

Ana Gloria Mamani Chipana

CONTROLE DE ADMISSÃO DE CHAMADAS FUZZY E CONTROLE
DE FLUXO FUZZY COM TRÁFEGOS MULTI-CLASSES PARA
REDES 3G UMTS

Campinas
2012

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Ana Gloria Mamani Chipana

CONTROLE DE ADMISSÃO DE CHAMADAS FUZZY E CONTROLE DE FLUXO FUZZY
COM TRÁFEGOS MULTI-CLASSES PARA REDES 3G UMTS

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Telecomunicações e Telemática.

Orientador: Prof. Dr. Lee Luan Ling

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação defendida pela aluna, e orientada pelo Prof. Dr. Lee Luan Ling

Campinas
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C443c Chipana, Ana Gloria Mamani
Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo Fuzzy com Tráfegos Multi-Classes para Redes 3G UMTS / Ana Gloria Mamani Chipana. – Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Lee Luan Ling.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Telecomunicações - Tráfego. 2. Lógica fuzzy. 3. Sistemas de comunicação sem fio. 4. Modelagem de tráfego. 5. Sistemas nebulosos. I. Lee Luan Ling, 1956- II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título

Título em Inglês: Fuzzy call admission control and fuzzy flow control with multi-class traffic for 3G UMTS networks
Palavras-chave em Inglês: Telecommunications - Traffic, Fuzzy logic, Wireless communication system, Traffic model, Fuzzy systems
Área de concentração: Telecomunicações e Telemática
Titulação: Mestra em Engenharia Elétrica
Banca Examinadora: Carlos Eduardo Camara, Michel Daoud Yacoub
Data da defesa: 24-08-2012
Programa de Pós Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidata: Ana Glória Mamani Chipana

Data da Defesa: 24 de agosto de 2012

Título da Tese: "Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo Fuzzy com Tráfegos Multi-Classes para Redes 3G UMTS"

Prof. Dr. Lee Luan Ling (Presidente): _____

Prof. Dr. Carlos Eduardo Camara: _____

Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub: _____

A JOSÉ LUIS MEU ETERNO COMPANHEIRO, POR SUA FORÇA E CORAGEM PERANTE AS DIFICULDADES, POR TER LUTADO COMIGO EM BUSCA DOS MEUS IDEAIS A ELE DEDICO NÃO SÓ ESTE TRABALHO MAS TAMBÉM TODA MINHA VIDA E MEU AMOR INCONDICIONAL.
A MEU PAI CIRILO PACORI QUE NÃO POUPOU ESFORÇOS PARA ME AJUDAR NESTA CAMINHADA.
A MINHA FILHA CHRISTIANE PARA QUE UM DIA ELA POSSA SE ORGULHAR DE MIM.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão,

A Deus, minha fortaleza, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

A meu esposo José Luis o grande e único amor da minha vida pelo companheirismo, amizade, parceria, compreensão, incentivo, apoio, paciência e o amor que sempre me oferece.

Á minha filha Christiane, que em todos os momentos esteve presente como fonte de inspiração e coragem.

A meu pai Cirilo Pacori, o grande responsável por eu estar hoje aqui. Agradeço pelo amor incondicional, apoio e incentivo. Sei o quanto ele sofreu com a minha ausência.

Ao meu irmão Hugo, pelo incentivo e apoio.

Ao meu orientador Lee Luan Ling pelo apoio e orientação dedicados a mim durante este mestrado.

Ao professor Michel Daoud Yacoub pelo tempo que disponibilizou para nossas reuniões e seus preciosos conselhos.

Aos companheiros de laboratório Jeferson, Kobi, Daniel, José Antonio, Diego , Yulios, Talita pela convivência descontraída e as trocas de experiências.

Aos amigos e companheiros que convivi em Campinas: Baldomero, Ana Beatriz, Gaby, Alexander Obed, Geraldine, Omar Alexander, Richard, David, Alessandra, Elvis, Rosario, Marcos, Gina, Diana, Juan, Eulália, Fany, flor, Ana Paula, Luciana, Juliane, Ketilin, Daniela, José Torrico, Alina, Iris, Miguel, Juan Carlos, Iury, Ruth, José Daniel, por todo o bom convívio que tive aqui, pois mais que grandes amigos foram minha família.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização dessa pesquisa.

