

Bibliografia

- [1] A. S. Acampora e M. Naghshineh, “Avoiding the bottlenecks caused by centralized control functions, Control and Quality-of Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks”, *IEEE Personal Communications*, 1994.
- [2] A. S. Acampora e M. Naghshineh, “Control and Quality-of-Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks”, *IEEE Personal Communications Mag.*, *Second Quarter*, 1994, pp.36-43.
- [3] P. Agrawal; P. Ramanathan; K. M. Sivalingam e S. Kishore, “Dynamic Resource Allocation Schemes During Handoff for Mobile Multimedia Wireless Networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Julho, 1999.
- [4] M.H. Ahmed, “Call admission control in wireless networks: a comprehensive survey”. *Communication Survey and Tutorials*, vol. 7, no.1, 2005.
- [5] L. H. R. Barbosa, “Uma análise de tráfego para a camada de acesso ao meio em sistemas de comunicação celular 3G”, Tese de Doutorado, *UFMG - ICEx*, 2002.
- [6] Y. Ben-Shimol; I. Kitroser e Y. Dinitz, “Two-Dimensional Mapping of Wireless OFDMA Systems”, *IEEE Transactions on Broadcasting*, pp.388, vol. 52, no. 3, September 2006.
- [7] J. Chang, J. Chung, and D. Sung, “Admission Control Schemes for Soft Handoff in DS-CDMA Cellular Systems Supporting Voice and Stream-type Data Services”, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol.50, no.6, Nov. 2002, pp.1445-59.
- [8] J.-Y. Chang e H.-L. Chen, “A Resource Reservation Scheme with Dynamic Grouping for Multimedia Wireless Networks”, *Wireless Communications and Networking*, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 16-20 March 2003 Page(s):1397 - 1407 vol.2.

- [9] H. Chen, S. Kumar e C.-C. Jay Kuo, "Dynamic Call Admission Control Scheme for QoS Priority Handoff in Multimedia Cellular Systems", *Wireless Communications and Networking Conference, 2002. WCNC2002*. 2002 IEEE Volume 1, 17-21 March 2002 Page(s):114 - 118 vol.1.
- [10] H. Chen, S. Kumar e C.-C. Jay Kuo, "Dynamic Call Admission Control and Resource Reservation with Interference Guard Margin (IGM) for CDMA Systems", *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003*. 2003 IEEE Volume 3, 16-20 March 2003 Page(s):1568 - 1572 vol.3.
- [11] J. Choi, T. Kwon, Y. Choi e M. Naghshineh, "Call Admission Control for Multimedia Services in Mobile Cellular Networks: A Markov Decision Approach", *Computers and Communications, 2000. Proceedings. ISCC 2000. Fifth IEEE Symposium on 3-6 July 2000* Page(s):594 - 599 .
- [12] C. H. Choi , M. Il Kim, T. J. Kim, S. Jo Kim, "A Call Admission Control Mechanism Using MPP and 2-Tier Cell Structure for Mobile Multimedia Computing", *Computer Communications and Networks, 2001. Proceedings. Tenth International Conference on 15-17 Oct. 2001* Page(s):581 - 584.
- [13] S. Choi e K. G. Shin, "Adaptive Bandwidth Reservation and Admission Control in QoS-sensitive Cellular Networks", *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on* Volume 13, Issue 9, Sept. 2002 Page(s):882 - 897.
- [14] F. A. Cruz-Pérez, D. Lara-Rodriguez e M. Lara, "Fractional reservation in mobile communication systems", *IEE Electronics Letters*, pp.2000, vol.35, no.23, Novembro, 1999.
- [15] F.A.Cruz-Pérez, D.Lara-Rodriguez e M.Lara, "Fractional reservation in mobile communication systems", *IEE Electronics Letters*, pp. 2000 - 2002, vol.35, no.23, November 1999.
- [16] F. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, "A Flexible Resource Allocation Strategy with Minimum Overflow Bandwidth Demand for Wireless Systems With Integrated Services", *Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th* Volume 3, 24-28 Sept. 2002 Page(s):1758 - 1762 vol.3.
- [17] F. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, "Flexible Resource Allocation Strategy with Prioritization Levels", *Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002*. IEEE 55th Volume 3, 6-9 May 2002 Page(s):1584 - 1588 vol.3.
- [18] F. A. Cruz-Perez e L. Ortigoza-Guerrero, "Adaptive Resource Allocation Strategy with Service Type Prioritization for Class-Based QoS Mobile Networks", *IEEE Proc ICC'03 Alaska*, Maio, 2003.

- [19] E. Del Re; R.Fantacci e G.Giambene, "Performance Evaluation of Different Resource Management in Mobile Cellular Networks", *Telecommunication Systems*, 1999.
- [20] J. Diedrich e M. Zitterbart, "Handoff prioritization schemes using early blocking", *IEEE Communication Survey and Tutorials*, vol. 7, no.2, 2005.
- [21] B. M. Epstein e M. Schwartz, "Reservation Strategies for Multi-Media Traffic in a Wireless Environment", *Vehicular Technology Conference*, 1995 IEEE 45th Volume 1, 25-28 July 1995 Page(s):165 - 169 vol.1.
- [22] B. M. Epstein e M. Schwartz, "Predictive QoS-Based Admission Control for Multiclass Traffic in Cellular Wireless Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, Mar 2000, pp. 523-34.
- [23] B. M. Epstein, "Resource Allocation Algorithms for Multi-Class Wireless Networks", Tese de Doutorado, *Columbia University*, 1999.
- [24] R. Fry e A. Jamalipour, "A precision predictive call admission control in packet switched multi-service wireless cellular networks" *Global Telecommunications Conference*, 2003. GLOBECOM '03. IEEE Volume 7, 1-5 Dec. 2003 Page(s):4122 - 4126 vol.7.
- [25] D. J. Goodman, "Wireless Personal Communications Systems", *Addison-Wesley Wireless Communications Series*, 1997.
- [26] Y.-R. Haung, Y. -B. Lin e J. M. Ho, "Performance Analysis for voice/data integration on a finite-buffer mobile system", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 49, Issue 2, March 2000 Page(s):367 - 378.
- [27] H. Heredia-Ureta, F. A. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, "Performance Analysis of Adaptive Resource Allocation Strategies with Service Time Dependence on the Allocated Bandwidth", *Wireless Communications and Networking*, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 3, 16-20 March 2003 Page(s):1850 - 1855 vol.3.
- [28] H. Heredia-Ureta, F. Cruz-Pérez e L. Ortigoza-Guerrero, "Multiple Fractional Channel Reservation for Optimum System Capacity in Multi-Service Cellular Networks", *Electronics Letters*, Volume 39, Issue 1, 9 Jan 2003 Page(s):133 - 134.
- [29] Herzog, L. Woo, K. Chandy, "Solution of queuing problems by a recursive technique", *IBM Journal of Research Development*, Maio, 1975.
- [30] C. Ho and C. Lea, "Finding Better Call Admission Policies In Wirelles Networks", *Proc. IEEE Vehic. Tech. Conf. (VTC98)*, 1998, vol.3, pp. 2135-39.

- [31] D. Hong e S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures", *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, 35 (8): 77-92, Agosto 1986.
- [32] D. Hong and S. S. Rappaport, "Priority oriented channel access for Cellular Systems serving vehicular and portable radio telephones", *IEE Proceedings - I Communications, Speech, and Vision*, Volume 136, Issue 5, Part 1, Oct 1989 Page(s):339 - 346.
- [33] D. Hong e S. S. Rappaport, "Comments on Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Non prioritized Handoff Procedures", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 49, Issue 5, Sept. 2000 Page(s):2037 - 2039.
- [34] J. M. Hyman, A. Lazar, e G. Pacifici, "Real-time scheduling with quality of service constraints", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Volume 9, Issue 7, Sept. 1991 Page(s):1052 - 1063 .
- [35] J. Y. Jeng e Y. B. Lin, "Equal Resource Sharing Scheduling for PCS Data Services", *Wireless Networks*, vol 5, 1999.
- [36] H. Jia; Zhaoyang Zhang; Guanding Yu e Shiju Li, "An Distributed Call Admission Control and Network Selection Scheme for Hybrid CDMA-OFDMA Networks", *IEEE WCNC 2007*, 2007.
- [37] L. Jorguseski, J. Farserotu e R. Prasad, "Radio Resource Allocation in Third-Generation Mobile Communication Systems", *IEEE Communications Magazine*, Volume 39, Issue 2, Feb. 2001 Page(s):117 - 123 .
- [38] S. Jordan e P. Varaiya, "Throughput in multiple service, multiple resource communication networks", *IEEE Transactions on Communications*, Volume 39, Issue 8, Aug. 1991 Page(s):1216 - 1222.
- [39] S. Jordan e P. Varaiya, "Control of multiple service, multiple resource communication networks", *IEEE Transactions on Communications*, Volume 42, Issue 11, Nov. 1994 Page(s):2979 - 2988.
- [40] I. Katzela e M. Naghshineh, "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunications", *IEEE Personal Communications*, Volume 3, Issue 3, June 1996 Page(s):10 - 31.
- [41] F. Khan e D. Zeghlache, "Effect of Cell Residence Time Distribution on the Performance of Cellular Networks", *Vehicular Technology Conference, 1997 IEEE 47th Volume 2, 4-7 May 1997 Page(s):949 - 953 vol.2* .

