

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E
RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM
REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO
TRÁFEGO MULTIMÍDIA

SOLANGE DA SILVA

AGOSTO
2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E
RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM
REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO
TRÁFEGO MULTIMÍDIA**

Tese apresentada por Solange da Silva à Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica aprovada em 05/08/2005 pela banca examinadora:

Professor Paulo Roberto Guardieiro, Dr. (Orientador)

Professor Leonardo G. R. Guedes, Dr. UFG (Co-orientador)

Professor Gilberto Arantes Carrijo, Dr. (UFU)

Professor Alessandro Anzaloni, Dr. (ITA)

Professor Jamil Salem Barbar, Dr. (UFU)

**PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E
RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM
REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO
TRÁFEGO MULTIMÍDIA**

SOLANGE DA SILVA

Tese apresentada por Solange da Silva à Universidade Federal de
Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Elétrica.

Professor Paulo Roberto Guardieiro
Orientador

Professor Darizon Alves de Andrade
Coordenador do curso de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ambrósio José (*In memorian*) e Maria José, ao meu esposo Antonio Carlos, aos meus filhos Alexandre (*In memorian*) e Jordana, pelo apoio incessante, pela compreensão, paciência e amor, em todos os momentos de minha vida.

“E por essa vida, mais do que sonhar buscar realizar, rodear-se de amor, a todo instante agradecer a Deus, amar o próximo como a si mesmo, não desanimar frente às dificuldades, acreditar em si mesmo, incorporar a amizade que é Divina, nocautear os problemas, ajudar os outros de coração e louvar a Deus com toda a sinceridade.”

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por todas as proteções e graças recebidas ao longo de minha vida e, especialmente pelas bênçãos concedidas durante este trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Guardieiro agradeço pela orientação competente, disponibilidade, seriedade e atenção, que me permitiram crescer, tanto pessoal quanto profissionalmente. Sou grata pela compreensão e conselhos em momentos difíceis que compartilhamos nesta jornada.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Leonardo G. R. Guedes pela orientação e apoio.

Ao meu esposo Antonio Carlos, pela presença e companheirismo, amor e incentivo, minha eterna gratidão.

A minha filha Jordana, pela compreensão das ausências e pelo seu amor incondicional.

A toda minha família, especialmente minha mãe e irmãos, sobrinhos e afilhados, pelo amor, paciência, confiança, incentivo e orações.

À Universidade Católica de Goiás, agradeço em nome do professor Luiz Carlos, Diretor do Departamento de Ciência da Computação, pelo apoio irrestrito em todas as fases deste trabalho. Aos colegas do Departamento, agradeço todo apoio, amizade e consideração.

À Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia pelos recursos oferecidos para a minha formação e para a execução deste trabalho. Agradeço aos docentes dessa entidade, em nome dos professores Gilberto Arantes Carrijo e Edna Lúcia Flôres, pela competência e seriedade como educadores e seres humanos especiais que são.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Redes de Computadores, Clidenor Filho, Daniela Cunha, Antônio Carlos Jr., Johann Max, Érica, Rodrigo, Liliana, Asmara, Paulo Alecrim, Karine, Rodrigo, Luciano, pelo companheirismo e amizade.

À Maria José Pereira Dantas pelo incentivo, companheirismo e a disponibilidade que só uma verdadeira amizade permite.

Aos especiais amigos Zimmermann, Jose Olímpio, Pedro, Eugenio, Baleeiro, Rodrigo, Jerônimo, Roldão, Heron, Gláucia, Ivanilda, Rose, Ivana, Rocilde, Rosinha, Edilamar, Celina e Sérgio, muitíssimo obrigada pelo apoio, orações, conselhos e amizade.

Aos amigos Cláudio Fleury, Nágela Bittar, Jose Luiz Freitas, Jose Luiz Domingues, Acelino, Gisele, Arquimedes, João Manoel, Sandrerley, Rubens, José Ricardo, Cleiber e Lenza, companheiros de tantas viagens, estudos e boas conversas, quando treinamos sobre persistência, paciência e sacrifício em busca de um progresso e objetivo em comum.

Ao amigo Gustavo Adolfo, muitíssimo obrigada pelo apoio e companheirismo.

Agradeço muito as minhas secretárias Ray e Rita, que foram grandes aliadas nesta caminhada, auxiliando-me nas tarefas de dona de casa.

Aos funcionários da UFU: Joana, Marli, José Maria, Valéria, Kátia e Nei pela presteza e atenção com que sempre me atenderam.

A todos meus amigos e a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO TRÁFEGO MULTIMÍDIA

A próxima geração de redes móveis celulares de alta velocidade deverá suportar aplicações multimídia. O suporte de tais aplicações impõe requisitos de QoS (*Quality of Service*) que são considerados muito restritivos neste tipo de ambiente de rede devido à dificuldade de gerenciamento da escassa largura de banda, às perdas por *handoff* e ao bloqueio de chamadas. Em vista disso, propõem-se neste trabalho, novos esquemas alternativos de CAC (*Call Admission Control*), combinados com reserva adaptativa de largura de banda, numa abordagem fim a fim. Os resultados obtidos de estudos de desempenho baseados em modelagem e simulação demonstraram que os esquemas propostos, denominados de Reserva Direcionada (RDir) e Reserva Total (RT), apresentaram menores valores de CDP (*Call Dropping Probability*), quando comparados com esquemas semelhantes descritos na literatura. Dessa forma, estes esquemas são capazes de promover a manutenção das chamadas aceitas na rede e melhorar a qualidade de serviço das redes móveis celulares com suporte ao tráfego multimídia.

Palavras-chave: Redes Móveis Celulares com suporte ao tráfego multimídia, Reserva de Recursos, Qualidade de Serviço (QoS), Gerenciamento de *Handoff*, CAC.

ABSTRACT**PROPOSAL OF SCHEMES BASED IN CAC AND
RESOURCE RESERVATION TO QOS PROVISION IN
CELLULAR MOBILE NETWORKS WITH SUPPORT TO
MULTIMEDIA TRAFFIC**

The next generation of high-speed mobile/wireless networks will support multimedia applications. The support of such applications imposes Quality of Service (QoS) requirements that have been considered very restrictive in this network environment due to the difficulty of managing the scarce bandwidth, the droppings because of handoff and blocking calls. Thus, in this work, we propose alternative schemes of CAC (Call Admission Control) combined with adaptive bandwidth reservation schemes of adjacent cells, in an end-to-end approach. The results obtained from performance studies based on modeling and simulation, demonstrated that the proposed schemes called Directed Reserve (RDir) and Total Reserve (RT), have presented the lowest CDP (*Call Dropping Probability*), when compared with similar schemes described in the literature. Thus, these schemes are capable to promote the maintenance of the accepted calls within the network and improve the quality of service of the cellular mobile networks with support to multimedia traffic

Keywords: Cellular Mobile Networks with support to multimedia traffic, Quality of Service (QoS), Handoff Management, CAC.

PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO TRÁFEGO MULTIMÍDIA

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Qualidade de Serviço em Redes Móveis Celulares	9
2.1. Introdução	9
2.2. Conceitos Básicos	10
2.3. Redes Móveis Sem Fio	11
2.3.1. Desenvolvimento Tecnológico das Redes Móveis Celulares	11
2.4. Provimento de QoS em Redes Móveis Celulares	14
2.4.1. Parâmetros de QoS nas Redes Móveis Celulares	15
2.4.2. CAC nas Redes Móveis Celulares	16
2.5. Técnicas de Alocação de Canais	18
2.6. Gerenciamento de Recursos em Redes Móveis Celulares	19
2.6.1. Esquemas para Gerenciamento de Recursos	20
2.6.1.1. Esquema AT (<i>Admission Threshold</i>)	20
2.5.1.2. Esquema RS (<i>Resource Sharing</i>)	21
2.5.1.3. Esquema RR (<i>Resource Reserve</i>)	23

2.7.	Conclusão	25
3.	Propostas de Esquemas Baseados em CAC e Reserva de Recursos Para a Provisão de QoS em Redes Móveis Celulares com Suporte ao Tráfego Multimídia	26
3.1.	Introdução	26
3.2.	Definição do Problema	27
3.3.	Trabalhos Relacionados	28
3.3.1.	Tráfego de Voz	28
3.3.2.	Tráfego de Voz e de Dados	30
3.3.3.	Tráfego Multimídia	32
3.4.	Propostas de Esquemas Baseados em CAC e Reserva de Recursos para a Provisão de QoS em Redes Móveis Celulares com Suporte ao Tráfego Multimídia	34
3.4.1.	Esquema Sem Reserva (SR)	36
3.4.2.	Esquema com Reserva Total (RT)	37
3.4.3.	Esquema com Reserva na Origem (RO)	40
3.4.4.	Esquema com Reserva Direcionada (RDir)	41
3.5.	Reserva Adaptativa de Largura de Banda	43
3.6.	Análise Comparativa dos Esquemas Propostos	45
3.7.	Conclusão	46
4.	Avaliação de Desempenho dos Esquemas Propostos	48
4.1.	Introdução	48
4.2.	Avaliação de Desempenho dos Esquemas Propostos Baseada em Modelagem e Simulação	49
4.2.1.	O Modelo de Simulação	49
4.2.2.	Parâmetros de QoS Utilizados	51

4.2.3.	Ambiente de Simulação	51
4.2.4.	Apresentação e Análise dos Resultados Simulados	53
4.2.4.1	Utilização de Recursos	54
4.2.4.2	Valores de CDP e CBP	57
4.3.	Análise dos Resultados de Simulação apenas do Esquema RDir	69
4.3.1	Utilização de Largura de Banda	70
4.3.2	CBP	71
4.3.3	CDP	73
4.4.	Validação do Modelo de Simulação	77
4.4.1.	Modelagem Analítica do Esquema “SR”	78
4.4.2.	Apresentação e Análise de Resultados Obtidos no Estudo Analítico	83
4.3.	Análise Comparativa de Resultados Obtidos Via Simulação e Estudo Analítico	85
4.6.	Conclusão	86
5.	Conclusões	88
6.	Referências Bibliográficas	93
7.	Apêndice A	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Arquitetura de células de rádio em camadas	3
Figura 1.2	Procedimento de <i>handoff</i> e <i>roaming</i>	3
Figura 3.1	Esquema SR	37
Figura 3.2	Esquema com Reserva Total ou RT	37
Figura 3.3	Esquema com Reserva na Origem	40
Figura 3.4	Esquema RDir e o procedimento de <i>handoff</i>	41
Figura 3.5	Probabilidades de direção de movimentação do usuário no esquema RDir	41
Figura 4.1	Topologia celular adotada nas simulações	50
Figura 4.2	Percentual de utilização de largura de banda por célula	55
Figura 4.3	CBP versus CDP de conexões de Classe I - baixa mobilidade	57
Figura 4.4	CBP versus CDP de conexões de Classe I - alta mobilidade	58
Figura 4.5 (a)	CDP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade)	59
Figura 4.5 (b)	Detalhes da Figura 4.5 (a).	59
Figura 4.6 (a)	CDP do tráfego de Classe I (alta mobilidade)	60
Figura 4.6 (b)	Detalhes da Figura 4.6 (a).	61
Figura 4.7 (a)	CDP do tráfego de classe II (baixa mobilidade)	62
Figura 4.7 (b)	CDP do tráfego de Classe II (alta mobilidade)	62
Figura 4.8 (a)	CBP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade)	63
Figura 4.8 (b)	CBP do tráfego de Classe II (baixa mobilidade)	63
Figura 4.9 (a)	CBP do tráfego de Classe I (alta mobilidade)	63
Figura 4.9 (b)	CBP do tráfego de Classe II (alta mobilidade)	64
Figura 4.10 (a)	Taxa de CBP na origem Classe I (baixa mobilidade)	64
Figura 4.10 (b)	Taxa de CBP na origem Classe I (alta mobilidade)	65
Figura 4.11 (a)	Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas (Classe I)	65
Figura 4.11 (b)	Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas (Classe II)	66
Figura 4.12 (a)	Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas (Classe I)	66
Figura 4.12 (b)	Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas (Classe II)	67
Figura 4.13 (a)	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe I (baixa mobilidade)	67
Figura 4.13 (b)	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe II (baixa mobilidade)	68
Figura 4.14 (a)	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe I (alta mobilidade)	68
Figura 4.14 (b)	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe II (alta mobilidade)	69
Figura 4.15	Probabilidades de direção de movimento do usuário no esquema RDir	70
Figura 4.16	Percentual de utilização de largura de banda por célula (baixa mobilidade)	70
Figura 4.17	Percentual de utilização de largura de banda por célula (média mobilidade)	71
Figura 4.18	Percentual de utilização de largura de banda por célula (alta mobilidade)	71
Figura 4.19	CBP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade)	72
Figura 4.20	CBP do tráfego de Classe I (média mobilidade)	72
Figura 4.21	CBP do tráfego de Classe I (alta mobilidade)	72
Figura 4.22	CDP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade)	73
Figura 4.23	CDP do tráfego de Classe I (média mobilidade)	73
Figura 4.24	CDP do tráfego de Classe I (alta mobilidade)	74
Figura 4.25	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe I (baixa mobilidade)	75

Figura 4.26	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe I (média mobilidade)	75
Figura 4.27	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe I (alta mobilidade)	75
Figura 4.28	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe II (baixa mobilidade)	76
Figura 4.29	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe II (média mobilidade)	76
Figura 4.30	Probabilidade de aceitar <i>handoffs</i> - Classe II (alta mobilidade)	77
Figura 4.31	Modelo de um sistema genérico com <i>handoff</i>	79
Figura 4.32	Diagrama de transição de estados	79
Figura 4.33	Percentual de utilização de largura de banda	83
Figura 4.34	Probabilidade de bloqueio de requisições de novas chamadas (CBP)	84
Figura 4.35	Probabilidade de perdas de chamadas por <i>handoff</i> (CDP)	84
Figura 4.36	Utilização média de largura de banda	85
Figura 4.37	Probabilidade de bloqueio de requisições de novas chamadas (CBP)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Parâmetros utilizados na simulação.	52
Tabela 4.2	Tipos de serviços utilizados nas simulações	53
Tabela 4.3	Utilização média de largura de banda por célula	56
Tabela 4.4	Probabilidade média de bloqueio de chamadas (CBP) - Classe I	58
Tabela 4.5	Probabilidade média de perdas de chamadas por <i>handoff</i> (CDP) – Classe I	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABR	<i>Adaptive Bandwidth Reserve</i>
ACE	Alocação de canais por empréstimo
AFC	Alocação Fixa de Canais
ADC	Alocação Dinâmica de Canais
AHC	Alocação Híbrida de Canais
AT	<i>Admission Threshold</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Telephone System</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
B_h	Bloqueio de requisições de <i>handoff</i>
B-ISDN	<i>Broadband Integrated Service Digital Network</i>
B_o	Bloqueio de requisições de novas chamadas (ou chamadas originadas)
B_h	Perdas de requisições por <i>handoff</i>
BS	<i>Base Station</i>
BE	<i>Best Effort</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CBP	<i>Call Blocking Probability</i>
CDP	<i>Call Dropping Probability</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CA	<i>Complete Access</i>
CAC	<i>Call Admission Control</i>
CCC	Central de Comutação e Controle
CP	<i>Complete Partition</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for Global Evolution</i>

ERB	Estação Rádio Base
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GoS	<i>Grade of Service</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications 2000</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>ITU Telecommunication Standardization Sector</i>
JTACS	<i>Japan Total Access Communications Systems</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
NMT	<i>Nordic Mobile Systems</i>
NRT	<i>Non Real Time</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RA	<i>Restriction Access</i>
RR	<i>Resource Reserve</i>
RS	<i>Resource Sharing</i>
RDir	Esquema de Reserva Direcionada
RO	Esquema de Reserva na Origem

RT	Esquema de Reserva Total
SR	Esquema Sem Reserva
SRMC	Simulador de Redes Móveis Celulares
TACS	<i>Total Access Communications Systems</i>
TCP/IP	<i>Transport Control Protocol / Internet Protocol</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
UBR	<i>Unspecified Bit Rate</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WCDMA	<i>Wideband CDMA</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
2G	Segunda Geração das Redes Móveis Celulares
3G	Terceira Geração das Redes Móveis Celulares
4G	Quarta Geração das Redes Móveis Celulares

PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO TRÁFEGO MULTIMÍDIA

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Originalmente, as redes móveis celulares foram projetadas para atender apenas o tráfego de voz. Todavia, com o desenvolvimento tecnológico, tornou-se possível suportar também a transmissão de dados. Atualmente, esforços têm sido feitos para desenvolver as redes móveis celulares para que forneçam conectividade mundial e suporte ao tráfego multimídia, buscando integrar em uma mesma infra-estrutura de rede uma variedade de mídias, tais como voz, vídeo e dados [1,2].

Durante estes últimos anos os sistemas multimídia tem atraído muita a atenção na sociedade, particularmente na tecnologia da informação [3]. Diariamente, milhares de pessoas trocam informações, usando telefones celulares, PDAs (*Personal Digital Assistant*), *paggers* e outros equipamentos de comunicação sem fio.

Além disso, as redes móveis celulares tornaram-se uma necessidade da civilização moderna, requerendo garantia de qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) para as novas aplicações, tais como, videoconferências, aplicações multimídia, e outros inúmeros serviços disponíveis.

O principal benefício das redes de comunicação sem fio é exatamente permitir a mobilidade do usuário, liberdade esta que as redes com fio não oferecem. Livre das limitações das redes fixas convencionais, os usuários podem se mover quase sem restrições e acessar informações de qualquer lugar.

Nas redes móveis celulares de próxima geração (da terceira geração em diante), diversos tipos de aplicações de mídia de fluxo contínuo estarão presentes, não somente voz e dados, tais como jogos interativos, mundos virtuais, aprendizado a distância e muitas outras aplicações são anunciadas continuamente [2,4].

O advento dessas novas aplicações de multimídia, com requisitos diferentes das aplicações tradicionais e rígidos em relação aos parâmetros de QoS, sinaliza a necessidade de serviços adicionais a serem oferecidos no cenário de redes com fio e sem fio. Para habilitar a diversidade de serviços destas redes, é essencial que estas redes suportem tráfego de múltiplas classes com QoS [5].

Com o crescimento do número de usuários e o reduzido espectro de frequências da cobertura de rádio, as redes móveis celulares mais recentes estão sendo implementadas com células de tamanho pequeno (micro ou pico células) [6-10], que permitem alta capacidade de transmissão e melhor desempenho. Porém, as micro ou pico células incrementam o número de *handoffs*, que, por sua vez, resulta em rápidas mudanças nas condições do tráfego na rede, tornando difícil garantir QoS [11-13].

Surge então a idéia de uma arquitetura em camadas de células de rádio, com os conceitos de mega-células (próprias para satélites), das macro-células (para cobertura de

grandes áreas), das micro-células (para cobertura urbana) e das pico-células (para cobertura de ambientes internos, tais como casa ou escritório) [14], conforme ilustra a Figura 1.1.

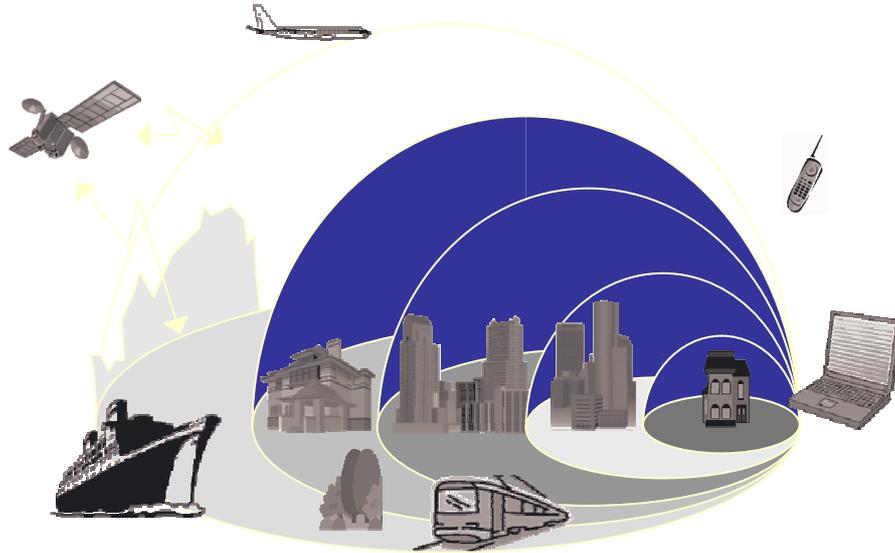


Figura 1.1 – Arquitetura de células de rádio em camadas [15].

As redes móveis celulares, usando microcélulas têm o problema inerente de muitas requisições de *handoff* devido a menor área coberta pelas células, conforme ilustra a Figura 1.2.

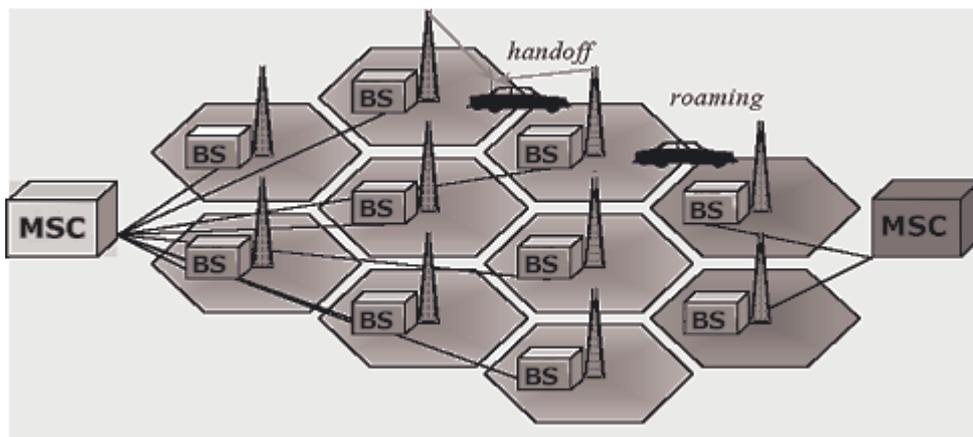


Figura 1.2 - Procedimento de *handoff* e *roaming*.

Assim, observa-se que esta característica de utilizar células pequenas leva ao congestionamento da rede e a altas taxas de perdas de chamadas. Além disso, as redes móveis

celulares experimentam severa limitação de banda passante, devido ao limitado espectro de frequências disponível.

Somando-se a estas características, existe a mobilidade do usuário, que torna ainda mais complexa a questão de provimento de QoS nas redes móveis celulares, que, transportando tráfego multimídia, têm que prover uma QoS pré-definida para as chamadas que estão sendo atendidas [1, 7-21].

Assim, a proposta deste trabalho é aplicar esquemas alternativos que combinam adequadamente CAC (Controle de Admissão de Chamadas) e reserva de largura de banda no instante do estabelecimento da conexão buscando solucionar o problema abordado acima.

Embora existam diversas pesquisas relatadas na literatura sobre a utilização de esquemas de CAC e reserva de largura de banda [17-43], a aplicação de mecanismos eficazes para prover QoS fim-a-fim para as diversas mídias em redes móveis celulares continua sendo um desafio.

Um esquema de controle de admissão baseado em reserva de largura de banda para prover garantias de QoS para tráfego multimídia, transportado em redes móveis celulares de alta velocidade é descrito em [1], o qual é denominado de Esquema ABR (*Adaptive Bandwidth Reservation*). Nesta solução são considerados dois tipos de tráfego: classe I (tráfego de tempo real) e classe II (tráfego de não tempo real).

O objetivo do esquema ABR é alocar largura de banda para o tráfego de classe I onde a chamada foi solicitada e reservar recursos nas células vizinhas, de tal forma que quando um usuário executar um *handoff*, a largura de banda reservada anteriormente é alocada para suportá-lo. Em relação aos esquemas que não fazem reserva de largura de banda, esta proposta fornece uma substancial diminuição da taxa de perdas de *handoff*, porém ela trata apenas a célula onde se origina a chamada e não considera a célula de destino.

Tendo a discussão descrita como motivação, propõe-se nesta tese, a realização de extensões ao esquema ABR mencionado. Inicialmente foi proposto um esquema denominado

de Esquema de Reserva Total ou RT. Porém, como ele reserva largura de banda em todas as células vizinhas daquela que origina a chamada, ocorre desperdício de recursos. Assim, buscando minimizar este desperdício, foi proposto o esquema denominado de Reserva Direcionada, ou RDir, que é capaz de oferecer melhor utilização de largura de banda.

Os esquemas aqui propostos têm como principal inovação o fato de oferecer suporte de QoS numa abordagem fim-a-fim. Considera-se “abordagem fim-a-fim” como sendo um procedimento de tratamento da requisição de nova chamada, ou de *handoff*, realizado tanto na célula que origina a chamada, quanto na célula de destino da chamada [122-131].

Como existem várias maneiras na literatura de definir qualidade de serviço, neste trabalho define-se QoS como sendo o efeito coletivo de desempenho de um serviço, o qual determina o grau de satisfação do usuário deste serviço [44, 45]. De acordo com esta definição, os parâmetros de QoS considerados neste trabalho são: utilização média de largura de banda por célula; CBP (*Call Blocking Probability*), que representa a probabilidade de uma requisição de nova chamada ser rejeitada e CDP (*Call Dropping Probability*), que representa a probabilidade de uma chamada ser cancelada durante o procedimento de *handoff*, em função da falta de recursos suficientes na nova célula [38, 46].

O Grau de Serviço, ou GoS (*Grade of Service*) é um parâmetro muito conveniente na engenharia porque dá uma idéia geral do QoS, mas não é diretamente percebido pelo usuário [47, 48]. Assim, a escolha destas métricas justifica-se porque os valores de CBP e CDP são diretamente percebidos pelos usuários. Além disso, CBP é uma métrica muito considerada quando se projeta esquemas de gerenciamento de recursos [19, 30, 33, 35, 49] por ser um dos critérios mais importantes de QoS nas redes móveis celulares [43].

No contexto da pesquisa, não se considerou outros fatores do meio sem fio que dificultam prover garantias de QoS tais como: desvanecimentos por múltiplos percursos, sombreamento (*shadowing*) e interferências. Portanto, o escopo deste trabalho encontra-se no

gerenciamento da largura de banda da interface aérea das redes móveis celulares, pois a limitação deste recurso é o principal obstáculo no atendimento aos requisitos de QoS.

Os esquemas propostos são denominados de esquema Sem Reserva ou SR, Esquema com Reserva apenas na Origem ou RO, Esquema de Reserva Total ou RT e Esquema de Reserva Direcionada ou RDir, que são sucintamente explanados a seguir.

O esquema SR representa o sistema móvel celular convencional. Não se realiza, neste esquema, reserva de recursos nas células adjacentes, na origem ou no destino. É utilizado apenas como um esquema de referência no estudo comparativo de avaliação de desempenho.

O esquema RO representa o esquema ABR, proposto em [1], numa abordagem fim-a-fim, aqui também implementado para fins de comparação. Realiza a reserva apenas na célula que origina a chamada, e em suas células vizinhas, caso tenha largura de banda disponível e o tráfego seja de classe I. Na célula para a qual a chamada se destina não é realizada nenhuma reserva, nem para as requisições de novas chamadas nem para *handoff*.

Já o esquema RT, efetua reserva total tanto na célula onde a chamada é originada quanto na célula de destino da chamada. O inovador deste esquema é que o procedimento de alocação e de reserva é efetuado na célula onde se encontra o usuário que recebe a chamada, ou seja, considera-se origem e destino. Faz-se a alocação de largura de banda para as chamadas de classe I, tanto na célula que origina a chamada (e em suas seis células vizinhas), quanto na célula destino (e suas adjacências), antecipando o *handoff*.

Buscando minimizar o desperdício de largura de banda do esquema RT e aumentar a eficiência da utilização de largura de banda, foi proposto o esquema denominado Reserva Direcionada, ou RDir. Este esquema, numa abordagem fim-a-fim, reserva recursos apenas nas três células adjacentes com maiores probabilidades de receber uma requisição de *handoff*. Considerando o conhecimento da última célula visitada por um usuário, a estação base ou BS (*Base Station*) determina quais são as próximas três células que terão mais chances de serem visitadas por ele.

Os esquemas propostos RDir e RT realizam a reserva de largura de banda, priorizando as requisições de *handoff*, buscando diminuir as perdas de chamadas de usuários já aceitos na rede, visando melhorar a percepção de QoS do usuário, pois este tipo de perda é mais desagradável para o usuário que o bloqueio de chamadas.

Todos os esquemas aqui propostos são executados em cada BS, de forma distribuída, evitando um controle centralizado. Os esquemas priorizam os usuários já admitidos na rede, buscando diminuir as perdas de chamadas durante os procedimentos de *handoff*, oferecendo suporte a QoS para tráfego multimídia transportado nas redes móveis celulares.

O presente trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma:

No Capítulo 1 expõe-se o cenário desafiador das redes móveis celulares, descreve-se as propostas de solução e os objetivos para o desenvolvimento do trabalho, além das contribuições.

O Capítulo 2 apresenta, sucintamente, os conceitos gerais e o desenvolvimento das redes móveis celulares, além de proporcionar uma abordagem sobre o provimento de QoS específicos para estas redes.

No Capítulo 3, além de uma descrição de trabalhos relacionados com o tema, descreve-se, com detalhes, os esquemas propostos neste trabalho, apresentando suas principais características.

No Capítulo 4 apresenta-se o ambiente de simulação e os parâmetros utilizados, bem como avalia-se o desempenho dos esquemas propostos por meio de ferramentas analíticas e técnicas de simulação digital. Apresenta-se, também, uma análise dos resultados de simulação obtidos. Em seguida, apresenta-se uma análise dos resultados obtidos a partir das diversas simulações e realiza-se uma comparação entre os resultados de simulação e analíticos.

No último capítulo apresentam-se as conclusões gerais relativas a este trabalho, assim como algumas sugestões para a continuidade desta pesquisa.

As referências bibliográficas disponibilizam a relação, na seqüência em que são mencionados no decorrer do texto, dos artigos básicos que norteiam o trabalho.

No Apêndice A apresenta-se a ferramenta de simulação utilizada neste trabalho, denominada de SRMC (Simulador de Redes Móveis Celulares), desenvolvida especialmente para realizar as simulações dos esquemas propostos.

CAPÍTULO 2

QUALIDADE DE SERVIÇOS EM REDES MÓVEIS CELULARES

2.1. INTRODUÇÃO

Redes móveis celulares transmitindo aplicações multimídia requerem controle de admissão e reserva dinâmica de recursos, e esta solução é bem mais complexa se comparada com as redes fixas.

As aplicações multimídia necessitam do suporte de diferentes taxas de tráfego com diversos requisitos de QoS, os quais precisam ser garantidos pela rede. Este desafio aumentou o interesse para as pesquisas na área.

Alguns requisitos importantes para o provimento de QoS em ambientes móveis são: a alocação de canal, reserva de largura de banda para suportar *handoff* e o tipo de tráfego a ser encaminhado.

Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns conceitos básicos relacionados com o provimento de QoS nas redes móveis celulares, bem como os principais esquemas de gerenciamento de recursos neste tipo de rede em uso, e em desenvolvimento, atualmente.

Na seção 2.2 são definidos alguns termos básicos utilizados neste trabalho. A seção 2.3 apresenta o desenvolvimento dessas redes, mostrando uma visão geral da evolução tecnológica das mesmas. A seção 2.4 trata especificamente de qualidade de serviço nas redes de comunicação com e sem fio. As seções 2.5 e 2.6 trazem algumas técnicas de alocação e gerenciamento de recursos em ambientes móveis. A seção 2.7 apresenta algumas técnicas de gerenciamento de recursos em redes móveis celulares suportando multimídia.

2.2. CONCEITOS BÁSICOS

Um sistema móvel sem fio pode ser definido como aquele que fornece aos usuários móveis acesso sem fio a serviços de informação [16].

