

Prioridade versus Compartilhamento de Canais no Dimensionamento de Enlace sem Fio

Marcelo O. Marques e Ivanil S. Bonatti

Resumo—O dimensionamento do enlace sem fio das redes de telecomunicação com integração de serviços de voz e de dados e abordado nesse trabalho. Foram desenvolvidos procedimentos de análise e síntese para os dois modelos de filas considerados: modelos markovianos; e modelo com prioridade, sem e com preempção. Esquemas com ou sem compartilhamento de recursos e com buffer finito e infinitos foram considerados. Comparações numéricas foram feitas para os modelos utilizados, bem como, os resultados obtidos no dimensionamento do enlace foram submetidos a condições de sobrecarga do tráfego de voz e de dados de forma a analisar o comportamento dos parâmetros de qualidade de serviço especificados.

Palavras-Chave—Redes sem fio, Dimensionamento de enlace, Redes GSM/GPRS.

Abstract—The dimensioning of telecommunications network wireless link, with voice and data integration, is presented in this paper. Analysis and synthesis procedures were developed considering Markovian and priority models (with or without preemption). Schemes with or without resources sharing and finite and infinite buffer were considered. The selected models were numerically compared and the results of the dimensioning were submitted to simulations of traffic overload conditions in order to analyze the quality of service parameters behavior.

Keywords—Wireless Network, Link Dimensioning, GSM/GPRS Networks.

I. INTRODUÇÃO

A implantação do serviço de múltiplo acesso GPRS (*General Packet Radio Service*) sobre as redes GSM (*Global System for Mobile Communications*) aumenta a eficiência da utilização dos recursos de rádio através do compartilhamento sob demanda dos canais disponíveis na rede GSM [1]. A transmissão no GPRS se dá através da alocação de um canal de pacotes de dados PDCH (*Packet Data Channel*), formado pela recorrência de uma determinada janela de tempo em um multiquadro de 52 quadros consecutivos, podendo formar até oito PDCHs sobre uma mesma portadora GSM. A alocação dos canais às estações ocorre de forma dinâmica e sob demanda. Os PDCHs podem ser compartilhados por mais de uma estação, bem como, vários PDCHs podem ser alocados a uma única estação [5].

A integração entre voz e dados pode ser feita por comutação de pacotes, tendo os pacotes de voz prioridade sobre os

de dados para garantir um tempo de transferência máximo (tempo de enfileiramento mais tempo de transmissão) para o serviço de voz. A integração, pode também ser feita com compartilhamento de canais, isto é, comutação de circuito para voz e de pacotes para dados, que pode ser realizada usando-se protocolos de múltiplo acesso com reserva. Os protocolos com reserva permitem alocar aos sinais naturalmente síncronos, canais que se repetem ciclicamente na cadência apropriada, e usar a capacidade adicional do sistema para enviar os sinais de dados, sensíveis a perdas, mas não aos atrasos. A combinação do protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) para os dados com o protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) para a voz, realizam esta integração de forma complementar [13] e [7].

Ghani e Schwartz [3] propuseram uma técnica de decomposição, para uma cadeia de Markov bidimensional, com o objetivo de analisar redes GSM/GPRS nas quais as chamadas de voz tem prioridade não preemptiva sobre os pacotes de dados. Chen *et al* [2] analisaram a integração com prioridade para o serviço de voz e a utilização de fila para pacotes de dados que sofreram, ou não, preempção. Meo *et al* [10] investigaram uma estratégia de compartilhamento dinâmico usando a informação da ocupação da fila como referência para alocação de canais exclusivos para pacotes de dados. Marques e Bonatti [9] propuseram o dimensionamento de enlace usando comutação de circuito para voz e de pacotes para dados, considerando que cada PDU era atendida por um único canal PDCH; e em [8], consideraram que era atendida por todos os PDCHs do sistema.

Nesse trabalho, o dimensionamento de enlaces sem fio foi obtido usando uma técnica de aproximação, que permite a decomposição de uma cadeia de Markov bidimensional, em duas unidimensionais [11]; e, usando modelos clássicos de prioridade, com e sem preempção. Na Seção 2, são apresentadas as hipóteses simplificadoras e desenvolvido os modelos de dimensionamento. Os resultados numéricos são apresentados na Seção 3 e as conclusões são apresentadas na Seção 4.