- [42] S. Kim, T. Kwon, and Y. Choi, "Call Admission Control for Prioritized Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks", *Proc. IEEE Vehicular Technologies Conference (VTC'00 Spring), Tokyo, 2000 vol.2*, pp.1536-40.
- [43] T. Kwon, Y. Oh, Y. Choi e M. Naghshineh, "An Approximate Analysis of Handoff Traffic in Mobile Cellular Networks", *Wireless Communications and Networking Conference*, 2000. WCNC. 2000 IEEE Volume 2, 23-28 Sept. 2000 Page(s):480 - 483 vol.2 .
- [44] T. Kwon et al., "Threshold-type Call Admission Control in Wireless / Mobile Networks using Prioritized Adaptive Framework", *IEEE Electronics Letters*, vol. 36, no.9, April 2000, pp. 852-54.
- [45] X. Lagrange, "Multi tier Cell Design", *IEEE Communications Magazine*, Agosto, 1997.
- [46] J. H. Lee, et al, "An Adaptive Resource Allocation Mechanism Including Fast and Reliable Handoff in IP-Based 3G Wireless Networks", *IEEE Personal Communication*, Volume 7, Issue 6, Dec. 2000 Page(s):42 - 47.
- [47] D. A. Levine, I. F. Akyildiz e M. Naghshineh, "The Shadow Cluster Concept for Resource Allocation and Call Admission in ATM-Based Wireless Networks", *Proc. 1st. Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net. (MOBICON '95)*, 1995, pp.142-50.
- [48] D. A. Levine, I. F. Akyildiz e M. Naghshineh, "A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept", *IEEE / ACM Transactions on Networking*, vol.5, no. 1, Feb. 1997, pp. 1-12.
- [49] Lizhong Li, Bin Li, Bo Li e Xi-Ren Cao, "Performance Analysis of Bandwidth Allocations For Multi-Services Mobile Wireless Cellular Networks", *Wireless Communications and Networking*, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 16-20 March 2003 Page(s):1072 - 1077 vol.2.
- [50] M. Lohi; D. Weerakoon e A. H. Aghvami, "Trends in Multi-Layer Cellular System Design and Handover Design", *Wireless Communications and Networking Conference*, 1999. WCNC. 1999 IEEE 21-24 Sept. 1999 Page(s):898 - 902 vol.2 .
- [51] M. Lohi, K. Madani, A. Lohi e A. H. Aghvami, "Flexible Channel Allocation Strategy for User Service Prioritization in Hierarchical Cellular Systems", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2001 12th IEEE International Symposium on*, Volume 1, 30 Sept.-3 Oct. 2001 Page(s):D-59 - D-63.

- [52] J. R. B. de Marca e T. A. Camilo, "Resource Sharing in Integrated Voice and Data Service", *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003*. 2003 IEEE Volume 3, 16-20 March 2003 Page(s):1856 - 1860 vol.3 .
- [53] J.G.Markoulidakis, J.E.Dermitzakis, G.L.Lyberopoulos, M.E. Theologou, "Handover Prioritised Schemes for Optimal Capacity and Overload Management in Cellular Mobile Systems", *Vehic. Tech. Conf. (VTC'99)*, pp.1491-95, 1999.
- [54] J.G.Markoulidakis, J.E.Dermitzakis, G.L.Lyberopoulos, M.E. Theologou, "Optimal system capacity in handover prioritised in cellular mobile telecommunication systems", *Computer Communications*, pp. 462-475, no.23, 2000.
- [55] M. Naghshineh e A. Acampora "Design and Control of Micro-cellular Networks With QoS Provisioning for Real-time Traffic", *Proc. 3rd IEEE Int'l. Conf. Universal Personal Commun. (ICUPC '94)*, 1994, pp.376-81.
- [56] M. Naghshineh e M. Schwartz "Distributed Call Admission Control in mobile/wireless networks", *IEEE Journal of Selected Areas and Communication*, Volume 14, Issue 4, May 1996 Page(s):711 - 717.
- [57] M. Naghshineh e A. Acampora "Design and Control of Micro-cellular Networks With QoS Provisioning for Data Traffic", *Wireless Networks*, vol.3, no.4, 1997, pp. 249-56.
- [58] R. W. Nettleton e G. R. Schloemer, "Self Organizing Channel Assignment for Wireless Systems", *IEEE Communications Magazine*, Volume 35, Issue 8, Aug. 1997 Page(s):46 - 51.
- [59] C. Oliveira, J. Kim and T. Suda, "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-Speed Multimedia Wireless Networks", *IEEE JSAC*, vol.16, no.6, Aug. 1998, pp.858-72.
- [60] L. Ortigoza-Guerrero e A. H. Aghvami "On the Optimum Spectrum Partitioning in a Microcell/Macrocell Cellular Layout with Overflow", *Global Telecommunications Conference, 1997. GLOBECOM '97.*, IEEE Volume 2, 3-8 Nov. 1997 Page(s):991 - 995 vol.2.
- [61] L. Ortigoza-Guerrero e A. H. Aghvami, "A distributed Dynamic Resource Allocation for a Hybrid TDMA/CDMA System", *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Volume 47, Issue 4, Nov. 1998 Page(s):1162 - 1178.

- [62] Jung-Lin Pan; P.M.Djuric e S.S.Rappaport, “A Simulation Model of Combined Handoff Initiation and Channel Availability in Cellular Communications”, *Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race'.*, *IEEE 46th Volume 3*, 28 April-1 May 1996 *Page(s):1515 - 1519 vol.3*.
- [63] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “Performance of a dynamic admission control strategy for wireless systems” *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th Volume 2*, 26-29 Sept. 2004 *Page(s):1083 - 1087 Vol. 2*.
- [64] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “Estratégia Dinâmica para Controle de Admissão de Chamadas com QoS em Sistemas celulares”, XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Belém, Setembro 2004.
- [65] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “QoS-Aware Dynamic Admission Control Schemes for Wireless Systems”, *IEEE Personal Indoors Mobile Radio Communications 2006 (PIMRC 06)*, pp.1 - 6 , Helsinki, September 2006.
- [66] C. Quevedo-Lodi e J. Roberto B. de Marca, “Controle de Admissão em Sistemas Móveis com Duas Restrições de QoS”, XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT07), Recife, Setembro 2007.
- [67] R. Ramjee, R. Nagarajan e D. Towsley, “On optimal call admission control in cellular networks”, *Proc. 15th Joint Conference IEEE Comp. and Commun. Societies (INFOCOM'96)*, vol.1, pp.43- 50, San Francisco, Março, 1996.
- [68] R. Ramjee, R. Nagarajan, and D. Towsley, “On optimal call admission control in cellular networks”, *Wireless Networks*, vol. 3, pp. 29-41, 1997.
- [69] Tsang-Ling Sheu e Hsin-Yuan Lin, “A priority-based Channel Allocation Scheme for Cellular Networks”, *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2*, 16-20 March 2003 *Page(s):1066 - 1071 vol.2*.
- [70] Z. Tao; Koon Hoo Teo e Jinyun Zhang, “Adaptive Frame structure for Mobile Multihop Relay (MMR) Networks”; *IEEE Information, Communications and Signal Processing, 2007 6th International Conference on* 10-13 Dec. 2007 *Page(s):1-5*.
- [71] T. T. V. Vinhoza e J. R. B. de Marca, “Comparative performance of hierarchical cell architectures”, *Radio and Wireless Conference, 2004 IEEE* 19-22 Sept. 2004 *Page(s):287 - 290*.