Os termos redes com fio e sem fio são considerados neste trabalho. O termo “sem fio” significa que a transmissão de dados não ocorre com a utilização de meios guiados (*wired*) tais como cabos de par trançado ou fibra ótica, mas sim com meios não guiados como o ar, através de antenas e utilizando faixas de frequências do espectro eletromagnético (rádio, microondas e infravermelho). Já o termo móvel implica que a rede deve ter mecanismos para proporcionar serviços aos usuários de forma transparente enquanto estes se movimentam [50].

As redes móveis sem fio podem ser classificadas de acordo com a sua área de cobertura, taxa e tecnologia de transmissão. Redes de abrangência global são formadas por satélites em órbita ao redor do globo terrestre, provendo serviços de navegação, de *backbone* para redes de telefonia, entre outros.

As redes de longa distância sem fio ou *wireless* WAN (*Wide Area Networks*) estão próximas em ordem decrescente de cobertura e são compostas pelas redes de telefonia celular. Depois destas, podem ser citadas as redes locais sem fio ou WLAN (*Wireless Local Area Networks*).

2.3. REDES MÓVEIS SEM FIO

As redes móveis sem fio usam a tecnologia celular, onde a área total de cobertura do sistema é dividida em células, visando aumentar a disponibilidade da capacidade limitada dos enlaces sem fio. É empregado o reuso de frequências, que permite utilizar um mesmo conjunto de canais em áreas geográficas diferentes, distantes o suficiente uma das outras, de forma que as interferências estejam dentro de limites toleráveis.

O meio de transmissão das redes móveis sem fio é compartilhado entre os vários usuários do sistema. Para garantir um acesso compartilhado e com equidade para todos os terminais móveis são aplicadas técnicas de acesso múltiplo sob este espectro de frequências. As principais técnicas são: FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) e o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).

2.3.1. Desenvolvimento Tecnológico das Redes Móveis Celulares

Originalmente as redes móveis sem fio foram projetadas para atender o tráfego de voz, mas o desenvolvimento tecnológico tornou possível suportar a transmissão de dados. Atualmente, esforços têm sido feitos para empregar redes celulares que forneçam conectividade mundial e suporte ao tráfego multimídia.

As limitações operacionais dos sistemas de telefonia móvel convencionais levaram ao desenvolvimento das redes móveis celulares. As principais dificuldades destes sistemas estavam na capacidade de serviço limitado, no baixo desempenho e na utilização ineficiente do espectro de frequências disponíveis [18].

Nas discussões sobre o desenvolvimento das redes móveis celulares geralmente são referenciadas as seguintes gerações de sistemas:

- Primeira Geração ou 1G – Marcou o início da evolução das redes móveis celulares, devido ao conceito de célula. Compreende os sistemas de telefonia celular analógicos, focalizado no tráfego de voz, cuja técnica de acesso ao meio utilizada é o FDMA. Estes sistemas usam o conceito de reuso de frequência para utilização eficiente do espectro de frequências disponíveis. Estes subsistemas fornecem uma certa mobilidade aos usuários. Entretanto, a mobilidade é confinada à área de serviço de uma operadora de sistema celular. Estes sistemas possuem as seguintes características: baixa qualidade e capacidade de canais de comunicação, além de incompatibilidade entre os diversos sistemas existentes. Dentre os sistemas de 1ª Geração podem-se citar: AMPS (*Advanced Mobile Telephone System*) nos EUA, o TACS (*Total Access Communications Systems*) no Reino Unido, o JTACS (*Japan TACS*) no Japão e o NMT (*Nordic Mobile Systems*) nos países do norte Europeu (Dinamarca, Finlândia, Suécia e Noruega) [46].
- Segunda Geração ou 2G - Compreende os sistemas de telefonia celular digitais buscando ampliar a capacidade dos sistemas existentes. O processo de regeneração fornece as vantagens para transmissão digital. Também com foco no tráfego de voz, mas já apresentando artifícios para o tráfego de dados. A técnica de acesso ao meio usada neste sistema é TDMA ou CDMA nos Estados Unidos e o GSM (*Global System for Mobile Communications*) na Europa, que também utiliza o TDMA, mas incompatível com o sistema americano. O GSM permitiu a padronização das comunicações móveis celulares na Europa, permitindo aos usuários se comunicarem em qualquer país europeu. A segunda geração ou 2G, de redes móveis celulares oferece a vantagem de custo. O consumo de potência em equipamentos móveis e o tamanho dos equipamentos são menores, porém a largura de banda requerida por chamada nestes sistemas

é maior. Novos serviços de comunicação de voz são introduzidos, com maior qualidade, capacidade de transmissão e atendimento de maior número de usuários.

- Terceira Geração ou 3G - Compreende a integração das redes com fio e sem fio. A idéia é criar uma infra-estrutura que permita aos usuários trocarem qualquer tipo de informação, de qualquer local desejado [51]. A rede móvel celular de terceira geração tem como proposta a padronização global das comunicações móveis disponibilizando altas taxas de transmissão de dados para possibilitar o suporte a aplicações de multimídia e acesso à Internet. A técnica de acesso ao meio para ser utilizada nesta rede é TDMA ou CDMA, ou ainda uma combinação de ambas. Os sistemas 3G, que estão sendo desenvolvidos pelo ITU (*International Telecommunication Union*) segundo a especificação IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication 2000*), deverão prover serviços de voz, dados e aplicações multimídia sobre as redes móveis celulares. Os sistemas 3G representam um sistema avançado de telecomunicações, buscando convergir a telefonia celular, Internet e a multimídia. O WCDMA é a proposta mais aceita para convergência das tecnologias de segunda geração, mas deve coexistir com GSM e TDMA/IS-136, bem como, com as evoluções destas redes, tais como GPRS (*General Packet Radio Service*) e EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) [46]. O GPRS e o EDGE são atualizações da tecnologia GSM, substituindo a comutação de circuitos por comutação de pacotes e são conhecidas como redes 2,5G, ou seja, redes intermediárias de segunda para terceira geração.
- Quarta Geração ou 4G – Esta geração significa "tudo poderá funcionar em todo lugar". Espera-se que esta nova geração de rede seja capaz de interagir em especial com o conteúdo de informação baseada na Internet [52, 53]. Os

sistemas 4G focam a integração transparente de tecnologias *wireless* existentes incluindo GSM, redes locais sem fio (WLAN) e *Bluetooth*, suportando serviços personalizados, provendo desempenho estável do sistema e qualidade de serviço. Algumas de suas características são: pode ser usada em qualquer lugar, a qualquer hora, e com qualquer tecnologia; suportarão serviços multimídia, com transmissões de baixo custo, serviços integrados e personalizados; as redes 4G são todas baseadas em “All-IP” [54].

Do acima exposto conclui-se que as redes móveis celulares de alta velocidade e de próxima geração deverão suportar diversos tipos de tráfego multimídia. Todavia, este tipo de tráfego coloca alta demanda de largura de banda na rede móvel celular, a qual é o recurso mais crítico destas redes. Assim, exige-se a disponibilidade de mecanismos que permitam o uso mais eficiente deste recurso [15].

2.4. PROVIMENTO DE QoS EM REDES MÓVEIS CELULARES

De acordo com a literatura pesquisada [45, 55-57], existem várias maneiras de definir Qualidade de Serviço.

A definição básica do termo QoS, dada pelo ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) na Recomendação E.800 [45], é: “ QoS é o efeito coletivo do desempenho de um serviço, o qual determina o grau de satisfação do usuário”. De uma maneira geral, QoS especifica o grau de satisfação do usuário com relação a prestação de um serviço.

A qualidade de serviço pode ser definida como um requisito da aplicação para a qual exige-se que determinados parâmetros (atrasos, vazão, perdas, entre outros) estejam dentro de limites máximos e mínimos bem definidos [55].

A qualidade de serviço pode ser definida quantitativamente em termos de parâmetros como: atraso fim-a-fim, variação do atraso ou *jitter*, vazão e taxa de perdas [56].

2.4.1. Parâmetros de QoS nas Redes Móveis Celulares

Diferente das redes de comunicação com fio, que assumem uma baixa taxa de erros e usuários estacionários, existem alguns fatores que dificultam a provisão de QoS para as redes móveis sem fio [58, 59], tais como:

- Os recursos são mais escassos do que nas redes fixas. Enlaces sem fio, em geral, provêm muito menos largura de banda que os enlaces com fio [60].
- Em redes sem fio os canais não são confiáveis, pois estão sujeitos a erros devido ao ruído, desvanecimento por múltiplos percursos (*multipath fading*), sombreamento e interferências.
- A mobilidade do usuário proporciona novos desafios que não existem nas redes tradicionais. A tendência atual de reduzir o tamanho das células, de forma a acomodar um maior número de usuários numa determinada área torna ainda mais difícil tratar problemas relacionados à mobilidade [7].
- À medida que os usuários movimentam-se, a rede precisa rastreá-los para descobrir suas localizações visando efetuar a entrega de dados.
- Se na nova localização do usuário não houver a largura de banda necessária isso pode causar o cancelamento da chamada.

Os parâmetros de QoS requeridos por uma aplicação em redes fixas podem também ser considerados pelas aplicações em redes móveis celulares. Porém, devido aos problemas mencionados, um novo conjunto de parâmetros mais específico vem sendo proposto nas pesquisas sobre QoS em tais redes.

Os principais parâmetros de QoS de uma rede móvel celular são: a probabilidade de bloqueio de novas chamadas e a probabilidade de falhas de *handoff* [38, 46, 61, 62]. Estas duas métricas de QoS são comumente denominadas de:

- *CBP (Call Blocking Probability)*: probabilidade de uma requisição de nova chamada ser rejeitada.
- *CDP (Call Dropping Probability)*: probabilidade de uma chamada ser cancelada durante o *handoff* em função da falta de recursos suficientes na nova célula.

CBP é uma métrica muito considerada quando se projeta esquemas de gerenciamento de recursos [19, 30, 33, 35, 49, 64]. O percentual de utilização de largura de banda é outra métrica muito utilizada como parâmetro de QoS [1, 17-39].

Além disso, novos parâmetros foram sugeridos, tais como o *loss profile* em [58], a probabilidade de comunicação transparente em [65], sobrecarga, escala de tempo de interrupção em [66], a probabilidade de degradação de chamadas em [67], e taxas de saturação e grau de saturação [68].

2.4.2. CAC nas Redes Móveis Celulares

Um dos fatores que determinam a QoS que uma aplicação receberá em uma rede de comunicação é a disponibilidade de recursos necessários para garantir o atendimento aos requisitos e durante todo o tempo de duração da conexão. Isso requer um mecanismo capaz de estimar se há recursos, de forma a aceitar, ou não, uma conexão de acordo com o seu nível de QoS requerido. Este mecanismo é comumente denominado de CAC.

O CAC foi extensivamente estudado em redes com fio como sendo uma ferramenta essencial para controle de congestionamento e provimento de QoS, em redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e B-ISDN (*Broadband Integrated Service Digital Network*). Entretanto, o problema do CAC em redes sem fio é mais sofisticado devido às características

únicas destas redes, tais como interferência de acesso múltiplo de canal, requisições de *handoff* e largura de banda limitada. Nas duas últimas décadas devido ao enorme crescimento e popularidade das redes sem fio, o CAC passou a ter um papel muito importante em termos de qualidade de sinal, probabilidades de bloqueio e de perdas de chamadas por *handoff* [69].

Muitas soluções têm sido apresentadas na literatura [1, 6, 17-21, 32, 33, 40] as quais buscam a resolução do problema de alocação de recursos para suportar tráfego multimídia em redes microcelulares. Em todas estas pesquisas, o tráfego de tempo real que é mais sensível aos atrasos, recebe maior prioridade em relação ao tráfego de não tempo real. Nestes esquemas, a abordagem central usada é o CAC, cuja função é limitar o número de chamadas aceitas dentro da rede.

A finalidade de um mecanismo de CAC nas redes sem fio é garantir QoS para usuários móveis e para alcançar uma alta eficiência da utilização dos recursos, porém alcançar estes dois objetivos é tecnicamente desafiador devido à largura de banda limitada, mobilidade do usuário e a natureza heterogênea do tráfego multimídia [40, 70].

Considerando a limitação de recursos de uma rede móvel celular, o objetivo de um mecanismo de CAC é limitar o número de conexões de tal forma que, uma vez que uma requisição de nova chamada seja aceita, a probabilidade desta encontrar um estado congestionado deve ser aceitavelmente baixa, provendo a QoS requerida [32].

2.5. TÉCNICAS DE ALOCAÇÃO DE CANAIS

O gerenciamento de recursos realizado em redes móveis celulares é comumente referido como alocação de canal [18].

Várias técnicas de alocação de canais podem ser encontradas na literatura [71, 72], e todas elas têm como objetivo conseguir um gerenciamento eficiente na distribuição de recursos para os usuários [73]. Basicamente as técnicas de alocação de canais são as seguintes:

- AFC (Alocação Fixa de Canais) - Nas estratégias AFC os canais são distribuídos entre as células de forma que cada uma possui um grupo de canais exclusivos.
- ADC (Alocação Dinâmica de Canais) - Nas técnicas ADC todos os canais podem ser usados por qualquer célula, desde que seja mantida a distância mínima de reuso. Não existe relação fixa entre os canais e as células, o que possibilita uma maior eficiência na utilização dos canais por parte das técnicas ADC.
- AHC (Alocação Híbrida de Canais) - Outras técnicas combinam alocação fixa e dinâmica e são classificadas como AHC. Neste caso cada célula tem uma porcentagem fixa de canais pré-alocados, sendo que os demais são atribuídos de forma dinâmica. O resultado disso é que a capacidade é aumentada e a taxa de perdas de chamadas diminui.
- ACE (Alocação de Canal por Empréstimo) - Esta técnica pode ser utilizada quando uma célula está com todos os canais ocupados e utiliza canais de outra célula para evitar bloqueio de uma chamada.

A maioria dos padrões atuais em funcionamento, desenvolvidos para TDMA e FDMA utilizam técnicas AFC. No entanto elas não são adaptativas às variações do tráfego. Alguns sistemas utilizam a ADC, como é o caso do GSM.

Nas propostas de evolução dos padrões atuais para os sistemas de terceira geração também está sendo considerado o suporte às técnicas ADC. As técnicas ADC podem ser divididas em centralizadas e distribuídas. Um controle centralizado exige um grande poder computacional por parte da MSC (*Mobile Switching Center*). Já um controle distribuído exige uma arquitetura de comunicação entre as BSs muito eficiente, provocando uma elevada carga de sinalização.

2.6. GERENCIAMENTO DE RECURSOS EM REDES MÓVEIS CELULARES

Gerenciamento de recursos em redes microcelulares, suportando aplicações multimídia sugere a resolução do problema de freqüentes procedimentos de *handoff* [17]. Este gerenciamento envolve a reserva de largura de banda para as requisições de *handoff* ou controle de admissão de chamadas distribuído.

Além disso, o gerenciamento depende da quantidade de informações disponível na BS de cada célula em serviço. O padrão de mobilidade imprevisível de usuários móveis torna o gerenciamento de recurso mais difícil. Se as informações sobre os usuários ficam disponibilizadas, os esquemas de gerenciamento tornam-se mais efetivos.

O tráfego multimídia impõe a necessidade de garantir níveis de QoS pré-definidos a todas as chamadas atendidas pela rede. Em redes microcelulares suportando este tipo de tráfego, os esquemas de alocação de recursos precisam ser projetados de tal forma que uma chamada possa ter garantias de QoS, uma vez que ela tenha sido aceita na rede.

O esquema de alocação de recursos para o tráfego multimídia torna-se mais complexo quando se considera suas diferentes classes. Estas classes possuem diferentes características no tocante à taxa de erros e atrasos. Os esquemas de alocação de recursos devem ser sensíveis às mudanças de condições do tráfego da rede e estarem aptos a se adaptarem rapidamente, conforme ocorrem as mudanças de carga de tráfego da rede.

Cada célula suporta uma quantidade pré-determinada de conexões de chamadas. Este limiar de chamadas é periodicamente calculado, dependendo do número de chamadas existentes na célula, na qual estas chamadas chegam, (e suas células adjacentes) e dos recursos utilizados por todas as chamadas da célula. Uma vez que o limiar é alcançado, todas as requisições subseqüentes para as novas conexões são recusadas.

2.6.1. Esquemas para Gerenciamento de Recursos

De maneira sucinta, abaixo estão descritos os principais esquemas utilizados para gerenciamento de recursos em redes móveis celulares.

2.6.1.1. Esquema AT (Admission Threshold)

No esquema AT, o gerenciamento de recursos é feito através do limiar de admissão, periodicamente calculado, e uma vez que este limiar é alcançado, bloqueiam-se a admissão de novas chamadas. A decisão de admitir uma chamada é tomada de maneira distribuída, ou seja, cada célula toma uma decisão, com base nas informações de estado trocadas com as células adjacentes, periodicamente. Quando uma nova chamada é requisitada, o sistema estima o estado da célula no qual a requisição de admissão de chamada é feita, além de verificar o estado das células adjacentes.

Este esquema conta com a predição dos futuros eventos na rede. Como resultado, o desempenho pode ser imprevisível em ambientes de tráfego que muda muito rapidamente, o que é comum nas redes microcelulares. Detalhes deste esquema encontram-se na referência [33].

2.6.1.2. Esquema RS (Resource Sharing)

O esquema RS é baseado no compartilhamento de recursos, fornecendo um mecanismo para garantir níveis diferentes de serviço para cada classe do tráfego multimídia, suportando assim, as diferentes exigências de limites para atrasos e erros das diferentes classes. Este mecanismo de compartilhamento de recursos reage rapidamente às mudanças de tráfego na célula.

Uma estratégia de CAC adaptativa, a qual reage mudando conforme a taxa de chegadas de chamada pode ser usada para manter a taxa de perdas de *handoff* e a taxa de terminação forçada em níveis aceitavelmente mais baixos.

O CAC diferencia as novas chamadas conforme sua classe de tráfego, e a decisão de aceitar ou rejeitar é tomada baseada no tipo da classe de tráfego da requisição de conexão de novas chamadas e no número de conexões de chamadas de cada classe que está sendo atendida no conjunto de células adjacentes, ou *cell cluster*.

Para conexões de tempo real, uma requisição de nova chamada é bloqueada caso a célula não tenha largura de banda disponível para atendê-la. Um algoritmo similar é utilizado para atender as requisições de *handoff*.

As métricas de QoS para chamadas de tempo real são: probabilidade de falhas de *handoff* e probabilidade de terminação forçada de chamadas. Para chamadas de não tempo real, a largura de banda é compartilhada igualmente entre todas as conexões de não tempo real na célula. Algoritmos de compartilhamento de recursos fornecem melhor desempenho para uma classe particular de tráfego, e podem ser implementados usando diferentes mecanismos baseados na largura de banda disponível para essa mesma classe particular de tráfego.

Existem três diferentes formas nas quais os recursos podem ser compartilhados entre as várias classes de tráfego. Elas são descritas abaixo, considerando duas classes de tráfego: Classe I, que se refere ao tráfego de tempo real e Classe II, que se refere ao tráfego de não tempo real.

- **Partição completa** – conhecida também como CP (*Complete Partitioning*).

A largura de banda total é dividida entre as várias classes de tráfego. Para o caso de duas classes de tráfego, uma porção do recurso é alocado para as chamadas de Classe I e o restante é disponibilizado para a Classe II [74]. Este esquema é o mais ineficiente dos três esquemas de compartilhamento de recursos aqui mencionados. Partição fixa de recursos é ineficiente, pois

não responde às mudanças das condições do tráfego, quando os recursos não utilizados por uma classe ficam desperdiçados e não podem ser usados pelas outras classes.

- **Acesso Completo** ou CA (*Complete Acces*) - A Classe I tem acesso à largura de banda total da célula, com prioridade preemptiva sobre as chamadas de Classe II. A Classe II só utiliza a largura de banda não usada pelas chamadas de Classe I. Este esquema fornece o melhor desempenho para as chamadas de Classe I, à custa de um serviço ruim prestado às chamadas de Classe II.
- **Acesso Restrito** ou RA (*Restricted Access*) - Dentre os esquemas aqui descritos, este é o melhor deles em termos de desempenho. A Classe I tem acesso sobre a porção da largura de banda exclusiva para este tráfego, denominada de B_I , e esta porção deve ser menor que a largura de banda total, denominada de B , com prioridade preemptiva sobre as chamadas de Classe II. O restante da largura de banda, $(B - B_I)$, é reservada somente para as chamadas de Classe II. Chamadas de Classe II podem também usar a largura de banda não utilizada pelas chamadas de Classe I.

Resultados de estudos baseados em simulações realizados em [32] mostram que o esquema “Acesso Restrito” tem um melhor desempenho em relação aos esquemas “Partição Completa” ou “Acesso Completo”, considerando a probabilidade de perdas de *handoff* e probabilidade de terminação forçada de chamadas.

2.6.1.3. Esquema RR (*Resource Reserve*)

Esta solução baseia-se na reserva de recursos, ou seja, de largura de banda. Nos esquemas de CAC descritos acima, o limiar de admissão é periodicamente determinado

baseado nas condições de tráfego da rede, estatísticas de tempo de duração de chamadas e nas exigências de QoS das diferentes classes de tráfego. Nesse esquema de reserva de recursos, a decisão de aceitar uma chamada depende da disponibilidade de largura de banda na célula na qual chegam as requisições de chamadas, e nas suas células adjacentes, no momento de uma requisição de conexão de chamada.

O mecanismo de CAC utiliza as informações considerando o estado da rede no momento em que chega a chamada. O procedimento de admissão de chamadas difere conforme o tipo da classe (Classe I ou II). O procedimento é diferente também no tratamento para as requisições de novas chamadas e de *handoff*, sendo que o *handoff* tem prioridade em relação à requisição de nova chamada.

Este esquema reserva largura de banda nas células vizinhas para prover melhor desempenho em relação à taxa CDP. Para as chamadas de Classe I, a reserva de recursos é feita em todas as células adjacentes àquela onde chega a chamada. A quantidade de largura de banda a ser reservada nestas células vizinhas pode ser calculada usando várias estratégias, algumas delas, sugeridas em [1], as quais dependem do número total de chamadas de uma determinada classe ou da largura de banda máxima requerida por uma chamada.

Se uma conexão de Classe I é requisitada, a BS da célula na qual essa chamada chega toma a decisão observando os recursos disponíveis nessa célula e em suas seis células vizinhas. Uma requisição de nova chamada só é aceita se houver largura de banda na célula onde é originada a chamada e em todas as células adjacentes a ela, de forma a garantir QoS, caso contrário, a chamada é recusada. No caso de requisições de *handoff*, um procedimento similar é seguido, porém se a chamada pode ser atendida com uma quantidade mínima de largura de banda, é feita uma tentativa de atender estas chamadas, atribuindo o recurso necessário.

Para as requisições de novas chamadas de Classe II, não é feita reserva nas células adjacentes. Elas são aceitas se existir alguma largura de banda disponível na célula. As

chamadas de Classe II são, em geral, chamadas de dados que podem trafegar sob taxas de transmissão variadas. Cada chamada de Classe II possui uma largura de banda requisitada e uma largura de banda mínima necessária. Se a célula possui largura de banda disponível suficiente, então se tenta atribuir o valor requisitado, caso contrário, atribui-se a quantidade mínima. Uma requisição de nova chamada de Classe II é bloqueada caso a largura de banda mínima necessária não possa ser atribuída.

Para requisições de *handoff* de Classe II, o procedimento é similar, exceto que se a largura de banda mínima necessária não estiver disponível, à chamada é alocado o valor de largura de banda disponível. Um *handoff* só é perdido se a célula estiver em sua capacidade máxima de uso [17].

Quando uma chamada de Classe I efetua um *handoff*, a largura de banda reservada nas células adjacentes é liberada e nova reserva é feita nas novas células que se tornaram adjacentes daquela célula na qual a chamada chega. A largura de banda reservada também é liberada quando a chamada de Classe I termina ou se a chamada é perdida.

2.7. CONCLUSÃO

Este capítulo foi dedicado à apresentação de conceitos gerais utilizados nas redes móveis celulares e sobre o provimento de QoS no ambiente sem fio. Além disso, foram apresentadas, resumidamente, as evoluções tecnológicas destas redes, desde a primeira até a quarta geração.

Os parâmetros de QoS propostos para as redes fixas podem também ser aplicados para as redes móveis celulares. Porém, devido as características peculiares do ambiente móvel/celular, um novo conjunto de parâmetros está sendo proposto nas pesquisas sobre QoS em tais redes.

Além disso, o tráfego multimídia impõe a necessidade de garantir níveis de QoS pré-definidos a todas as chamadas atendidas pela rede móvel celular. Assim, os esquemas de

alocação de recursos precisam ser projetados de tal forma que uma chamada possa ter garantias de QoS, uma vez que ela tenha sido aceita na rede. Dessa forma, o esquema de alocação de recursos para o tráfego multimídia torna-se mais complexo quando se considera suas diferentes classes. Então, de maneira sucinta, foram descritas as principais técnicas de alocação e esquemas de gerenciamento de recursos utilizados nestas redes.

CAPÍTULO 3

PROPOSTAS DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QOS EM REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO TRÁFEGO MULTIMÍDIA

3.1. INTRODUÇÃO

Uma das áreas da tecnologia de comunicação com mais forte crescimento é a rede multimídia sem fio [21]. Em contradição à emergência de uma infra-estrutura de rede fixa multimídia com elevada capacidade de transmissão, a largura de banda ainda continua sendo um recurso extremamente escasso e valioso nas redes sem fio. Assim, para as redes móveis celulares de próxima geração transportando tráfego multimídia, alocação e gerenciamento de recursos são tópicos de grande importância.

Cada vez mais está evidente a integração de diversos serviços que diferem, principalmente, em termos de largura de banda exigida. Além disso, embora existam na literatura pesquisas sobre diferentes mecanismos de gerenciamento de QoS aplicados em redes móveis celulares, o provimento de QoS fim-a-fim continua sendo um desafio.

Assim, neste capítulo é apresentada uma proposta de novos esquemas alternativos para a provisão de QoS baseado em CAC e na reserva adaptativa de largura de banda nas células vizinhas e numa abordagem fim-a-fim. Estes esquemas propostos buscam oferecer QoS ao tráfego multimídia nas redes móveis celulares. A seção 3.2 define o problema abordado. A seção 3.3 apresenta os trabalhos relacionados ao problema abordado. Na seção 3.4, os esquemas propostos são apresentados.

3.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Originalmente, as redes móveis celulares foram projetadas para atender apenas o tráfego de voz. Todavia, com o desenvolvimento tecnológico, tornou-se possível suportar também a transmissão de dados. Atualmente, esforços têm sido feitos para desenvolver as redes móveis celulares para que forneçam conectividade mundial e suporte ao tráfego multimídia, buscando integrar em uma mesma infra-estrutura de rede uma variedade de mídias, tais como voz, vídeo e dados [1, 2].

Em vista do número de usuários, cada vez mais crescente, e da limitada banda passante reservada para as redes móveis celulares, muitas pesquisas sobre reserva de largura de banda e esquemas de CAC têm sido realizadas em redes móveis celulares [1, 17-21, 75].

Em tais redes, torna-se necessário prover uma garantia de QoS para as chamadas de tráfego multimídia suportadas. As pesquisas atuais na área de provimento de QoS em redes móveis celulares de alta velocidade focalizam o gerenciamento de recursos e CAC [1].

Freqüentes mudanças no tráfego da rede fazem com que o provimento de QoS se torne mais difícil de viabilizar [11-13]. O gerenciamento de recursos torna-se ainda mais complexo quando se trata de células pequenas, que são utilizadas para aumentar a eficiência no uso do espectro de freqüências [6-10]. Quanto menor a célula, maior é o número de *handoffs* devido à pequena área coberta por cada BS.

Atender aos requisitos de desempenho de diferentes aplicações, em termos de largura de banda, atraso fim a fim, variação de atraso e confiabilidade na transmissão de dados, é o principal objetivo das pesquisas na área de QoS. Entretanto, nas redes móveis celulares, a largura de banda continua sendo o recurso mais escasso.

Em vista disso, a questão fundamental está em fornecer um nível adequado de QoS para a correta operação de diferentes aplicações, considerando, ainda, a mobilidade do usuário e a alta variabilidade da qualidade do enlace de comunicação sem fio, principalmente em situações de congestionamento.

Levando em conta a discussão descrita, propõe-se, neste trabalho, esquemas alternativos de CAC baseados em reserva de largura de banda, com o objetivo de atender aos requisitos de QoS das aplicações multimídia nas redes móveis celulares.

3.3. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são apresentados alguns trabalhos relacionados, os quais propõem soluções para o problema citado na seção 3.2. Os trabalhos foram citados numa seqüência cronológica, seguindo a evolução das redes, onde se considera inicialmente apenas o tráfego de voz, a seguir, a integração de voz e dados, e por último, os trabalhos mais recentes, que tratam do tráfego multimídia.

Em [22] um canal é dividido em subcanais de tamanho fixo, resultando em desperdício de largura de banda (caso a taxa de chamadas não seja igual à largura de banda do canal fixado). Quando um *handoff* ocorre numa célula onde não há largura de banda suficiente, um canal que está sendo usado atualmente é dividido em dois subcanais, de tamanho idêntico, um para atender a chamada de *handoff* e o outro para atender as chamadas existentes que estão utilizando o canal. Esta solução não utiliza informações das células vizinhas e, além disso, não garante QoS, como se busca nos esquemas propostos neste presente trabalho.

Nos artigos [23-27] são discutidos esquemas baseados em realocação dinâmica de canais, onde os canais são re-allocados para diferentes células vizinhas, buscando reduzir a interferência e incrementar a capacidade do sistema como um todo. Os esquemas apresentados consideram que parte da largura de banda alocada a uma chamada em progresso pode ser removida e re-allocada para uma nova chamada ou para uma requisição de *handoff*. No entanto, esta solução exige controle centralizado para fazer uma atribuição de canal ótima, resultando em *overhead* significativo de tráfego de controle. Os autores consideram pouca ou nenhuma informação relacionada às células vizinhas. Somente se preocupam com a re-allocação do canal. Não tratam a reserva de largura de banda para as chamadas de *handoff* ou CAC e, por isso, não podem garantir limites para as perdas de chamadas de *handoff*.

Nos artigos [29-30] os autores utilizam a reserva de largura de banda para as requisições de *handoff* para garantir alta conectividade das chamadas aceitas na rede. Um número de canais é reservado em cada célula apenas para o *handoff*. Utilizam um sistema de espera, enfileirando as requisições de *handoff* quando não existe disponibilidade dos canais reservados disponível. Não se aplica o CAC e não se consideram as informações das células vizinhas. Esta solução reserva um número fixo de canais e não se adapta às mudanças das condições da rede, além de não considerar o CAC para garantir QoS, conforme se pretende neste presente trabalho.

Em todas as soluções apresentadas acima considera-se apenas tráfego de voz e não se aplica CAC. Nas pesquisas analisadas, a seguir, são considerados os tráfegos de voz e de dados.

Em [31-34] os autores aplicam o controle de admissão para garantir QoS, entretanto, não fazem reserva de largura de banda. Em [31] a solução apresentada não reserva largura de banda em células vizinhas e se adapta às condições da rede. A estratégia de controle de admissão (para voz e dados) é baseada num valor de limiar pré-determinado da média de

atraso ou das probabilidades de perdas de pacotes para tráfego de dados e sobre a probabilidade de bloqueio a longo prazo para o tráfego de voz.

Em [32], é proposto um controle de admissão implementando diferentes esquemas de compartilhamento de recursos, os quais são empregados para alocar os recursos para as diferentes classes de tráfego. Não considera reserva de largura de banda.

Em [33] a solução apresentada é baseada em controle de admissão distribuído, considerando o número de conexões existentes na célula onde uma requisição de conexão é gerada e o número de conexões existentes nas células vizinhas. O controle de admissão é executado em cada BS, de forma distribuída. Somente um tipo de tráfego é considerado. Não reserva largura de banda e não é adaptativo. Não é adequado para redes com diversos tipos de tráfego, com variados requisitos de largura de banda, uma vez que apenas o número de conexões não pode fornecer uma informação mais precisa, considerando a carga de tráfego na rede.