II. MODELOS

A. Com Compartilhamento

O sistema utiliza comutação por circuito para o serviço de voz e comutação por pacotes para o serviço de dados. C canais são reservados exclusivamente para transmissão dos pacotes de dados e os demais, C_v canais, são compartilhados entre voz e dados. O esquema de alocação dos $C + C_v$ é mostrado na Figura 1, na qual a variável V descreve o número de canais tomados pelas chamadas telefônicas bem sucedidas

Marcelo de Oliveira Marques, Departamento de Telecomunicações, Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, Brasil, e-mail: marcelo@inatel.br. Ivanil Sebastião Bonatti, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, e-mail: ivanil@dt.feec.unicamp.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Instituto Nacional de Telecomunicações, pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

($0 \leq v \leq C_v$) e X representa o número de canais não tomados pela chamadas telefônicas ($0 \leq x \leq C_v$).

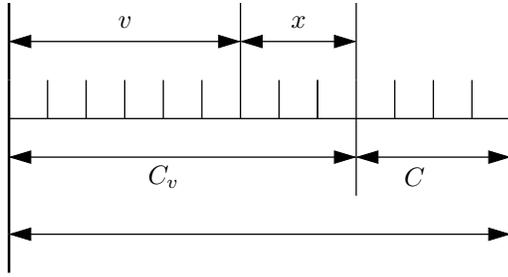


Fig. 1. Esquema de alocação dos canais

O número de canais disponíveis para o tráfego de dados é igual a $(C + x)$, resultando em uma taxa de transmissão igual a $(C + x)\gamma$, sendo γ a taxa de transmissão por canal (13.4 kbps para o esquema de codificação CS2 do GPRS).

Dentre os C_v canais, o serviço de voz é prioritário em relação ao serviço de dados e os pacotes de dados podem sofrer preempção pela chegada de uma chamada de voz.

Cada estação tem um *buffer* para armazenar os pacotes quando o acesso é negado, sendo b o limite para o número máximo de pacotes de dados presentes no sistema. Se um novo pacote de dados é gerado e b pacotes já estiverem presentes no sistema, o pacote é bloqueado e eliminado do sistema. As estações móveis geram pacotes com distribuição de Poisson, sendo λ a taxa total média de pacotes gerada pelas estações presentes no sistema. O comprimento dos pacotes tem distribuição exponencial com tamanho médio $E\{Z\}$ e com tempo médio de serviço $1/\mu$. Essa hipótese permite um modelo simples e markoviano apropriado para o dimensionamento. O serviço de dados usa toda a capacidade disponível no sistema, $(C + x)$ canais, para a transmissão de cada pacote de dados. A taxa de transmissão de pacotes μ pode ser escrita como

$$\mu = \frac{(C + x)\gamma}{E\{Z\}} = \frac{(C + x)}{\delta}, \quad \delta = \frac{E\{Z\}}{\gamma} = \frac{1}{\nu} \quad (1)$$

sendo δ o tempo médio de transmissão de um pacote por um canal de dados e ν a taxa de transmissão de pacotes por canal.

As estações móveis geram chamadas de voz com distribuição poissoniana e com taxa total média λ_v . O tempo médio de retenção é $1/\mu_v$ e a distribuição é exponencial. As chamadas de voz bloqueadas são eliminadas do sistema.

O número de canais tomados por voz, é descrito por uma fila M/M/ C_v / C_v e a probabilidade condicional de pacotes de dados para um dado número de conexões de voz, $p(d/v)$, pode ser determinada aproximando o número de pacotes no sistema por uma fila M/M/1/ b , na qual o servidor tem uma taxa de transmissão igual a $(C + x)\gamma$, com $x = C_v - v$.

A probabilidade de descarte de pacotes de dados é

$$p(d) = \sum_{x=0}^{C_v} p(d/x)q_v(x) \quad (2)$$

sendo $q_v(x)$ a probabilidade de haver x canais de voz desocupados, que é dada por [4]

$$q_v(x) = \frac{\rho_v^{C_v-x}}{(C_v-x)!} \frac{1}{\sum_{k=0}^{C_v} \frac{\rho_v^k}{k!}}; \quad x = 0, 1, \dots, C_v \quad (3)$$

A probabilidade condicional de pacotes no sistema, modelada pela fila M/M/1/ b é dada por [4]

$$p(d/x) = \frac{1-\rho}{1-\rho^{b+1}} \rho^d \quad (4)$$

O número médio condicional de pacotes no sistema é dado por

$$E\{D/x\} = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{\rho(b\rho^b + 1)}{1-\rho^{b+1}} + 1 - p(0/x) \quad (5)$$

O tempo médio de transferência de um pacote é dado pelo teorema de *Little*

$$E\{T\} = \frac{\sum_{x=0}^{C_v} E\{D/x\}q_v(x)}{\lambda(1-p(b))} \quad (6)$$

B. Com Prioridade

O compartilhamento dos canais do sistema pode ser feito usando comutação de pacotes para voz e dados, dando prioridade aos pacotes de voz.