- [72] Y. Xiao, C. Chen and Y. Wang, “Quality of Service Provisioning Framework for Multimedia Traffic in Wireless/ Mobile Networks”, *Proc. 9th Int’l. Conf. Commun.and Net. (ICCN 2000)*, 2000, pp. 644-48.
- [73] Y. Xiao, C. Chen and Y. Wang, “A New Optimal Call Admission Control With Genetic Algorithm for Multimedia Services in Wireless/ Mobile Networks”, *Proc. IEEE National Aerospace and Eletronics Conf. (NAECON 2000)*, 2000, pp. 787-92.
- [74] J. Ye , J. Hou e S. Papavassiliou, “A Comprehensive Resource Management Framework for Next Generation Wireless Networks”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Volume 1, Issue 4, Oct.-Dec. 2002 Page(s):249 - 264.
- [75] A. Yener and C. Rose, “Genetic Algorithms Applied to Cellular Call Admission: Local Policies”, *IEEE Transactions on Vehic. Tech.*, vol.46, no.1, Feb 1997, pp.72-79.
- [76] O. T. W. Yu e V. C. M. Leung, “Adaptive resource allocation for prioritized call admission over an ATM-based Wireless PCN”, *IEEE Journal of Selected Areas and Communication*, Setembro, 1997.
- [77] J. Zander, “Radio Resource Management - an overview”, *Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race'.*, *IEEE 46th Volume 1*, 28 April-1 May 1996 Page(s):16 - 20 vol.1 .
- [78] J. Zander, “Radio Resource Management in Future Wireless Networks: Requirements and Limitations” *IEEE Communications Magazine*, Agosto, 1997.
- [79] J. Zander and Seong-Lyun Kim, “Radio Resource Management for Wireless Networks”, *Artech House Mobile Communications series*, 2001.
- [80] W. Zhuang, B. Bensaou, K. C. Chua, “Adaptive Quality of Service Handoff Priority Scheme for Mobile Multimedia Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 49, Issue 2, March 2000 Page(s):494 - 505.
- [81] M.M. Zonoozi e P.Dassanayake, “User mobility and characterization of mobility patterns”. *IEEE J. on Selected Areas on Comm.*, 15(7):1239 -1252, Setembro 1997.

A

Modelo de Tráfego

No estudo da capacidade dos sistemas celulares, além da distribuição correspondente à duração da chamada, deve-se considerar o efeito da distribuição do tempo de permanência do usuário na célula no comportamento do sistema. Ambas distribuições definirão o tempo de retenção do canal, ou recurso, que é um dos fatores que influenciam no desempenho do sistema.

O tempo de retenção do canal por um terminal que se encontra em determinada célula pode ser calculado como o menor valor entre a duração da chamada e o tempo de permanência na célula. Na referência [54] os autores consideram que a permanência na célula é uma distribuição exponencial. Em [41] os autores abordam o fato de que outras distribuições podem ser utilizadas para o tempo de permanência. Neste apêndice estendemos o trabalho feito em [54] considerando além da distribuição exponencial, as distribuições constante, uniforme e Weibull para a permanência do usuário na célula.

A.1

Tempo de Retenção do Canal

O tempo de retenção do canal (*channel holding time*) pode ser definido como o menor valor entre a duração da chamada (*call duration*) e o tempo de permanência do usuário na célula (*dwell time*), conforme a equação (A-1).

$$t_{ch} = \min(t_c, t_{dw}) \quad (\text{A-1})$$

O tempo de retenção do canal é definido pela variável aleatória t_{ch} de valor esperado $1/\mu$. A duração da chamada e o tempo de permanência do usuário na célula são definidos pelas variáveis aleatórias t_c e t_{dw} cujos valores esperados serão representados, respectivamente, por $1/\xi$ e $1/\eta$. Ou

seja:

$$E[t_{ch}] = \frac{1}{\mu} \quad (\text{A-2})$$

$$E[t_c] = \frac{1}{\xi} \quad (\text{A-3})$$

$$E[t_{dw}] = \frac{1}{\eta} \quad (\text{A-4})$$

Para determinar a função densidade de probabilidade (fdp) da retenção do canal, t_{ch} , calculamos inicialmente, nas equações (A-5) a (A-8), a função distribuição de probabilidade, $F_{t_{ch}}(T_{CH})$, considerando a hipótese de que t_c e t_{dw} são independentes.

$$F_{t_{ch}}(T_{CH}) = P(t_{ch} \leq T_{CH}) = 1 - P(t_{ch} > T_{CH}) \quad (\text{A-5})$$

$$P(t_{ch} \leq T_{CH}) = 1 - \int_{T_{CH}}^{\infty} \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_c}(T_C) dT_C p_{t_{dw}}(T_{DW}) dT_{DW} \quad (\text{A-6})$$

$$P(t_{ch} \leq T_{CH}) = 1 - \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_c}(T_C) dT_C \cdot \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_{dw}}(T_{DW}) dT_{DW} \quad (\text{A-7})$$

$$F_{t_{ch}}(T_{CH}) = 1 - [1 - F_{t_c}][1 - F_{t_{dw}}] \quad (\text{A-8})$$

Para encontrar a fdp $p_{t_{ch}}(T_{CH})$, na equação(A-9) derivamos a função distribuição de probabilidade da equação(A-8) e encontramos o resultado apresentado na equação (A-10).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \frac{\partial}{\partial T_{ch}} \{ -[1 - F_{t_c}][1 - F_{t_{dw}}] \} \quad (\text{A-9})$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH})[1 - F_{t_{dw}}(T_{CH})] + p_{t_{dw}}(T_{CH})[1 - F_{t_c}(T_{CH})]$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH}) + p_{t_{dw}}(T_{CH}) - p_{t_c}(T_{CH})F_{t_{dw}}(T_{CH}) - p_{t_{dw}}(T_{CH})F_{t_c}(T_{CH})$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_c}(T_{CH}) p_{t_{dw}}(T_{DW}) dT_{DW} + \int_{T_{CH}}^{\infty} p_{t_{dw}}(T_{CH}) p_{t_c}(X_1) dX_1 \quad (A-10)$$

A equação (A-10) apresenta a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , sendo t_c e t_{dw} as variáveis aleatórias que representam a duração da chamada e a permanência do usuário na célula, respectivamente.

Considerando que a duração da chamada t_c é uma variável aleatória exponencial, de valor esperado $1/\xi$, suas funções densidade de probabilidade e distribuição de probabilidade são dadas em (A-11) e (A-12).

$$p_{t_c}(T_C) = \xi e^{-\xi T_C} u(T_C) \quad (A-11)$$

$$F_{t_c}(T_C) = \int_{-\infty}^{T_C} p_{t_c}(t_c) dt_c = 1 - e^{-\xi T_C} \quad (A-12)$$

Nas seções a seguir são propostas diversas distribuições para a permanência do usuário na célula(setor).

A.1.1

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Exponencial

A exponencial é a distribuição mais comum adotada para o tempo de permanência do usuário na célula. Esta função tem descrito o comportamento do usuário de uma forma muito próxima da real e sua função densidade de probabilidade da retenção do canal pode ser determinada de forma analítica, conforme o desenvolvimento a seguir.

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \eta e^{-\eta T_{DW}} u(T_{DW}) \quad (A-13)$$

Levando as distribuições da duração e da permanência dadas pelas equações (A-11) e (A-13) à equação (A-10), obtém-se a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , (A-14).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \int_{T_{CH}}^{\infty} \xi e^{-\xi T_{CH}} \eta e^{-\eta T_{DW}} dT_{DW} + \int_{T_{CH}}^{\infty} \eta e^{-\eta T_{CH}} \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (A-14)$$

Desenvolvendo (A-14) obtém-se (A-15).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = (\xi + \eta) e^{-(\xi + \eta) T_{CH}} u(T_{CH}) \quad (A-15)$$

Portanto, considerando a distribuição exponencial para o tempo de permanência, o tempo de retenção é também dado por uma distribuição exponencial cuja taxa é a soma das taxas das distribuições originais. Da equação (A-15) obtém-se o valor esperado da retenção do canal na equação (A-16).

$$E[T_{CH}] = \frac{1}{\xi + \eta} \quad (\text{A-16})$$

A.1.2

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Constante

No caso em que a permanência do usuário na célula é dada por uma variável aleatória cuja distribuição é uma constante, $t_{dw} = C$, a função densidade de probabilidade da retenção do canal pode ser determinada de forma analítica, conforme o desenvolvimento a seguir.

$$t_{ch} = \min(t_c, C) \quad (\text{A-17})$$

$$t_{ch} = \begin{cases} t_c & , t_c \leq C \Rightarrow p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH}) \\ C & , t_c > C \Rightarrow p_{t_{ch}}(T_{CH}) = P(t_c > C)\delta(T_{CH} - C) \end{cases}$$

