duas curvas cruzam em um ponto onde $P_{b1} = P_{b2}$. À esquerda deste ponto $P_{b1} < P_{b2}$; assim sendo, quando um usuário primário da operadora 2 testar a operadora 1, encontrará uma probabilidade de bloqueio suave menor e mudará sua operadora primária. Este movimento aumentará o tráfego primário v_1 direcionado à operadora 1, de modo que o ponto de operação do sistema se movimentará para a direita, aproximando-se assim do ponto de cruzamento. De forma análoga os clientes da operadora 1 mudarão para a operadora 2 sempre que o sistema operar do lado direito do ponto de cruzamento das curvas, o ponto de operação se mova para a esquerda, aproximando-se do ponto de cruzamento das curvas. Há, portanto um equilíbrio quando $P_{b1} = P_{b2}$, fazendo com que nenhum dos usuários esteja motivado a mudar de operadora principal com o objetivo de minimizar sua probabilidade de bloqueio. Em teoria de jogos, esta condição define o equilíbrio de Nash.

A figura 3 mostra as probabilidades de bloqueio suave das duas operadoras em função de v_1 quando $(C_1, C_2) = (7, 1)$ e $v = 8$. Neste caso as curvas não se cruzam dentro da faixa visível. Para qualquer $v_1 \in [0, 8]$ os usuários primários da operadora 2 mudarão para operadora 1 quando testarem a probabilidade de bloqueio suave de sua operadora. Portanto o

equilíbrio de Nash ocorre quando $(v_1, v_2) = (8, 0)$ com $P_{b1} < P_{b2}$.

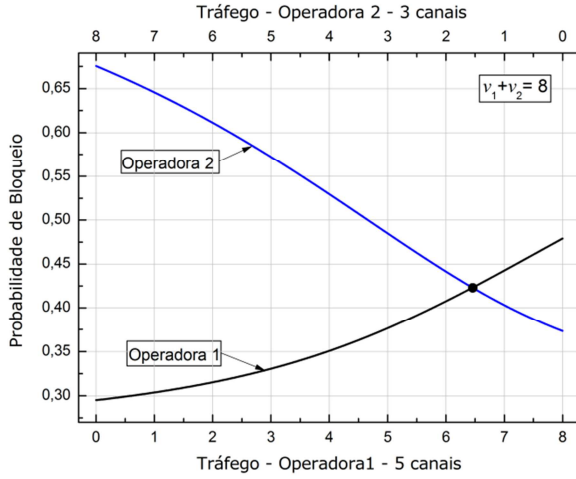


Fig. 2. Probabilidade de bloqueio suave das duas operadoras quando $(C_1, C_2) = (5, 3)$.

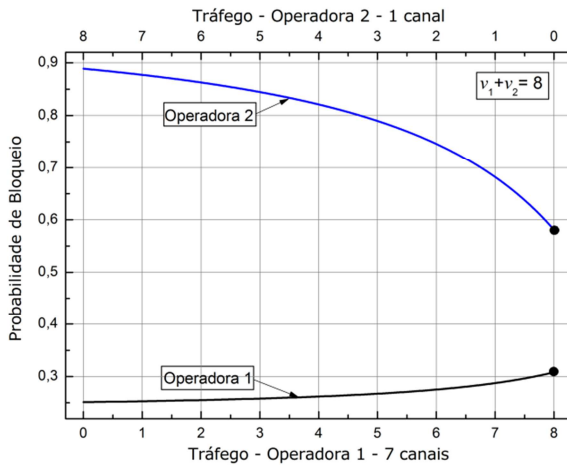


Fig. 3. Probabilidade de bloqueio suave das duas operadoras quando $(C_1, C_2) = (7, 1)$.

B. Um equilíbrio gerado pelo comportamento de usuários impacientes

Não é plausível que as informações sobre as probabilidades de bloqueio suave das operadoras estejam disponíveis para consulta. Além disso, uma estimativa confiável destes parâmetros pode levar um longo tempo para ser obtida, levando os usuários a mudar de operadora com base em informações parciais. No limite, podemos considerar o caso de usuários impacientes, que mudam de operadora sempre que uma requisição é bloqueada pela sua operadora primária, indo para outra operadora, passando esta a ser sua nova operadora primária. Se todos os usuários tiverem um comportamento impaciente, então a taxa de troca dos usuários da operadora 1 para operadora 2 será dada por $\sigma_1 = v_1(P_{b1} - P_b)$, enquanto que a taxa de troca dos usuários da operadora 2 para operadora 1 será dada por $\sigma_2 = v_2(P_{b2} - P_b)$. O equilíbrio surgirá quando $\sigma_1 = \sigma_2$ ou:

$$v_1(P_{b1} - P_b) = v_2(P_{b2} - P_b) \quad (7)$$

As figuras 4 e 5 mostram a variação de σ_1 e σ_2 em função de v_1 para os dois casos discutidos na subseção A, equilíbrio de Nash. Note que as duas curvas sempre se cruzam para o comportamento impaciente, e o ponto de cruzamento das curvas define o equilíbrio gerado por estes usuários. Isso significa que a operadora com menor número de canais sempre obterá algum tráfego primário, contudo irá oferecer uma maior probabilidade de bloqueio suave, pois o equilíbrio é gerado pelas taxas de bloqueio. O novo modelo de equilíbrio não será imparcial em curto prazo, pois alguns usuários terão uma maior probabilidade de bloqueio que outros usuários, uma vez que as duas operadoras terão desempenhos diferentes no equilíbrio. No entanto, o comportamento impaciente dos usuários gerará imparcialidade no longo prazo, uma vez que todos eles ficam primariamente com cada operadora por algum tempo, sendo o tempo médio de permanência com cada operadora o mesmo para todos os usuários.

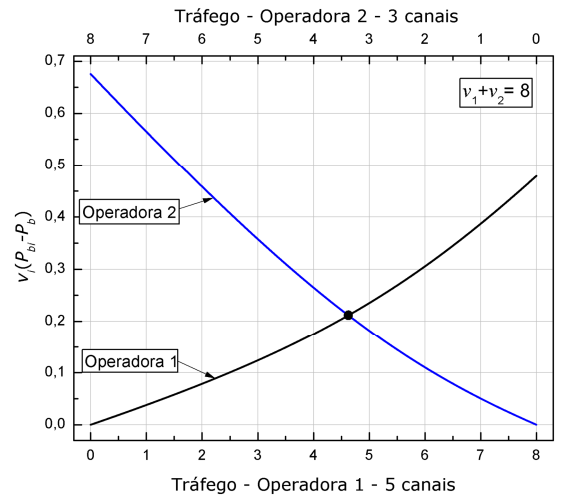


Fig. 4. Bloqueio para duas operadoras com usuários impacientes quando $(C_1, C_2) = (5, 3)$.

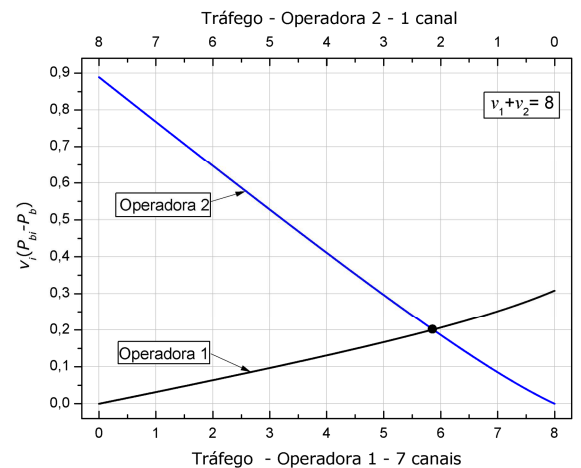


Fig. 5. Bloqueio para duas operadoras com usuários impacientes quando $(C_1, C_2) = (7, 1)$.

IV. MAXIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO COLETIVO

Os usuários podem estar interessados em cooperar para produzir uma repartição eficiente do tráfego na qual se tenha

uma taxa conjunta mínima de bloqueio suave. A taxa total de bloqueio suave é:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = v_1 P_{b1} + v_2 P_{b2} - v P_b \quad (8)$$

Dado um tráfego total v gerado por todos os usuários, a taxa total de bloqueios duros $v P_b$ é invariante em função de v_1 . Portanto, a maximização do bem estar coletivo é produzido pela minimização da taxa de bloqueios primários:

$$\pi = v_1 P_{b1} + v_2 P_{b2} \quad (9)$$

As figuras 6 e 7 mostram a variação de π com v_1 para os mesmos casos discutidos nas subseções A e B. O valor mínimo de π é marcado como um ponto cheio. Os pontos vazios representam os pontos de operação dos equilíbrios gerados pelos dois jogos não cooperativos discutidos nas subseções anteriores. Quando $(C_1, C_2) = (7,1)$ o equilíbrio de Nash é eficiente e o comportamento dos usuários impacientes não é eficiente. No entanto, se $(C_1, C_2) = (5,3)$ a repartição mais eficiente do tráfego ocorrerá num ponto intermediário entre as repartições de tráfego geradas pelos dois comportamentos dos usuários discutidos acima. Isto sugere que pode haver um comportamento de usuário moderadamente impaciente que resultaria na repartição eficiente do tráfego. Alternativamente podemos obter a eficiência através da aplicação da repartição eficiente, que poderia ser obtida mediante a apresentação de todas as requisições a um corretor, que alocaria de forma independente cada requisição para a operadora 1 com uma probabilidade $\left(\frac{v_{1eff}}{v}\right)$ e para a operadora 2 com uma probabilidade $\left(1 - \frac{v_{1eff}}{v}\right)$, onde v_{1eff} é o valor de v_1 que minimiza π .

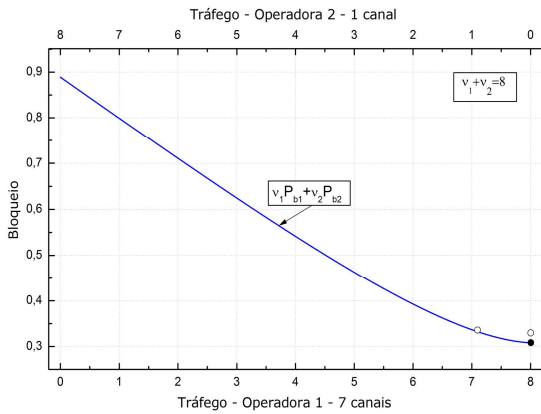


Fig. 6. A variação de π com v_1 quando $(C_1, C_2) = (5,3)$.

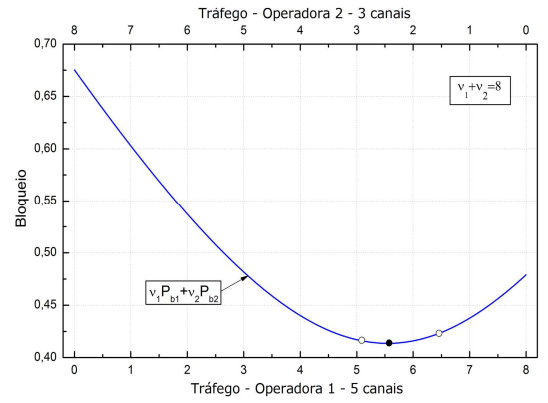


Fig. 7. A variação de π com v_1 quando $(C_1, C_2) = (7,1)$.

Os pontos vazios representam no equilíbrio de Nash e o equilíbrio gerado por usuários impacientes.

V. CONCLUSÕES

No jogo dos usuários, um comportamento uniforme de troca entre operadoras foi assumido para todos os usuários. Por exemplo, os usuários podem mudar de operadora principal sempre que a estimativa de probabilidade de bloqueio da operadora secundária for menor que a da operadora primária; ou ainda, se o usuário for muito impaciente para calcular uma estimativa adequada de probabilidade de bloqueio de cada operadora, ele pode mudar de operadora toda vez que sofrer um bloqueio de sua operadora primária e apenas dela. A estratégia de mudança de operadora define o jogo dos usuários, o que resultará em um equilíbrio que determinará o tráfego primário capturado por cada operadora. Os equilíbrios resultantes dos dois comportamentos estratégicos descritos acima são comparados levando-se em consideração a eficiência e equidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq e da CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Laffont and J. Tirole, *Competition in telecommunications*. The MIT Press, 2001.
- [2] A. Erlang, "Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges," *The Post Office Electrical Engineers Journal*, vol. 10, pp. 189–197, 1918.
- [3] J. Watson, "Strategy: an Introduction to Game Theory", 2nd. Edition, Norton, 2008.
- [4] H. Waldman, R. C. Bortolotto, and G. S. Pavani, "Dimensioning of optical networks under unconstrained blocking probabilities," in *Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2010 12th International Conference on. IEEE, 2010, pp. 1–4.
- [5] Waldman, H. Bortolotto R.C. and Pavani, G. S., "Network capacity planning under competition", in: *Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition, Xangai, China. Proceedings of ACP 2010*, 2010.
- [6] Kumar, A. Manjunath, D. and Kuri, J., "Communication networking: an analytical approach", Morgan Kaufmann, 2004.
- [7] Waldman, H. Bortolotto R.C. and Pavani, G. S., "A game-theoretical approach to network capacity planning under competition", 22nd European Regional ITS Conference, Budapest, 18-21 Sep 2011.