Em [34] é proposto um controle de admissão baseado na atribuição dinâmica de canal. Primeiro avaliam-se as condições de tráfego da rede na fase de controle de admissão, e só então os canais são atribuídos para as novas chamadas. Este mecanismo de controle de admissão é adaptativo, mas não reserva largura de banda nas células vizinhas, portanto, corre o risco de não ter habilidade para atender as exigências de QoS na existência das requisições de *handoff*, conforme pretende-se nos esquemas propostos neste trabalho.

Em [35-37] é apresentada uma solução baseada no conceito de “árvore virtual” (*virtual connection tree concept*), para suportar altas taxas de requisições de *handoff* entre as células. Esta árvore virtual representa conexões de usuários móveis que ficam dentro de área geográfica coberta por um número de células. Uma vez aceito, o usuário pode livremente fazer *handoff* para qualquer célula dentro desta árvore virtual, sem estar sujeito a um novo CAC. Este esquema considera um único tipo de tráfego. Considera somente o número total de conexões para decidir se aceita ou não a conexão.

Em [38] é apresentado uma das primeiras propostas de esquemas baseados em *clusters* (grupo de células) dinâmicos, denominado de *Shadow Cluster* (SC). O SC consiste em uma coleção de células agrupadas em função da mobilidade do usuário. A idéia do SC é que cada terminal móvel com uma conexão ativa estabeleça uma influência sobre as células adjacentes em função da sua localização atual e a direção do movimento. O SC é usado no CAC para permitir a predição de alocação de recursos. Neste esquema, os terminais móveis informam para as BS, nas células vizinhas, de suas exigências de largura de banda, posição e parâmetros de movimento nas chamadas estabelecidas. Baseada nestas informações, as BSs predizem as futuras demandas, reservam os recursos conforme solicitado e admitem somente aqueles terminais móveis que podem ser suportados adequadamente.

A desvantagem deste esquema é que ele requer conhecimentos detalhados, considerando os padrões de movimento do terminal, tais como, a probabilidade de um terminal móvel estar ativo em uma célula, em um dado instante de tempo. A precisão da predição depende de um número de fatores, tais como, padrões de comportamento dos terminais móveis e características da vizinhança física dos mesmos. A importância desta pesquisa está no fato de mostrar como os padrões de movimento são estimados e de empregar padrões de mobilidade do usuário que são, efetivamente, demonstradas nas simulações.

Nos trabalhos relacionados, a seguir, se aplicam esquemas de CAC para garantir QoS. Muitos dos esquemas existentes incluem, além do CAC, reserva dinâmica de recursos e renegociação de recursos com o objetivo de suportar as diversas exigências de QoS das aplicações [9].

Nos últimos anos várias pesquisas sobre gerenciamento de largura de banda em redes móveis suportando multimídia têm sido realizadas [1, 17-38, 43, 76-78, 80]. Novas técnicas foram desenvolvidas e estão sendo avaliadas, tais como: empréstimos e reserva de recursos, CAC, controle baseado em preempção e tolerância a falhas [21, 80].

Soluções foram apresentadas em [38, 61, 76, 80-86], baseadas em técnicas de predição para as futuras demandas. Entretanto, estes esquemas preditivos precisam da informação de mobilidade. Isso pode causar uma carga computacional pesada na rede e *overhead* na implementação.

Nos últimos anos foram desenvolvidos esquemas de reserva de largura de banda adaptativos para as redes móveis celulares, dentre eles, o esquema ABR [1], que serve de referência para esta tese. Este esquema ABR provê CAC e reserva de largura de banda adaptativa para garantir QoS. Considera dois tipos de tráfego: Classe I (tráfego de tempo real) e Classe II (tráfego de não tempo real). Seu objetivo é alocar largura de banda para o tráfego de Classe I, ou tráfego de tempo real, não só na célula onde a chamada foi solicitada, mas também em reservar recursos nas células vizinhas, de tal forma que quando um usuário executar um *handoff*, a largura de banda reservada anteriormente é alocada para suportá-lo. Para requisições de novas chamadas de Classe II (ou aplicações de melhor esforço), a largura de banda requisitada é efetuada apenas na célula que originou essa requisição. Estes valores de recursos reservados são ajustados dinamicamente em cada célula. Assim também acontece nos esquemas propostos nesta tese, porém, numa abordagem fim-a-fim.

Em [17], é apresentada uma proposta baseada em CAC, que buscam prover alto grau de garantia de QoS para tráfego multimídia transportado em redes móveis celulares de alta velocidade. Nesta proposta a largura de banda disponível é particionada e algumas partes são reservadas para serviços de tráfego de alta prioridade (tráfego de tempo real). Os autores em [17] buscam resolver os conflitos entre utilização de largura de banda, probabilidade de bloqueio de novas chamadas e probabilidade de chamadas perdidas. Utiliza dois mecanismos, um para efetuar o CAC e outro para fazer as reservas de largura de banda em função das condições de tráfego na rede, de forma *online*, sem predição do tráfego futuro, com base apenas no histórico de tráfego. Considera três grupos de tráfego conforme sua exigência de QoS: requisições de *handoff* em tempo real, requisições de *handoff* em não tempo real e

requisições de novas chamadas. É proposto um algoritmo para reserva de largura de banda adaptativo *on-line* que suporta vários tipos de serviços multimídia.

Comparando com o esquema ABR e com os esquemas propostos neste trabalho, para serviços multimídia sensíveis a QoS, o algoritmo apresentado em [17] obtém um balanceamento de desempenho mais apropriado entre exigências contraditórias como alta utilização de largura de banda e baixa probabilidade de perdas, porém possui a desvantagem de não considerar a mobilidade do usuário.

Em [18] os autores utilizam o conceito de renegociação de recursos e sugerem algumas modificações para melhorar as desvantagens no esquema de reserva de recursos. A renegociação de recursos parte do princípio que chamadas de Classe II (ou de não tempo real) são mais tolerantes aos atrasos em relação às chamadas de tempo real, (ou de Classe I). Tolerância a atraso é equivalente a aceitar uma taxa de serviço variável. Esta propriedade do tráfego de dados torna possível renegociar recursos em redes microcelulares. Assim, o esquema de renegociação de recursos adapta-se às mudanças das condições de tráfego na rede e pode ser implementado de maneira distribuída. Cada BS pode tomar as decisões sobre a quantidade de largura de banda que deve ser alocada para as chamadas de Classe II, dentro da área de serviço. A renegociação de recursos apresentada em [18] supera algumas das desvantagens associadas com a reserva de recursos, porém pode ser realizada apenas com os serviços de Classe II.

Em [19], é proposta uma infra-estrutura buscando prover QoS para os serviços multimídia nas redes sem fio de próxima geração. Tem como objetivo dar um tratamento diferenciado aos fluxos de tráfego multimídia na camada de enlace, combinando várias abordagens de CAC, tais como: reserva de canal, degradação de largura de banda e uma técnica de melhor utilização da largura de banda disponível chamada de “compactação de largura de banda”, reduzindo a porção deste recurso alocado para um fluxo em caso de escassez de recursos de rádio. Ao empregar esta técnica de compactação e comparando com [1], os autores conseguiram melhorar as probabilidades de admissão de chamadas, tanto de tempo real quanto de não tempo real.

Em [20] é realizado um estudo de técnicas para reserva de largura de banda e CAC apropriado, buscando prover garantias de QoS e diminuição das taxas de bloqueio de novas chamadas e de perdas de chamadas por *handoff* nas redes móveis celulares. Uma célula é particionada em seis setores, ou subcélulas, para acompanhar o deslocamento do usuário móvel com mais precisão. Comparando com [1], os autores conseguem acomodar um maior número de usuários, com uma redução significativa das taxas de bloqueio de novas chamadas e de perdas de requisições de *handoff*.

Assim, analisando o esquema ABR em relação aos esquemas que não fazem reserva de largura de banda, esta proposta fornece uma substancial diminuição da taxa de perda de *handoff*, porém ele trata apenas a célula que solicita a chamada e não considera a célula para onde essa chamada se destina, ou seja, não se considera a abordagem fim-a-fim, não aumentando o grau de percepção de QoS do usuário móvel.

3.4. PROPOSTA DE ESQUEMAS BASEADOS EM CAC E RESERVA DE RECURSOS PARA A PROVISÃO DE QoS EM REDES MÓVEIS CELULARES COM SUPORTE AO TRÁFEGO MULTIMÍDIA

Considerando o problema descrito na seção 3.2, propõe-se neste trabalho, como extensão à proposta apresentada em [1], um conjunto de esquemas alternativos baseados em CAC e em reserva de largura de banda nas células vizinhas, numa abordagem fim-a-fim.

Considera-se ainda que os enlaces fixos intra-redes, entre os centros de comutação ou MSCs e as estações base ou BSs possuem capacidade de transmissão suficiente para o atendimento aos requisitos de QoS de aplicações multimídia típicas. Portanto, o escopo deste trabalho encontra-se no gerenciamento da alocação da largura de banda disponível na interface aérea das redes móveis celulares, pois a limitação deste recurso é o principal obstáculo no atendimento aos requisitos de QoS.

No contexto da pesquisa, não se consideram outros fatores específicos do meio de transmissão sem fio, que também dificultam prover garantias de QoS, tais como: desvanecimentos por múltiplos percursos, sombreamento e interferências.

Os esquemas propostos são executados em cada BS da rede móvel celular, de forma distribuída, priorizando os usuários já admitidos na rede, com o objetivo de diminuir a probabilidade de perdas de chamadas durante os procedimentos de *handoff*.

Para atender à diversidade dos requisitos de QoS das aplicações de multimídia de tempo real, os esquemas propostos utilizam informações da célula onde se origina a requisição de nova chamada e as informações das células vizinhas, para determinar se admitem ou se rejeitam um determinado tráfego. As informações das células adjacentes são úteis devido às características de mobilidade dos usuários, para garantir um nível aceitável de qualidade para uma chamada, durante todo o seu tempo de duração [1].

Neste trabalho considera-se que o tráfego multimídia nas redes *wireless* é classificado em duas classes distintas:

- Classe I, ou tráfego em tempo real (tais como vídeo e voz);
- Classe II, ou tráfego não tempo real (tais como *email* e transferência de arquivos).

As conexões de Classe I recebem maior prioridade sobre as conexões de Classe II, pois são aplicações de tempo real, sensíveis a atrasos e que requerem garantias de QoS da rede.

Nos esquemas propostos considera-se que quando um terminal móvel requer uma nova chamada ou um *handoff*, ele fornecerá para a BS as seguintes informações: a sua classe de tráfego (I ou II), a quantidade de largura de banda desejada, a largura de banda mínima requerida da conexão (apenas caso seja tráfego de Classe I, para manter a qualidade aceitável).

Nos esquemas propostos considera-se apenas a comunicação entre usuários móveis, ou seja, não se considera a comunicação com usuários de redes fixas.

Os esquemas propostos neste trabalho são denominados de:

- Esquema Sem Reserva ou SR;

- Esquema de Reserva Total ou RT;
- Esquema com Reserva apenas na Origem ou RO;
- Esquema de Reserva Direcionada ou RDir.

3.4.1. Esquema Sem Reserva (SR)

O esquema SR representa um sistema móvel celular convencional, porém supõe a submissão de tráfego multimídia ao mesmo. Neste caso, não se realiza a reserva de recursos nas células adjacentes, na origem ou no destino, apenas aloca a quantidade requerida pelo serviço na célula que originou a chamada e na célula destinatária.

Este esquema aceita as requisições de *handoff* de Classe I se a largura de banda mínima requerida pela chamada estiver disponível na célula, e as requisições de *handoff* de Classe II são aceitas enquanto houver recursos disponíveis.

Todas as células da Figura 3.1 estão na cor branca para indicar que não foi realizada nenhuma reserva:

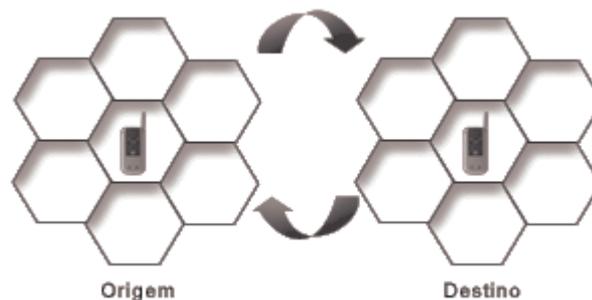


Figura 3.1. Esquema SR.

Este esquema é utilizado como referência nas comparações com os outros esquemas propostos, pois não realiza nenhum controle de reserva de recursos.

3.4.2. Esquema com Reserva Total (RT)

O esquema RT efetua reserva total de recursos para tráfego de Classe I, tanto na célula onde a chamada é originada (em suas adjacências) quanto na célula destinatária da chamada (e em suas seis células vizinhas). Não se faz reserva para serviços de Classe II. Na Figura 3.2, todas as células estão na cor vermelha para indicar que reserva-se largura de banda, tanto na origem quanto no destino.

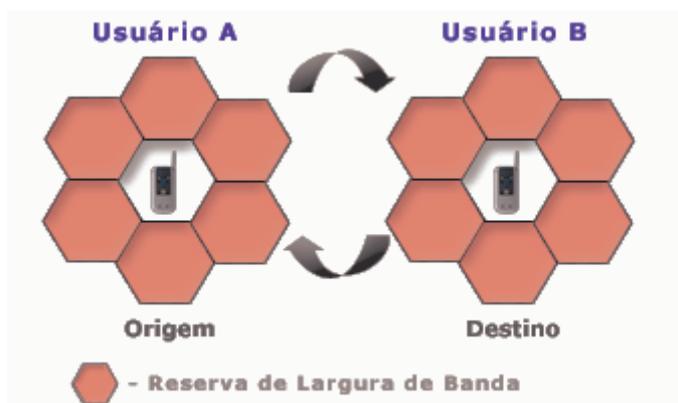


Figura 3.2. Esquema com Reserva Total ou RT.

O que se propõe de inovação nesse esquema é exatamente este procedimento de reserva de recursos, o qual antecipa o *handoff*, evitando a perda de chamadas aceitas, e aumenta o grau de percepção de QoS do usuário.

Ao receber uma requisição de nova chamada, no esquema RT tenta-se alocar a quantidade de largura de banda solicitada na célula onde foi originado o pedido. Se não houver recurso disponível para atender esta requisição, a chamada é rejeitada.

Por outro lado, se for serviço de Classe I, havendo recurso disponível para alocar a largura de banda requerida na célula que originou esta chamada e para todas suas seis células adjacentes, tanto na origem quanto no destino, então esta chamada é aceita. Se o procedimento de reserva não tiver sucesso em pelo menos uma das seis células vizinhas, então esta chamada é bloqueada.

O funcionamento do esquema RT está descrito por meio do seguinte pseudocódigo:

<u>Algoritmo de tratamento da requisição de nova chamada de Classe I</u>

```

IF Largura de Banda (LB) necessária  $\leq$  LB disponível na célula fonte THEN
    Aloca LB necessária na célula fonte
    Faz reserva em todas as 6 células vizinhas
ELSE
    Rejeita a conexão
END
IF LB necessária  $\leq$  LB disponível na célula destino THEN
    Aloca LB na célula destino
    Faz reserva em todas as 6 células vizinhas
ELSE
    Rejeita a conexão
END
END

```

No caso de requisições de *handoff* de Classe I, estas serão aceitas somente se a quantidade mínima de largura de banda exigida pela conexão for menor ou igual à largura de banda disponível na célula para onde o usuário está se transferindo.

O procedimento de tratamento requisição de *handoff* de Classe I está ilustrado no seguinte pseudocódigo:

Algoritmo de tratamento de requisição de *handoff* de Classe I

```

IF LB necessária  $\leq$  LB disponível (LB não utilizada + LB reservada) na célula THEN
    aloca LB mínima na célula
    reserva LB nas novas células vizinhas
    libera LB reservada nas antigas células vizinhas
    libera LB alocada na célula anterior
ELSE
    libera a conexão
END
END

```

Se a requisição de nova chamada pertence ao tráfego de Classe II, e há recursos disponíveis, a conexão é aceita, a largura de banda desejada é alocada na célula onde a requisição de nova chamada foi originada.

No tráfego de Classe II nenhuma reserva de recursos é efetuada nas células adjacentes, conforme descreve o pseudocódigo a seguir:

Algoritmo de tratamento de requisição de nova chamada de Classe II

```

IF LB necessária  $\leq$  LB não utilizada na célula fonte THEN
    Aloca LB necessária na célula fonte
ELSE
    Rejeita a conexão

```

```

END
IF LB necessária  $\leq$  LB não utilizada na célula destino THEN
    Aloca LB necessária na célula destino
ELSE
    Rejeita a conexão
END
END

```

No caso de requisições de *handoff* de Classe II, os pedidos sempre são aceitos enquanto existir alguma largura de banda disponível na célula para onde o usuário está se deslocando. A Classe II permite a redução na largura de banda reservada, caso a chamada seja aceita com a quantidade mínima necessária. Todavia, isso significa uma menor taxa de dados e um maior atraso de transmissão.

Além disso, esta classe pode tolerar um atraso máximo relativamente alto. As chamadas de Classe II são, geralmente, chamadas de dados, que podem ser atendidas com taxas de transmissão variadas. São as denominadas aplicações elásticas (tais como *e-mail*, *login* remoto, transferências de arquivos), que se adaptam conforme a quantidade de largura de banda disponível [57]. O algoritmo aloca a largura de banda mínima entre a desejada e a disponível na célula, conforme descreve o seguinte pseudocódigo:

```

Algoritmo de tratamento de requisição de handoff de Classe II
IF LB disponível (apenas a LB não utilizada) na célula  $>$  0 THEN
    Aloca LB para a conexão
ELSE
    Rejeita a conexão
END
END

```

Uma nova requisição de chamada de Classe II só é bloqueada caso a largura de banda mínima necessária não possa ser atribuída. Uma chamada de *handoff* só é perdida se a célula estiver em sua capacidade máxima de uso, sem nenhuma largura de banda disponível.

3.4.3. Esquema com Reserva na Origem (RO)

O esquema RO representa o esquema ABR, proposto em [1], numa abordagem fim-a-fim, aqui implementado para fins de comparação. Este esquema realiza a reserva apenas na célula que origina a chamada (origem), e em suas seis células vizinhas, desde que exista a largura de banda disponível e o tráfego seja de Classe I.

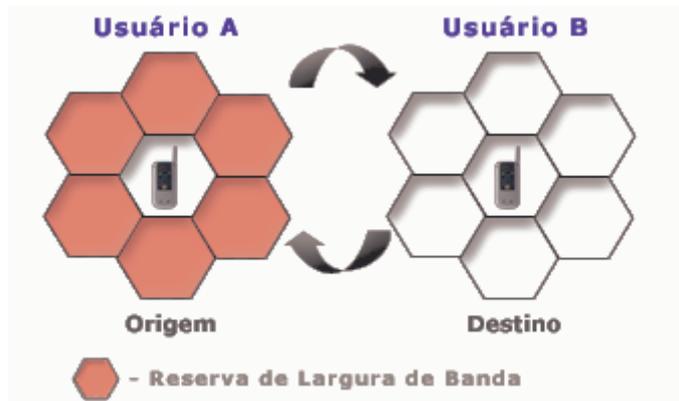


Figura 3.3. Esquema com Reserva na Origem

Na origem, conforme ilustra a Figura 3.3, as células estão na cor vermelha para indicar que nelas é realizada a reserva de recursos. A célula para a qual se destina a chamada (e suas vizinhas) está na cor branca para indicar que não é realizada nenhuma reserva, seja para as requisições de novas chamadas ou para o *handoff*.

O esquema RO trata as requisições de novas chamadas e requisições de *handoff* de Classe I da mesma forma que o esquema RT, apenas não realiza o procedimento de reserva no destino. Na célula destinatária da chamada, o tráfego de Classe I é tratado da mesma forma que o de Classe II.

3.4.4. Esquema com Reserva Direcionada (RDir)

Os esquemas apresentados até agora, não realizam nenhuma reserva de recursos, como no SR, ou realizam reserva em toda a vizinhança, como no RT, desperdiçando largura de banda. Ou ainda, reservam apenas na origem, como no esquema RO, não considerando o usuário na célula destino, em termos de reserva de recursos.

Assim, buscando minimizar o desperdício de largura de banda do esquema RT e também diminuir as desvantagens do esquema ABR [1], foi proposto o esquema com Reserva Direcionada, ou RDir.

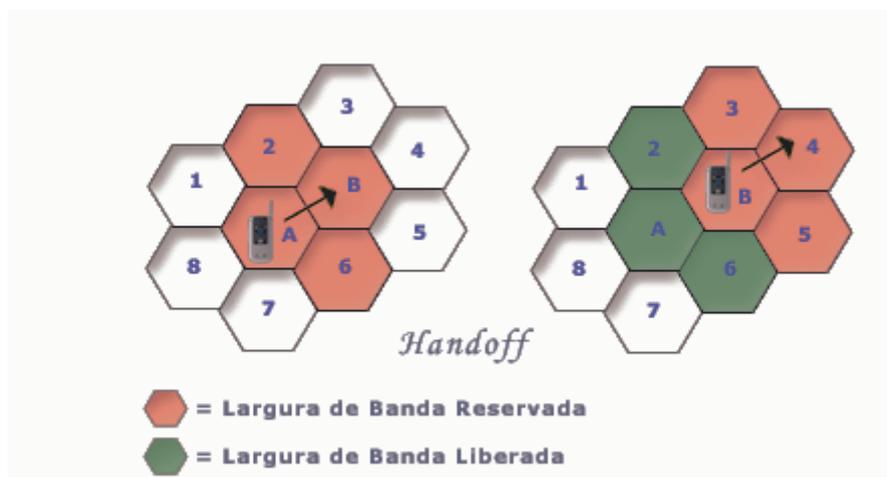


Figura 3.4. Esquema RDir, e o procedimento de *handoff*.

Este esquema trata a requisição de nova chamada e de *handoff* de Classe I na célula onde ela se origina e na célula para onde ela se destina, numa abordagem fim-a-fim, propondo reservar recursos apenas nas três células adjacentes com maiores probabilidades de receber uma requisição de *handoff*, conforme ilustra a Figura 3.4.

Considerando o conhecimento da última célula visitada anteriormente por um usuário, a BS determina quais são as próximas três células que terão maiores chances de serem visitadas por esse usuário. A BS considera a história de tráfego do usuário móvel. Para exemplificar, conforme mostrado na Figura 3.4, considera-se que uma chamada de Classe I seja originada na célula A. Assim, a BS aloca largura de banda para esta célula A e reserva recursos nas suas três células vizinhas (2, B e 6), antecipando-se ao *handoff*. Quando este usuário se move da célula A para a célula B, a BS reserva recursos nas próximas três células vizinhas a B (3, 4 e 5) e libera os recursos anteriormente reservados nas células 2, A e 6, que deixaram de ser adjacentes. Este mesmo procedimento de reserva é também efetuado na célula para onde se destina a chamada e repete-se nas próximas células visitadas.

Para chamadas de Classe II não se faz nenhuma reserva, da mesma forma que nos outros esquemas já apresentados.

As requisições de *handoff* de Classe I têm prioridade em relação às requisições de novas chamadas de Classe I, pois a idéia é garantir os recursos para as chamadas aceitas na rede, garantindo sua continuidade e garantindo a satisfação do usuário.

Após vários estudos de padrões de movimento [63], e considerando que existem diferentes tipos de orientação de mobilidade para um usuário, conforme a cidade na qual este se encontra, neste esquema implementa-se um modelo de mobilidade. Neste modelo, considera-se que o usuário, a partir da célula que esteja localizado, possui 40% de probabilidade de seguir em frente (célula B), 20% de seguir para a esquerda (célula 2) ou direita (célula 6), e probabilidades menores (8%, 4% e 4%) de seguir para as outras três células restantes do *cluster*, conforme mostra a Figura 3.5.

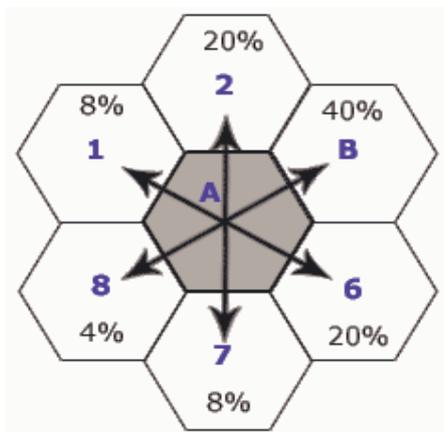


Figura 3.5. Probabilidades de direção de movimento do usuário no esquema RDir.

Se comparado com soluções encontradas na literatura pesquisada, o esquema RDir, com reserva em apenas três células adjacentes e numa abordagem fim-a-fim, é uma proposta nova e original.

3.5. RESERVA ADAPTATIVA DE LARGURA DE BANDA

A reserva de recursos dos esquemas RT, RO e RDir é adaptativa, ou seja, busca corresponder às condições da rede, em termos da quantidade de carga de tráfego, procurando minimizar o desperdício de largura de banda reservada nas células adjacentes.

Quando a demanda é maior que os recursos disponíveis, nem todas as requisições de novas chamadas ou de *handoffs* serão atendidas. Assim, alguma forma de controle de admissão precisa ser empregada.

Nos esquemas propostos, este processo de CAC e reserva é dinâmico e adaptativo. Para garantir que este processo de CAC e reserva seja adaptativo, o cálculo da quantidade de largura de banda a ser reservada em cada célula do conjunto de seis células vizinhas (ou nas três células, no caso do RDir), apenas para os serviços de Classe I, é realizado do seguinte modo:

- Soma todas as larguras de banda requeridas pelos usuários de Classe I presentes nas células vizinhas da célula que vai realizar a reserva e este resultado é denominado de $\sum LBreqC_1$;
- Localiza a conexão que requer maior largura de banda dentre todas as conexões de Classe I existentes nas células vizinhas, denominada de LBC_1maior ;
- Em seguida, efetua o seguinte cálculo, considerando as 6 células do *cluster*:

$$LBmedia = \frac{\sum LBreqC_1}{6} \quad (3.1)$$

Onde:

$LB_{m\u00e9dia}$ \u00e9 o valor m\u00e9dio da quantidade de largura de banda a ser reservada na c\u00e9lula;

e $\sum LB_{req}C_1$ \u00e9 a soma de todas as larguras de banda requerida pelo tr\u00e1fego de classe I das c\u00e9lulas vizinhas.

- Considerando que:
 - LBC_{1maior} seja a conex\u00e3o que requer maior largura de banda, LB_{req} \u00e9 a largura de banda requisitada para reserva;
 - Lr \u00e9 o limite de reserva; e LB_{reserv} \u00e9 a largura de banda efetivamente reservada;

Assim, a quantidade de largura de banda a ser reservada em cada c\u00e9lula do conjunto \u00e9 a seguinte:

IF $LB_{media} \geq LBC_{1maior}$

$LB_{req} \leftarrow LB_{m\u00e9dia}$

ELSE

$LB_{req} \leftarrow LBC_{1maior}$

IF $LB_{req} \geq Lr$

$LB_{reserv} \leftarrow Lr$

THEN $LB_{reserv} \leftarrow LB_{req}$

Desta maneira, os esquemas propostos s\u00e3o capazes monitorar a carga de tr\u00e1fego da rede, reservando, adaptativamente, a quantidade apropriada de largura de banda nas c\u00e9lulas, buscando atender as novas chamadas e ainda garantir a continuidade daquelas j\u00e1 aceitas na rede.

3.6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESQUEMAS PROPOSTOS

Os esquemas RDir e RT realizam a reserva de largura de banda, priorizando as requisições de *handoff*, buscando diminuir as perdas de chamadas de usuários já aceitos na rede, melhorando a percepção de QoS do usuário, pois este tipo de perda é, em geral, mais desagradável para o usuário que o bloqueio de chamadas.

Considerando-se dois usuários móveis em conversação numa rede móvel celular, algumas características dos esquemas propostos RT e RDir podem ser destacadas:

- Combinam controle de admissão e reserva de recursos para prover QoS fim a fim, ou seja, tanto na célula que origina a chamada, quanto na célula de destino desta chamada (abordagem fim-a-fim), gerenciando a largura de banda na célula origem e no destino da conexão, simultaneamente.
- Consideram a mobilidade do usuário.
- Usam informação local (célula que origina uma chamada) e remota (células vizinhas) para determinar se aceita ou rejeita uma nova conexão de *handoff*.
- Distinguem as requisições de novas chamadas e as de *handoff*.
- Priorizam o *handoff*, promovendo a continuidade das conexões já aceitas na rede, aumentando a percepção de QoS do usuário.
- Consideram dois tipos de tráfego: Classe I e Classe II.
- Efetuam as reservas de forma adaptativa, procurando minimizar o desperdício de largura de banda reservada nas células adjacentes.
- Os esquemas são executados de forma distribuída, não requerendo o controle centralizado.
- Reduzem a largura de banda atribuída para as chamadas de Classe II, priorizando as chamadas de Classe I, caso necessário.

3.7. CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentou-se uma proposta de esquemas alternativos baseados em CAC e na reserva de largura de banda.

Os esquemas propostos são denominados de: Esquema Sem Reserva ou SR, Esquema com Reserva apenas na Origem ou RO, Esquema de Reserva Total ou RT e Esquema de Reserva Direcionada ou RDir, que são sucintamente explanados a seguir.

O esquema SR representa uma extensão do sistema móvel celular convencional. Não realiza reserva de recursos nas células adjacentes, seja na origem ou no destino. É utilizado apenas como um esquema de referência no estudo comparativo de avaliação de desempenho.

O esquema RO realiza reserva apenas na célula que origina a chamada, e em suas células vizinhas, caso tenha largura de banda disponível e o tráfego seja de Classe I. No destino não é realizada nenhuma reserva, nem para as requisições de novas chamadas nem para as requisições de *handoff*. Este esquema é uma extensão do esquema ABR, proposto em [1], implementado neste trabalho para fins de comparação.

O esquema RT efetua reserva total tanto na célula onde a chamada é originada quanto na célula a que se destina a chamada. O que esse esquema traz de inovador é o uso do mesmo procedimento de alocação e de reserva, tanto na célula origem quanto na de destino. Dessa forma, aloca-se largura de banda para as chamadas de Classe I tanto na célula que origina a chamada (e em suas seis células vizinhas), quanto na célula de destino (e suas adjacências), antecipando o *handoff*.

Como o esquema RT pode ocasionar desperdício de largura de banda, para melhorar a sua eficiência e minimizar este desperdício, foi proposto o esquema RDir, que é capaz de realizar, numa abordagem fim-a-fim, a reserva de recursos apenas nas três células adjacentes com maiores probabilidades de receber uma requisição de *handoff*. Considerando o conhecimento da última célula visitada anteriormente por um usuário, a BS determina quais

são as próximas três células que terão mais chances de serem visitadas por esse usuário. Se comparado com soluções encontradas na literatura pesquisada, o esquema RDir é uma proposta nova e original.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS ESQUEMAS

PROPOSTOS

4.1. INTRODUÇÃO

Os esquemas alternativos de CAC baseados em reserva de largura de banda propostos no capítulo anterior, buscam atender aos requisitos de QoS das aplicações multimídia nas redes móveis celulares, aumentando o grau de satisfação do usuário.

Através de um estudo baseado em modelagem analítica e em simulação avalia-se o desempenho dos esquemas propostos, analisando os parâmetros de QoS tais como CBP, CDP e utilização média de largura de banda.

Na seção 4.2 avalia-se o desempenho dos esquemas propostos por meio de um estudo baseado em modelagem e simulação, descreve-se o modelo e o ambiente de simulação, os parâmetros utilizados, e apresenta-se a análise dos resultados de simulação obtidos.

Na seção 4.3. apresenta-se os resultados de simulação apenas do esquema proposto RDir, sob dois enfoques de direcionamento da mobilidade do usuário móvel: quando o usuário, vindo de uma célula, tem igual probabilidade de se deslocar para qualquer uma das seis células vizinhas. E outro, quando a BS, sabendo de qual célula o usuário está vindo, tem

maiores chances de acertar e direcionar as três células para onde este usuário irá (conforme diferentes valores de probabilidades), e assim, tratar do procedimento de reserva nas mesmas.