Então, conclui-se que $p_{t_{ch}}(T_{CH})$ é dada pela equação (A-19).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = p_{t_c}(T_{CH})[u(T_{CH}) - u(T_{CH} - C)] + (1 - F_{t_c}(C))\delta(T_{CH} - C) \quad (\text{A-18})$$

Utilizando os valores de $p_{t_c}(T_{CH})$ e de $F_{t_c}(C)$ obtidos das equações (A-11) e (A-12) obtém-se a fdp do tempo de retenção do canal no caso em que a permanência é uma constante C :

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \xi e^{-\xi T_{CH}}[u(T_{CH}) - u(T_{CH} - C)] + (e^{-\xi C})\delta(T_{CH} - C) \quad (\text{A-19})$$

Aplicando a definição de valor esperado na equação (A-19) obtém-se a retenção média do canal:

$$E[t_{ch}] = \int_0^{\infty} T_{CH} \left[\xi e^{-\xi T_{CH}}[u(T_{CH}) - u(T_{CH} - C)] + (e^{-\xi C})\delta(T_{CH} - C) \right] dT_{CH} \quad (\text{A-20})$$

$$E[t_{ch}] = \int_0^C T_{CH} \xi e^{-\xi T_{CH}} dT_{CH} + \int_C^\infty T_{CH} [(e^{-\xi C}) \delta(T_{CH} - C)] dT_{CH} \quad (\text{A-21})$$

$$E[t_{ch}] = (1 - e^{-\xi C}) \frac{1}{\xi} \quad (\text{A-22})$$

O resultado analítico apresentado na equação (A-22) confere com o resultado numérico, obtido em MATLAB.

A.1.3

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Uniforme

No caso em que o modelo adotado para o tempo de permanência do usuário na célula é uma distribuição uniforme, dada por (A-23).

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \frac{\eta}{2} \left[u(T_{DW}) - u(T_{DW} - \frac{2}{\eta}) \right] \quad (\text{A-23})$$

Levando as distribuições da duração e da permanência dadas pelas equações (A-11) e (A-23) à equação (A-10) obtém-se a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , (A-24).

$$\begin{aligned} p_{t_{ch}}(T_{CH}) &= \int_{T_{CH}}^\infty \xi e^{-\xi T_{CH}} \left[\frac{\eta}{2} [u(T_{DW}) - u(T_{DW} - \frac{2}{\eta})] \right] dT_{DW} + \\ &+ \int_{T_{CH}}^\infty \left[\frac{\eta}{2} [u(T_{CH}) - u(T_{CH} - \frac{2}{\eta})] \right] \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-24}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{t_{ch}}(T_{CH}) &= \xi e^{-\xi T_{CH}} \int_{T_{CH}}^\infty \frac{\eta}{2} [u(T_{DW}) - u(T_{DW} - \frac{2}{\eta})] dT_{DW} + \\ &+ \left[\frac{\eta}{2} [u(T_{CH}) - u(T_{CH} - \frac{2}{\eta})] \right] \left[-e^{-\xi T_C} \right]_{T_{CH}}^\infty \quad (\text{A-25}) \end{aligned}$$

Desenvolvendo (A-25) obtém-se (A-26).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = e^{-\xi T_{CH}} \left(\xi - \frac{\xi \eta T_{CH}}{2} + \frac{\eta}{2} \right) [u(T_{CH}) - u(T_{CH} - \frac{2}{\xi})] \quad (\text{A-26})$$

Da equação (A-26) obtém-se o valor esperado da retenção do canal na

equação (A-27).

$$E[T_{CH}] = \int_0^{\infty} t_{ch} \left[e^{-\xi t_{ch}} \left(\xi - \frac{\xi \eta t_{ch}}{2} + \frac{\eta}{2} \right) [u(t_{ch}) - u(t_{ch} - \frac{2}{\eta})] \right] dt_{ch} \quad (A-27)$$

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \int_0^{\infty} t_{ch} e^{-\xi t_{ch}} [u(t_{ch}) - u(t_{ch} - \frac{2}{\eta})] dt_{ch} - \left(\frac{\xi \eta}{2} \right) \int_0^{\infty} t_{ch}^2 e^{-\xi t_{ch}} [u(t_{ch}) - u(t_{ch} - \frac{2}{\eta})] dt_{ch} \quad (A-28)$$

Desenvolvendo a equação (A-28), obtém-se a expressão para o valor esperado dada em (A-32).

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \int_0^{\frac{2}{\eta}} t_{ch} e^{-\xi t_{ch}} dt_{ch} - \left(\frac{\xi \eta}{2} \right) \int_0^{\frac{2}{\eta}} t_{ch}^2 e^{-\xi t_{ch}} dt_{ch} \quad (A-29)$$

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \left[\frac{e^{-\xi t_{ch}}}{-\xi} \left(t_{ch} - \frac{1}{-\xi} \right) \right]_{t_{ch}=0}^{t_{ch}=\frac{2}{\eta}} - \frac{\xi \eta}{2} \left[\frac{e^{-\xi t_{ch}}}{-\xi} \left(t_{ch}^2 - \frac{2t_{ch}}{-\xi} + \frac{2}{\xi^2} \right) \right]_{t_{ch}=0}^{t_{ch}=\frac{2}{\eta}} \quad (A-30)$$

$$E[T_{CH}] = \left(\xi + \frac{\eta}{2} \right) \left[e^{\frac{-2\xi}{\eta}} \left(-\frac{2}{\xi \eta} - \frac{1}{\xi^2} \right) + \frac{1}{\xi^2} \right] - \frac{\xi \eta}{2} \left[e^{\frac{-2\xi}{\eta}} \left(-\frac{4}{\xi \eta^2} - \frac{4}{\xi^2 \eta} - \frac{2}{\xi^3} \right) + \frac{2}{\xi^3} \right] \quad (A-31)$$

$$E[T_{CH}] = \frac{1}{2\xi^2} \left(\eta e^{\frac{-2\xi}{\eta}} + 2\xi - \eta \right) \quad (A-32)$$

O valor no desenvolvimento analítico acima, dado pela equação (A-32), foi verificado e confere com o valor obtido numericamente em MATLAB.

A.1.4

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Weibull

No caso em que o modelo adotado para o tempo de permanência do usuário na célula é a distribuição Weibull, sua função densidade de probabilidade é dada pela equação (A-33). Os parâmetros λ e K definem a forma e a escala de acordo com o comportamento apresentado na figura A.1.

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-(\frac{T_{DW}}{\lambda})^K} u(T_{DW}) \quad (A-33)$$

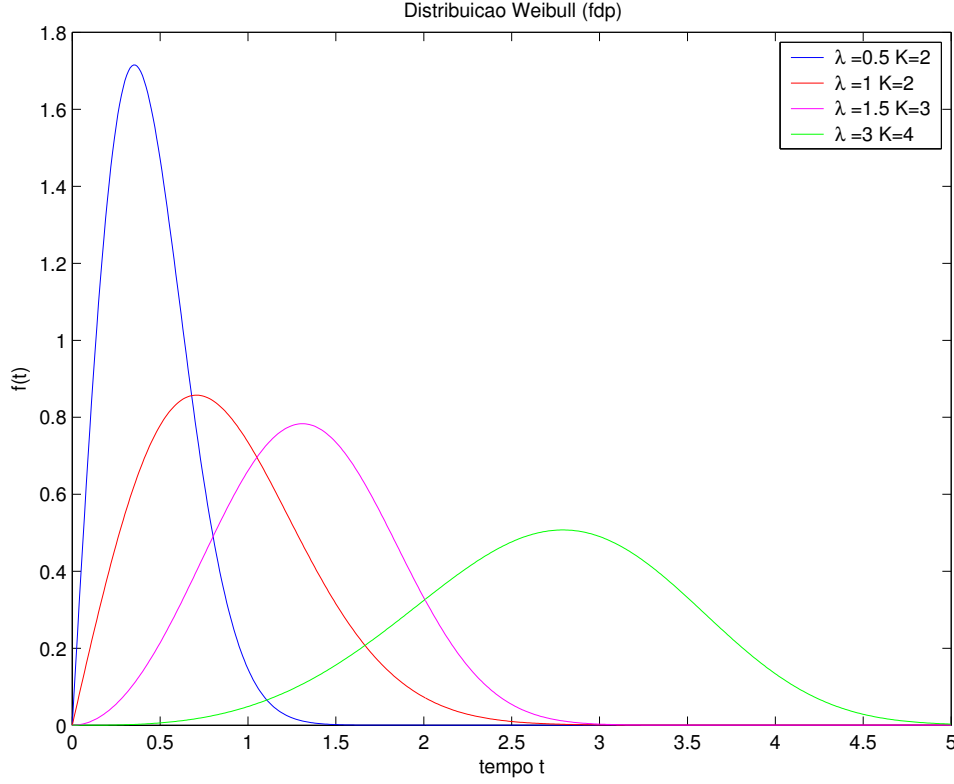


Figura A.1: Weibull.