A disciplina de atendimento com prioridade pode ser com e sem preempção.

O tempo médio de espera sem preempção, $E\{W_p^s\}$, para cada uma das N classes (a classe p é prioritária em relação às classes $p + 1$, $p + 2$, etc.), é dado por [12]

$$E\{W_p^s\} = \frac{E\{R_0(N)\}}{\{1 - \sigma_{p-1}\}\{1 - \sigma_p\}} \quad (7)$$

com

$$\sigma_p = \sum_{i=1}^p \rho_i; \quad \sigma_0 = 0; \quad p = 1, \dots, N \quad (8)$$

e o tempo médio residual de serviço, $E\{R_0\}$, dado por

$$E\{R_0\} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{2} E\{R_i^2\} \quad (9)$$

O tempo médio de espera com preempção, $E\{W_p^c\}$, é dado por [6]

$$E\{W_p^c\} = \frac{E\{R_0(p)\}}{(1-\sigma_p)(1-\sigma_{p-1})} + \frac{\sigma_{p-1}}{(1-\sigma_{p-1})} \frac{1}{\mu_p} \quad (10)$$

sendo o tempo médio residual de serviço, $E\{R_0(p)\}$, dado por

$$E\{R_0(p)\} = \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{2} E\{R_i^2\} \quad (11)$$

O tempo médio de transferência de pacotes, com ou sem preempção, é dado por

$$E\{T_p\} = E\{W_p\} + \frac{1}{\mu_p} \quad (12)$$

III. DIMENSIONAMENTO DO ENLACE SEM FIO

O cenário para teste dos algoritmos de dimensionamento considera que os pacotes de dados tem tamanho médio $E\{Z\} = 13400 \text{ bits}$ e que o canal GSM/GPRS usa codificação CS-2 com 13.4 kbps [1], resultando em um tempo médio de transmissão de pacote por canal $\delta = 1 \text{ s}$.

As especificações de qualidade de serviço são:

- probabilidade de bloqueio para pedido de conexão de voz, $\epsilon_v = 0.01$;
- probabilidade de descarte de pacote de dados, $\epsilon = 0.0001$;
- tempo médio de transferência de pacotes de dados, $\Delta = 1 \text{ s}$.
- tempo médio de transferência de pacotes de voz, $\Delta_v = 20 \text{ ms}$.

A. Resultados com Compartilhamento

As capacidades C_v e C resultantes do dimensionamento para diferentes valores de tráfego de voz e de dados, e de tamanho de *buffer* são mostrados nas colunas *cc* da Tabela I. Os valores resultantes do tempo de transferência e da probabilidade de descarte de pacotes de dados, T_{dn} e P_{dn} , são também mostrados, normalizados em relação aos valores especificados como qualidade de serviço. O número de canais obtidos sem compartilhamento ($x = 0$), são apresentados nas colunas *sc*.

TABELA I
CAPACIDADES OBTIDAS COM COMPARTILHAMENTO.

Tráfego em Erlang		$b = 100$						$b = 10$			
ρ_v	r	<i>sc</i>		<i>cc</i>				<i>sc</i>		<i>cc</i>	
		C_v	C	C	P_{dn}	T_{dn}	C	C	P_{dn}	T_{dn}	
1	1	5	2	1	0.32	0.43	3	2	0.02	0.21	
10	1	18	2	1	0.70	0.51	3	2	0.04	0.13	
30	1	42	2	1	0.73	0.48	3	2	0.04	0.10	
1	10	5	11	10	0.30	0.29	24	21	0.69	0.07	
10	10	18	11	10	0.70	0.19	24	18	0.92	0.06	
30	10	42	11	10	0.73	0.15	24	17	0.85	0.06	
1	30	5	32	30	0.57	0.28	72	68	0.93	0.02	
10	30	18	32	30	0.89	0.16	72	64	0.99	0.02	
30	30	42	32	30	0.88	0.12	72	62	0.88	0.02	

O compartilhamento de canais resultou na diminuição do número de canais de dados. A redução é maior quando o *buffer* é pequeno. O número de canais de dados deve satisfazer duas restrições: probabilidade de descarte e tempo de transferência. Para diferentes valores de tráfego e de tamanho de *buffer* uma dessas duas restrições isoladamente determina o número de canais. A probabilidade ϵ foi o fator determinante do número de canais de dados para tráfego de dados de 30 Er , em todos os casos de tamanho de *buffer*; e foi para $b = 10$, em todos os casos de tráfego.