Na seção 4.4 é realizado um estudo analítico para avaliar o esquema proposto denominado Sem Reserva (SR), visando validar o modelo de simulação implementado. A seção 4.5 traz a análise dos resultados do estudo analítico e as comparações com os resultados obtidos com a simulação. Finalmente, na seção 4.6 são apresentadas as conclusões.

4.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS ESQUEMAS PROPOSTOS BASEADA EM MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A simulação pode ser definida como uma técnica para solucionar um problema através da análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema utilizando um computador digital [15]. Além disso, a simulação é uma técnica muito utilizada em vários ramos da engenharia para avaliar o desempenho de um sistema, pois permite avaliar uma larga variedade de serviços, sob diversas condições [87, 88].

A avaliação de desempenho dos esquemas propostos nesta tese será efetuada através de simulações. Esquemas propostos em [1, 17-21, 68, 89-90] com características similares, também foram avaliados através de simulação.

4.2.1. O Modelo de Simulação

Um modelo de simulação pode ser implementado em *software* para simular o comportamento de um sistema, uma vez conhecidos os cenários que dimensionarão um determinado sistema em estudo [15].

Um modelo é uma representação de um sistema real, com fidelidade suficiente para garantir a obtenção de soluções satisfatórias para o problema original [91, 92]. Os fenômenos que se apresentam para o estudo matemático são, em geral, excessivamente complexos se os considerarmos em todos os seus detalhes. Neste caso, a atitude mais importante quando se

trabalha com modelagem é avaliar as duas possibilidades. Como resultado desta análise será possível concluir sobre a validade ou não de um modelo.

Nos trabalhos encontrados na literatura pesquisada, devido à complexidade dos problemas que se apresentam, são utilizados modelos analíticos com muitas hipóteses de simplificação [47, 63, 75, 93-96] ou modelos de simulação [1, 17-21, 68, 89, 97, 98] que em geral, podem ser aplicados em situações mais complexas.

Nesta tese, optou-se pela modelagem e simulação para os esquemas propostos devido ao comportamento dinâmico dos mesmos, pois a solução do modelo matemático correspondente ficaria mais difícil utilizando uma ferramenta analítica.

Sendo assim, o modelo de simulação tem muitas vantagens sobre o método analítico, pois será possível trabalhar simultaneamente com várias classes de serviços e seus parâmetros, controlando cada um, de acordo com sua prioridade e requisitos. A Figura 4.1 apresenta a topologia celular simulada nesta tese, que é constituída por 100 células, utilizando hexágonos para representar as relações de adjacência entre as células.

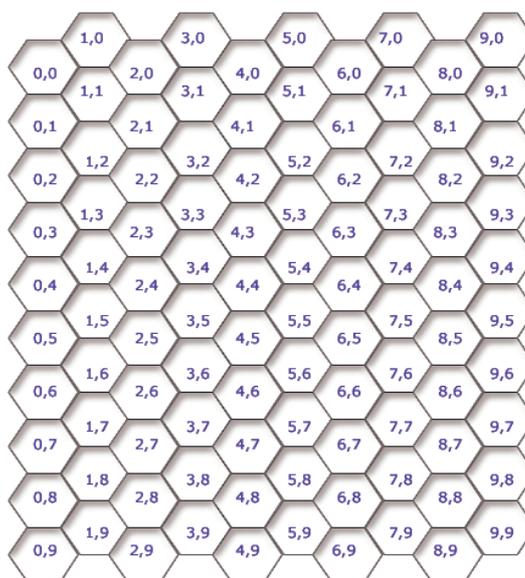


Figura 4.1. Topologia celular adotada nas simulações.

Cada célula tem a capacidade máxima de 30 Mbps [1]. Cada célula contém uma BS, a qual é responsável por estabelecer ou finalizar as requisições de novas chamadas e de *handoff*, assim como reservar recursos para as células vizinhas.

4.2.2. Parâmetros de QoS Utilizados

Os parâmetros de QoS considerados para avaliar o desempenho dos esquemas propostos simulados são:

- CBP: representa a razão entre o número de novas chamadas admitidas e o número total de requisições de novas chamadas;
- CDP: representa a razão entre o número de *handoffs* descartados e o número total de tentativas de *handoff*; e
- Utilização da largura de banda média por célula: representa a razão entre a quantidade de largura de banda em uso no sistema e a capacidade total do sistema.

4.2.3. Ambiente de Simulação

Uma vez que neste trabalho focaliza-se principalmente o CAC e a reserva de recursos, os quais gerenciam a largura de banda, o processo de Poisson é adequado para a geração de tráfego de chamada [95]. Requisições são geradas com taxa λ (chamadas/s/célula) em cada célula. Considera-se a comunicação apenas entre usuários móveis.

O tempo entre as chegadas de requisições de novas chamadas segue uma distribuição exponencial com média $1/\lambda$. O tempo de duração das chamadas segue a distribuição exponencial negativa e tem duração média $1/\mu$ segundos.

O limite de reserva de largura de banda máximo para as chamadas de tráfego de Classe I é representado por “ Lr ”. Nas simulações foi considerado um limite máximo de 20% de reserva da capacidade total da célula, ou seja, $Lr = 20\%$ (isso representa 6 Mbps, pois a capacidade total da célula é de 30 Mbps).

Para avaliar o comportamento dos esquemas propostos desenvolveu-se uma ferramenta própria de simulação, conforme os algoritmos dos esquemas propostos,

denominada de SRMC (Simulador de Redes Móveis Celulares), e é baseado em eventos e foi implementado utilizando a linguagem de programação C⁺⁺. Maiores detalhes desta ferramenta de simulação encontram-se no Apêndice A.

A Tabela 4.1 mostra os parâmetros utilizados nas simulações dos esquemas propostos:

Tabela 4.1. Parâmetros utilizados na simulação.

Parâmetro	Descrição	Valores
N	Número de células no sistema	100 células
C	Capacidade máxima de uma célula	30 Mbps
λ	Taxa de chegadas de chamadas	variável
ph	Probabilidade inicial de ocorrer <i>handoff</i>	25% e 75%
Lr	Limite de reserva máxima numa célula	20%

A probabilidade do primeiro *handoff* depende do valor de “ ph ” considerado no sistema (25% ou 75%). Cada chamada pode experimentar múltiplas requisições de *handoff* durante seu tempo de duração. Considera-se, no entanto, que esta probabilidade ph decresça exponencialmente para a ocorrência de sucessivas requisições de *handoff* desta mesma chamada.

$$ph_1 = ph \text{ (inicialização)}$$

$$ph_i = \frac{ph_{i-1}}{2^i}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (4.1)$$

onde:

$$ph_i = \text{probabilidade do } i\text{-ésimo } handoff \text{ da chamada}$$

Para representar as várias aplicações de multimídia, definem-se seis diferentes grupos de aplicações, conforme a Tabela 4.2, que são considerados sob os seguintes aspectos: duração da conexão, exigência de largura de banda e tipo de classe [1].

Tabela 4.2. Tipos de serviços utilizados nas simulações.

Grupo da Aplicação	Classe de tráfego	Largura de Banda (LB) Requerida	LB Média Requerida	Duração Média da Conexão	Exemplos de Aplicação
1	Classe I	30 kbps	30 kbps	180 seg.	Serviços de voz
2	Classe I	256 kbps	256 kbps	300 seg.	Videoconferência
3	Classe I	1-6 Mbps (média) 2.5-9 Mbps (pico)	3 Mbps	600 seg.	Vídeo sob demanda
4	Classe II	5-20 kbps	10 kbps	30 seg.	E-mail
5	Classe II	64-512 kbps	256 kbps	180 seg.	Dados sob demanda
6	Classe II	1-10 Mbps	5 Mbps	120 seg.	Transferência de Arquivos

As aplicações da Tabela 4.2 são típicas das redes e os valores dos parâmetros foram escolhidos para representar ambientes reais [99-106].

Os diferentes grupos de aplicações utilizados nas simulações são modelados por fontes de tráfego caracterizadas como: CBR (*Constant Bit Rate*) para modelar os serviços de voz e videoconferência, VBR (*Variable Bit Rate*) para modelar o tráfego de vídeo sob demanda e UBR (*Unspecified Bit Rate*) para modelar o tráfego de dados.

4.2.4. Apresentação e Análise dos Resultados de Simulação

Nesta seção apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos através de modelagem e simulação.

Durante as simulações, observou-se o comportamento dos esquemas propostos numa abordagem fim-a-fim, ou seja, considerando o que acontecia na origem e no destino da chamada, durante todo o tempo da conexão, gerando uma série de arquivos de resultados estatísticos.

Os resultados de simulação disponibilizaram uma série de informações que possibilitou gerar gráficos para demonstrar o desempenho dos esquemas propostos. Estes gráficos apresentam as métricas de interesse em função do número médio de requisições por segundo.

Em todas as simulações foi utilizado um número médio de requisições variando de 0,01 até 0,2 requisições por segundo por célula, o que significa que os valores do intervalo

entre as chegadas variam de 90 até 5 segundos. Como a probabilidade de *handoff*, denominada de *ph*, representa a mobilidade dos usuários no sistema, foram simulados os valores de *ph*=25% e *ph*=75%, ou seja, sistema nas condições de baixa e alta mobilidade, respectivamente. Aqui não foram analisadas as condições de média mobilidade, ou seja, o valor de *ph*= 50%, pois os valores são muito aproximados dos valores de 25%.

4.2.4.1. Utilização de Recursos

Para monitorar o desempenho dos esquemas propostos através deste parâmetro, no início de cada simulação, o simulador SRMC escolhe aleatoriamente uma célula dentre as 100 células do modelo de simulação (Figura 4.1, seção 4.2.1), efetua sua marcação e realiza um acompanhamento estatístico da utilização de largura de banda nesta célula até o fim da simulação. A distribuição de chamadas para todas as 100 células do modelo de simulação é considerada uniforme. Portanto, qualquer uma das células pode ser escolhida para demonstrar o desempenho do sistema em termos de utilização média de largura de banda [75].

O cálculo do percentual da média de utilização da largura de banda – ULB (%) é realizado no Simulador SMRC de modo iterativo, durante a simulação dos esquemas propostos, de acordo com as equações 4.2.a e 4.2.b:

Para $i = 1$ (primeira iteração)

$$ULB_1 = \frac{B_1}{BT} \quad (4.2.a)$$

Para $i = 2,3,4,\dots$ (demais iterações)

$$ULB_{i+1} = \frac{i * ULB_i + \frac{B_{i+1}}{BT}}{i + 1} \quad (4.2.b)$$

onde:

i é a iteração anterior

$i+1$ é a iteração corrente

ULB_i é o percentual médio de largura de banda utilizada na célula e calculado até a iteração anterior

ULB_{i+1} é o percentual médio de largura de banda utilizada na célula calculado até a iteração corrente

B_{i+1} é a largura de banda, em kbps, efetivamente utilizada pela célula na iteração corrente e,

BT é a largura de banda total da célula (fixa e igual a 30 Mbps)

A Figura 4.2 mostra o percentual de utilização de largura de banda por célula. Pode-se observar na Figura 4.2 que houve uma sobreposição das curvas correspondentes aos esquemas RT, RDir e RO.

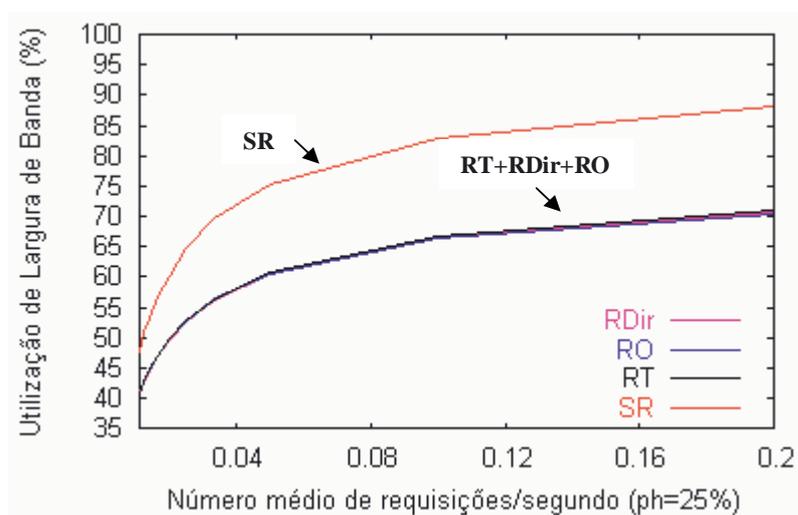


Figura 4.2. Percentual de utilização de largura de banda por célula.

O esquema SR alcança uma maior utilização da largura de banda. Isso é justificado porque ele não realiza nenhum controle de reserva de recursos, ao contrário dos esquemas RO e RT, que, por reservarem largura de banda nas seis células vizinhas da que originou ou recebeu a chamada, desperdiçam uma parte deste recurso. O esquema RDir também, por reservar recursos, apresentou praticamente os mesmos valores de utilização média de largura de banda do RT e do RO, porém, ele aceita mais requisições de novas chamadas, já que reserva apenas em três células vizinhas.

O simulador SRMC utiliza números aleatórios para gerar os diversos eventos aleatórios, portanto, os resultados obtidos da simulação também exibem o fenômeno da aleatoriedade. Por isso, é importante estabelecer, através de uma análise estatística, algum nível de confiança para os resultados obtidos [107,108].

Os resultados obtidos nas simulações foram analisados em seu conjunto e as estatísticas obtidas sobre estes resultados são mostradas na Tabela 4.3, onde são apresentados os valores médios de utilização de largura de banda por célula e o seu intervalo de confiança, a 95% de probabilidade, encontrados para os esquemas propostos. Cada processo foi simulado 10 vezes para permitir a realização dessa análise estatística [109]. Considerou-se o $\rho=25\%$, ou seja, baixa mobilidade.

Tabela 4.3. Utilização média de largura de banda por célula.

Req./ seg.	Esquema RO			Esquema RT			Esquema Rdir			Esquema SR		
	Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.	
		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP
0,011	40,43	40,32	40,53	40,57	40,39	40,75	40,60	40,47	40,74	47,72	47,60	47,85
0,013	42,46	42,38	42,54	42,51	42,39	42,62	42,55	42,42	42,67	50,50	50,36	50,63
0,014	44,51	44,40	44,61	44,71	44,61	44,81	44,57	44,43	44,70	53,53	53,38	53,69
0,017	46,97	46,84	47,10	47,15	47,05	47,24	46,96	46,88	47,05	56,87	56,75	56,99
0,020	49,59	49,50	49,68	49,79	49,70	49,88	49,68	49,57	49,79	60,60	60,47	60,73
0,025	52,57	52,46	52,69	52,86	52,78	52,95	52,70	52,61	52,78	64,76	64,68	64,83
0,033	56,23	56,15	56,31	56,49	56,41	56,56	56,20	56,10	56,29	69,60	69,54	69,66
0,050	60,47	60,38	60,57	60,90	60,85	60,95	60,61	60,54	60,67	75,48	75,42	75,55
0,100	66,37	66,32	66,42	66,69	66,64	66,73	66,46	66,41	66,51	83,00	82,96	83,05
0,200	70,47	70,44	70,51	70,80	70,76	70,83	70,64	70,61	70,67	88,30	88,25	88,34

Os resultados mostram que os esquemas RO, RDir e RT alcançam uma efetiva utilização de largura de banda, perdendo apenas para o esquema SR, o que era esperado, visto que este esquema não efetua reserva de recursos.

4.2.4.2. Valores de CBP e de CDP

Considerando os valores de CBP e de CDP que representam, respectivamente, a probabilidade de uma requisição de nova chamada ser bloqueada ou de um *handoff* ser perdido e, buscando avaliar o desempenho dos esquemas propostos, são realizadas algumas análises a seguir.

A Figura 4.3 apresenta, em um mesmo gráfico, os valores de CBP e de CDP de tráfego de Classe I, em baixo nível de mobilidade ($ph=25\%$). Nota-se que os esquemas SR e RO apresentam menos bloqueio, porém possuem os maiores valores de CDP, uma vez que *handoff* não é priorizado pelo esquema SR e ambos não fazem reserva fim-a-fim como o RT e o RDir.

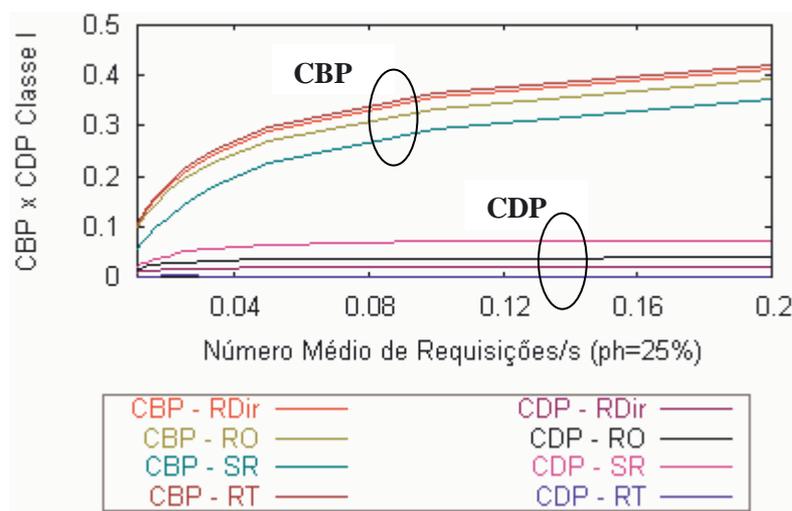


Figura 4.3. CBP versus CDP de conexões de Classe I - baixa mobilidade.

A Figura 4.4 apresenta, em um mesmo gráfico, os valores de CBP e de CDP de tráfego de Classe I, em alta mobilidade ($ph=75\%$). Verifica-se um aumento no bloqueio das chamadas em todos os esquemas, principalmente nos esquemas RT e RDir.

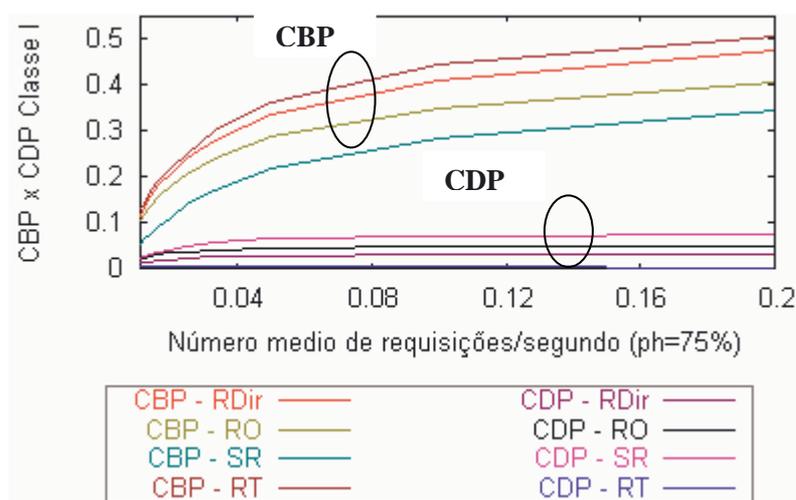


Figura 4.4. CBP versus CDP de conexões de Classe I - alta mobilidade.

A Tabela 4.4 mostra a probabilidade de bloqueio de chamadas, ou CBP, das requisições de novas chamadas de Classe I encontradas para os esquemas propostos, considerando baixa mobilidade (ph=25%).

Tabela 4.4. Probabilidade média de bloqueio de chamadas (CBP) - Classe I.

Req./seg.	Esquema RO			Esquema RT			Esquema Rdir			Esquema SR		
	Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.	
		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP
0,011	0,097	0,095	0,098	0,107	0,106	0,108	0,103	0,102	0,104	0,055	0,054	0,056
0,013	0,111	0,110	0,113	0,122	0,121	0,123	0,117	0,115	0,118	0,066	0,065	0,067
0,014	0,126	0,125	0,127	0,139	0,138	0,140	0,133	0,131	0,134	0,081	0,080	0,081
0,017	0,146	0,145	0,147	0,160	0,159	0,160	0,154	0,153	0,155	0,097	0,096	0,098
0,020	0,166	0,165	0,167	0,183	0,182	0,184	0,178	0,177	0,179	0,118	0,117	0,119
0,025	0,193	0,191	0,194	0,213	0,212	0,213	0,205	0,204	0,207	0,144	0,144	0,145
0,033	0,227	0,226	0,228	0,250	0,249	0,251	0,242	0,241	0,243	0,179	0,178	0,180
0,050	0,270	0,269	0,271	0,297	0,297	0,298	0,289	0,288	0,290	0,225	0,224	0,225
0,100	0,334	0,333	0,335	0,366	0,365	0,367	0,355	0,354	0,356	0,294	0,293	0,295
0,200	0,392	0,391	0,392	0,421	0,421	0,422	0,412	0,411	0,412	0,354	0,354	0,355

Comparando com o esquema RO, o esquema RDir e o RT apresentam os valores de CBP mais altos. Porém, estes esquemas, os quais reservam largura de banda nas células vizinhas, na origem e no destino, antecipando-se às requisições de *handoff*, alcançam melhores resultados, pois apresentam menores valores de CDP, às custas de um maior valor de CBP de novas chamadas. Tais esquemas tornam-se mais restritivos quanto à aceitação de

requisições de novas chamadas, porém eles garantem a manutenção das conexões aceitas na rede, conforme proposto, oferecendo o suporte a QoS.

As Figuras 4.5 (a) e 4.5 (b) mostram os valores de CDP de Classe I, em baixa mobilidade. A Figura 4.5 (b) mostra com detalhes o gráfico da Figura 4.5(a), considerando a escala no eixo y, apenas de 0 a 0,03.

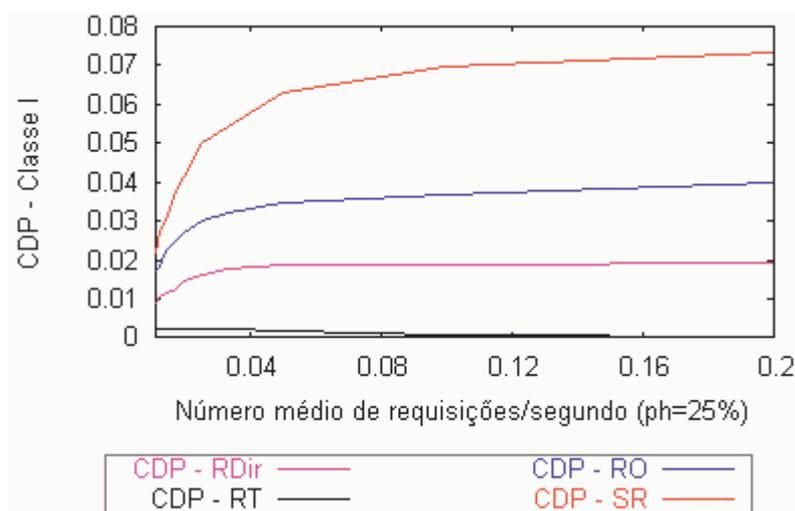


Figura 4.5 (a). CDP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade).

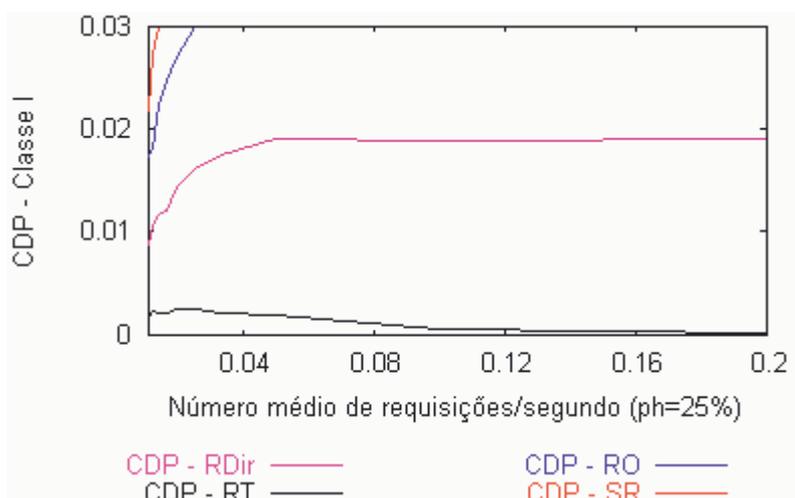


Figura 4.5 (b). Detalhes da Figura 4.5 (a).

Verifica-se que os esquemas RT e RDir apresentam os menores valores de CDP. No esquema RT observa-se que com o crescimento do tráfego, o CDP diminui. Isso ocorre porque com o aumento do número médio de requisições/segundo (carga de tráfego) a

quantidade média de largura de banda disponível diminui nas células. Assim, quando chega uma requisição de nova chamada que requer uma quantidade maior deste recurso, provavelmente será rejeitada. Portanto, a largura de banda alocada às novas chamadas diminui e o sistema trata as requisições de *handoff* das chamadas já aceitas, pois já existe recurso para isso, justificando a queda da curva de CDP, em alto tráfego.

As Figuras 4.6 (a) e 4.6 (b) mostram o valor de CDP do tráfego de Classe I em alta mobilidade.

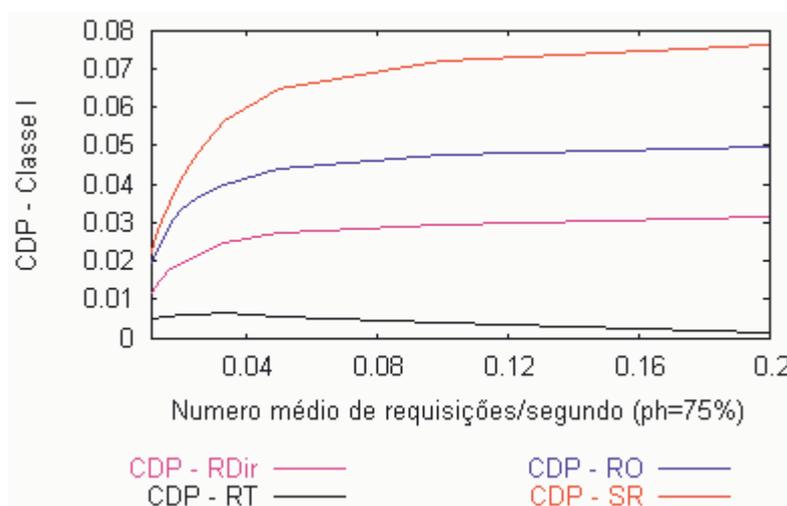


Figura 4.6 (a). CDP do tráfego de Classe I (alta mobilidade).

Verifica-se que os esquemas propostos RDir e RT alcançam os menores valores de CDP, em relação aos demais, mesmo em alta mobilidade, quando a rede tende a sofrer congestionamentos, pois aumenta o número de *handoffs*. Dessa forma, esses esquemas garantem a manutenção das conexões já estabelecidas, uma vez que reservam recursos na origem e destino, simultaneamente.

A Figura 4.6 (b) mostra, com detalhes, a Figura 4.6 (a), considerando a escala em y, apenas de 0 até 0,04.

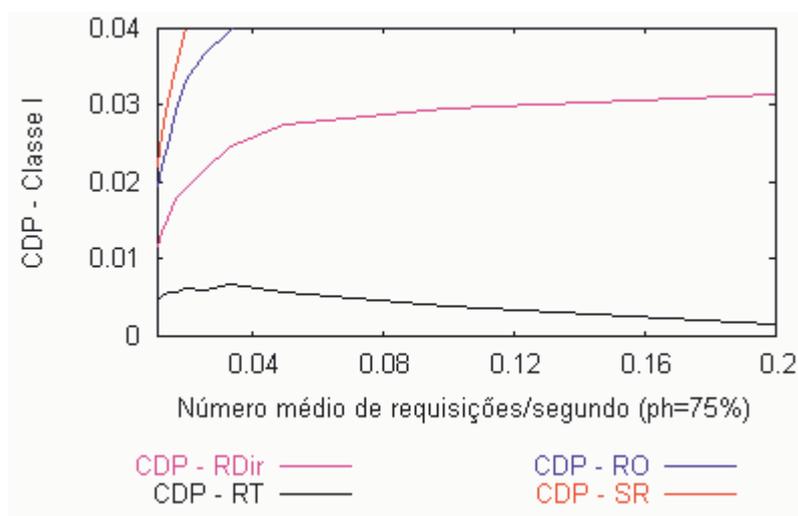


Figura 4.6 (b). Detalhes da Figura 4.6 (a).

A Tabela 4.5 mostra o valor de CDP das requisições de *handoff* de Classe I, encontrados para cada um dos esquemas propostos, sob baixa mobilidade, ou seja, $ph=25\%$.

Tabela 4.5. Probabilidade média de perdas por *handoff* (CDP) - Classe I.

Req./seg.	Esquema RO			Esquema RT			Esquema Rdir			Esquema SR		
	Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.		Média	Int. de Conf.	
		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP		L.INF	L.SUP
0,011	0,017	0,016	0,017	0,0022	0,0020	0,0025	0,0088	0,008	0,009	0,022	0,021	0,023
0,013	0,020	0,018	0,020	0,0024	0,0022	0,0027	0,0198	0,009	0,010	0,026	0,025	0,026
0,014	0,021	0,020	0,021	0,0025	0,0022	0,0027	0,0108	0,010	0,011	0,031	0,030	0,031
0,017	0,024	0,023	0,024	0,0026	0,0024	0,0027	0,0127	0,012	0,013	0,036	0,035	0,037
0,020	0,026	0,025	0,026	0,0023	0,0022	0,0024	0,0141	0,013	0,014	0,043	0,042	0,043
0,025	0,030	0,028	0,030	0,0023	0,0022	0,0025	0,0153	0,014	0,015	0,049	0,048	0,050
0,033	0,033	0,032	0,033	0,0022	0,0021	0,0023	0,0170	0,016	0,017	0,056	0,055	0,056
0,050	0,035	0,034	0,035	0,0016	0,0015	0,0017	0,0184	0,018	0,019	0,064	0,063	0,064
0,100	0,037	0,037	0,037	0,0006	0,0006	0,0007	0,0190	0,018	0,019	0,069	0,069	0,070
0,200	0,037	0,039	0,040	0,0001	0,0001	0,0001	0,0191	0,018	0,019	0,073	0,073	0,074

Com esses resultados pode-se concluir que os esquemas propostos RDir e RT conseguem os menores valores de CDP, em relação aos esquemas SR e RO, garantindo a continuidade da chamada de tempo real (ou de Classe I) aceita no sistema.

As Figuras 4.7(a) e 4.7 (b) mostram os valores de CDP dos esquemas propostos, considerando apenas o tráfego de Classe II, em baixa e em alta mobilidade, respectivamente.

Como o esquema RT prioriza o tráfego de Classe I, isso justifica o alto valor de CDP para as chamadas de Classe II, tanto em baixa quanto em alta mobilidade. Em alta mobilidade, conforme mostra a Figura 4.7 (b), ou seja, com $ph=75\%$, o valor de CDP torna-se ainda maior para os serviços de Classe II, conforme as expectativas, pois os esquemas RT e RDir priorizam apenas o tráfego de Classe I.

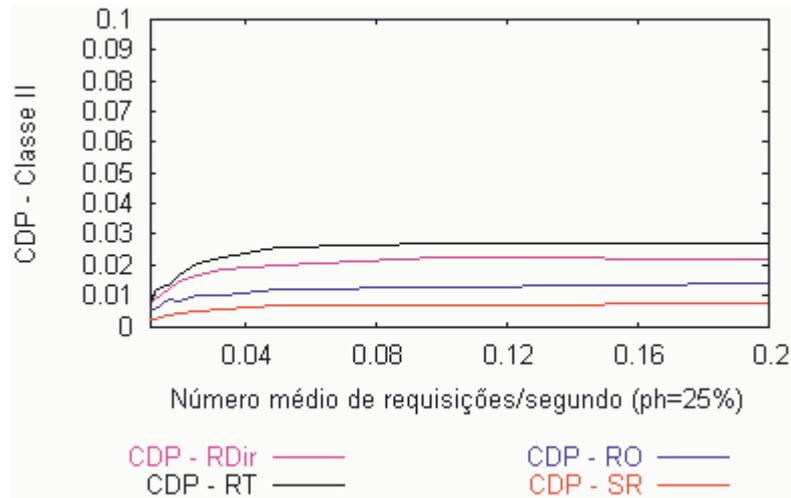


Figura 4.7(a). CDP do tráfego de Classe II (baixa mobilidade).