A função distribuição é dada por (A-34) e o valor esperado do tempo de permanência é dado na equação (A-35), aonde $\Gamma(\cdot)$ é a função Gama.

$$F_{t_{dw}}(T_{DW}) = 1 - 1e^{-(\frac{T_{DW}}{\lambda})^K} u(T_{DW}) \quad (A-34)$$

$$E_{t_{dw}}[T_{DW}] = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right) \quad (A-35)$$

Na referência [41], adota-se o valor $K = 0.5$, de forma que o tempo de permanência médio definido na equação (A-35) é dado por (A-36).

$$E_{t_{dw}}[T_{DW}] = \lambda \Gamma\left(3\right) = \frac{1}{\eta} \quad (A-36)$$

No caso em que o parâmetro λ vale 20 ou 5 e K vale 0.5, a forma e a escala da curva fdp representada pela distribuição Weibull apresentam o comportamento da figura A.2.

Levando as distribuições da duração da chamada e da permanência dadas pelas equações (A-11) e (A-33) à equação (A-10), obtém-se a função densidade de probabilidade da retenção do canal, t_{ch} , (A-37).

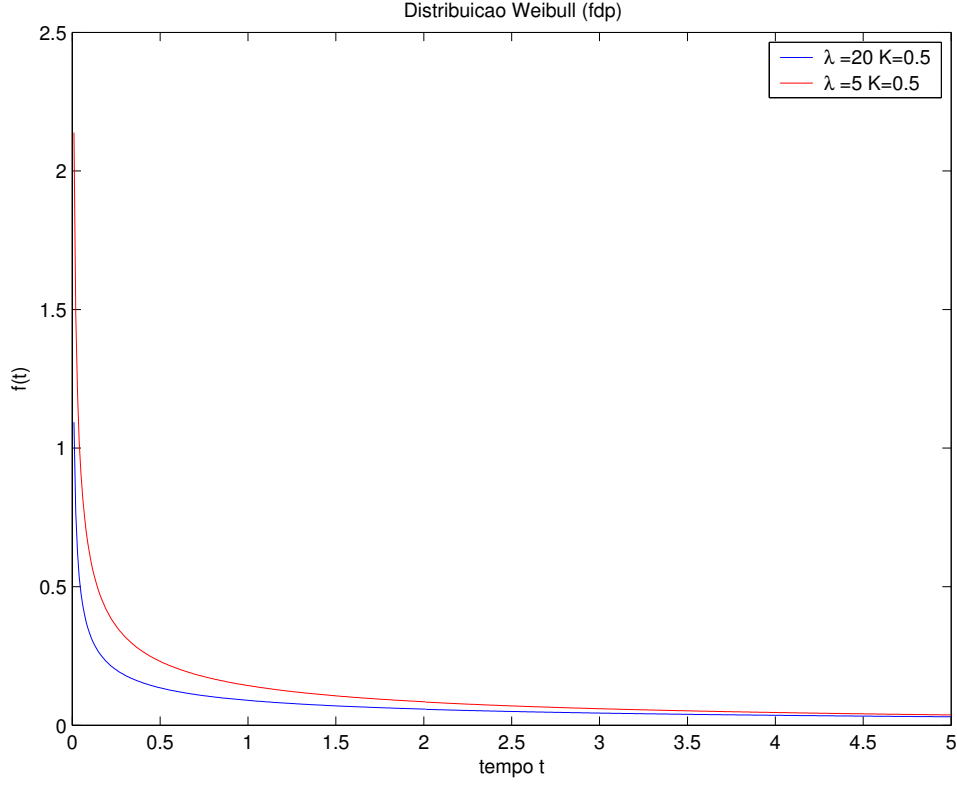


Figura A.2: Weibull.

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \int_{T_{CH}}^{\infty} \xi e^{-\xi T_{CH}} \left[\frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^K} u(T_{DW}) \right] dT_{DW} + \\ + \int_{T_{CH}}^{\infty} \left[\frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^K} u(T_{CH}) \right] \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-37})$$

Desenvolvendo (A-37) obtém-se (A-38).

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \xi e^{-\xi T_{CH}} \frac{K}{\lambda} \int_{T_{CH}}^{\infty} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^K} u(T_{DW}) dT_{DW} + \\ + \frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^K} u(T_{CH}) \int_{T_{CH}}^{\infty} \xi e^{-\xi T_C} dT_C \quad (\text{A-38})$$

$$p_{t_{ch}}(T_{CH}) = \xi e^{-\xi T_{CH}} \frac{K}{\lambda} u(T_{CH}) \int_{T_{CH}}^{\infty} \left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{DW}}{\lambda} \right)^K} dT_{DW} + \\ + \frac{K}{\lambda} \left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^{K-1} e^{-\left(\frac{T_{CH}}{\lambda} \right)^K} u(T_{CH}) e^{-\xi T_{CH}} \quad (\text{A-39})$$

Da equação (A-39) obtém-se o valor esperado da retenção do canal na equação (A-40).

$$E[T_{CH}] = \int_0^{\infty} t_{ch}(p_{t_{ch}}(t_{ch}))dt_{ch} \quad (\text{A-40})$$

No entanto, não foi possível efetivar analiticamente a integral indicada na equação (A-39), nem a da equação (A-40). Fica aqui formalizado apenas o desenvolvimento teórico, não sendo possível obter uma expressão analítica.

Para o andamento deste trabalho de tese, este resultado foi obtido de forma estatística, através da geração numérica das distribuições e da obtenção do mínimo entre elas. Este método também serviu para confirmar os resultados das distribuições anteriores para as quais foi possível obter expressão analítica.

A.2

Relação entre o Parâmetro de Mobilidade e o Valor Esperado do Tempo de Permanência do Usuário na Célula

O parâmetro θ , cuja expressão é dada na equação (A-41), define a mobilidade dos usuários no sistema.

$$\theta = \frac{\lambda_H}{\lambda_N} \quad (\text{A-41})$$

Estamos interessados no valor médio do tempo de retenção do canal, $E[t_{ch}]$. Este valor depende da razão entre valor médio do tempo de permanência do usuário na célula, $E[t_{dw}]$, e o valor médio do tempo de duração da chamada, $E[t_c]$. Esta razão será definida neste trabalho como Y :

$$Y = \frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]} \quad (\text{A-42})$$

Uma aproximação inicial é dizer que esta razão é:

$$Y \simeq \frac{1}{\theta} \quad (\text{A-43})$$

Aperfeiçoando o modelo vemos que, na realidade, esta razão é uma função da mobilidade θ , da probabilidade de bloqueio de chamadas novas, P_{BN} , e da probabilidade de falhas de *handoff*, P_{FH} , como em (A-44). Esta função $f(\theta, P_{BN}, P_{FH})$ será diferente para cada uma das distribuições adotadas para a permanência do usuário na célula (ou setor).

$$\frac{1}{Y} = \frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]} = f(\theta, P_{BN}, P_{FH}) \quad (\text{A-44})$$

Para obter esta função utilizamos o desenvolvimento iniciado na referência [54]. A razão entre o valor médio da duração da chamada e o valor médio da permanência do usuário na célula é modelada por uma função na equação (A-44). Este valor é o número médio de *handoffs* sofridos por uma chamada.

De acordo com a referência [54], o parâmetro de mobilidade θ pode ser escrito como (A-45), onde: $P_{out} = P[t_c > t_{dw}]$ é a probabilidade do usuário sair da célula; P_{cross} é a probabilidade de que o tempo residual de uma chamada em *handoff* exceda o tempo de permanência na célula; e π_{out} é a percentagem de estações que se movem para um destino fora da célula.

$$\theta = \frac{\pi_{out} P_{out} [1 - P_{BN}]}{1 - \pi_{out} P_{cross} [1 - P_{FH}]} \quad (A-45)$$

Nas sessões seguintes faremos o cálculo do parâmetro Y que é função de θ , P_{BN} e P_{FH} para cada uma das distribuições adotadas para o tempo de permanência do usuário na célula. A distribuição adotada para a duração da chamada será sempre uma exponencial.

A simulação descrita no capítulo 4 verifica o desempenho dos algoritmos de controle de admissão utilizando os cálculos deste apêndice para determinar o tempo de retenção do recurso em cada caso de mobilidade e requisito de QoS.