1) *Sobrecarga de Tráfego*: A sensibilidade do sistema às variações de tráfego foram analisadas através de simulação. Devido ao mecanismo de preempção, a probabilidade de bloqueio de voz é invariante com o tráfego de dados e, portanto, não foi simulada. Também, não foi simulado o comportamento

da probabilidade de bloqueio de voz com a variação do tráfego de voz, pois deriva diretamente da fórmula de *Erlang* e é amplamente conhecido na literatura.

A probabilidade de descarte de pacotes de dados e o tempo médio de transferência de pacotes, em função da variação do tráfego de voz para $b = 100$ e $r = 10 \text{ Er}$, são mostrados nas Figuras 2 e 3. A abscissa está normalizada em relação ao valor nominal do tráfego de voz, usado para o dimensionamento, isto é, o tráfego de voz varia de 0 a 60 Er para a curva associada ao tráfego $\rho_v = 30 \text{ Er}$, varia de 0 a 20 Er para a curva associada ao tráfego $\rho_v = 10 \text{ Er}$, e varia de 0 a 2 Er para a curva associada ao tráfego $\rho_v = 1 \text{ Er}$. O número de canais C e C_v utilizados na simulação, para os padrões de tráfego de voz e de dados considerados, são apresentados na Tabela I.

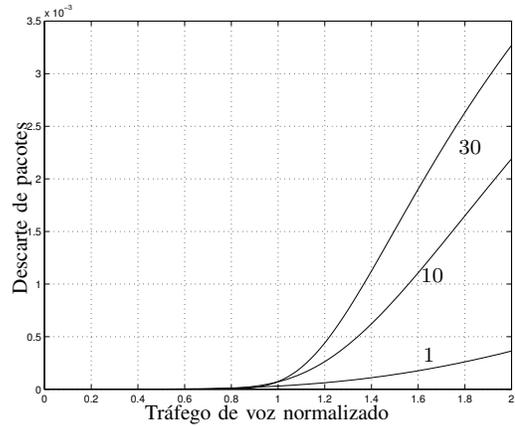


Fig. 2. Probabilidades de descarte de pacotes de dados para $b = 100$ e $r = 10 \text{ Er}$ parametrizadas em função do tráfego nominal de voz.

A probabilidade de descarte de pacotes é mais sensível ao aumento do tráfego de voz quanto maior o tráfego nominal de voz. Esse comportamento pode ser explicado, pelo fato de que no dimensionamento do número de canais de voz, devido ao comportamento de ganho de escala da fórmula de *Erlang*, a ocupação média dos canais é tanto maior quanto maior o tráfego de voz, em particular de 20%, 55% e 72% para os tráfegos de 1, 10 e 30 Er , respectivamente.

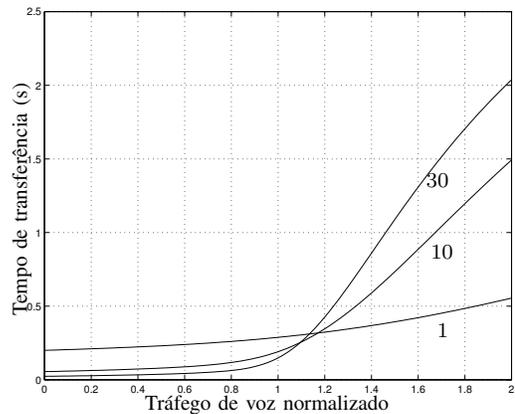


Fig. 3. Tempos médios de transferência de pacotes para $b = 100$ e $r = 10 \text{ Er}$ parametrizados em função do tráfego nominal de voz.

O tempo médio de transferência de pacotes, também, é mais

sensível ao aumento do tráfego de voz quanto maior o tráfego nominal de voz. Entretanto, a sensibilidade relativa é muito menor que no caso do descarte de pacotes.

A probabilidade de descarte de pacotes de dados e o tempo médio de transferência de pacotes, em função da variação do tráfego de dados para $b = 100$, são mostrados nas Figuras 4 e 5. A abscissa está normalizada em relação ao valor nominal do tráfego de dados, usado para o dimensionamento, isto é, o tráfego de dados varia de 0 a 20 Er para as três curvas.