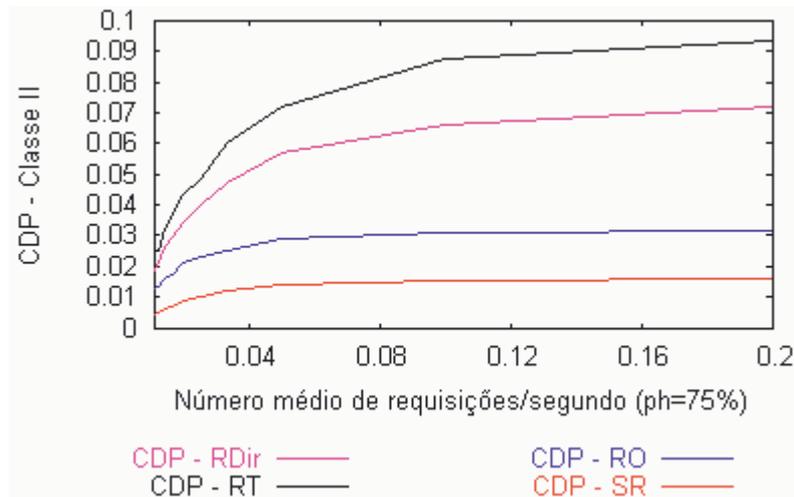


Figura 4.7(b). CDP do tráfego de Classe II (alta mobilidade).

As Figuras 4.8 (a e b) e as Figuras 4.9 (a e b) apresentam os valores de CBP dos tráfegos de Classe I e II, respectivamente. Além disso, consideram, também, as condições de baixa e alta mobilidade dos usuários no sistema.

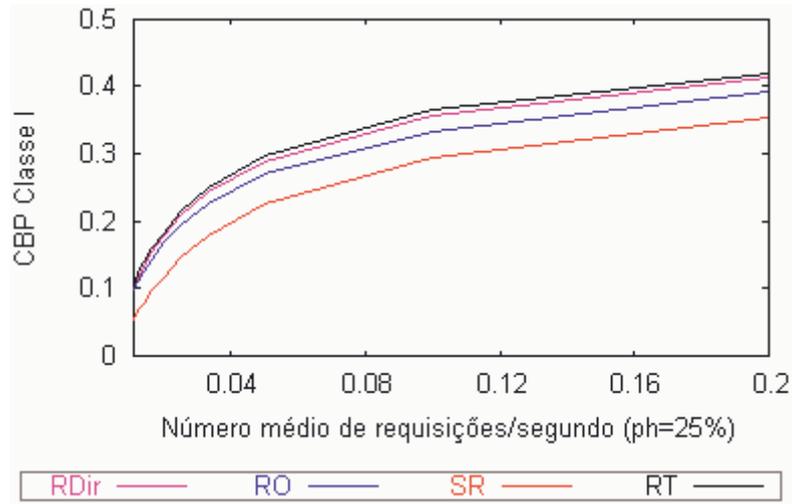


Figura 4.8 (a). CBP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade).

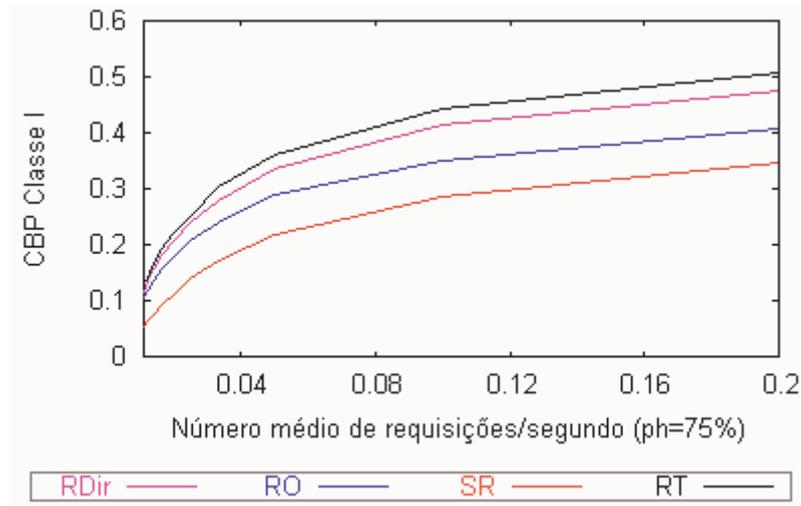


Figura 4.8 (b). CBP do tráfego de Classe I (alta mobilidade).

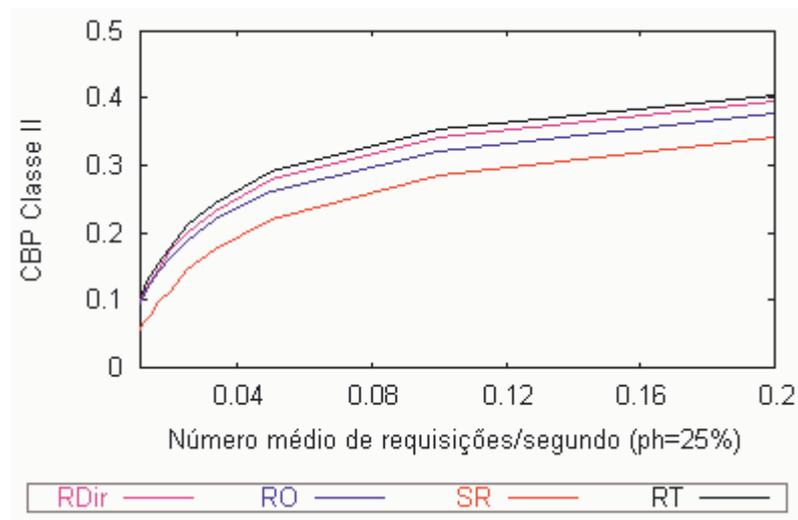


Figura 4.9 (a). CBP do tráfego de Classe II (baixa mobilidade).

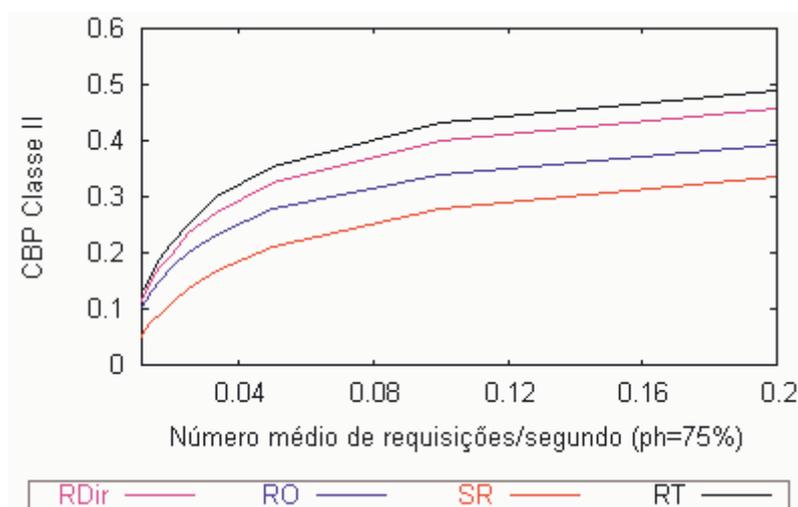


Figura 4.9 (b). CBP do tráfego de Classe II (alta mobilidade).

Em termos de CBP, o esquema RDir, se comparado com o esquema RT, oferece os melhores resultados, apresentando os menores valores, permitindo que fique mais largura de banda disponível para as requisições de novas chamadas, pois realiza a reserva de recursos direcionada apenas nas três células vizinhas que possuem maiores probabilidades de acontecer um procedimento de *handoff*. Os valores de CBP de todos os esquemas propostos aumentam consideravelmente em alta mobilidade nos dois tipos de tráfego (Classe I e II), pois nestas condições aumenta o número de requisições de *handoff*.

As Figuras 4.10 (a) e 4.10 (b) representam o percentual de CBP de novas chamadas considerando o bloqueio apenas na célula que originou a requisição de chamada.

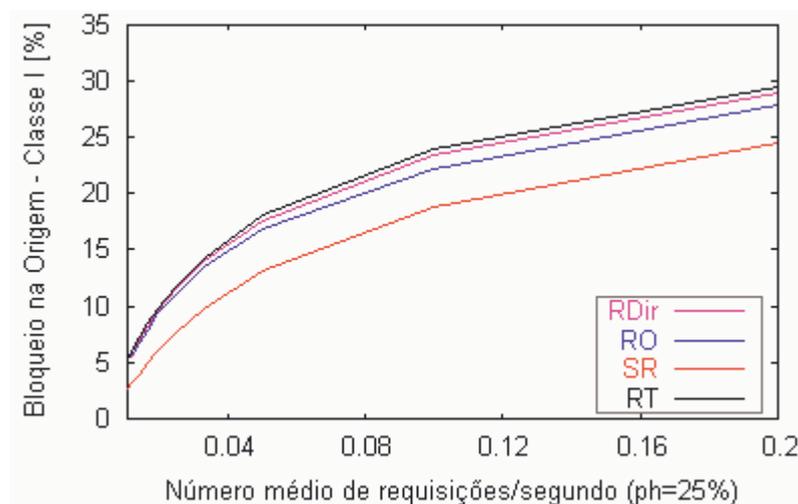


Figura 4.10 (a). CBP na origem - Classe I (baixa mobilidade).

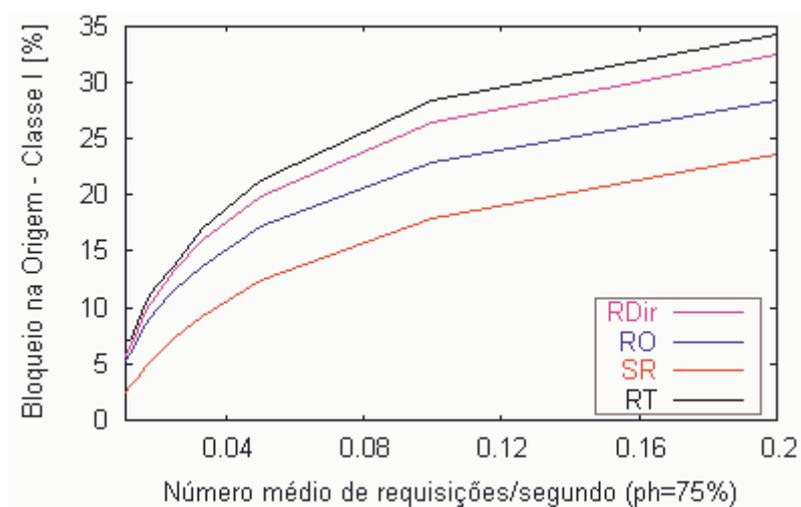


Figura 4.10 (b). CBP na origem - Classe I (alta mobilidade).

Observa-se que os esquemas RT e RDir possuem os maiores valores de bloqueio de novas chamadas, conforme visto nas análises das figuras anteriores.

As Figuras 4.11 (a) e 4.11 (b) mostram a probabilidade de requisições de novas chamadas de Classe I e II serem aceitas no sistema, em baixa mobilidade.

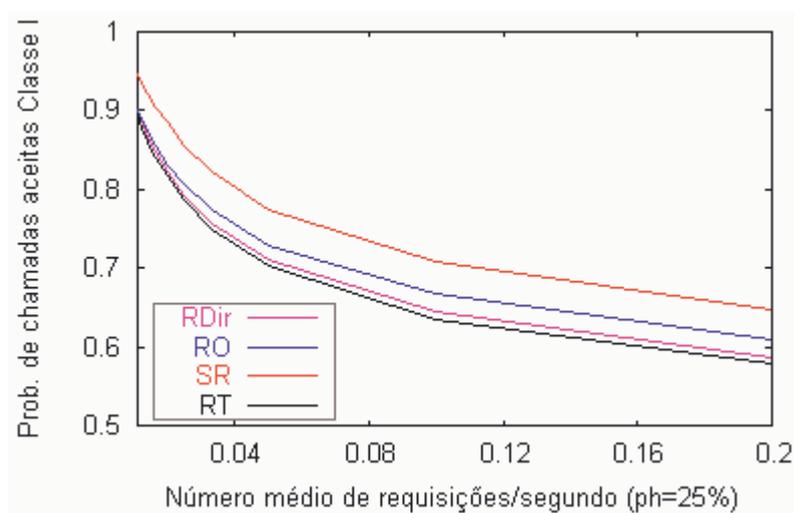


Figura 4.11 (a). Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas – Classe I.

Verifica-se que os esquemas SR e o RO apresentam maiores probabilidades de aceitar as requisições de novas chamadas, de ambas as classes, em baixa mobilidade, porém não garantem a continuidade das mesmas. Os esquemas RT e RDir aceitam menos estas

requisições, conforme esperado devido à reserva de recursos que é realizada fim-a-fim. Todavia, eles garantem a manutenção das conexões já estabelecidas.

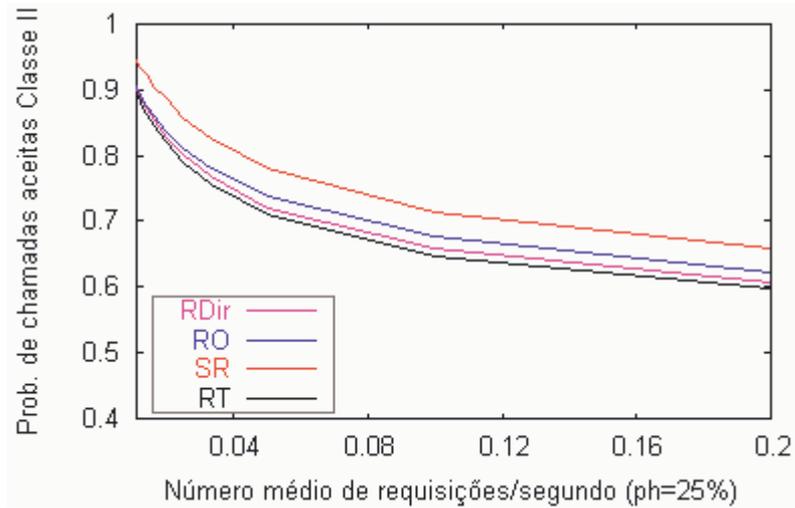


Figura 4.11 (b). Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas - Classe II.

Observa-se que todos os esquemas aceitam mais requisições de novas chamadas de Classe II porque elas são aplicações elásticas, ou seja, podem ser aceitas se houver um mínimo de largura de banda requerida pela aplicação. As aplicações de tempo real ou de Classe I são mais exigentes em termos de quantidade de largura de banda requerida, por isso há maior restrição na sua aceitação.

As Figuras 4.12 (a) e 4.12 (b) ilustram a probabilidade de aceitar das requisições de novas chamadas de Classe I e II, em alta mobilidade.

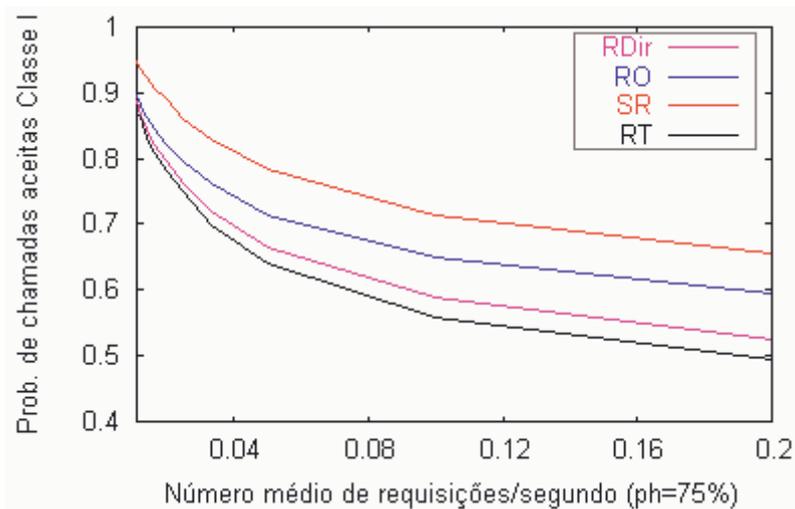


Figura 4.12 (a). Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas – Classe I.

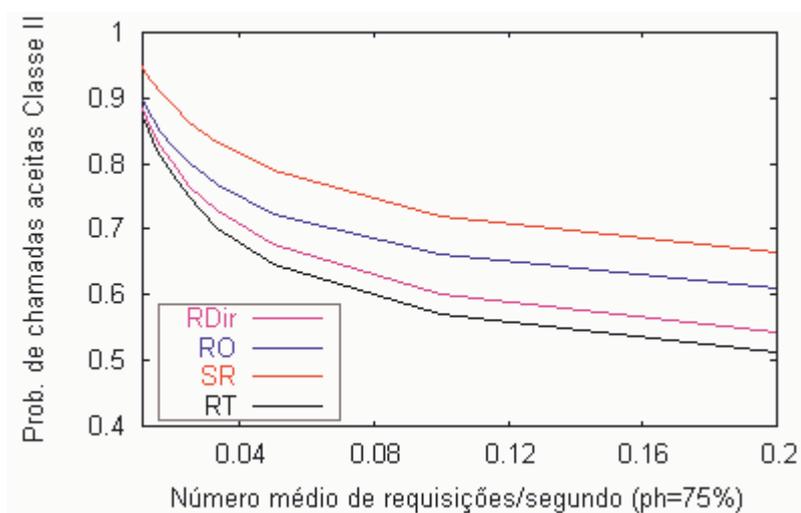


Figura 4.12 (b). Probabilidade de aceitar requisições de novas chamadas – Classe II.

As Figuras 4.13 (a) e 4.13 (b) ilustram a probabilidade de aceitar as requisições de *handoff* de Classe I e II, em baixa mobilidade.

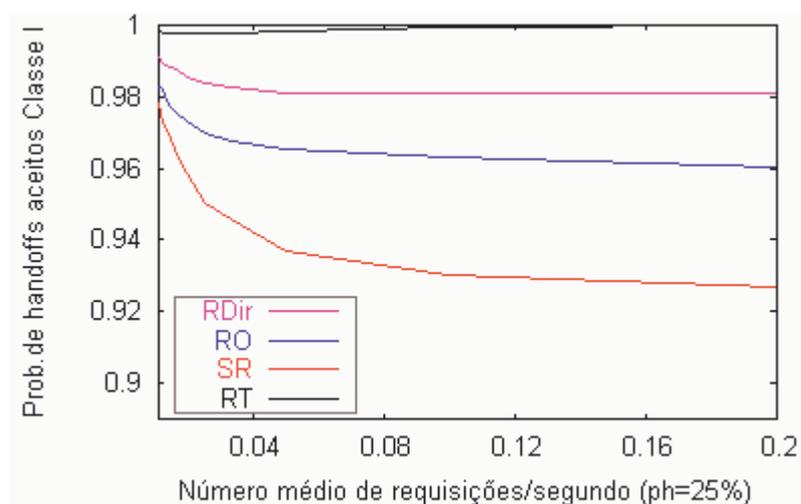


Figura 4.13 (a). Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe I (baixa mobilidade).

Na Figura 4.13 (a) verifica-se que os esquemas RT e RDir apresentam as maiores probabilidades de aceitar as requisições de *handoff* do tráfego de Classe I, confirmando a característica de priorizar este tipo de tráfego. De modo contrário, na Figura 4.13 (b), que trata do tráfego de Classe II, observa-se que o aceite é menor, justamente por este tipo de tráfego não ter prioridade.

Verifica-se na Figura 4.13 (b) altos níveis de aceitação de *handoffs* de Classe II, devido à característica deste tipo de aplicação que pode operar com o mínimo de largura de banda.

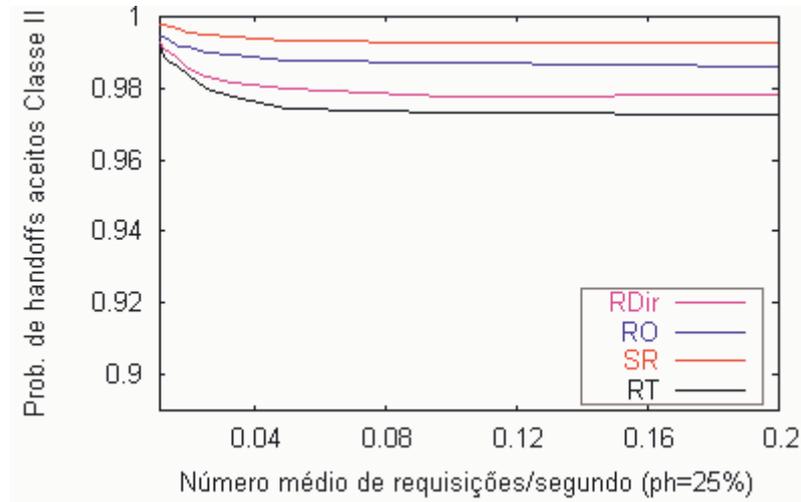


Figura 4.13 (b). Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe II (baixa mobilidade).

As Figuras 4.14 (a) e 4.14 (b) ilustram a probabilidade de aceite das requisições de *handoff* de Classe I e II, em alta mobilidade.

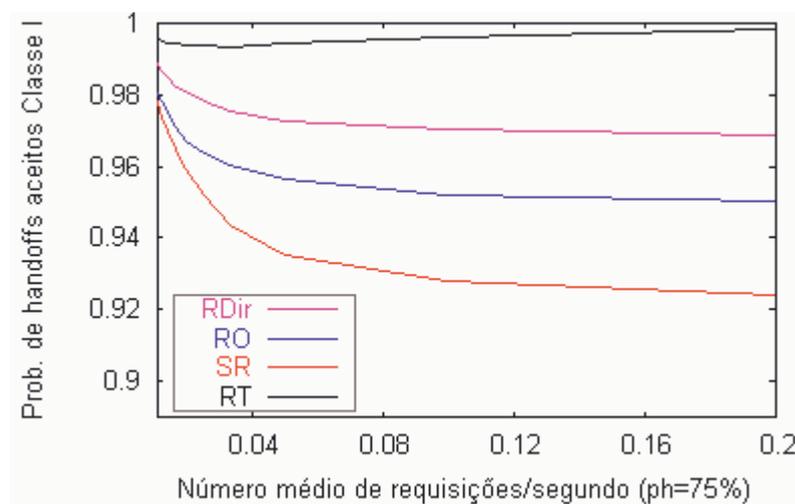


Figura 4.14 (a). Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe I (alta mobilidade).

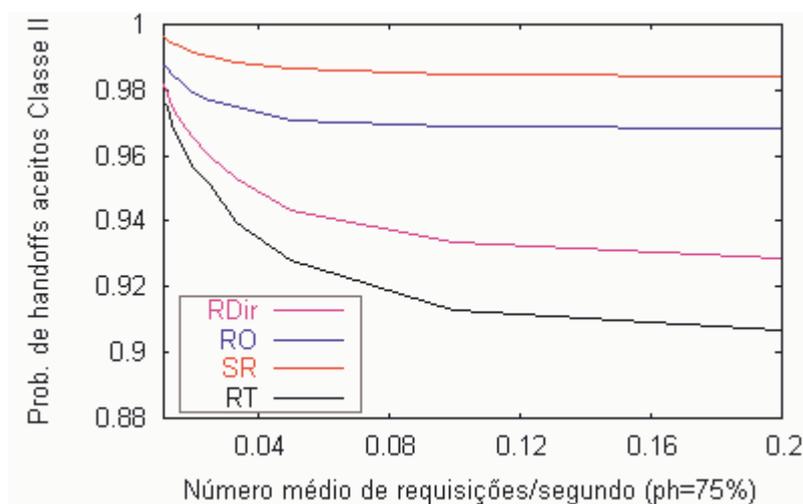


Figura 4.14 (b). Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe II (alta mobilidade).

Nestas Figuras verifica-se que os esquemas propostos RT e o RDir continuam capazes de aceitar maiores quantidades de requisições de *handoff* do tráfego de Classe I, mesmo considerando alta mobilidade, mas isso se justifica porque eles reservam recursos antecipadamente para este propósito, priorizando o provimento de QoS das chamadas de tempo real. Considerando o tráfego de Classe II, estes esquemas aceitam menos requisições de *handoff*, conforme esperado, pois este tipo de tráfego não é o priorizado por eles.

4.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SIMULAÇÃO APENAS DO ESQUEMA RDIR

Nesta seção apresenta-se os resultados de simulação apenas do esquema proposto RDir, sob dois enfoques de direcionamento da mobilidade do usuário móvel: quando o usuário, vindo de uma célula, tem a mesma probabilidade de se deslocar para qualquer uma das seis células vizinhas (o qual é identificado na legenda dos gráficos como “RDir_igual”). E outro, quando a BS, sabendo de qual célula o usuário está vindo, tem maiores chances de acertar e direcionar as três células para onde este usuário irá, e tratar do procedimento de reserva nas mesmas (o qual é identificado na legenda dos gráficos apenas como “RDir”).

Nesta seção aborda-se apenas a análise dos resultados de simulação do esquema proposto RDir, baseado em duas possibilidades de deslocamento do usuário móvel: tendo a mesma probabilidade de direção entre as 6 células vizinhas, ou, com as probabilidades de direção diferentes, conforme mostra a Figura 4.15:

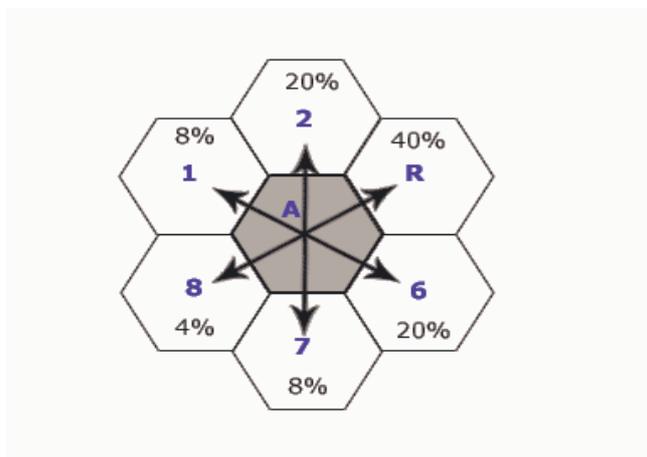


Figura 4.15. Probabilidades de direção de movimento do usuário no esquema RDir.

4.3.1. Utilização de Largura de Banda

As Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 ilustram o percentual médio de utilização de largura de banda do esquema RDir, considerando as duas possibilidades de movimentação do usuário, sob as condições de baixa, média e alta mobilidade.

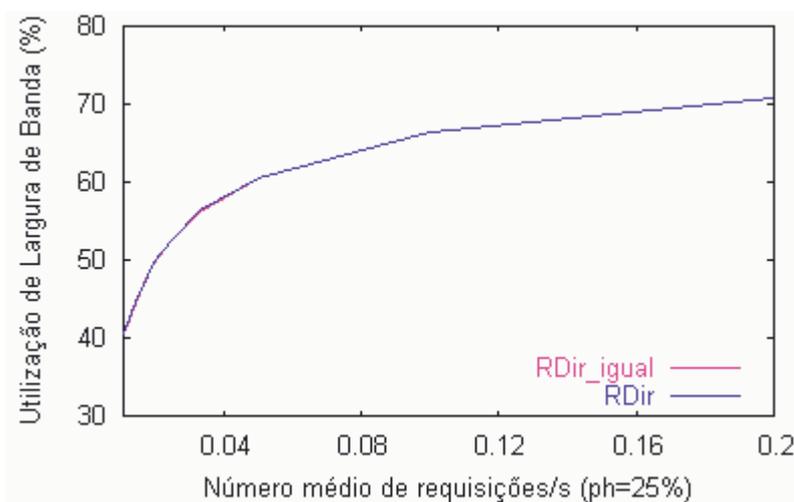


Figura 4.16. Percentual de utilização de largura de banda por célula (baixa mobilidade).

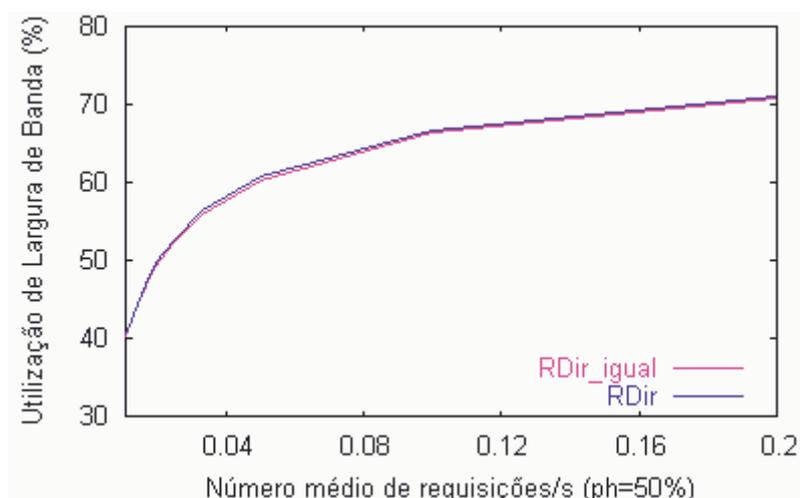


Figura 4.17. Percentual de utilização de largura de banda por célula (média mobilidade).

Nas figuras 4.17 e 4.18 as duas curvas praticamente se sobrepõem, nas situações de baixa e média mobilidade, porém quando ocorre um número maior de *handoffs*, como no caso mostrado na figura 4.20, observa-se que o esquema RDir, com reserva direcionada seguindo as diferentes probabilidades apresenta melhor utilização da largura de banda.

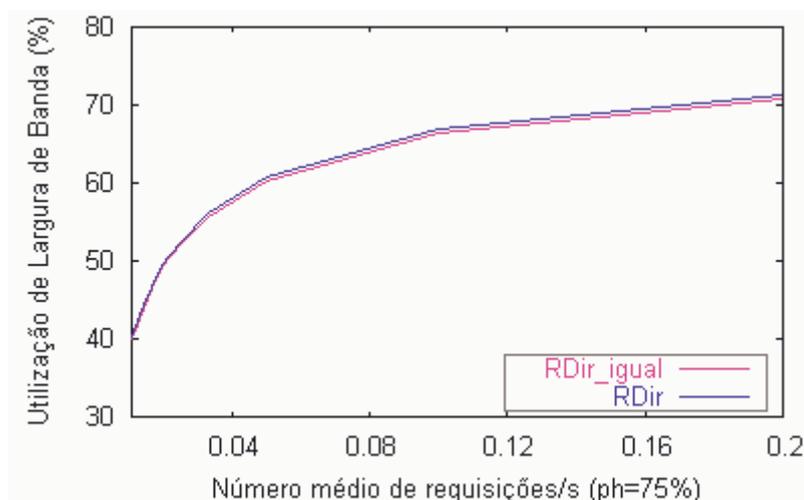


Figura 4.18. Percentual de utilização de largura de banda por célula (alta mobilidade).

4.3.2. CBP

As Figuras 4.19, 4.20 e 4.21 apresentam a probabilidade de bloqueios de requisições de novas chamadas (CBP) do esquema RDir, considerando as duas possibilidades de movimentação do usuário, sob as condições de baixa, média e alta mobilidade.