Toda nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos

Albert Einstein

Resumo

Nesta dissertação se propõe um método de controle de admissão de chamadas fuzzy (FCAC) e um método de controle de fluxo fuzzy (FFC), considerando tráfegos multi-classes. Ambos métodos trabalham em conjunto e são implementados na interface aérea das redes 3G UMTS. O método FCAC aceita ou rejeita a requisição de uma nova chamada considerando a prioridade de cada classe de tráfego, assim como a banda efetiva total disponível na interface aérea. Devido a natureza de controle fuzzy, o método FCAC-FFC proposto é considerado como um método de bloqueio gradual. Os usuários de menor prioridade serão sempre os primeiros a serem bloqueados se a banda efetiva total disponível não for suficiente. O método FFC reduz a taxa de transmissão dos usuários ativos de menor prioridade caso seja necessário e, como consequência, a banda efetiva disponível aumenta. Desta forma, temos um uso mais eficiente dos recursos do sistema incrementando o número médio de usuários ativos. O método proposto foi implementado no ambiente de simulação MATLAB e foi utilizada a *toolbox* de lógica fuzzy para projetar os controladores fuzzy. Os resultados da simulação mostram que o esquema de controle de admissão proposto garante o uso eficiente dos recursos da interface aérea e obtém um melhor desempenho em comparação com os esquemas CAC-FC e FCAC-FC analisados, em termos de probabilidade de bloqueio total.

Palavras-chave: Telecomunicações - Tráfego. Lógica fuzzy. Sistemas de comunicação sem fio. Modelagem de tráfego. Sistemas nebulosos.

Abstract

This dissertation proposes a fuzzy call admission control method (FCAC) and a fuzzy flow control method (FFC) for multi-class traffic. Two methods should be used on the air interface of 3G UMTS networks. The FCAC method accepts or rejects a new call evaluating the priority of the input traffic class and the total effective bandwidth available at the air interface. Due to inherited fuzzy characteristics the proposed FCAC-FFC can be considered as a soft-blocking approach. The calls with lowest priority are blocked first whenever the currently available bandwidth is not large enough. The FFC method can reduce the transmission rates of active users of lower priority if necessary and consequently increases the effective bandwidth available. Therefore, the more efficient use of system transmission resource can be achieved by increasing the average number of active users. The proposed method was implemented in MATLAB environment, and the fuzzy logic toolbox was used to design the fuzzy controllers. The simulation results show that the proposed call admission control method guarantees efficient use of the air interface resource and achieves lower call blocking probability than the CAC-FC and FCAC-FC methods.

Key-words: Telecommunications - Traffic. Fuzzy logic. Wireless communication system. Traffic model. Fuzzy systems.

Lista de Figuras

2.1	Componentes e Interfaces do Sistema UMTS.	8
2.2	Principais Técnicas de Acesso Múltiplo Utilizadas em Sistemas de 1G a 3G: (a) Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA), (b) Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA), (c) Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA).	11
2.3	Relação entre Espalhamento (<i>Spreading</i>) e <i>Scrambling</i>	12
2.4	Espalhamento para os Canais Físicos no Enlace Reverso	12
2.5	Combinação dos Canais Físicos no Enlace Reverso	12
2.6	Modulação no Enlace Reverso	13
2.7	Duplexação (a) FDD e (b) TDD.	13
3.1	Funções de Pertinência (1) Trapezoidal (2) Triangular (3) Gaussiano e (4) Curva Bell-Shaped.	20
3.2	Função de Pertinência, Variável Linguística e Termos Linguísticos.	21
3.3	Implicação Fuzzy Produto (prod) Aplicada a uma Regra.	23
3.4	Implicação Fuzzy Mínimo (min) Aplicada a uma Regra.	23
3.5	Representação Gráfica do Procedimento de Inferência.	25
3.6	Estrutura do Controlador Fuzzy.	26
3.7	Diagrama de Blocos do Método FCAC-FFC.	27
3.8	Estrutura do Controlador FCAC.	28
3.9	Funções de Pertinência para a Variável de Entrada MBET.	29
3.10	Funções de Pertinência para a Variável de Entrada Classe	29
3.11	Superfície de Controle para o Controlador FCAC.	30
3.12	Estrutura do Controlador FFC.	31
3.13	Funções de Pertinência para a Variável de Entrada BEI.	31
3.14	Sistema de Inferência Fuzzy Adaptativo.	32
3.15	Estrutura do Preditor RLS para uma Componente do Vetor de Probabilidade.	33
3.16	DFD do Gerador de Tráfego (Cenário A).	34
3.17	DFD do Gerador de Tráfego Considerando Mobilidade (Cenário B).	35
3.18	DFD do Método FCAC-FFC (Cenário A).	36
3.19	DFD do Método FCAC-FFC Considerando Mobilidade (Cenário B).	37
4.1	Estrutura de Setes Células Adjacentes com a Célula A sob Análise.	39