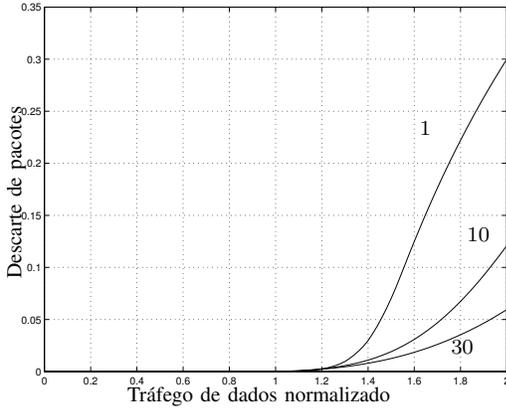


Fig. 4. Probabilidades de descarte de pacotes de dados para $b = 100$ e $r = 10 Er$ parametrizadas em função do tráfego nominal de voz.

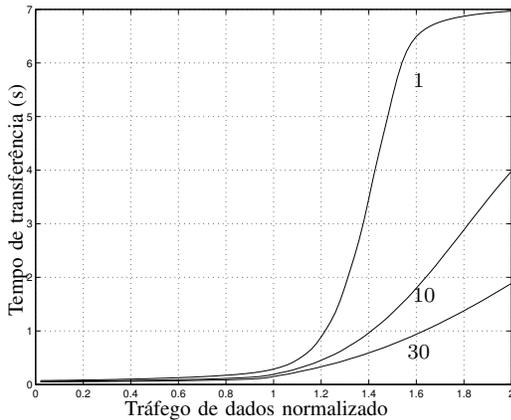


Fig. 5. Tempos médios de transferência de pacotes para $b = 100$ e $r = 10 Er$ parametrizados em função do tráfego nominal de voz.

A probabilidade de descarte de pacotes e o tempo médio de transferência são muito sensíveis ao aumento do tráfego de dados e a sensibilidade é tanto maior quanto menor o tráfego nominal de voz. Esse comportamento pode ser explicado pelo número médio de canais de voz não ocupados pelo tráfego de voz, que é tanto maior quanto maior o tráfego nominal de voz, sendo aproximadamente 4, 8 e 12 para os tráfegos de 1, 10 e 30 Er , respectivamente.

B. Resultados com Prioridade

O cenário para análise do dimensionamento do sistema com o modelo de prioridade implementado considera os casos com e sem preempção. O serviço de voz e o serviço de dados são comutados por pacotes e compartilham um servidor com

capacidade igual a $C + C_v$ canais, com taxa de transmissão igual a $(C + C_v)\gamma$ ($\gamma = 13.4 kbps$, nos exemplos numéricos) e *buffer* de tamanho infinito.

Os pacotes de voz são supostos de tamanho constante, $E\{Z_v\} = 268 bits$, ou seja, com variância nula. A taxa média de pacotes de uma conexão de voz foi suposta igual a 50 *pps*, implicando que um canal de voz gera 13.4 *kbps*. A ocorrência dos pacotes de voz foi suposta poissoniana. A taxa efetiva de ingresso de pacote de voz no sistema é alterada pelo bloqueio das conexões, isto é, o número máximo de conexões estabelecidas é sempre limitado por C_v . Assim, a taxa de pacotes de voz no sistema foi considerada igual a taxa produzida pelo número médio de conexões estabelecidas.

As capacidades C e C_v resultantes do dimensionamento para sistemas com prioridade, sem e com preempção, são mostrados na Tabela II. Os valores normalizados, em relação aos requisitos de qualidade de serviço especificados, para os tempos de transferência de pacotes de dados e de pacotes de voz, T_{dn} e T_{vn} , respectivamente, também são apresentados.