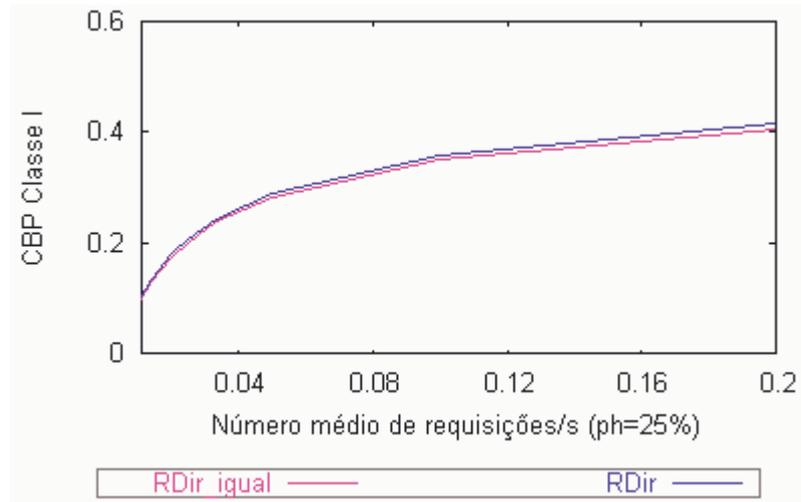


Figura 4.19. CBP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade).

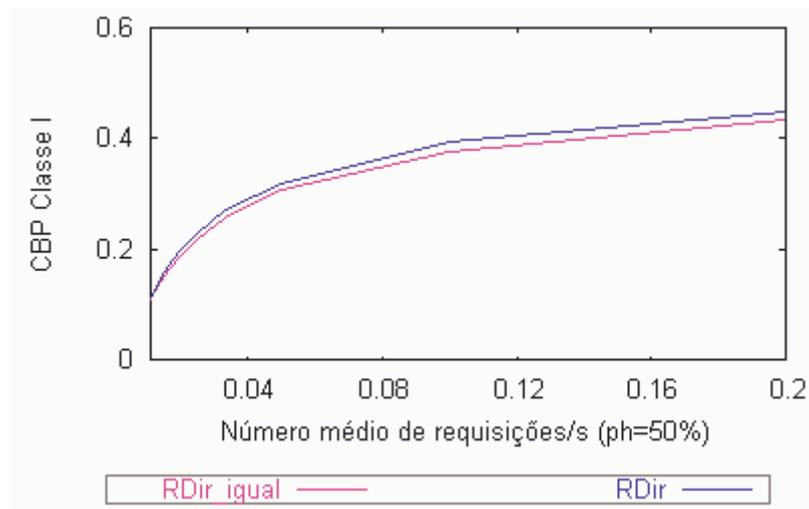


Figura 4.20. CBP do tráfego de Classe I (média mobilidade).

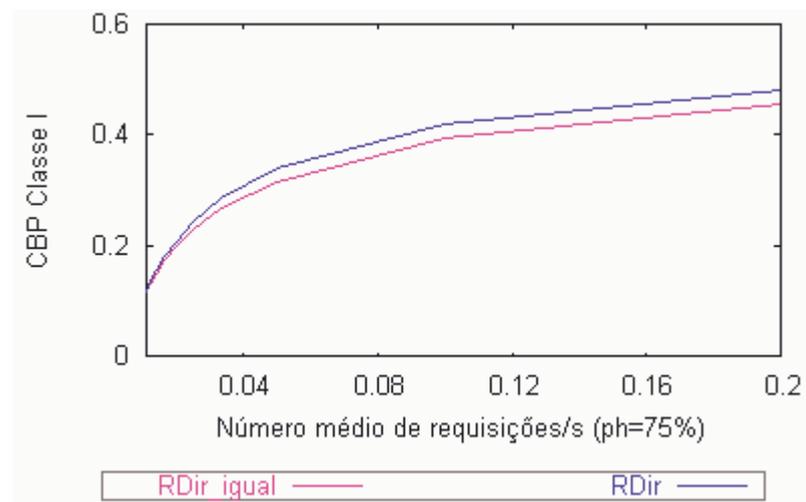


Figura 4.21. CBP do tráfego de Classe I (alta mobilidade).

Verifica-se, em todas as figuras, ou seja, em quaisquer das condições de mobilidade, que o esquema RDir, com reserva direcionada seguindo as diferentes probabilidades apresenta maiores probabilidades de bloqueios requisições de novas chamadas de tráfego de Classe I, porém este esquema garante a manutenção das chamadas aceitas.

4.3.3. CDP

As Figuras 4.22, 4.23 e 4.24 ilustram a probabilidade de perdas de chamadas por *handoff* (CDP) do tráfego de Classe I, no esquema RDir, considerando as duas possibilidades de movimentação do usuário, sob as condições de baixa, média e alta mobilidade.

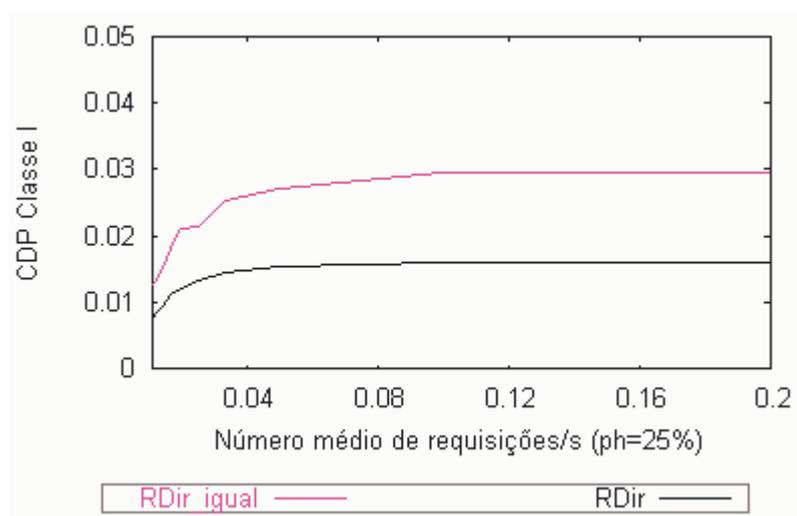


Figura 4.22. CDP do tráfego de Classe I (baixa mobilidade).

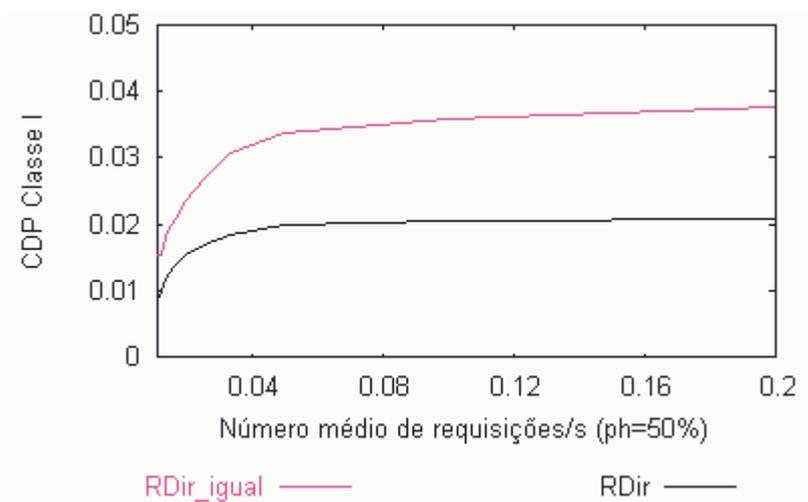


Figura 4.23. CDP do tráfego de Classe I (média mobilidade).

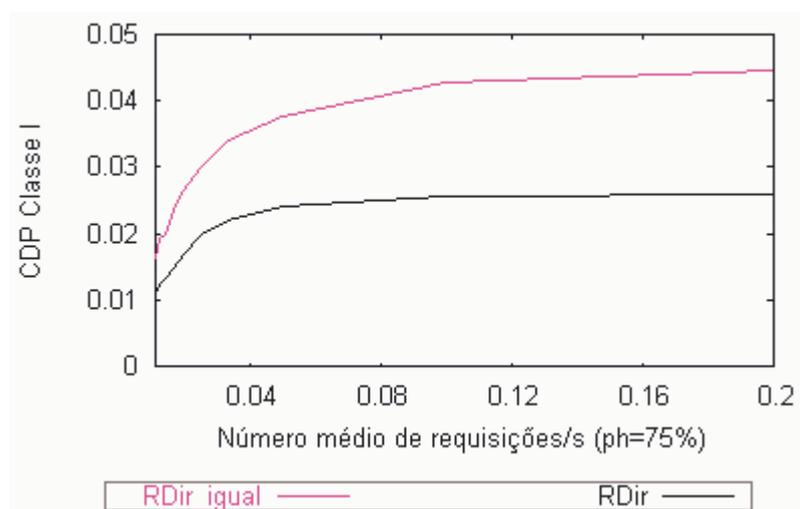


Figura 4.24. CDP do tráfego de Classe I (alta mobilidade).

Verifica-se, nas figuras acima, que em todas as situações de mobilidade, o esquema RDir, com reserva direcionada seguindo as diferentes probabilidades, apresenta as menores probabilidades de perdas de novas chamadas por *handoff*, ou seja, o esquema RDir é capaz de garantir a QoS requerida pelo tráfego de Classe I, pois efetua a reserva de largura de banda nas três células, com maior probabilidade de acerto, antecipando o *handoff*, e garantindo a manutenção das chamadas aceitas.

As Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 apresentam a probabilidade de aceite das requisições de *handoffs* do tráfego de Classe I (ou de tempo real) no esquema RDir, considerando as duas possibilidades de movimentação do usuário, sob as condições de baixa, média e alta mobilidade.

Como já mencionado, o esquema RDir proposto prioriza o atendimento de *handoff* dos serviços de Classe I. Desta forma, nestas figuras também verifica o fato já mencionado, ou seja, o esquema RDir, com as probabilidades de direção diferenciadas, é capaz de aceitar um maior número de requisições de *handoffs*, diminuindo o número de perdas de novas chamadas, aumentando o grau de percepção de QoS do usuário, atingindo a meta deste trabalho.

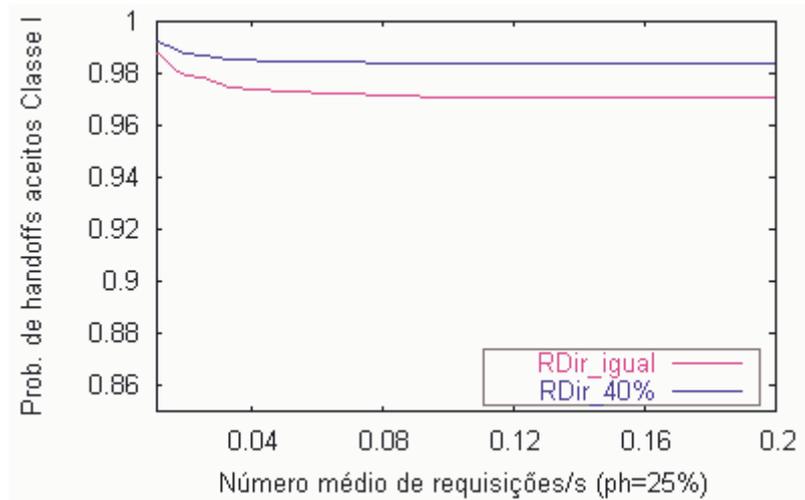


Figura 4.25. Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe I (baixa mobilidade).

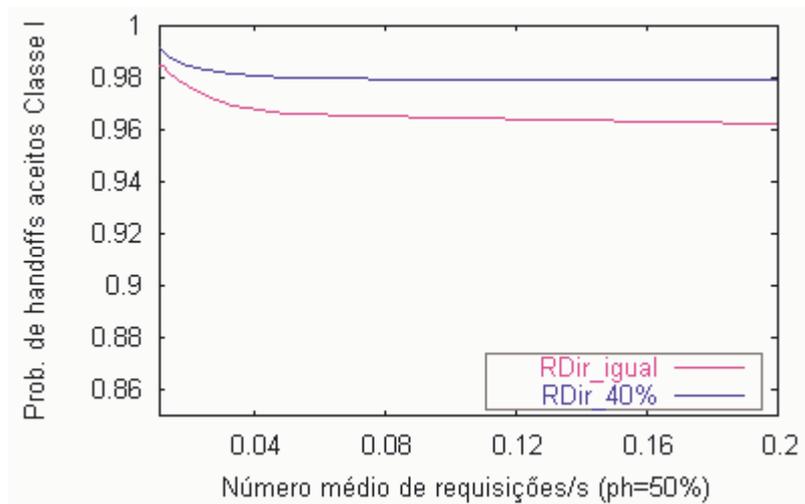


Figura 4.26. Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe I (média mobilidade).

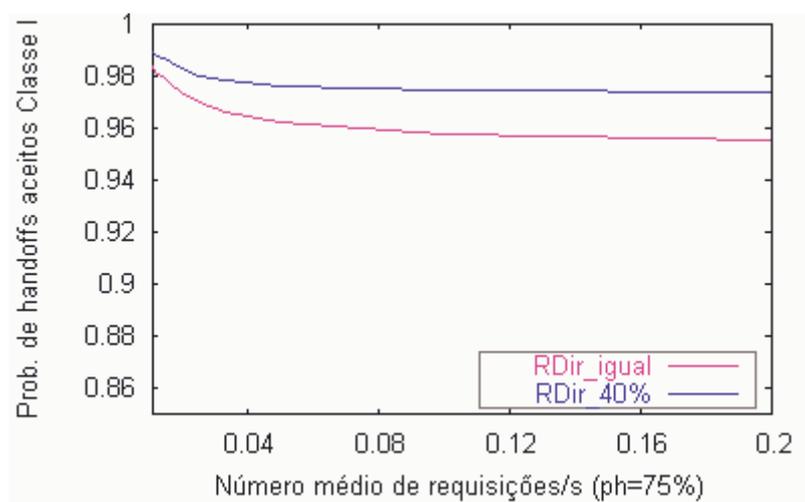


Figura 4.27. Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe I (alta mobilidade).

As Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 apresentam a probabilidade de aceite das requisições de *handoffs* de serviços de Classe II, ou de tempo não real, no esquema RDir, considerando as duas possibilidades de movimentação do usuário, sob as condições de baixa, média e alta mobilidade. Nestas figuras, independente das condições de mobilidade, verifica-se que o esquema RDir, com as diferentes probabilidades de direcionamento aceitam menos chamadas de *handoff* de Classe II, porém isso se justifica porque este tipo de tráfego não é priorizado.

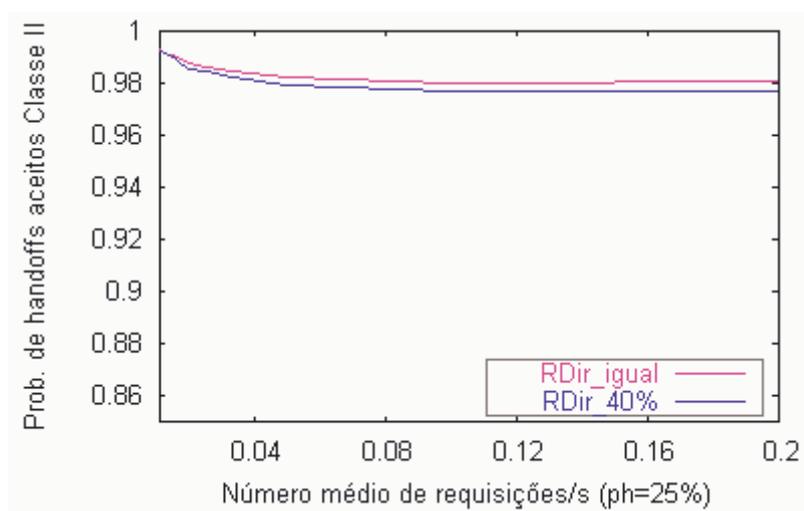


Figura 4.28. Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe II (baixa mobilidade).

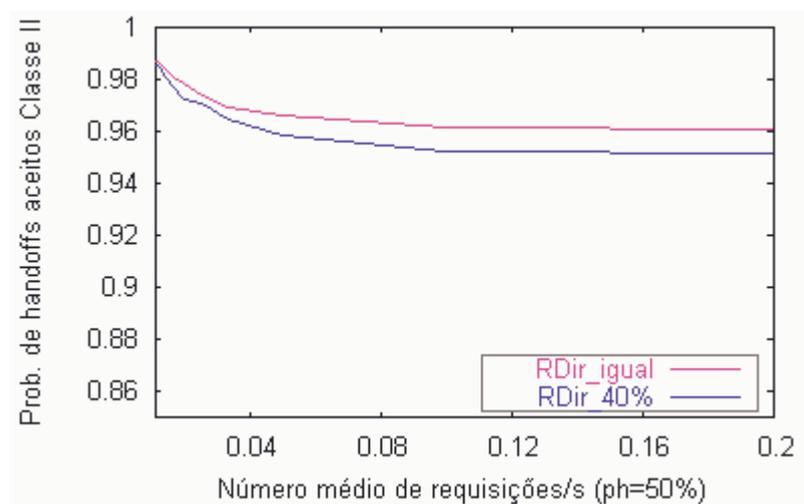


Figura 4.29. Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe II (média mobilidade).

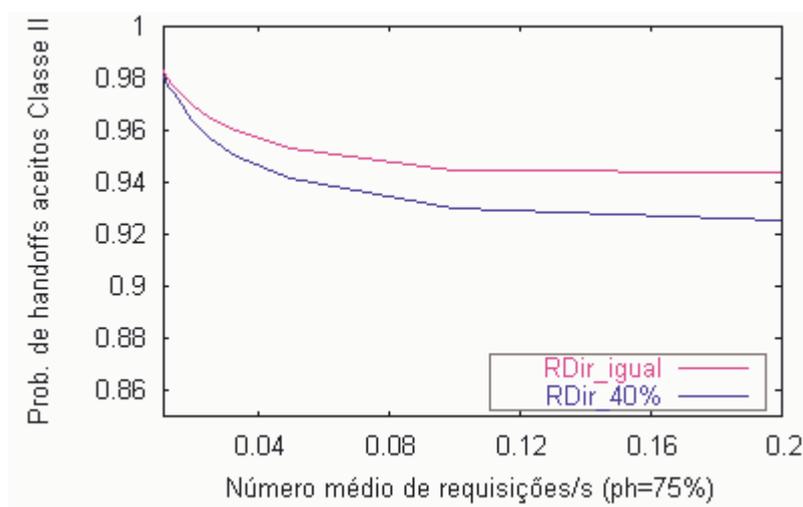


Figura 4.30. Probabilidade de aceitar *handoffs* – Classe II (alta mobilidade).

Analisando todos os resultados apresentados nesta seção, verifica-se, em quaisquer das condições de mobilidade, que o esquema RDir, com reserva direcionada, seguindo o enfoque de diferentes probabilidades, apresenta maiores probabilidades de bloqueios de requisições de novas chamadas de tráfego de Classe I, porém este esquema garante a manutenção das chamadas aceitas de Classe I porque este é o tráfego priorizado por ele, sendo capaz de apresentar os menores valores de perdas de chamadas por handoff, já que os antecipa. Assim, este esquema é viável, é original e garante a QoS das redes móveis celulares, conforme a meta deste trabalho.

4.4. VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo de simulação deve ser uma representação satisfatória do sistema real. Portanto, a etapa de validação deve ser executada com bastante critério. O processo consiste em exaustivas análises das respostas do sistema para parâmetros de entrada que foram considerados e, ainda, sobre todos os dados coletados durante o processo de simulação, que podem contribuir para os refinamentos necessários.

Para fins de validação do modelo de simulação utilizado, foi realizado um estudo baseado em modelagem analítica do esquema SR.

O estudo de avaliação de desempenho apresentado nesta seção concentra-se no esquema SR que foi escolhido porque é o mais simples e apresenta, entre todos os esquemas propostos, as condições mais favoráveis para se fazer a comparação pretendida com o estudo analítico, pois não realiza reserva de recursos e não possui um comportamento dinâmico, como ocorre nos esquemas RDir, RO e RT, o que dificultaria obter uma solução com base em ferramentas analíticas convencionais.

4.4.1. Modelagem Analítica do Esquema “SR”

Para uma rede móvel celular é importante estabelecer um modelo de tráfego antes de avaliar o seu desempenho [110]. Muitos modelos foram estabelecidos baseados em diferentes considerações sobre a mobilidade do usuário [28, 30, 94, 110-116].

No levantamento bibliográfico realizado, verificou-se que o modelo de sistema genérico com *handoff* mais adequado para a modelagem analítica pretendida nesta tese é o esquema sem prioridade (*Nonpriority Scheme*), apresentado em [110], porque ele possui mais características afins com o esquema SR, pois não prioriza o *handoff*.

Este modelo representa um sistema com S canais, conforme mostrado na Figura 4.31, que são compartilhados pelas requisições de novas chamadas (λ_o) e pelas requisições de *handoff* (λ_h), para um único tipo de tráfego, e ambas as requisições recebem o mesmo tratamento da BS. Enquanto houver recursos, estas requisições são aceitas. Caso contrário, são rejeitadas.

Inicialmente, considerou-se um esquema de *handoff* dedicado a um único tipo de tráfego, que não efetua a reserva de recursos, e uma rede com n células, cada célula têm S canais. O tempo que uma chamada permanece em uma célula tem distribuição exponencial e duração média de $1/\mu$.

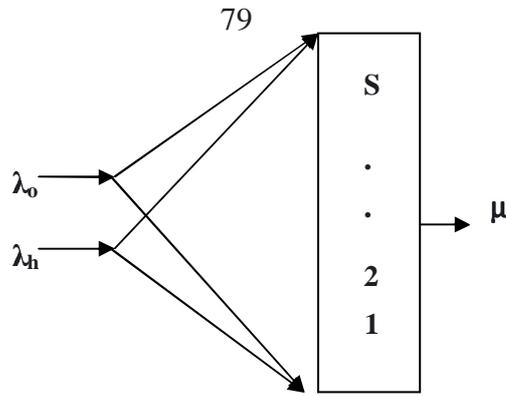


Figura 4.31. Modelo de um sistema genérico com *handoff* [110].

Considerou-se um sistema com células homogêneas, então todo o estudo concentra-se em uma única célula escolhida dentre as existentes neste sistema. O comportamento de uma célula é tratado como um processo de $(S+1)$ estados discretos, ou seja, uma cadeia de Markov [117], como ilustrado na Figura 4.32.

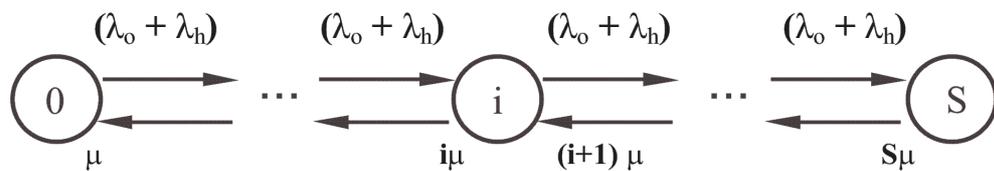


Figura 4.32. Diagrama de transição de estados [110].

Cada estado é rotulado por um inteiro i ($i = 0, 1, \dots, S$), que representa o número de canais em uso. O sistema é modelado considerando um tipo de fila $M/M/S/S$, onde o primeiro M indica que o processo de nascimento (ou de chegadas) é um processo Markoviano (Poisson); o segundo M indica que o processo de mortes (ou de atendimento) é também um processo Markoviano; os parâmetros S indicam um sistema com S servidores, com capacidade máxima de S clientes [91, 118-121].

Seja $P(i)$ a probabilidade do sistema estar em um estado i , as probabilidades $P(i)$ podem ser determinadas na forma usual para um processo de nascimento e morte. Do diagrama da Figura 4.16 a equação para o estado de equilíbrio é:

$$P(i) = \frac{\lambda_0 + \lambda_h}{i\mu} P(i-1), \quad 1 \leq i \leq S \quad (4.3)$$

Usando a equação 4.3 recursivamente, com a condição de normalização:

$$\sum_{i=0}^S P(i) = 1 \quad (4.4)$$

A probabilidade de estado estável $P(i)$ é encontrada com as seguintes equações:

$$P(i) = \frac{(\lambda_0 + \lambda_h)^i}{i! \mu^i} P(0), \quad 0 \leq i \leq S \quad (4.5)$$

onde:

$$P(0) = \frac{1}{\sum_{i=0}^S \frac{(\lambda_0 + \lambda_h)^i}{i! \mu^i}} \quad (4.6)$$

A probabilidade $P(0)$ representa o sistema em repouso, ou seja, no estado zero, sem receber nenhuma requisição de nova chamada.

Considerando os parâmetros utilizados na Tabela 4.1 os cálculos serão efetuados a partir da Equação 4.5.

Inicialmente, determina-se a partir da Equação 4.6 o valor de $P(0)$. Para simplificar as análises, a taxa média de requisições de novas chamadas (λ_0) e de *handoff* (λ_h) utilizadas no esquema SR foram somadas, ou seja, ($\lambda_h + \lambda_0$). A determinação de μ , que representa a taxa de serviço, é dada pela Equação 4.7:

$$\mu = \frac{1}{Tm} \quad (4.7)$$

Para encontrar Tm (tempo médio de duração das chamadas no sistema), foram considerados os seis tipos de serviços (três serviços de Classe I e três serviços de Classe II, da Tabela 4.2) utilizando-se da Equação 4.8:

$$Tm = \frac{\sum_{i=1}^6 (Dm_i \times LBreq_i)}{\sum_{i=1}^6 LBreq_i} \quad (4.8)$$

onde:

Tm = tempo médio de duração das chamadas no sistema [s]

Dm = duração média da chamada [s]

$LBreq$ = largura de banda média requerida pelo serviço [kbps]

Resolvendo as Equações 4.7 e 4.8 encontrou-se os valores de Tm igual a 296 segundos e μ igual a 0,00338 chamadas/s.

Para calcular $P(0)$ é preciso conhecer o valor de S , ou seja, o número de canais.

Como todos os serviços mostrados na Tabela 4.2 são gerados com taxas iguais, todas as médias dos recursos requisitados dos três tipos de serviços de Classe I (definida como $QtdeMedia_ServiçosCI$) e dos três tipos de serviços de Classe II (definida como $QtdeMedia_ServiçosCII$), foram somadas, para se calcular a quantidade média de recurso total requerida (definida como $LBreqTotal$):

$$QtdeMedia_ServiçosCI = \frac{\sum_{i=1}^3 LBreq_i}{3} \quad i \neq 0, \quad (4.9)$$

$$QtdeMedia_ServiçosCII = \frac{\sum_{i=1}^3 LBreq_i}{3} \quad i \neq 0 \quad (4.10)$$

Utilizando-se as Equações 4.9 e 4.10, as médias dos recursos requisitados pelos serviços de Classe I e pelos serviços de Classe II são 1095 kbps e 1755 kbps, respectivamente. Como existem dois tipos de tráfegos considerados, ou seja, Classe I (CI) e Classe II (CII), tem-se que $LBreqTotal$ é uma média dos dois, ou seja, 1425 kbps.

Com este resultado obtido, e sabendo-se que uma célula possui capacidade máxima disponível igual a 30 Mbps, é possível determinar a quantidade total de canais do sistema dividindo este valor por $LBreqTotal$. Assim, tem-se que S é igual a 21 canais, cada canal com a capacidade de 1425 kbps.

Com estes valores calculados, determinam-se, finalmente, os valores de P(0), e consequentemente, de P(i).

O cálculo da largura de banda média utilizada pode ser feito pela Equação 4.11:

$$LB_{utilizada} = \sum_{i=0}^{21} i \times LBreqTotal \times p(i) \quad (4.11)$$

Com todos os resultados já obtidos é possível determinar, pela Equação 4.12 [110], o valor da probabilidade de bloqueio das requisições de novas chamadas (CBP), denominada de B_0 :

$$B_0 = P(S) = \frac{(\lambda_0 + \lambda_h)^S}{S! \mu^S} \quad (4.12)$$

$$\sum_{i=0}^S \frac{(\lambda_0 + \lambda_h)^i}{i! \mu^i}$$

Neste modelo a probabilidade de uma chamada ser perdida por *handoff* (CDP) é denominada de B_h e não se prioriza o *handoff*. Assim, os valores de CBP e de CDP são iguais, ou seja:

$$B_o = B_h \quad (4.13)$$

O *handoff* tem um impacto significativo sobre o desempenho do sistema, especialmente quando a célula é pequena, como é o caso das redes móveis celulares mais recentes. Os valores de CBP das requisições de novas chamadas e os valores de CDP são critérios primários considerados para indicar o desempenho de um sistema [110].

4.4.2. Apresentação e Análise de Resultados Obtidos no Estudo Analítico

Nesta seção serão apresentados e analisados os resultados obtidos no estudo analítico.

As métricas consideradas são plotadas no gráfico em função do número médio de requisições/s (que representa a soma das requisições de novas chamadas (λ_o) e de *handoff* (λ_h)). A Figura 4.33 apresenta o percentual de utilização média de largura de banda, obtido por meio da Equação 4.11.

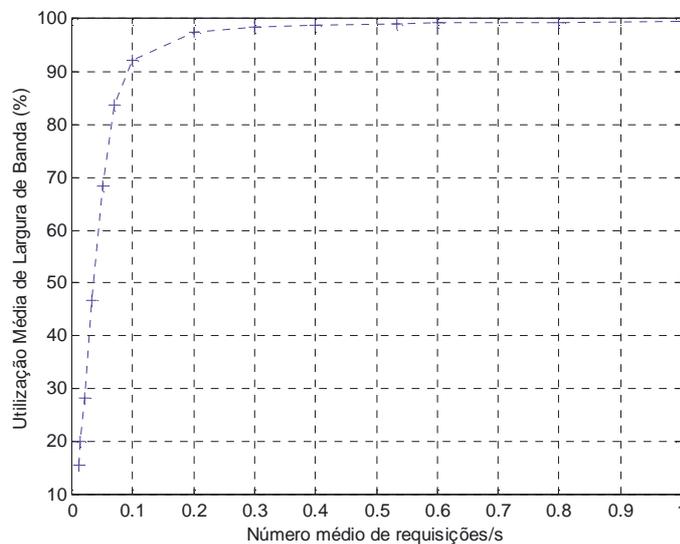


Figura 4.33. Percentual de utilização de largura de banda.

As Figuras 4.34 e 4.35 ilustram os valores de CBP e de CDP, respectivamente. Pode ser observado, nestas Figuras, que as curvas (de bloqueio de novas chamadas e de perdas por *handoff*) são coincidentes, como indicado na Equação 4.13 [110], confirmando a igualdade entre B_0 e B_h .

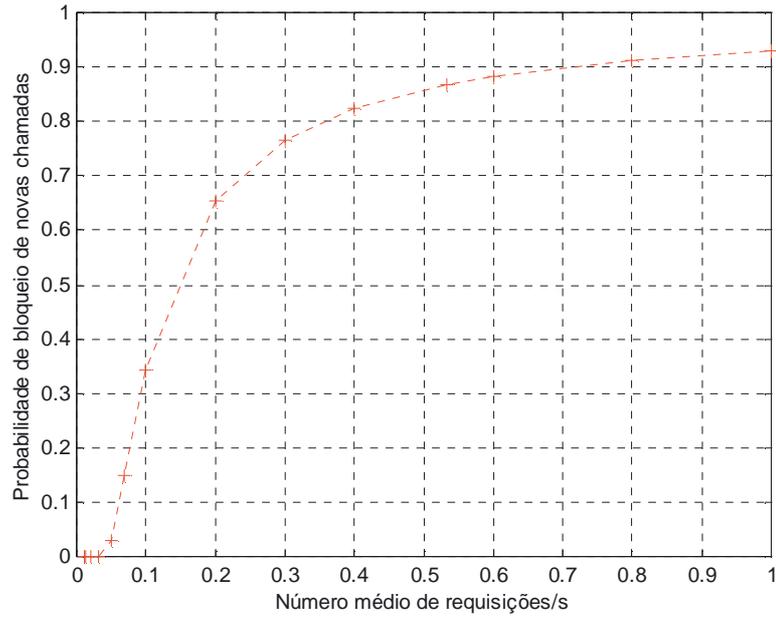


Figura 4.34. Probabilidade de bloqueio de requisições de novas chamadas (CBP).