A.2.1

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Exponencial

Para o caso de chamadas com duração e permanência exponenciais, $P_{cross} = P_{out}$ e podemos supor $\pi_{out} = 1$.

De acordo com o resultado desenvolvido na sessão anterior, a equação (A-16) pode ser escrita como (A-46).

$$P[t_{dw} < t_c] = \frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \quad (A-46)$$

Substituindo (A-46) na equação (A-45), obtém-se (A-47).

$$\theta = \frac{\left(\frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \right) [1 - P_{BN}]}{1 + P_{FH} \left(\frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \right) - \left(\frac{E[t_c]}{E[t_c] + E[t_{dw}]} \right)} \quad (A-47)$$

Desenvolvendo a (A-47) obtém-se (A-48) que é a mesma apresentada

na equação(15) da referência [54].

$$\theta = \frac{\left(\frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]}\right)[1 - P_{BN}]}{1 + P_{FH}\left(\frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]}\right)} \quad (\text{A-48})$$

Portanto, para t_{dw} com distribuição exponencial, de (A-48) conclui-se (A-49).

$$\frac{E[t_c]}{E[t_{dw}]} = \frac{\theta}{[1 - P_{BN} - \theta P_{FH}]} = f_{exp}(\theta, P_{BN}, P_{FH}) \quad (\text{A-49})$$

A equação (A-49) pode ser reescrita como (A-50) aonde α é definido em (A-51).

$$E[t_{dw}] = E[t_c] \frac{\alpha}{\theta} \quad (\text{A-50})$$

$$\alpha = 1 - P_{BN} - \theta P_{FH} \quad (\text{A-51})$$

Definindo o parâmetro Y como em (A-52),

$$Y = \frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]} \quad (\text{A-52})$$

no caso do tempo de permanência na célula ser uma distribuição exponencial, Y é dado por (A-53).

$$Y = \frac{\alpha}{\theta} \quad (\text{A-53})$$

Os valores de Y da equação (A-53), obtidos em MATLAB, estão na tabela A.1 para todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários à simulação. Observe que o valor de Y quase não varia com o par de QoS e tem seu valor próximo a $\frac{1}{\theta}$ para distribuição exponencial.

Tabela A.1: Valores de Y para permanência exponencial.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	4,945	4,840	4,720	4,796
0,5	1,975	1,930	1,870	1,916
1	0,985	0,960	0,920	0,956
2	0,490	0,475	0,445	0,476
4	0,243	0,233	0,208	0,236
6	0,160	0,152	0,128	0,156
8	0,119	0,111	0,089	0,116
10	0,094	0,087	0,065	0,092

Utilizando o mesmo desenvolvimento da distribuição exponencial,

equacionaremos o problema para obter o valor esperado do tempo de permanência, $E[t_{dw}]$, como uma função de θ para as demais distribuições.

A.2.2

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Constante

No caso em que a distribuição do tempo de permanência é dada por uma constante, a função densidade de probabilidade é dada por (A-54).

$$p_{t_{dw}}(T) = \delta(T - E[t_{dw}]) \quad (\text{A-54})$$

$$P_{out} = P[t_{dw} < t_c] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_{dw}}^{\infty} \frac{1}{E[t_c]} e^{-\frac{U}{E[t_c]}} \delta(T - E[t_{dw}]) dU dT \quad (\text{A-55})$$

Desenvolvendo (A-55) obtém-se:

$$P_{out} = e^{-\frac{E[t_{dw}]}{E[t_c]}} = e^{-Y} \quad (\text{A-56})$$

Substituindo o valor de P_{out} obtido para o caso de permanência constante da equação (A-56) na equação geral (A-45), resulta em (A-57).

$$\theta = \frac{[1 - P_{BN}]e^{-Y}}{1 - [1 - P_{FH}]e^{-Y}} \quad (\text{A-57})$$

Desenvolvendo (A-57) e utilizando a definição de α feita na equação (A-51) chega-se a equação (A-58).

$$e^Y = \frac{\alpha + \theta}{\theta} \quad (\text{A-58})$$

Logo, o valor de Y definido em (A-52), no caso da permanência constante é dado pela (A-59).

$$Y = \log_e\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) = \ln\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) \quad (\text{A-59})$$

De (A-59) conclui-se:

$$E[t_{dw}] = E[t_c] \ln \frac{\alpha + \theta}{\theta} \quad (\text{A-60})$$

A seguir são analisadas diferentes valores que Y pode assumir. Deve-se observar que o caso $Y > 0$ deve ser sempre verdade pois Y é a razão entre dois tempos sempre positivos, então a condição obtida para θ na equação (A-64) é uma condição necessária para um sistema real.

Caso $Y > 0$

$$Y = \ln\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) > 0 \quad (\text{A-61})$$

$$\frac{\alpha + \theta}{\theta} > 1 \quad (\text{A-62})$$

$$\alpha > 0 \Rightarrow (1 - P_{BN} - \theta P_{FH}) > 0 \quad (\text{A-63})$$

$$\theta < \frac{1 - P_{BN}}{P_{FH}} \quad (\text{A-64})$$

Caso $Y > 1$

$$Y = \ln\left(\frac{\alpha + \theta}{\theta}\right) > 1 \quad (\text{A-65})$$

$$\frac{\alpha + \theta}{\theta} > e \quad (\text{A-66})$$

$$\theta < \frac{\alpha}{e - 1} \quad (\text{A-67})$$

Caso $Y < 1$

$$\theta \geq \frac{\alpha}{e - 1} \quad (\text{A-68})$$

$$\theta \geq \frac{1 - P_{BN}}{P_{FH} + e - 1} \quad (\text{A-69})$$

Os valores de Y obtidos em MATLAB da equação (A-59) estão na tabela A.2 para todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários à simulação. Observa-se novamente que o valor de Y apresenta pequena variação com o valor do par de QoS e uma variação maior com o valor de θ . Além disto, observa-se que o valor de Y se afasta de $\frac{1}{\theta}$ para θ pequeno.

Tabela A.2: Valores de Y para permanência constante.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	1,7826	1,7647	1,7440	1,7572
0,5	1,0902	1,0750	1,0543	1,0702
1	0,6856	0,6729	0,6523	0,6709
2	0,3988	0,3887	0,3681	0,3893
4	0,2171	0,2090	0,1886	0,2119
6	0,1484	0,1412	0,1207	0,1450
8	0,1122	0,1055	0,0850	0,1098
10	0,0898	0,0834	0,0630	0,0880

A.2.3

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Uniforme

Considerando a permanência como uma distribuição uniforme no intervalo $[0, 2E[t_{dw}]]$, a função densidade de probabilidade é dada por (A-70) e P_{out} é calculado na equação (A-71).

$$p_{t_{dw}}(T) = \frac{1}{2E[t_{dw}]} \quad (\text{A-70})$$

$$P_{out} = P[t_{dw} < t_c] = \int_0^{2E[t_{dw}]} \frac{1}{2E[t_{dw}]} \int_T^\infty \frac{1}{E[t_c]} e^{-\frac{U}{E[t_c]}} dU dT \quad (\text{A-71})$$

Desenvolvendo (A-71) obtém-se:

$$P_{out} = \frac{E[t_c]}{2E[t_{dw}]} \left(-e^{-\frac{2E[t_{dw}]}{E[t_c]}} + 1 \right) \quad (\text{A-72})$$

Utilizando o parâmetro Y definido em (A-52), a equação (A-72) pode ser escrita como:

$$P_{out} = \frac{1}{2Y} (1 - e^{-2Y}) \quad (\text{A-73})$$

Substituindo o valor de P_{out} obtido para o caso de permanência uniforme da equação (A-73) na equação geral (A-45), resulta em:

$$\theta = \frac{[1 - P_{BN}] \left(\frac{1 - e^{-2Y}}{2Y} \right)}{1 - \left(\frac{1 - e^{-2Y}}{2Y} \right) [1 - P_{FH}]} \quad (\text{A-74})$$

Desenvolvendo (A-74) e utilizando a definição do parâmetro α da equação (A-51) e do parâmetro B definido na equação (A-75) chega-se à

equação (A-76).

$$B = \frac{\alpha + \theta}{2\theta} \quad (\text{A-75})$$

$$Y + Be^{-2Y} - B = 0 \quad (\text{A-76})$$

Deseja-se encontrar o valor de Y que atenda à equação (A-76), ou seja, Y é a raiz da equação (A-76). Este valor não pode ser encontrado de forma analítica então sua solução é encontrada de forma numérica para cada conjunto de valores (θ, P_{BN}, P_{FH}) . Tais resultados obtidos em MATLAB por método numérico para a extração de raízes estão na tabela A.3 para todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários à simulação.