TABELA II
CAPACIDADES OBTIDAS COM OS MODELOS DE PRIORIDADE

Tráfego em Erlang		$\epsilon_v = 0.01$	sem preempção			com preempção		
ρ_v	ρ		C_v	C	T_{vn}	T_{dn}	C	T_{vn}
1	1	5	4	0.81	0.13	0	0.22	0.33
10	1	18	0	0.42	0.07	0	0.08	0.14
30	1	42	0	0.14	0.03	0	0.05	0.08
1	10	5	19	0.95	0.07	7	0.08	0.97
10	10	18	11	0.93	0.09	3	0.06	0.74
30	10	42	0	0.96	0.28	0	0.05	0.33
1	30	5	35	0.99	0.11	27	0.03	0.97
10	30	18	27	0.97	0.18	23	0.03	0.74
30	30	42	18	0.83	0.90	18	0.02	0.91

O número de canais, C_v , obtidos para atender a especificação de bloqueio de voz foi suficiente para acomodar, também, o tráfego de dados em vários experimentos, notadamente quando o tráfego de dados é pequeno. Além disso, a capacidade determinada sem preempção foi quase sempre maior que aquela com preempção. A especificação de tempo de transferência que determinou a capacidade C foi a de voz, para o modelo sem preempção, e a de dados para o modelo com preempção. É possível inferir que, se a especificação de atraso de voz fosse relaxada, por exemplo $\Delta_v = 200 ms$, o número de canais nos modelos com e sem preempção seria praticamente o mesmo.

Observe que quanto maior o número de canais C_v menor é o número de canais C para um dado tráfego de dados.

1) *Sobrecarga de Tráfego*: A sensibilidade do sistema dimensionado às variações de tráfego de voz e de dados foram analisadas através de simulação, na qual a soma do tráfego de dados e do tráfego efetivo de voz são limitadas pela capacidade do sistema devido a hipótese de *buffer* infinito. O tempo de transferência de pacotes foi simulado para $r = 10 Er$ e o número de canais C e C_v utilizados na simulação, para os padrões de tráfego de voz e de dados considerados, são apresentados na Tabela II.

No sistema com prioridade e sem preempção, o tempo de transferência dos pacotes de voz é bastante sensível à variação do tráfego de voz e de dados. Entretanto, as Figuras 6 e 7 mostram que os valores absolutos do tempo de transferência de voz são aceitáveis para o desempenho do sistema, em todos os casos analisados.

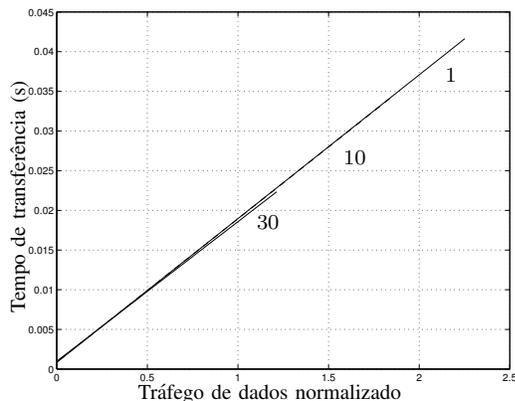


Fig. 6. Tempos médios de transferência de pacotes de voz, sem preempção, para $r = 10 Er$, parametrizados em função do tráfego nominal de voz.

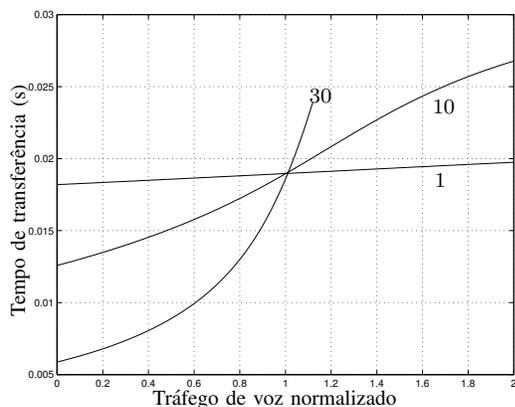


Fig. 7. Tempos médios de transferência de pacotes de voz, sem preempção, para $r = 10 Er$, parametrizados em função do tráfego nominal de voz.

A degradação do tempo médio de transferência dos pacotes de dados com a sobrecarga do tráfego de voz ou de dados é bastante severa devido à prioridade associada ao tráfego de voz. As Figuras 8 e 9 mostram que a degradação é tanto maior quanto maior é o tráfego nominal de voz.

O número de canais C é significativamente menor quando se usa preempção (vide Tabela II). Entretanto a sensibilidade à sobrecarga fica bastante degradada, conforme mostram as Figuras 10 e 11.