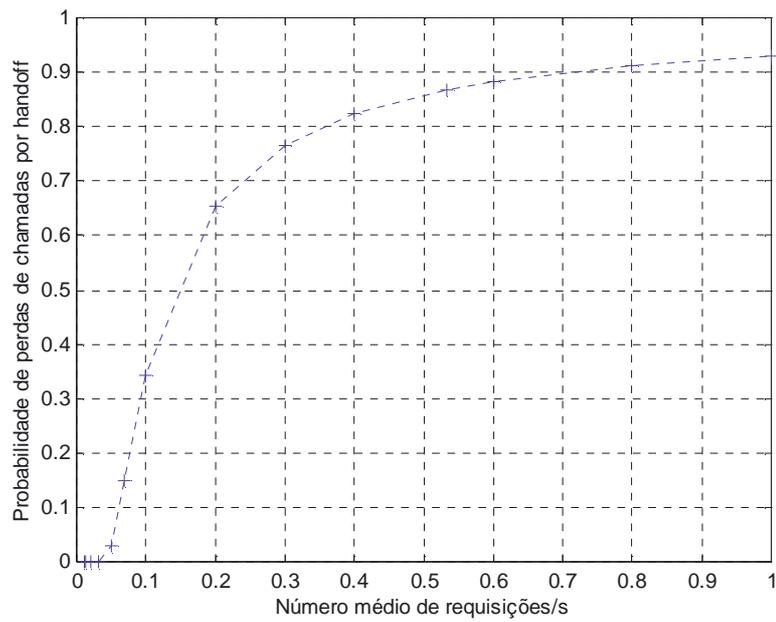


Figura 4.35. Probabilidade de perdas de chamadas por *Handoff* (CDP).

4.5. Análise Comparativa de Resultados Obtidos Via Simulação e Estudo Analítico

Uma comparação entre resultados analíticos e de simulação dá mais confiabilidade a um estudo de avaliação de desempenho [107]. Para tanto, foi considerado apenas um tipo genérico de serviço de tráfego Classe I, com duração média de 296 segundos e uma exigência média de 1425 kbps de largura de banda, pelos cálculos obtidos na seção 4.3.1 deste capítulo.

A Figura 4.36 permite comparar os resultados de utilização média de largura de banda, obtidos via estudo analítico e por simulação. Verifica-se que as curvas resultantes do estudo baseado em simulação e do estudo analítico se sobrepõem.

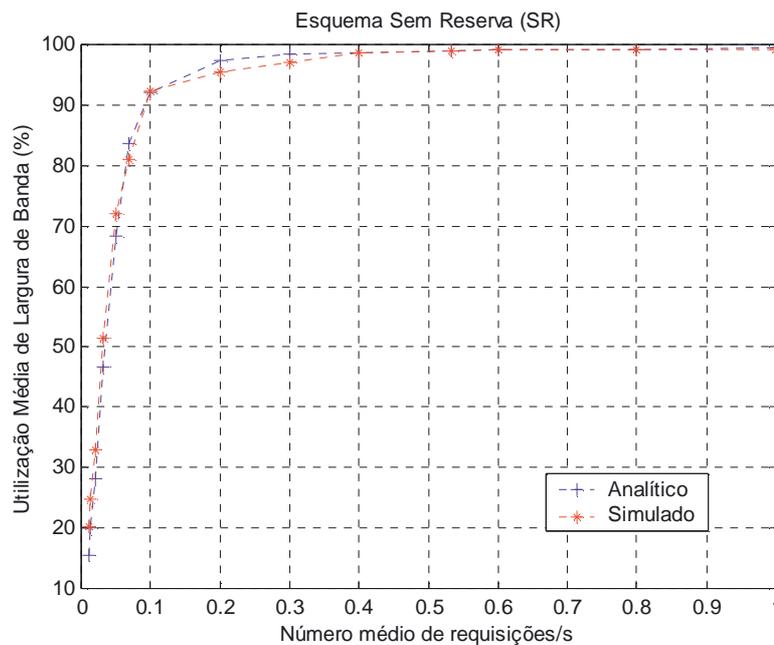


Figura 4.36. Utilização média de largura de banda.

Observa-se ainda que a curva de utilização de largura de banda do estudo analítico inicia-se em 15,45% e a curva de resultados de simulação inicia-se um pouco mais adiante, em 20%, porém, à medida que o tráfego cresce, as duas curvas continuam similares, apresentando um mesmo comportamento.

A Figura 4.37 permite comparar os resultados obtidos, analiticamente e por simulação, do valor de CBP das requisições de novas chamadas do esquema SR.

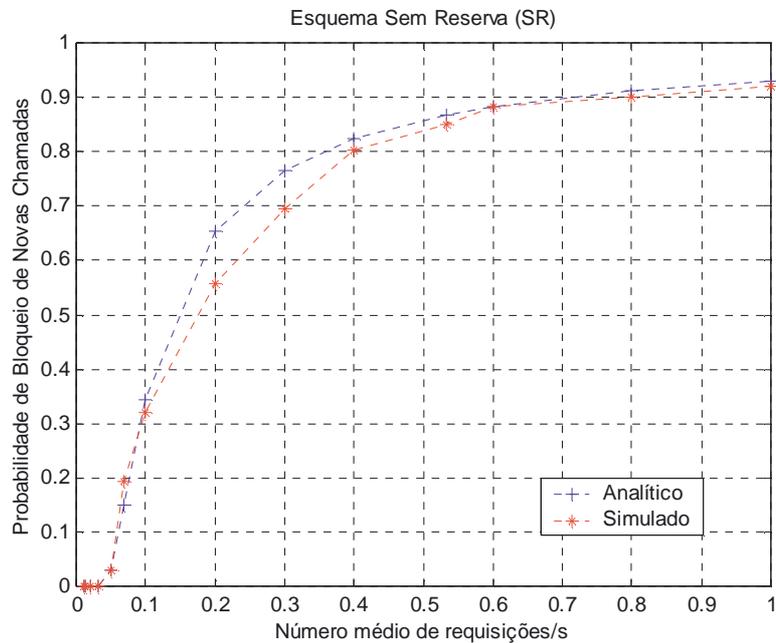


Figura 4.37. Probabilidade de bloqueio de requisições de novas chamadas (CBP).

Observa-se que a curva de CBP resultante das simulações do esquema SR segue o mesmo comportamento da curva de CBP obtida analiticamente. Comparando os resultados analíticos e de simulação verificou-se uma boa aproximação dos mesmos, portanto permite considerar-se validado o modelo de simulação.

4.6. CONCLUSÃO

Neste capítulo avaliou-se o desempenho dos esquemas propostos por meio de um modelo de simulação.

Nas simulações, com base nos resultados obtidos usando dedução estatística, efetuou-se uma análise de parâmetros típicos de QoS das redes móveis celulares, tais como CDP, CBP e o percentual de utilização de largura de banda. O modelo de simulação permitiu avaliar o comportamento dos esquemas propostos em diferentes cenários, decorrentes de mudanças na

carga de tráfego e das considerações sobre mobilidade dos usuários, prioridade e exigências para o atendimento dos diferentes tipos de serviços de Classe I e II.

Verificou-se que os esquemas propostos, denominados de Reserva Direcionada (RDir) e Reserva Total (RT), apresentaram os menores valores de perdas de requisições de *handoff* ou CDP, quando comparados com esquemas semelhantes. Constatou-se também que estes esquemas alcançaram uma efetiva utilização de largura de banda, perdendo apenas para o esquema SR, o qual não efetua nenhum controle de reserva de recursos.

O esquema RT foi capaz de prover os menores valores de CDP considerando as chamadas de Classe I. Porém, ocorre um maior desperdício de largura de banda, pois efetua-se a reserva em todas as células adjacentes. O esquema RDir apresenta um valor de CDP um pouco maior que o RT, mas, por reservar largura de banda em apenas três células, desperdiça menos largura de banda que o RT, além de apresentar um menor valor de CBP, aceitando mais requisições de novas chamadas.

Verificou-se que os esquemas SR e RO aceitam mais chamadas, em comparação com os esquemas RT e RDir, porém, eles recusam uma maior quantidade de *handoff*. Além disso, os resultados confirmam que estes esquemas não garantem a continuidade da chamada aceita, não provendo QoS. Assim, pode-se concluir que os esquemas propostos RT e RDir promovem uma garantia de manutenção das conexões aceitas na rede, melhorando, portanto, a qualidade de serviço nas redes móveis celulares.

Além disso, verificando as análises do estudo de simulação especialmente do esquema proposto RDir, o qual segue o enfoque de diferentes probabilidades de direcionamento de movimentação do usuário, conclui-se que este esquema é capaz de apresentar os menores valores de perdas de chamadas por *handoff*, já que os antecipa. Assim, este esquema é viável, é original e garante a QoS das redes móveis celulares, conforme a meta deste trabalho.

Para fins de validação do modelo de simulação utilizado, foi realizado um estudo baseado em modelagem analítica do esquema SR e na comparação dos resultados analíticos e

de simulação. Verificou-se uma boa aproximação entre eles o que, portanto, permite considerar-se validado o modelo de simulação.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Atualmente, as redes móveis celulares tornaram-se uma necessidade da civilização moderna. Todavia, estas redes exigem garantias de QoS para a inclusão de novas aplicações, tais como, jogos interativos, mundos virtuais, ensino a distância (EAD), videoconferências, aplicações de voz e de multimídia, e outras que deverão surgir.

Um dos grandes desafios para as redes móveis celulares é conseguir utilizar, de forma eficiente, a limitada largura de banda disponível e ainda fornecer QoS para as suas aplicações de multimídia. Em vista disso, apresenta-se neste trabalho uma extensão do esquema ABR descrito em [1], que se constitui numa proposta de novos esquemas alternativos baseados em CAC e na reserva adaptativa de largura de banda nas células vizinhas, numa abordagem fim-a-fim.

Os esquemas propostos buscam oferecer suporte de QoS ao tráfego multimídia em uma rede móvel celular e são denominados de esquema de Reserva Total (RT), esquema de Reserva Direcionada (RDir), esquema Sem Reserva (SR) e esquema com Reserva apenas na Origem (RO).

O esquema RT efetua reserva total tanto na célula onde a chamada é originada quanto na célula de destino da chamada. Buscando minimizar o desperdício de recursos do esquema

RT e aumentar a eficiência da utilização de largura de banda, foi proposto o esquema RDir. Este esquema, numa abordagem fim-a-fim, reserva recursos apenas nas três células adjacentes com maiores probabilidades de receber uma requisição de *handoff*. O esquema SR representa uma extensão do sistema móvel celular convencional, e não realiza reserva de recursos nas células adjacentes, na origem ou no destino da chamada. O esquema RO realiza a reserva apenas na célula que origina a chamada e em suas células vizinhas, caso tenha largura de banda disponível e o tráfego seja de classe I. No destino não é realizada nenhuma reserva, nem para as requisições de novas chamadas nem para *handoff*. Os esquemas SR e RO foram implementados para fins de comparações.

De acordo com a literatura pesquisada, a principal contribuição deste trabalho consiste na proposta inovadora de reservar recursos, numa abordagem fim-a-fim. Com esta abordagem, realizou-se uma análise de parâmetros típicos de QoS das redes móveis celulares, tais como CDP, CBP e o percentual de utilização de largura de banda.

Os estudos de avaliação de desempenho baseados em modelagem e simulação demonstraram que os esquemas propostos RDir e RT foram capazes de apresentar as menores taxas de perdas de *handoff* ou CDP, garantindo a continuidade das chamadas de tempo real (ou de classe I) aceitas no sistema. Para isto, estes esquemas foram capazes de priorizar as chamadas já admitidas na rede, diminuindo a taxa de perdas de chamadas durante os procedimentos de *handoff* e oferecer suporte à QoS requerida pelas aplicações de multimídia ao garantir largura de banda para diferentes mídias.

Os esquemas propostos foram avaliados sob diferentes cenários, os quais impuseram uma diversificada carga de tráfego na rede, bem como consideraram a mobilidade dos usuários, as prioridades e as exigências para o atendimento dos diferentes tipos de serviços de Classe I e de Classe II. Mesmo sob estas condições, os esquemas propostos apresentaram vantagens em relação a outros existentes na literatura.

Para fins de validação do modelo de simulação utilizado, realizou-se um estudo baseado em modelagem analítica do esquema SR. Comparando os resultados analíticos e de simulação verificou-se uma boa aproximação dos mesmos.

Neste presente trabalho foi aplicado um controle fixo de prioridade de tráfego, contemplando apenas as aplicações de tempo real ou de Classe I. Visando a continuidade deste trabalho sugere-se, então, a extensão da pesquisa visando um controle dinâmico da prioridade dos diferentes serviços multimídia nas redes móveis celulares, baseando-se nas condições da rede e no perfil do usuário.

Considerando que a ferramenta de simulação SRMC desenvolvida neste trabalho pode oferecer uma importante contribuição para o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas com as redes móveis celulares, sugere-se que os algoritmos e controles desta ferramenta sejam adaptados de forma a propiciar o estudo de outras questões de interesse nessa área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLIVEIRA, C. H. & SUDA T., Quality-of-Service Guarantee and Traffic Characterization in Multimedia Wireless Networks, Doctoral Thesis, University of California, 2002.
- [2] WONG, T. C., MARK, J. W. & CHUA, K. C., Resource Allocation in Mobile Cellular Networks with QoS Constraints, In IEEE International Conference on Communication Systems 2000, T3-1 Cellular Networks II, 2nd Paper, Novembro, 2000.
- [3] WOLF, L. C., GRIWODZ, C. & STEINMETZ, R., Multimedia Communication, Proceedings of the IEEE, Vol. 85, Nº 12, Dezembro 1997.
- [4] KUROSE , J. F. & ROSS, K. W., Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring The Internet, 3rd ed., United States of America, Pearson Education Inc., 2005.
- [5] IERA, A., MOLINARO, A. & NAHRSTEDT, K., QoS in Next-generation Wireless Multimedia Communications Systems, IEEE Wireless Communications Systems, p. 6-7, Junho, 2003.
- [6] GOODMAN, D. J., Cellular Packet Communications, IEEE Transactions on Communications, 38(8), Agosto, 1990.
- [7] PADGET. J. E., GUNTHER, C.G. & HATTORI T., Overview of Wireless Personal Communications, IEEE Communications Magazine, 33(1), Abril, 1995.
- [8] SARNECKI, J. ET AL, Microcell Design Principles, IEEE Communications Magazine, 31(4), Abril, 1993.
- [9] JAIN, R. & VARSHNEY, U., Supporting Quality of Service in Heterogeneous Wireless Networks, Proceedings Vehicular Technology Conference, IEEE VTC 2002, pp. 952-956, 2002.

- [10] LI, Y. & ANDRESSEN, S., Traffic Management Principles for Guaranteed Wireless Network Performance. Third Annual International Conference on Universal Personal Communications, San Diego, p. 325-29, Setembro, 1994.
- [11] PAHLAVAN, K & LEVESQUE, A. H., Wireless Data Communications, Proceedings of the IEEE, 82(9), Setembro, 1994.
- [12] JABBARI, B., COLOMBO G., NAKAJIMA, A. & KULKARNI, J., Networks Issues for Wireless Communications, IEEE Communications Magazine, 33(1), Janeiro, 1995.
- [13] HARASTY, D. J., CHANG, L.F. & NOERPEL, A. R., Architecture Alternatives for Wireless Data Services, In Proceedings of the 1994 IEEE ICUPC, San Diego CA, Setembro, 1994.
- [14] WISELY, D., EARDLEY, P. & BURNESSE, L., IP for 3G: Networking Technologies for Mobile Communications, England, John Wiley & Sons, 2002.
- [15] SAUD, L. C., Qualidade de Serviço em Redes Móveis Celulares de Terceira Geração, com Estudo de Caso em Redes 2,5 3G Utilizando Serviços Diferenciados, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2003.
- [16] GOODMAN, D., Wireless Communication Systems, Addison-Wesley, 1997.
- [17] KIM, S. & VARSHNEY, P. K., An Adaptive Bandwidth Reservation Algorithm for QoS Sensitive Multimedia Cellular Networks, Vehicular Technology Conference, Proceedings VTC 2002 – Fall, IEEE 56th, vol. 3, p. 1475-1479, 2002.
- [18] HAC, A. & ARMSTRONG, A., Resource Allocation Scheme for QoS Provisioning in Microcellular Networks Carrying Multimedia Traffic, International Journal of Network Management, vol 11, Setembro, p. 277-307, 2001.
- [19] JAYARAM R., KAKANI N.K., SEN S. K. & DAS S.K., A Call Admission and Control Scheme for Quality-of-Service (QoS) Provisioning in Next Generation Wireless Networks, Wireless Networks, vol. 6, p. 17-30, Fevereiro, 2000.

- [20] PATI, H. P. , R. MALL & I. SENGUPTA, An Efficient Bandwidth Reservation and Call Admission Control Scheme for Wireless Mobile Networks, Computer Communications 25, p. 74-83, Fevereiro, 2002.
- [21] KIM, S. & VARSHNEY, P. K., An Adaptive Fault Tolerant Algorithm for Multimedia Cellular Networks, Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference, VTC 2003 Spring, Abril, 2003.
- [22] LIN, Y., NOERPEL A. & HARASTY, D., A Non-Blocking Channel Assignment Strategy for Handoffs, In IEEE ICUPC 94, San Diego, California, Setembro 1994.
- [23] COX, D. & REUDINK, D., Increasing Channel Occupancy in Large-scale Mobile Radio Systems: Dynamic Channel Reassignment, IEEE Transactions on Communications, 21(11), Novembro, 1973.
- [24] EVERITT, D. & MANFIELD D., Performance Analysis of Cellular Communication Systems With Dynamic Channel Assignment, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Outubro, 1989.
- [25] NANDA, S. & GOODMAN, D., Third Generation Wireless Information Networks. Dynamic Resource Acquisition: Distributed Carrier Allocation for TDMA Cellular Systems, chapter pages 99-124, Norwel, MA, 1992.
- [26] CHIA, S., Mixed Cell Architecture and Handover, In IEE Colloquium – Mobile Communications in the year 2000, London UK, Junho, 1992.
- [27] FALCIASECCA, G. ET AL, Investigation on a Dynamic Channel Allocation for High Capacity Mobile Radio Systems, In IEEE Vehicular Technology Conference, 1998.
- [28] HONG, D. & RAPPAPORT, S. S., Traffic Model and Performance Analysis of Cellular Radio Telephone Systems With Prioritizes and Non-Prioritized Handoff Procedures, In IEEE Vehicular Technology, 35(3), Agosto, 1986.

- [29] OH, S. H. & TCHA, D.W., Prioritized Channel Assignment In A Cellular Radio Networks, IEEE Transactions on Communications, 40 (7), Julho, 1992.
- [30] TEKINAY, S. & JABBARI, B., A Measurement Based Priorization Scheme for Handover in Mobile Cellular Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 10 (8), Outubro, 1992.
- [31] YANG, W.B. & GERANIOTIS, E., Admission Policies for Integrated Voice and Data Traffic in CDMA Packet Radio Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12(4), Maio, 1994.
- [32] NAGHSHINEH, M. & ACAMPORA, A. S., QoS Provisioning In Micro Cellular Networks Supporting Multimedia Traffic, In IEEE Infocom 95, Boston Massachusetts, p. 1075-1084, Abril, 1995.
- [33] NAGHSHINEH, M. & SCHWARTZ, M., Distributed Call Admission Control in Mobile/Wireless Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, p. 711-716, Maio, 1996.
- [34] TAJIMA, J. & IMAMURA, K., A Strategy for Flexible Channel Assignment in Mobile Communication System, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 37(2), Maio, 1988.
- [35] ACAMPORA, A. S. & NAGHSHINEH, M., Control and Quality of Service Provisioning in High Speed Microcelular Networks, IEEE Personal Communications Second Quarter, p.36-43, 1994.
- [36] ACAMPORA, A. S. & NAGHSHINEH, M., An Architecture and Methodology for Mobile-Executed Handoff in Cellular ATM Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12(8), Outubro, 1994.
- [37] ACAMPORA, A. S. & NAGHSHINEH, M., Design and Control of Micro-Cellular Networks With QoS Provisioning For Real Time Traffic, In IEEE ICC 96, Dallas Texas, Junho, 1996.

- [38] LEVINE, D., AKYILDIZ, I. & NAGHSHINEH, M., A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept, IEEE/ACM Transactions on Networking, 5(1), Fevereiro, 1997.
- [39] KIM, SUNGWOOK, Adaptive On-line Bandwidth Management for QoS Sensitive Multimedia Networks, Doctoral Thesis, University of Syracuse, outubro, 2003.
- [40] ZHUANG, W. & LEONG C. W., Call Admission Control for Voice and Data Traffic in Wireless Communications, Computer Communications, vol 25, p.972-979, Outubro, 2002.
- [41] HOU, J. & FANG. Y., Mobility-based Call Admission Control Schemes for Wireless Mobile Networks, Wireless Communications and Mobile Computing, John Wiley & Sons Ltd., p. 269- 282, 2001.
- [42] KWON, T. et al, QoS Provisioning in Wireless/ Mobile Networks using an Adaptive Framework, Journal of Wireless Networks, p. 51-59, 2003.
- [43] JIANG, J. & LAI, T., An Efficient Approach to Support QoS and Bandwidth Efficiency in High-Speed Mobile Networks, IEEE 2000 International Conference on Communications. Vol. 2, p. 980-984, 2000.
- [44] Service Aspects: Quality of Service and Network Performance, 3GTR22.925.
- [45] ITU-T RECOMMENDATION E.800, Terms and Definitions Related to Quality of Service and Network Performance Including Dependability, Agosto, 1993.
- [46] DIAS, K. L., & SADOK, D. F. H., Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS, Livro Texto dos Minicursos – SBRC’2001, Maio, 2001.
- [47] BARCELÓ, F., Performance Analysis of Handoff Resource Allocation Strategies Through the State-Dependent Rejection Scheme, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 3, Nº 3, Maio 2004.
- [48] ITU (International Telecommunication Union) & ITC (International Teletraffic Congress), Teletraffic Engineering Handbook, Geneva, Janeiro, 2005.

- [49] WEI, Y. ET AL, Dynamic Priority Handoff Scheme in Differentiated QoS Wireless Multimedia Networks, Computer Communications, Vol 27, N° 10, p. 1001-1011, Junho 2004.
- [50] DIAS, K. L., Controle de Admissão de Chamadas e Reserva de Recursos em Redes Móveis Celulares, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Abril, 2004.
- [51] KUROSE J., Open Issues and Challenges in Providing Quality of Service Guarantees in High Speed Networks, Computer Communications Review, p. 234-239, Janeiro, 1993.
- [52] ITU Telecom World 2003, Genebra, 2003. Disponível em: www.mct.gov.br/Tema/info/Imprensa/Noticias3/Telecom3.htm, em junho/2005.
- [53] JAIN, R. & VARSHNEY, U., Issues in Emerging 4G Wireless Networks, IEEE Computer Magazine, p. 94-96, Junho, 2001.
- [54] HUI, S. Y. & YEUNG, K. H., Challenges in the Migration to 4G Mobile Systems, IEEE Communications Magazine, p. 54-59, Dezembro, 2003.
- [55] JSMNet Networking Reviews, Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP, volume 1, nº 1, setembro, 1999. Disponível em: <http://www.jsmnet.com>, em setembro, 2000.
- [56] GOZDECHI, J. & STANKIEWIEZ, Quality of Service Terminology in IP Networks, IEEE Communications Magazine, p. 153-159, Março, 2003.
- [57] EL-GENDY, M. A., BOSE, A. & SHIN, K. G., Evolution of the Internet QoS and Support for Soft Real-Time Applications, Proceedings of the IEEE, Vol. 7, Julho, 2003.
- [58] SEAL, K & SHING S., Loss Profiles: A Quality of Service Measure in Mobile Computing Wireless Networks, p. 45-61, janeiro, 1996.

- [59] NAGHSHINEH, M. & WILLEBEEK-LEMAIR, M., End-to-End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework, IEEE Communications Magazine, p. 72-81, Novembro, 1997.
- [60] CHALMERS, D. & SLOMAN M., A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments, IEEE Communications Surveys, Second Quarter, 1999.
- [61] CHOI, S. & SHIN K., Predictive and Adaptive Bandwidth Reservation for Hand-Offs in QoS Sensitive Cellular Networks, Proceedings of ACM SIGCOMM'98, p. 155-166, Setembro, 1998.
- [62] MARSAN, M. A. & MEO, M., QoS Analysis of Cellular Systems with Linear Topology and High User Mobility, WCNC 2000, Chicago, IL, USA, Setembro, 2000.
- [63] ZONOOZI, M. M. & DASSANAYAKE, User Mobility Modeling and Characterizations of Mobility Patterns, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 7, Setembro, 1997.
- [64] CAVALCANTI, D. A. T., DIAS, K. L. & SADOK, D., Estudo dos Aspectos de QoS e Mobilidade no Planejamento de Uma Rede Móvel Celular, WORKSIDAM (Workshop sobre Métodos e Serviços para Computação Móvel Projeto SIDAM/IME/USP), São Paulo, Outubro, 2000.
- [65] SHING, S., Quality of Service Guarantees in Mobile Computing, Journal Computer Communications, p. 359-371, 1996.
- [66] SADEGHI, B. & KNIGHTLY, E.W., Architecture and Algorithms for Scalable Mobile QoS, Journal of Wireless Networks, p. 7-20, 2003.
- [67] KWON, T., CHOI, Y., BISDIKIAN, C. & NAGHSHINEH, M., Call Admission Control for Adaptive Multimedia in Wireless/Mobile Networks, ACM/IEEE MobiCom'98, ACM SIGMOBILE, Dallas, Texas, USA, p. 11-116, 1998.

- [68] SHIH, D. & LIN, Z., Bandwidth Saturation QoS Provisioning for Adaptive Multimedia in Wireless/Mobile Networks, Computer Standards & Interfaces, 26, p. 279-288, 2004.
- [69] AHMED, M. H., Call Admission Control in Wireless Networks: a Comprehensive Survey, IEEE Communications Surveys & Tutoriais, First Quarter, Volume 7, Nr. 1, 2005.
- [70] LEONG C. W. & ZHUANG, W., Call Admission Control for Integrated On/Off Voice and Best-Effort Data Services in Mobile Cellular Communications, IEEE Transactions on Communications, Vol. 52, N° 5, Maio, 2004.
- [71] YACOUB, M. D., Foundations of Mobile Radio Engineering, CRC Press, Inc., 1993.
- [72] LEE, W. C. Y., Mobile Cellular Communications, McGraw-Hill, New York, 1995.
- [73] KATZELA, I. & NAGHSHINEH, M., Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunications Networks: a Comprehensive Survey, IEEE Personal Communications, Junho, 1996.
- [74] EPSTEIN, B. & SCHWARTZ, M., Reservation Strategies for Multimedia Traffic in a Wireless Environment, in Proc. IEEE VTC'95, p. 165–169, Julho, 1995.
- [75] CHOU, C. & SHIN, K. G., Analysis of Combined Adaptive Bandwidth Allocation and Admission Control in Wireless Networks, IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), p. 676-684, New York, NY, Junho, 2002.
- [76] CHEN, H., KUMAR, S. & KUO, C. J., Dynamic Call Admission Control Scheme for QoS Priority Handoff in Multimedia Cellular Systems, Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Orlando, FL, Vol. 1, p. 114-118, Março, 2002.
- [77] DIMITRIOU N & TAFAZOLLI, R., Quality of Service for Multimedia CDMA, IEEE Communications Magazine, p. 88-94, Julho, 2000.

- [78] XIAO, Y, CHEN, C. L. P. & WANG, YAN, Quality of Service and Call Admission Control for Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks, Proceedings of the IEEE National Aerospace and Electronics Conference, NAECOM 2000, p. 214-220, 2000.
- [79] DAS S.K, KAKANI N.K. & CHATTERJEE, M., QoS Provisioning in Wireless Multimedia Networks, Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), New Orleans, Vol. 3, p. 1493-1497, Setembro, 1999.
- [80] ALJADHAI, A. & ZNATI, A. F., Predictive Mobility Support for QoS Provisioning in Mobile Wireless Environments, IEE Journal on Selected Areas n Communications, Vol. 19, Nr. 10, Outubro, 2001.
- [81] SU, W., LEE, S. J. & GERLA, M., Mobility Prediction in Wireless Networks, In. Proceedings of IEEE MILCOM 2000, Vol. 1, Los Angeles, CA, Outubro, 2000.
- [82] GANGULY, S. & NATH, B., An Implicit QoS Provisioning Strategy in Multimedia Cellular Network, WCNC 2002 - IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol.3, Nº 1, p.268-273, Março, 2002.
- [83] HOU, J., AKANSU, A. N. & FANG. Y., Mobility-based Channel Reservation Scheme for Wireless Mobile Networks, IEEE Wireless Communications and Networking (WCNC'00), Chicago, Setembro, 2000.
- [84] YU, F. & LEUNG, V. C. M., Mobility-based Predictive Call Admission Control and Bandwidth Reservation in Wireless Cellular Networks, Proceedings of the IEEE INFOCOM 2001 Conference, Anchorage, Alaska, Abril, 2001.
- [85] CHOI, S. & SHIN, K. G., A Comparative Study of Bandwidth Reservation and Admission Control Schemes in QoS-Sensitive Cellular Networks, Wireless Networks 6, p. 289-305, 2000.

- [86] HU, F.& SHARMA, N. K., Priority-Determined Multiclass Handoff Scheme with Guaranteed Mobile QoS in Wireless multimedia Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 53, Nº 1, p. 118-135, Janeiro, 2004.
- [87] SOARES, L. F. G., Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas, Rio de Janeiro, Editora Campus, 1992.
- [88] FREITAS, P., Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – com Aplicações em Arena, Florianópolis, Visual Books, 2001.
- [89] HLAVACS, H. & HARING, G., Modeling Resource Management for multi-Class Traffic in Mobile Cellular Networks, Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences, 2002.
- [90] HU, F & SHARMA, N. K., Multimedia Call Admission Control in Mobile Networks: a Dynamical Reservation-Pool Approach, Computer Networks, 43, p. 263-288, 2003.
- [91] PERIN, C. F., Introdução a Simulação de Sistemas, São Paulo, Editora da Unicamp, 1995.
- [92] BELLMAN, R., Dynamic Programming and Modern Control Theory, New York, Academic Press, p. 5, 1965.
- [93] IAN L. T. & XIAO, Y. L., A Robust M/M/1/K Scheme for Providing Handoff Dropping QoS in Multi Service Mobile Networks, Wireless Networks, Kluwer Academic Publishers, 10, p. 301-309, 2004.
- [94] ZENG, Q-A & AGRAWAL, D. P., An Analytical Modeling of Handoff for Integrated Voice/Data Wireless Networks, Proc. IEEE VTC 2000 Fall, Vol.4, p. 1986-1992, Setembro, 2000.
- [95] CHOU, C. & SHIN, K. G., Analysis of Adaptive Bandwidth Allocation in Wireless Networks with Multilevel Degradable Quality of Service, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 3, Nº 1, Janeiro-Março, 2004.

- [96] LI, W & CHAO, X., Modeling and Performance Evaluation of a Cellular Mobile Network, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, N° 1, p. 131-145, Fevereiro, 2004.
- [97] YANG, X. & SHEN, X., An Efficient Call Admission Control for QoS Provisioning in Wireless Networks, IEEE Communications Magazine, Vol. 38, N° 10, p. 72-78, Outubro, 2000.
- [98] HUANG, L, KUMAR, S. & KUO, C.-C. J., Adaptive Resource Allocation for multimedia QoS Management in Wireless Networks, IEEE Transaction Vehicular Technology, Vol. 53, N° 2, p. 547-558, 2004.
- [99] CAMPBELL, A. ET AL, Integrated Quality of Service for Multimedia Communications, Computer Communication Review, 23(1), Janeiro, 1993.
- [100] PAXSON, V., Empirically Derived Analytic Models For Wide-Area TCP Connections, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2(4), Agosto, 1994.
- [101] MURTHY, K. M. S. & PANDYA, R., Tutorial on Personal Communication Systems and Services, In Proceedings of the IEEE ICUPC, San Diego, Setembro, 1994.
- [102] HASS, Z., Tutorial on Mobile Communication Networks, In Proceedings of the IEEE GlobeCom, San Francisco CA, Novembro, 1994.
- [103] CROWCROFT, J. ET AL, R., Some Multimedia Traffic Characterization and Measurement Results, Technical Report, Department of Computer Sciences, University College London, 1992.
- [104] GALLASSI, G., RIGOLIO G. & FRATTA, ATM: Bandwidth Assignment and Bandwidth Enforcement Policies, In Proceedings of the 1989 IEEE Globecom, Dallas TX, Novembro, 1989.