Tabela A.3: Valores de Y para permanência uniforme.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	2,9646	2,9114	2,8504	2,889
0,5	1,3964	1,3705	1,3358	1,324
1	0,7867	0,7698	0,7426	0,7671
2	0,4293	0,4175	0,3938	0,4183
4	0,2256	0,2169	0,1949	0,2199
6	0,1523	0,1447	0,1233	0,1486
8	0,1144	0,1074	0,0863	0,1118
10	0,0912	0,0846	0,0636	0,0893

A.2.4

Tempo de Permanência na Célula dado por uma Distribuição Weibull

No caso em que a permanência do usuário na célula é modelada por uma distribuição Weibull, sua função densidade de probabilidade é dada por (A-77) e seu valor médio é dado por (A-78).

$$p_{t_{dw}}(T_{DW}) = \frac{K}{\lambda} \left(\frac{t_{dw}}{\lambda} \right)^{(K-1)} e^{-\left(\frac{t_{dw}}{\lambda} \right)^K} u(T_{DW}) \quad (\text{A-77})$$

$$E[t_{dw}] = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right) \quad (\text{A-78})$$

Ou,

$$\lambda = E[t_{dw}] \frac{K}{\Gamma\left(\frac{1}{K}\right)} \quad (\text{A-79})$$

Utilizando o valor 0,5 para o parâmetro K , da equação (A-78), o parâmetro λ é calculado em (A-80).

$$\lambda = E[t_{dw}] \frac{0,5}{\Gamma(2)} = \frac{E[t_{dw}]}{2} \quad (\text{A-80})$$

A probabilidade P_{out} é calculada na equação (A-81).

$$P_{out} = P[t_{dw} < t_c] = \int_0^\infty \frac{KT^{K-1}}{\lambda^K} e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^K} \int_T^\infty \frac{1}{E[t_c]} e^{-\frac{U}{E[t_c]}} dU dT \quad (\text{A-81})$$

Desenvolvendo (A-81) obtém-se:

$$P_{out} = \int_0^\infty \frac{KT^{K-1}}{\lambda^K} e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^K} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \quad (\text{A-82})$$

Utilizando o valor 0,5 para o parâmetro K e o valor de λ dado em (A-80), a equação (A-82) é escrita como:

$$P_{out} = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2E[t_{dw}]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{E[t_{dw}]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \quad (\text{A-83})$$

Lembrando que:

$$E[t_{dw}] = YE[t_c] \quad (\text{A-84})$$

A equação (A-83) é escrita como:

$$P_{out} = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2YE[t_c]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{YE[t_c]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \quad (\text{A-85})$$

Substituindo o valor de P_{out} da equação (A-85) na equação geral (A-45), resulta na equação (A-86) que não tem solução analítica.

$$\theta = \frac{[1 - P_{BN}] \left[\int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2YE[t_c]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{YE[t_c]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \right]}{1 - \left[\int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2YE[t_c]T}} e^{-\sqrt{\frac{2T}{YE[t_c]}}} e^{-\frac{T}{E[t_c]}} dT \right] [1 - P_{FH}]} \quad (\text{A-86})$$

Dados os valores de θ , P_{BN} , P_{FH} e $E[t_c]$, a equação (A-86) pode ser invertida e o valor numérico de Y pode ser obtido.

A razão Y entre o valor esperado do tempo de permanência na célula, $E[t_{dw}]$, e o valor esperado do tempo de duração da chamada, $E[t_c]$, foi calculada em MATLAB e seus valores estão organizados na tabela A.4 para

todos os valores de mobilidade θ e de par de QoS $Q\% = (P_{BN}\%; P_{FH}\%)$ necessários às simulações realizadas neste trabalho.

Tabela A.4: Valores de Y para permanência Weibull.

θ	$Q\%(1; 0, 5)$	$Q\%(3; 1)$	$Q\%(5; 3)$	$Q\%(4; 0, 4)$
0,2	30,000	28,000	26,000	27,000
0,5	5,700	5,508	5,200	5,450
1	1,800	1,800	1,700	1,800
2	0,700	0,670	0,600	0,650
4	0,290	0,275	0,240	0,280
6	0,180	0,170	0,142	0,175
8	0,130	0,122	0,096	0,128
10	0,102	0,094	0,070	0,100

Observa-se que, no caso da distribuição Weibull, os valores de Y são bem diferentes dos valores obtidos para as distribuições exponencial, constante e uniforme analisados nos itens anteriores. Além disso, para mobilidade baixa, θ pequeno, os valores de Y são bem diferentes de $1/\theta$.

A.2.5

Razão entre os Valores Esperados do Tempo de Permanência na Célula e da Duração da Chamada

Nos itens anteriores foram calculados valores do parâmetro Y , definido na equação (A-42), considerando que a distribuição do tempo de permanência na célula pode ser uma exponencial, distribuição constante, distribuição uniforme ou ainda uma distribuição Weibull. Os resultados estão nas tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, respectivamente, considerando diversos valores de taxa de mobilidade θ , e probabilidades de bloqueio de chamadas Novas, P_{BN} , e de *Handoff*, P_{FH} .

O valor de Y é necessário para determinar o tempo médio de retenção do recurso que será necessário à simulação, para cada caso de distribuição do tempo de permanência do usuário na célula, taxa de mobilidade e probabilidades de bloqueio de chamadas Novas, P_{BN} , e de *Handoff*, P_{FH} .

Observando as tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, notamos que a razão entre $E[t_{dw}]$ e $E[t_c]$, dada pelo parâmetro Y , sofre apenas uma pequena variação com o valor do par de QoS. O mesmo comportamento se dá para as quatro distribuições estudadas: exponencial, constante, uniforme e Weibull. Sendo assim, para facilitar o programa de simulação da rede, adotaremos o valor médio de Y em relação ao QoS. Os valores médios de Y utilizados são dados na tabela A.5. Observe que a coluna $1/\theta$ apresenta o valor aproximado de

Tabela A.5: Valores de Y médio para cada tipo de distribuição de permanência.

θ	$1/\theta$	Exponencial	Constante	Uniforme	Weibull
0,2	5	4,825	1,762	2,904	27,750
0,5	2	1,923	1,072	1,357	5,465
1	1	0,955	0,670	0,767	1,775
2	0,5	0,472	0,386	0,415	0,655
4	0,25	0,230	0,207	0,214	0,271
6	0,167	0,149	0,139	0,142	0,167
8	0,125	0,109	0,103	0,105	0,119
10	0,1	0,085	0,081	0,082	0,092

Y , numa abordagem simplista que é válida para alta mobilidade. Contudo, no caso de mobilidade baixa, os valores de Y e de $\frac{1}{\theta}$ são muito afastados. Os valores de Y utilizados na simulação foram os valores da tabela A.5, desenvolvidos neste apêndice, sendo um valor de Y para cada distribuição e cada taxa de mobilidade, θ .

A.3

Gráficos das Distribuições

Nas figuras A.3, A.4, A.5 e A.6 são apresentados os histogramas das distribuições do tempo de duração da chamada, do tempo de permanência do usuário na célula e do tempo de retenção do recurso (ou canal).

Na figura A.3 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de tempo de permanência modelado por uma distribuição exponencial. Observa-se que o valor médio da distribuição exponencial para o tempo de permanência é $120Y$ (dist. exponencial, $\theta = 2$) = $120 \times 0,472 = 56,64$. O tempo de retenção do canal também é uma distribuição exponencial cujo valor médio é 38,466. Este mesmo valor é obtido analiticamente da equação (A-16).

Na figura A.4 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de permanência constante cujo valor médio $120Y$ (dist. constante, $\theta = 2$) = $120 \times 0,386 = 46,32$. O tempo de retenção do canal apresenta valor médio de 38,44. Este mesmo valor é obtido analiticamente da equação (A-22).