IV. CONCLUSÕES

O dimensionamento de enlaces sem fio com integração de serviços de voz e de dados foi abordado nesse trabalho. Duas estratégias foram consideradas. A primeira usa comutação de circuito para voz e de pacotes para dados; o enlace foi dimensionado considerando que os pacotes de dados usam um

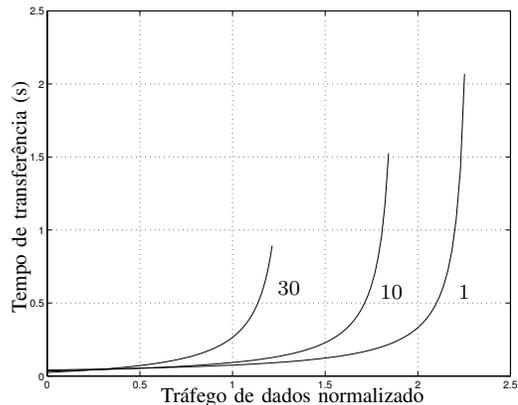


Fig. 8. Tempos médios de transferência de pacotes de dados, sem preempção, para $r = 10 Er$, parametrizados em função do tráfego nominal de voz.

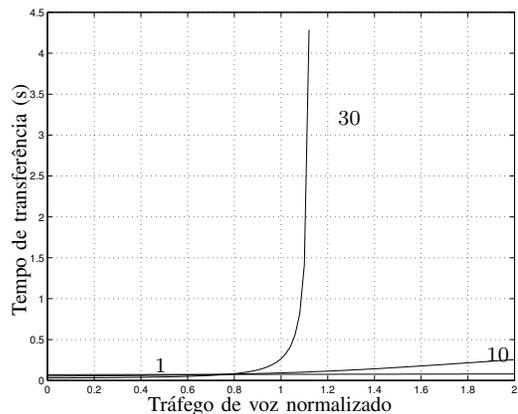


Fig. 9. Tempos médios de transferência de pacotes de dados, sem preempção, para $r = 10 Er$, parametrizados em função do tráfego nominal de voz.

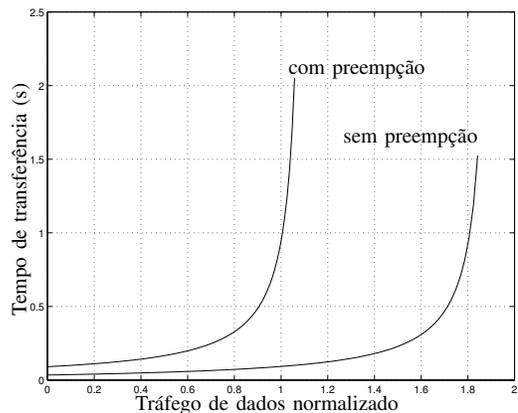


Fig. 10. Tempos médios de transferência de pacotes de dados, com e sem preempção, para $r = 10 Er$ e $\rho_v = 10 Er$.

sub-conjunto exclusivo de canais e compartilham os demais canais com o serviço de voz. A segunda usa comutação de pacotes para voz e dados, atribuindo prioridade ao serviço de voz.

Uma série de experimentos numéricos foram realizados, tanto no dimensionamento quanto na análise de sobrecargas, permitindo afirmar que:

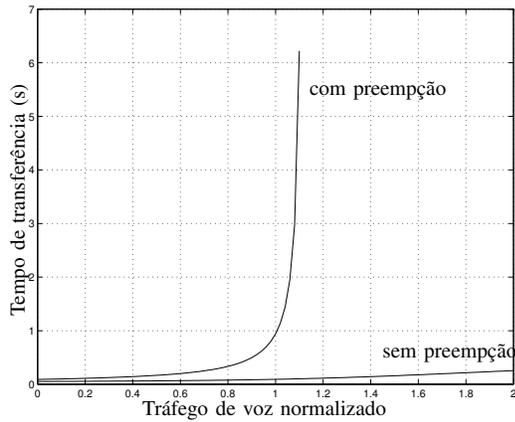


Fig. 11. Tempos médios de transferência de pacotes de dados, com e sem preempção, para $r = 10 Er$ e $\rho_v = 10 Er$.