- [105] RAYCHAUDHURI, D. & WILSON N. D., ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communications Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12(8), Outubro, 1994.
- [106] L. MUNOZ, M. GARCIA & J. ZAMANILLO, Proposal of a Corporate Network Architecture for a Mobile Digital System of Voice and Data Communications, In Proceedings of the 1994 IEEE ICUPC, San Diego CA, Setembro, 1994.
- [107] JAIN R. & HASSAN M., High Performance TCP/IP Networking: Concepts, Issues, and Solutions, Pearson Educations, Inc., 2004.
- [108] MOURA, J. A. B. et al., Redes Locais de Computadores – Protocolos de Alto Nível e Avaliação de Desempenho, São Paulo, McGraw-Hill e EMBRATEL, 1986.
- [109] LEON-GARCIA, A., Probability and Random Processes for Electrical Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1994.
- [110] ZENG, Q-A. & AGRAWAL D. P., Handbook of Wireless and Mobile Computing, John Wiley & Sons, Inc. 2002
- [111] EL-DOLIL, S. A., WONG, W. C. & STEELE R., Teletraffic Performance of Highway Microcells with Overlay Macrocell, IEEE J. Select. Areas in Communication, Vol. 7, Nº 1, p. 71-78, Janeiro, 1989.
- [112] STEELE, R. & NOFAL, M., Teletraffic Performance of Microcellular Personal Communication Networks, IEEE Proceedings –I, Vol. 139, Nº 4, Agosto, 1992.
- [113] XIE, H. & KUEK, S., Priority Handoff Analysis, Proceedings VTC'93, p. 855-858, 1993.
- [114] ZENG, Q-A, MUKUMOTO, K. & FUKUDA, A., Performance Analysis of Mobile Cellular Radio Systems with Two-level Priority Reservation Handoff Procedure, IEICE Transactions Communication, Vol. E80-B, Nº 4, p. 598-604, Abril, 1997.

- [115] ZENG, Q-A, MUKUMOTO, K. & FUKUDA, A., Performance Analysis of Mobile Cellular Radio Systems with Priority Reservation Handoff Procedure, Proc. IEEE VTC'94, Vol. 3, p. 1829-1833, Junho, 1994.
- [116] HLAVACS, H. & HARING, G., On Degrading Best Effort Calls in Future Cellular Mobile Networks, In International Symposium on 3rd Generation Infrastructure and Services (3GIS), 2001.
- [117] TRIVEDI, K. S., Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications, John Wiley & Sons Inc., New York, 2002.
- [118] HILLIER, F. S. & LIEBERMAN, G. J., Introduction to Operations Research, 6th ed., Singapore, McGraw-Hill Book Co.,1995.
- [119] TANENBAUM, A. S., Computer Networks, 2nd ed., New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1989.
- [120] KLEINROCK, L., Queuing Systems - Computer Applications, Vol. II, Nova York, John Wiley, 1975.
- [121] KOBAYASHI, H., Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Evaluation Methodology, Addison – Wesley, 1978.

TRABALHOS PUBLICADOS PELA AUTORA:

- [122] SILVA, S. & GUARDIEIRO, P. R., On Providing End-to-End QoS for Multimedia Traffic in Next Generation Wireless Networks by using Resource Reservation and CAC, I2TS'2003 - International Information and Telecommunication Technologies Symposium, Florianópolis-SC, Novembro, 2003.
- [123] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., A Proposal to Provide End-to-End QoS for Multimedia Traffic in Cellular Mobile Networks, ICWN 2004 – The

- 2004 International Multi Conference in Computer Science and Computer Engineering, Las Vegas – USA, Junho, 2004.
- [124] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Mobile QoS for Multimedia Traffic in Wireless Networks by Means of End-to-End Resource Reservation and CAC, INC'2004 - International Network Conference, Plymouth - U.K, Julho, 2004.
- [125] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Provisioning on the effectiveness of Adjacent Cells Bandwidth Reservation for Mobile-to-Mobile Multimedia Traffic, IASTED International Conference on Communications Systems and Applications (CSA 2004), Banff - Canada, Julho, 2004.
- [126] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Differential and Directed Frequency Spectrum Reservation within Mobile Communication Systems, MOMAG 2004, São Paulo-SP, Agosto, 2004.
- [127] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., End Resource Reservation for Connection Maintenance in Next Generation Wireless Networks, ERMACS 2004 - Encontro Regional de Modelagem e Análise Computacional de Sistemas, Goiânia-GO, Universidade Católica de Goiás, Agosto 2004.
- [128] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Um Estudo Sobre Provisionamento de Qos Para Tráfego Multimídia em Redes Móveis Celulares Baseado em CAC e Reserva De Recursos, SBrT2004 - XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Belém-PA, Setembro, 2004.
- [129] SILVA, S., GUEDES, GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Proposta para o Provimento de Qos em Redes Móveis Celulares Baseada em CAC e Reserva de Recursos, submetido à Revista IEEE América latina IEEE (Latin América Transaction (IEEE Region 9)).

- [130] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Proposta de Provisionamento de QoS em Redes Móveis Celulares Baseada em CAC e Reserva de Recursos Fim-a-fim, submetido à Revista de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da USP.
- [131] SILVA, S., GUEDES, L. G. R. & GUARDIEIRO, P. R., Propostas de Esquemas Baseados em CAC e Reserva de Recursos para a Provisão de Qos em Redes Móveis Celulares com Suporte ao Tráfego Multimídia, submetido à Revista Brasileira da Sociedade de Telecomunicações (SBrT).

APENDICE A

A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO SRMC

Este apêndice tem o objetivo de apresentar a ferramenta de Simulação SRMC (Simulador de Redes Móveis Celulares), que foi desenvolvida nesta tese para simular os esquemas propostos baseados em CAC e na reserva de recursos, denominados de RT, SR, RDir e RO.

A.1. A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO SRMC

A ferramenta SMRC é baseada em eventos e foi implementada utilizando a linguagem de programação C++ (Visual C++, da Microsoft, versão 6.0). As simulações foram realizadas no seguinte ambiente: Sistema Operacional Windows XP, Máquina com processador AMD Athlon, de 1,3 GHz, com 512 MB de memória RAM.

O SMRC é composto de 6 módulos (ou programas) que simulam uma rede móvel celular. Numa visão macro, o simulador SRMC é constituído por três processos principais, conforme mostrado nos diagramas de blocos da Figura A.1:

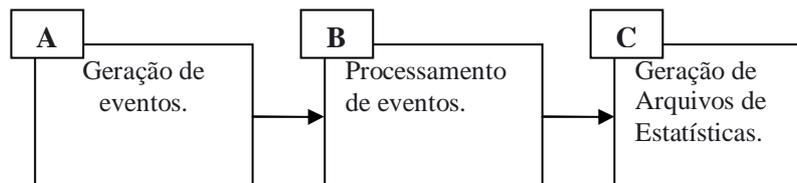


Figura A.1. Diagramas de Blocos do Simulador SRMC.

Na geração dos eventos (bloco A, Figura A.1), à medida que estes são gerados eles são inseridos em uma “lista de eventos”. Esta lista é ordenada de acordo com o tempo em que os eventos serão processados. Os tipos de eventos gerados podem ser: requisição de novas chamadas, requisição de *handoff* e fim de conexão.

No processamento de eventos (bloco B, Figura A.1), o primeiro item da lista de eventos é retirado e então processado, conforme o seu tipo, ou seja, *handoff*, requisição de nova chamada ou término da conexão.

Ao processar os eventos, verifica-se primeiro que tipo de evento está sendo processado, pois cada evento possui uma rotina diferente de tratamento. A Figura A.2 contém um diagrama para demonstrar as várias tarefas comuns a este processo:

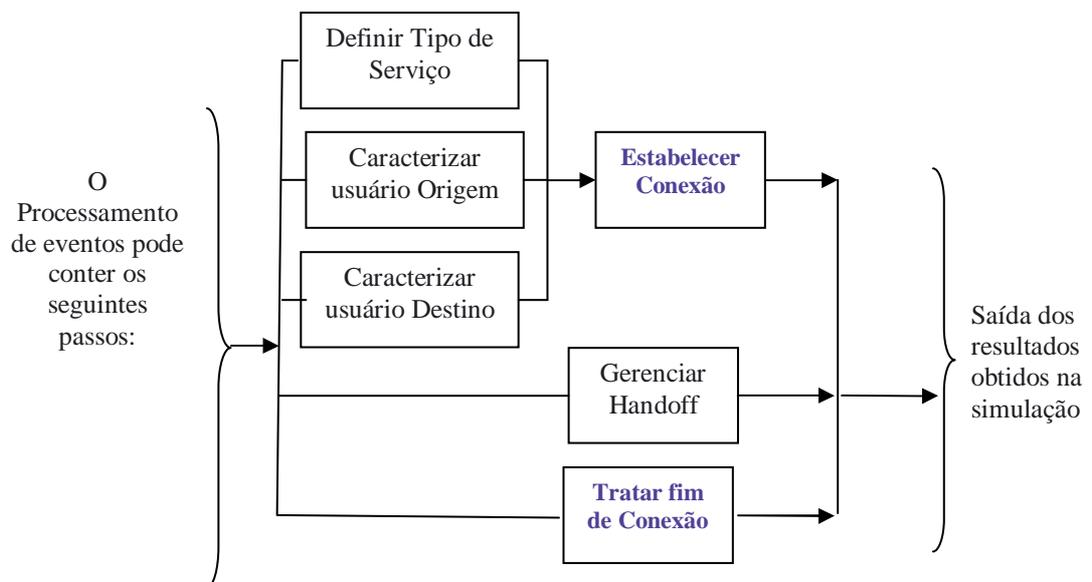


Figura A.2. Descrição do processamento de eventos.

O processamento de requisições de nova chamada é subdividido em outros subprocessos que são: “Definir Tipo de Serviço”, “Caracterizar usuário Origem” e “Caracterizar usuário Destino”, os quais compõem o subprocesso “Estabelecer Conexão”.

Este, por sua vez, desmembra-se em outros dois subprocessos: “Reservar Largura de Banda (LB) na Origem” e “Reservar Largura de Banda no Destino”, conforme ilustra a Figura A.3.

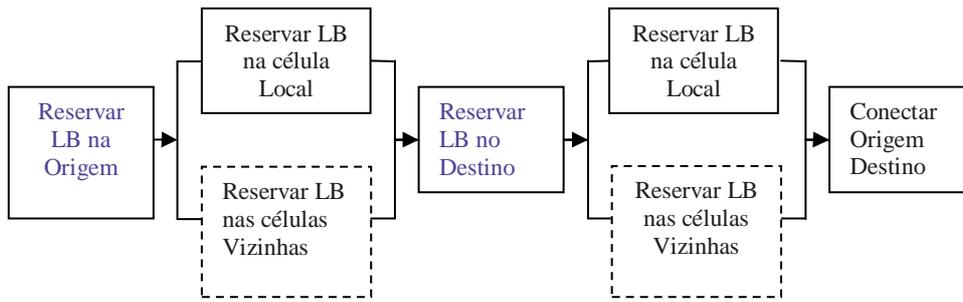


Figura A.3. Diagramas de blocos processamento de novas chamadas.

O processamento de *handoff* pode ser desmembrado em “Conexão na nova célula”, “Reserva nas novas células vizinhas”, “Liberação de reserva nas células vizinhas atuais”, “Desconexão da célula atual”.

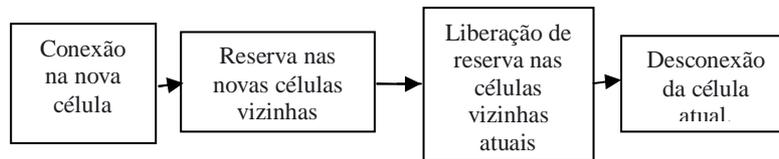


Figura A.4. Processamento de evento de *handoff*.

Este processamento de *handoff* ocorre no mesmo instante de tempo, na simulação. Ao terminar o último passo, o usuário será deslocado para a próxima célula.

O processamento de fim de conexão desmembra-se em dois subprocessos que são: “Liberar LB na Origem” e “Liberar LB no Destino”, conforme ilustra a Figura A.5.

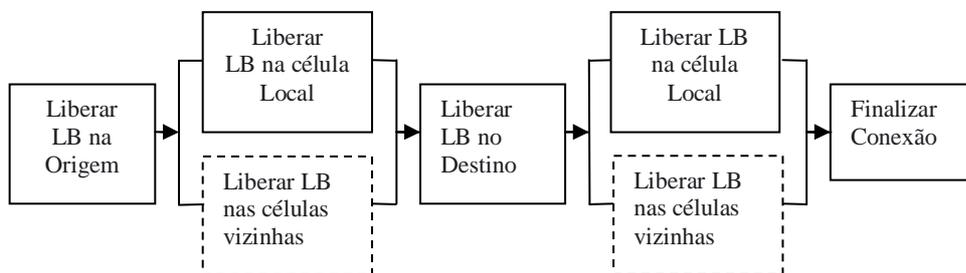


Figura A.5. Diagramas de blocos do processamento de fim de conexão.

O processamento de fim de conexão varia conforme o esquema que está sendo simulado. Por exemplo: todos eles são executados na simulação do esquema RT. Já na simulação do esquema RO, o subprocesso “Liberar LB no Destino” não é executado porque este esquema efetua reserva de recursos apenas na célula onde se originou a chamada.

Na simulação do esquema SR, os subprocessos “Liberar LB nas células vizinhas” (diagramas pontilhados da Figura A.5), correspondentes à origem e ao destino da chamada, não são executados uma vez que este esquema não reserva largura de banda.

O processo “Gerar arquivos de Estatísticas” (bloco C – Figura A.1), contido no diagrama C, tem a finalidade de armazenar todos os arquivos dos resultados gerados nas simulações, que servirão posteriormente para a elaboração de gráficos, comparações, e análises diversas.

A.2. FUNCIONAMENTO DO SRMC

Inicialmente, o SRMC chama o processo de gerar eventos, para gerar um evento inicial em cada célula da simulação.

A contagem de tempo no simulador é feita em milissegundos. Todo evento possui o tempo, em milissegundos, em que ele deve ocorrer. Esta característica existe para garantir uma maior precisão de funcionamento do simulador.

Como os eventos na lista de eventos estão ordenados de forma cronológica, pode-se dizer que o tempo de simulação corresponde ao tempo especificado no evento que está sendo tratado. Desta forma, o simulador não precisa contar o tempo de milissegundos pois considera o tempo informado no evento.

No SRMC a questão da mobilidade nos esquemas propostos RT, RO e SR foi implementada considerando que o usuário se desloca aleatoriamente para qualquer direção, e a direção do movimento é uniformemente distribuída sobre as seis células adjacentes. No esquema RDir isso foi considerado de outra forma. Existem diferentes tipos de orientação de

mobilidade para um usuário, conforme a cidade que ele se encontra, pois dependendo da estrutura de uma rua um usuário móvel pode deslocar-se em diferentes caminhos [63].

Neste esquema implementa-se um modelo de mobilidade hipotético, o qual considera que o usuário, a partir da célula que esteja localizado, possui 40% de probabilidade de seguir em frente (célula B), 20% de seguir para a esquerda (célula 2) ou direita (célula 6), e probabilidades menores (8%, 4% e 4%) de seguir para as outras três células restantes do *cluster*, conforme mostra a Figura A.6.

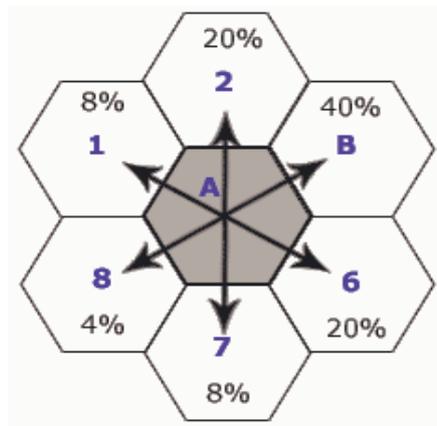


Figura A.6. Probabilidades de direção do movimento do usuário no esquema RDir.

A.3. CAC e RESERVA ADAPTATIVA DE RECURSOS NO SRMC

A reserva de recursos dos esquemas RT, RO e RDir é adaptativa, ou seja, busca corresponder às condições da rede, em termos da quantidade de carga de tráfego. Assim, o cálculo da quantidade de largura de banda, a ser reservada em cada célula do conjunto de 6 células vizinhas (apenas para os serviços de Classe I) é realizado do seguinte modo:

- Soma todas as larguras de banda requeridas pelos usuários de Classe I presentes nas células vizinhas da célula que vai realizar a reserva e este

resultado é denominado de $\sum LBreqC_1$;

- Localiza a conexão que requer maior largura de banda dentre todas as conexões de Classe I existentes nas células vizinhas, denominada de LBC_{1maior} ;
- Em seguida, efetua o seguinte cálculo, considerando as 6 células do *cluster*:

$$LBmedia = \frac{\sum LBreqC_1}{6} \quad (3.1)$$

Onde:

$LBmedia$ é o valor médio da quantidade de largura de banda a ser reservada na célula; e $\sum LBreqC_1$ é a soma de todas as larguras de banda requerida pelo tráfego de classe I das células vizinhas.

- Considerando que:
 - LBC_{1maior} seja a conexão que requer maior largura de banda, $LBreq$ é a largura de banda requisitada para reserva;
 - Lr é o limite de reserva; e $LBreserv$ é a largura de banda efetivamente reservada;

Assim, a quantidade de largura de banda a ser reservada em cada célula do conjunto é a seguinte:

IF $LBmedia \geq LBC_{1maior}$

$LBreq \leftarrow LBmedia$

ELSE

$LBreq \leftarrow LBC_{1maior}$

IF $LBreq \geq Lr$

$LBreserv \leftarrow Lr$

THEN $LBreserv \leftarrow LBreq$

END

A.5. PROGRAMAS QUE COMPÕEM O SIMULADOR SRMC

Nesta seção são apresentados os seis módulos que compõem a ferramenta de simulação SRMC, com seus respectivos conjuntos de funções.

A.5.1. Calculos.cpp

Este módulo possui as distribuições estatísticas utilizadas e armazena todas as funções de cálculo do simulador.

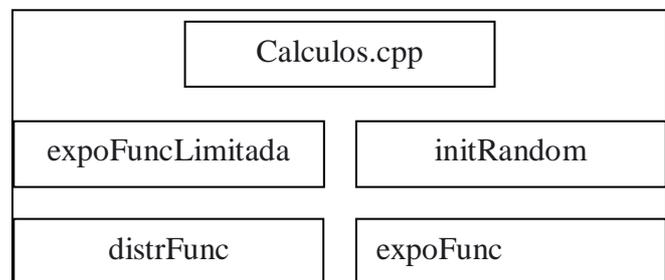
As funções têm a seguinte especificação:

ExpoFuncLimitada: gera um número exponencial entre dois valores.

InitRandom: inicializa o gerador de números randômicos do programa.

DistrFunc: gera um número entre zero e um valor especificado, com distribuição uniforme.

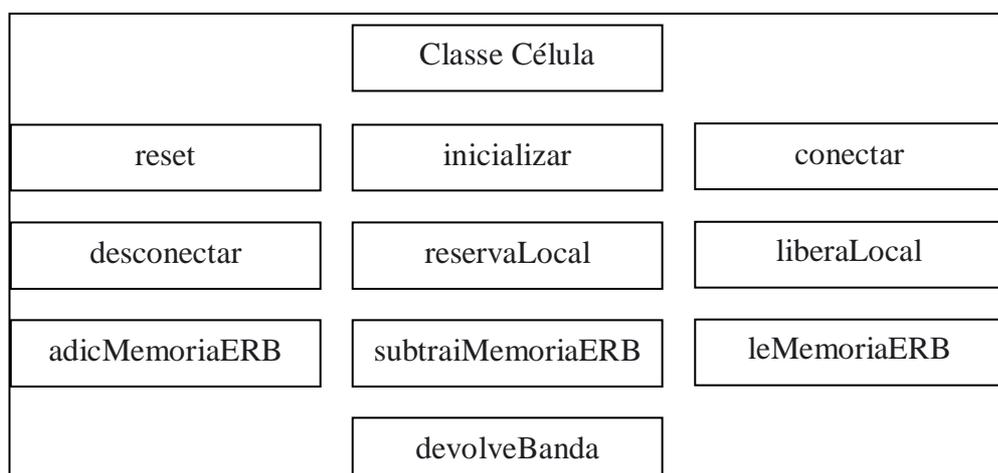
ExpoFunc: gera um número exponencial.



A.5.2. Célula

Esta é a classe que simula uma BS (*Base Station*), a qual possui as funções de reservar recursos, liberar, conectar e desconectar os usuários. Ela se divide em duas partes:

2a. Classe Célula: esta classe que simula todas as funções relacionadas a uma célula.



As funções têm a seguinte especificação:

reset: inicializa a célula com os valores iniciais de largura de banda disponível, utilizada e reservada, máximo de largura de banda reservado, o total de usuários, quantidade de usuários de Classe I.

inicializar: inicializa a célula, com valores fornecidos pelo operador do simulador para serem utilizados na simulação.

conectar: aloca recursos para uma conexão dos usuários origem e de destino. Verifica se há recursos disponíveis para aceitar a requisição de nova chamada, se não houver, bloqueia a mesma, caso contrário a aceita. Caso seja uma requisição de *handoff* de um serviço de classe I verifica se há recursos, se houver, o *handoff* acontece.

desconectar: finaliza a conexão, desalocando os recursos previamente alocados para esta conexão.

reservaLocal: reserva largura de banda na célula que originou a chamada baseando-se na demanda das células vizinhas.

liberaLocal: libera a largura de banda previamente reservada, baseando-se na demanda.

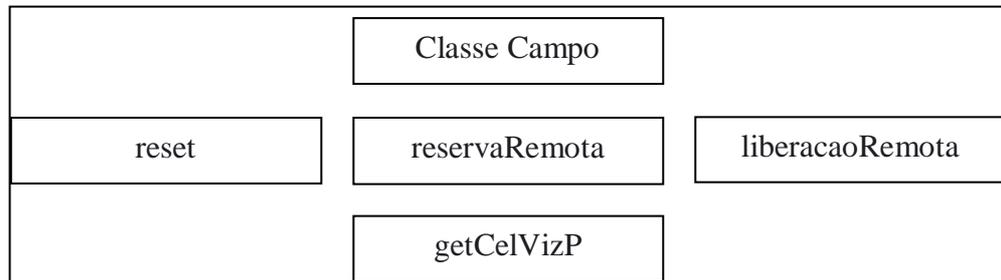
adicMemoriaERB: Registra dados da conexão que requisitou reserva na célula, para fazer cálculos futuros de novas reservas.

subtraiMemoriaERB: Retira as informações de determinada conexão que fez reserva na célula.

leMemoriaERB: Obtém as informações registradas para uma célula, das conexões que requisitaram reserva nesta célula.

devolveBanda: Devolve a quantidade de largura de banda requisitada da largura de banda utilizada para a disponível.

2.b. Classe Campo: esta classe gerencia todas as “n” células do modelo de simulação, com as seguintes funções:



reset: Reinicia todas as “n” células do campo de simulação.

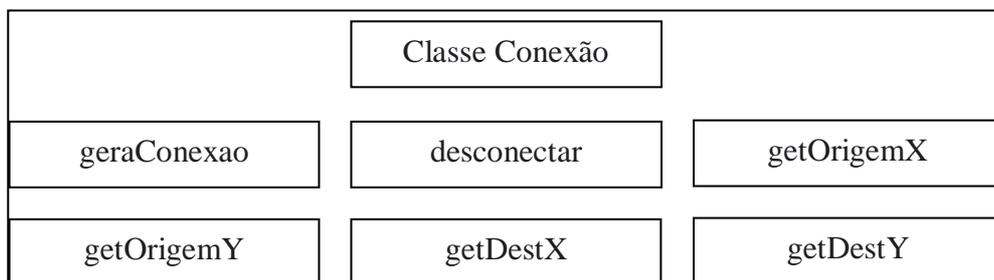
reservaRemota: Faz a reserva de recursos nas células vizinhas da célula especificada, segundo o esquema proposto simulado (RT, RO ou RDir).

liberacaoRemota: Faz a liberação de largura de banda reservada nas células vizinhas da célula especificada, segundo o esquema proposto simulado (RT, RO ou RDir).

getCelVizP: Identifica uma célula vizinha especificada através de um índice desejado.

A.5.3. Classe Conexão:

Esta classe gerencia todo o procedimento relativo à conexão, portanto trata da conexão entre dois usuários móveis.



Suas funções são:

geraConexao: Cria uma conexão e determina as informações dos dois usuários (origem e destino) tais como: tipo de serviço, qual classe de serviço, quantidade de largura de banda requerida e a duração da conexão.

Desconectar: Finaliza uma conexão.

getOrigemX: Identifica e retorna o índice X da célula onde o usuário de origem se encontra.

getOrigemY: Identifica e retorna o índice Y da célula onde o usuário de origem se encontra.

getDestX: Retorna o índice X da célula onde o usuário de destino se encontra.

getDestY: Retorna o índice Y da célula onde o usuário de destino se encontra.

A.5. 4. Classe Usuário

Este módulo representa um usuário móvel. É composto pelas seguintes funções:

Classe Usuário		
inicializar	atualizaSentido	chamar
setStatus	getStatus	incCelX
decCelX	incCelY	decCelY
celXSup	celXInf	celYSup
celYInf	getCelX	getCelY

inicializar: Inicializa os dados para o usuário atual (posição, qual célula, etc).

atualizaSentido: Com base no último movimento do usuário, descobre-se qual o sentido de movimentação deste.

A função “Executar”, no módulo “Simulador.cpp”, trata do deslocamento do usuário utilizando os seguintes métodos:

setStatus: Determina o estado atual do usuário, se ocupado ou livre.

getStatus: Retorna o estado atual do usuário.

incCelX: Incrementa o índice X da célula que o usuário se encontra.

decCelX: Decrementa o índice X da célula que o usuário se encontra.

incCelY Incrementa o índice Y da célula que o usuário se encontra.

decCelY Decrementa o índice Y da célula que o usuário se encontra.

celXSup: Retorna o valor do índice X da célula atual mais 1.

celXInf: Retorna o valor do índice X da célula atual menos 1.

celYSup: Retorna o valor do índice Y da célula atual mais 1.

celYInf: Retorna o valor do índice Y da célula atual menos 1.

getCelX: Retorna o valor do índice X da célula atual.

getCelY: Retorna o valor do índice Y da célula atual.

chamar: esta função efetua uma requisição de nova chamada para um usuário móvel dentre as “n” células do campo de simulação.

A.5.5. Módulo “Simulador”:

Este módulo gerencia toda a simulação. É composto das seguintes funções:

	Classe Simulador	
inicializar	reset	executar
terminar	pausar	continuar
getEstatisticas	mediaConexoesReal	getStatus
geraEvento	retiraEvento	procuraEvento
proximoEvento	evtNovaConexao	evtFimConexao
	evtHandOff	

As funções têm a seguinte especificação:

inicializar: Inicializa a simulação.

reset: Define valores iniciais para o simulador.

executar: Executa um passo da simulação, ou seja, executa um evento da lista de eventos.

terminar: Termina a execução da simulação.

pausar: Pausa a simulação.

continuar: Continua uma simulação pausada.

getEstatisticas: Grava valores que serão utilizados na geração de gráficos de utilização largura de banda. Serve para monitorar uma célula, sorteada aleatoriamente, verificando o percentual médio de largura de banda efetivamente utilizado nesta célula.

mediaConexoesReal: calcula o valor real do valor das taxas de geração de tráfego informadas pelo operador do simulador. Por exemplo, o operador informa 5000 (em milisegundos), que representa o intervalo de 5 segundos entre duas requisições, então verifica que se trata de 0,2 requisições/segundo e utiliza este valor.

Status: Retorna o estado da simulação, que pode ser executando, pausado, terminado.

geraEvento: Insere na lista de eventos, em ordem cronológica, um evento com as características determinadas (qual célula, tipo de evento, etc) .

retiraEvento: Retira um evento da lista de eventos.

procuraEvento: Faz uma busca na lista de eventos, por um evento específico.

proximoEvento: Faz o início da lista de eventos apontar para o próximo evento a ser tratado.

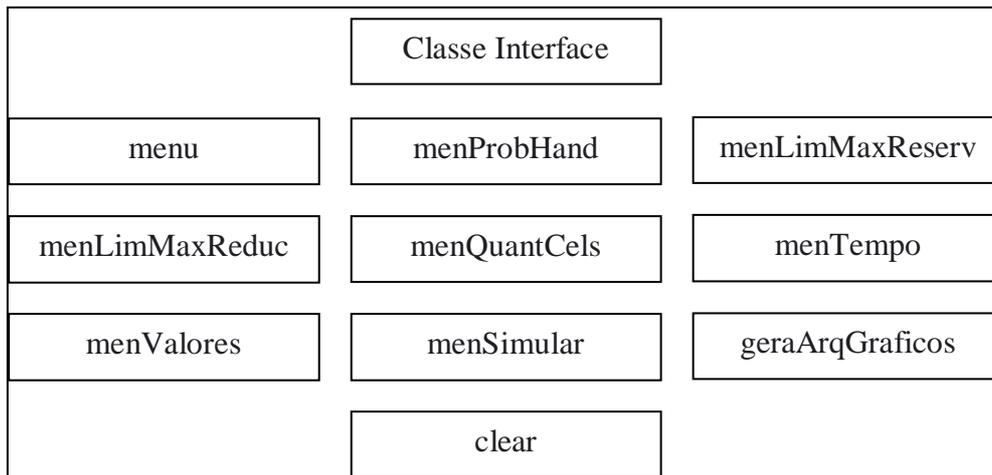
evtNovaConexao: Esta função realiza o tratamento de eventos de Nova conexão. Primeiro ocorre a identificação do usuário origem, ou seja, qual é célula onde foi originada a chamada. Depois efetua um sorteio para definir a célula onde será gerado o usuário destino. Em seguida, verifica se há largura de banda disponível na célula que originou a chamada e em suas adjacências. Se existe, efetua a mesma verificação na célula destino. Se há recursos suficientes para origem e destino, estabelece a conexão entre os dois usuários.

evtFimConexao: Realiza o tratamento de eventos de fim de conexão.

evtHandOff: Realiza o tratamento de eventos de *Handoff*.

A.5.6. Módulo “Principal”:

Este módulo chama todas as funções existentes no Simulador e fornece a interface entre o Operador e o Simulador. Além disso, este módulo armazena todas as informações para gerar os arquivos de resultados das simulações realizadas.



As funções têm a seguinte especificação:

menu: função de tratamento do menu principal do programa. É a interface propriamente dita.

menProbHand: menu para o operador informar a probabilidade de *Handoff* (*ph*) do simulador (em porcentagem, por exemplo: 25% ou 75%).

menLimMaxReserva: menu onde o operador informa a porcentagem do limite máximo (*Lr*) para a largura de banda reservada.

menLimMaxReduc: menu onde operador informa qual a porcentagem máxima de redução de banda para conexões de classe I.

menQuantCels: menu para o operador informar a quantidade de células do modelo de simulação, no caso desta tese, foram informadas 100 células.

menTempo: menu para o operador informar o tempo de simulação, no caso, foi usado 100.000 segundos.

menValores: menu para o operador informar os valores de largura de banda requisitada e a duração dos 6 tipos de serviços que podem ser simulados.

menSimular: menu para inicialização da simulação e exibição do andamento da simulação.

geraArqGraficos: função de gravação dos arquivos com os resultados da simulação, utilizados na criação de gráficos.

clear: usado para limpar a tela do simulador.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)