Na figura A.5 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de tempo de permanência do usuário na célula como uma distribuição uniforme. Observa-se que o valor médio da distribuição uniforme é $120Y$ (dist. uniforme, $\theta = 2$) = $120 \times 0,415 = 49,8$. A retenção do canal apresenta

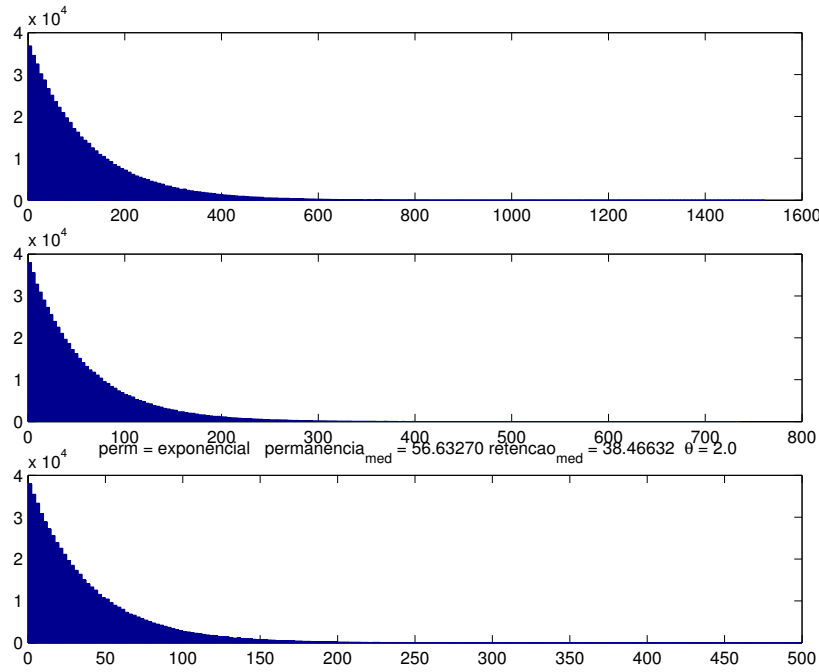


Figura A.3: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição exponencial do tempo de permanência na célula e distribuição exponencial do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

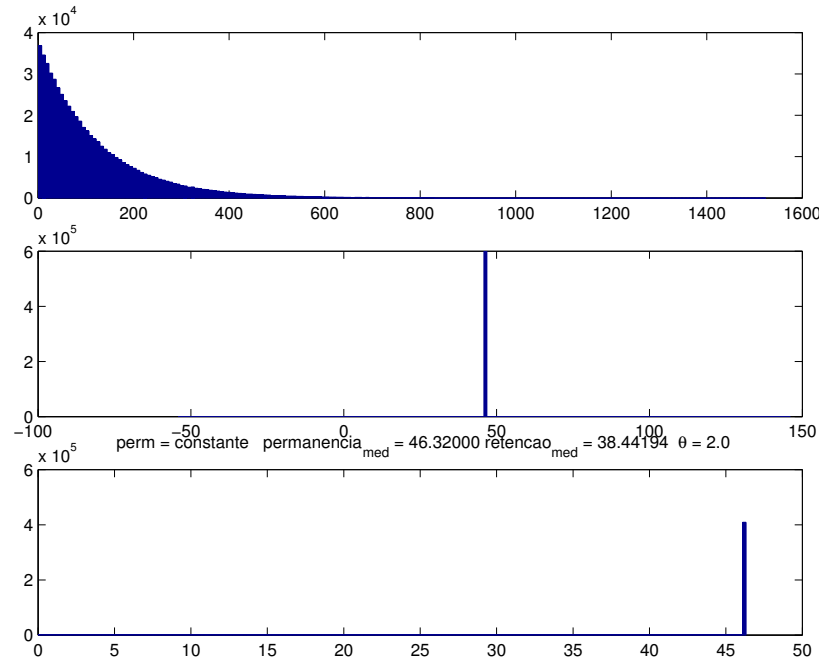


Figura A.4: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição constante do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

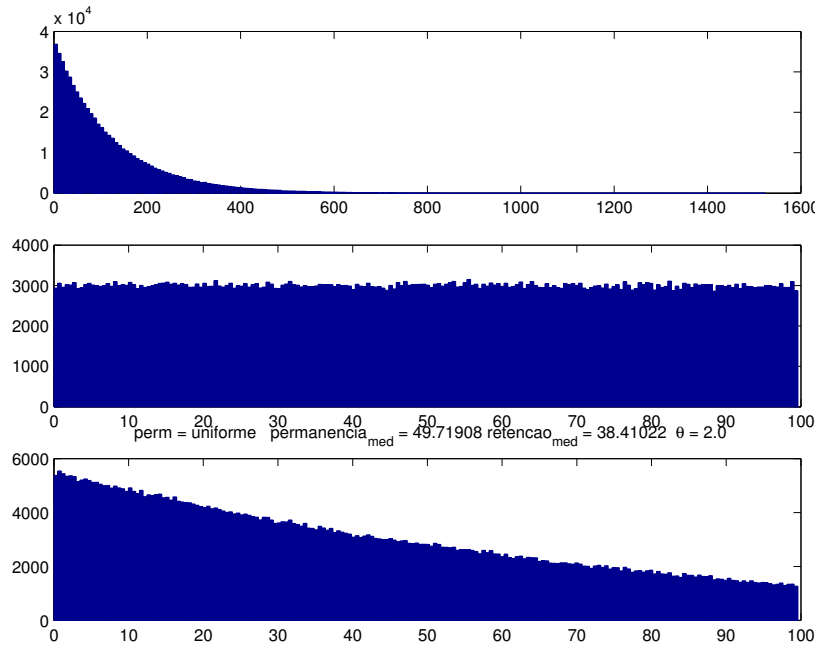


Figura A.5: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição uniforme do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.

valor médio de 38,41. Este mesmo valor é obtido analiticamente da equação (A-32).

Na figura A.6 são apresentadas as distribuições correspondentes ao caso de tempo de permanência com distribuição Weibull. Observa-se que o valor médio da distribuição Weibull é $120Y$ (dist. Weibull, $\theta = 2$) = $120 \times 0,655 = 78,6$. O tempo de retenção do canal é uma distribuição cujo valor esperado é 33,55. Este valor não pode ser obtido analiticamente.

Nos quatro casos, o tempo de duração da chamada é modelado por uma distribuição exponencial de média 120 segundos e o valor do parâmetro de mobilidade θ é 2. Em cada uma das figuras, há uma distribuição diferente para o tempo de permanência do usuário na célula. Na figura A.3 a distribuição do tempo de permanência é a exponencial. Nas figuras A.4, A.5 e A.6 as distribuições são a distribuição uniforme, distribuição constante e distribuição Weibull, respectivamente.

O valor médio do tempo de permanência na célula é calculado segundo a razão Y de cada distribuição e taxa de mobilidade $\theta = 2$, seus valores são apresentados na tabela A.5. O tempo de retenção do canal é obtido pelo menor valor entre o tempo de duração da chamada sorteado da distribuição exponencial e o tempo de permanência na célula. Desta forma são calculados os tempos de retenção dos recursos nas simulações deste trabalho.

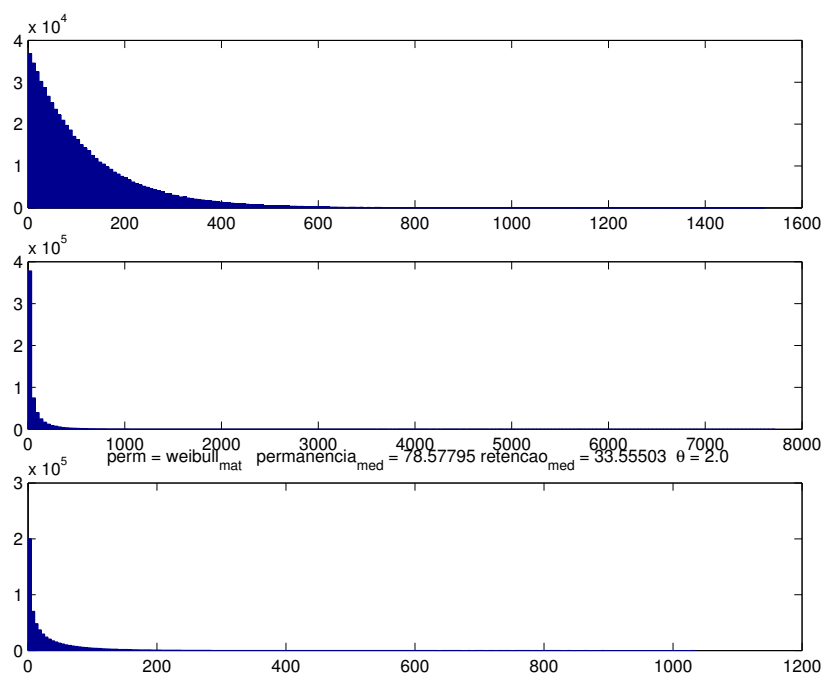


Figura A.6: Histogramas da distribuição exponencial do tempo de duração da chamada, distribuição Weibull do tempo de permanência na célula e distribuição do tempo de retenção do canal, para $\theta = 2$.