- O número de canais, usados prioritariamente para voz, evidenciam o ganho de escala associado à fórmula de Erlang, isto é, a relação entre o tráfego e o número de canais decresce à medida que o tráfego aumenta. Uma consequência importante do ganho de escala é que a sensibilidade à sobrecarga é maior para altos tráfegos.
- O dimensionamento usando compartilhamento de canais, comutação de circuitos para voz e de pacotes para dados, proporciona uma diminuição do número de canais exclusivamente usados para dados, quando comparado com o dimensionamento sem compartilhamento.
 - A especificação determinante no cálculo das capacidades é a probabilidade de descarte de pacotes quando o *buffer* é pequeno ou quando o tráfego é grande.
 - O tempo médio de transferência e a probabilidade de descarte de pacotes de dados são bastante sensíveis à sobrecarga do tráfego de voz, sendo a sensibilidade tanto menor quanto menor for o tráfego nominal de voz. Entretanto, os valores absolutos da probabilidade de bloqueio e do tempo médio de transferência são aceitáveis para o desempenho do sistema.
 - O tempo médio de transferência e a probabilidade de descarte de pacotes do tráfego de dados são bastante sensíveis à sobrecarga do tráfego de dados, e a sensibilidade é tanto maior quanto menor o tráfego nominal de voz. Esse comportamento é devido ao número médio de canais não ocupados pelo tráfego de voz. Nesse caso também, os valores absolutos são aceitáveis para o desempenho do sistema.
- O dimensionamento usando prioridade resultou, em geral, em um número de canais menor do que o correspondente determinado pelo modelo de compartilhamento.
 - O número de canais de voz obtidos para atender a especificação de bloqueio de voz foi suficiente para acomodar, também, o tráfego de dados em vários experimentos, notadamente quando o tráfego de dados é pequeno.
 - O número de canais determinados usando preempção é, em geral, menor do que o determinado sem

preempção. Entretanto, a sensibilidade à sobrecarga de voz ou de dados da prioridade com preempção é muito maior do que aquela sem preempção.

- A sensibilidade à sobrecarga de voz ou de dados da prioridade sem preempção é menor do que a resultante do modelo com compartilhamento.
- O número de canais determinados sem preempção é menor do que aquele obtido usando o esquema com compartilhamento, quando o tráfego de voz é muito maior do que o tráfego de dados; e é maior quando o tráfego de voz é muito menor.

Embora o tráfego de voz possa ser estimado com uma maior precisão, permitindo um dimensionamento apropriado do enlace, uma estimativa do tráfego de dados é, quase sempre, de difícil predição. Assim, o dimensionamento de um enlace sem fio com integração de serviços de voz e de dados deve considerar o compromisso entre a mínima capacidade que satisfaça aos parâmetros de qualidade de serviço e a sensibilidade do sistemas às condições de sobrecarga.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Brand and H. Aghvami. *Multiple Access Protocols for Mobile Communications - GPRS, UMTS and Beyond*. John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [2] W. Chen, J. C. Wu, and H. Liu. Performance analysis of radio resource allocation in GSM/GPRS networks. In *Proceedings of IEEE 56th Vehicular Technology Conference, VTC'02-Fall*, volume 3, pages 1461 – 1465, September 2002.
- [3] S. Ghani and M. Schwartz. A decomposition approximation for the performance evaluation of non-preemptive priority in GSM/GPRS. In *Proceedings of Broadband Networks, 2004. First International Conference on*, pages 459 – 468, October 2004.
- [4] D. Gross and C. M. Harris. *Queueing Theory*. John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [5] T. Halonen, J. Romero, and J. Melero. *GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution Towards 3G/UMTS*. John Wiley & Sons, 2002.
- [6] Editor V.B. Iversen. *Teletraffic Engineering Handbook*. International Telecommunication Union, 2003.
- [7] Y.K. Kwok and V.K.N. Lau. Performance evaluation of multiple access control schemes for wireless multimedia services. *IEEE Proceedings Communications*, 148(2):86 – 94, April 2001.
- [8] M. O. Marques and I. S. Bonatti. Circuit-switched voice and packet-switched data wireless link dimensioning. In *Proceedings of International Workshop on Telecommunications, IWT'04*, volume 1, pages 1 – 5, August 2004.
- [9] M. O. Marques and I. S. Bonatti. Dimensioning of wireless links sharing voice and data. In *Proceedings of International Conference on Telecommunications, ICT'04*, volume LNCS 3124, pages 82 – 87, August 2004.
- [10] M. Meo, M. Marsan, and C. Batetta. Resource management policies in GPRS wireless internet access systems. In *Proceedings of International Conference on Dependable Systems and Networks, 2002*, pages 707 – 716, June 2002.
- [11] S. Ni and S. Haggman. GPRS performance estimation in GSM circuit switched services and GPRS shared resource systems. In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC'99*, volume 3, pages 1417 – 1421, September 1999.
- [12] M. Schartz. *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
- [13] A. Zahedi and K. Pahlavan. Capacity of a wireless LAN with voice and data services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 48(7):1160 – 1170, July 2000.