4.2	Bloqueio para o Método CAC-FC na Célula A.	40
4.3	Bloqueio para o Método FCAC-FC na Célula A.	40
4.4	Bloqueio para o Método FCAC-FFC na Célula A.	40
4.5	Bloqueio para os Três Métodos CAC na Célula A.	40
4.6	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,10$) na Célula A.	41
4.7	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,13$) na Célula A.	41
4.8	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,15$) na Célula A.	42
4.9	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,20$) na Célula A.	42
4.10	Estrutura de Setes Células Adjacentes Contendo as Células A e B sob Análise.	43
4.11	Localização do Usuário Móvel em (x_{MT}, y_{MT})	43
4.12	Área sob Análise na Célula A e B.	43
4.13	Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 15 min ($\lambda = 0,10$).	45
4.14	Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 15 min ($\lambda = 0,25$).	45
4.15	Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 2h ($\lambda = 0,10$).	45
4.16	Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 2h ($\lambda = 0,25$).	45
4.17	Localização do Usuário Através do Estimador de Mobilidade Fuzzy.	46
4.18	Localização do Usuário Através do Estimador de Mobilidade Fuzzy.	46
4.19	Usuário A Conectado com a ERB B.	46
4.20	Usuário B Movimentando-se em Direção à ERB B.	46
4.21	Usuário A Movimentando-se em Direção à ERB A.	46
4.22	Usuário A e B Conectados e em Movimento.	46
4.23	Bloqueio para o Método CAC-FC na Célula A.	47
4.24	Bloqueio para o Método FCAC-FC na Célula A.	47
4.25	Bloqueio para o Método FCAC-FFC na Célula A.	48
4.26	Bloqueio para os Três Métodos CAC na Célula A.	48
4.27	Bloqueio para o Método CAC-FC na Célula B.	50
4.28	Bloqueio para o Método FCAC-FC na Célula B.	50
4.29	Bloqueio para o Método FCAC-FFC na Célula B.	50
4.30	Bloqueio para o Três Métodos CAC na Célula B.	50
4.31	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,10$) na Célula A.	51
4.32	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,13$) na Célula A.	51
4.33	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,15$) na Célula A.	52
4.34	Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,20$) na Célula A.	52
A.1	Pacotes da Sessão de Serviço de Voz.	60
A.2	Pacotes da Sessão de Serviço de Vídeo.	60

Lista de Tabelas

2.1	Resumo das Principais Características do WCDMA.	14
3.1	Base de Regras para o Controlador FCAC	29
3.2	Base de Regras para o Controlador FFC.	30
4.1	Bloqueio (%) para o Método CAC-FC na Célula A.	39
4.2	Bloqueio (%) para o Método FCAC-FC na Célula A.	39
4.3	Bloqueio(%) para o Método FCAC-FFC na Célula A.	41
4.4	Bloqueio (%) para os Métodos CAC com $\lambda = 0,20$ na Célula A.	41
4.5	Bloqueio (%) para o Método CAC-FC na Célula A.	47
4.6	Bloqueio (%) para o Método FCAC-FC na Célula A.	48
4.7	Bloqueio (%) para o Método FCAC-FFC na Célula A.	48
4.8	Bloqueio (%) para os Métodos CAC com $\lambda = 0,25$ na Célula A.	49
4.9	Bloqueio (%) para o Método CAC-FC na Célula B.	49
4.10	Bloqueio (%) para o Método FCAC-FC na Célula B.	49
4.11	Bloqueio (%) para o Método FCAC-FFC na Célula B.	50
4.12	Bloqueio (%) para os Método CAC com $\lambda = 0,25$ na Célula B.	51

Lista de Acrônimos e Notação

1xEV-DO	Evolution, Data-Optimized
1xEV-DV	Evolution, Data and Voice
1xRTT	Radio Transmission Technology
3GPP	3rd Generation Partnership Project
3GPP2	3rd Generation Partnership Project 2
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
MBET	Média da banda efetiva total
CAC	Call Admission Control
CAC-FC	Call Admission Control with Flow Control
CDMA	Code Division Multiple Access
D-AMPS	Digital AMPS
DCS	Digital Cellular System
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCAC-FC	Fuzzy Call Admission Control with Flow Control
FCAC-FFC	Fuzzy Call Admission Control with Fuzzy Flow Control
GOP	Group of Pictures
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IP	Protocolo de Internet, Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
NMT	Nordic Mobile Telephone
PDC	Personal Digital Cellular
QoS	Quality of Service
RLS	Algoritmos recursivos dos mínimos quadrados do inglês <i>Recursive Least Squares</i>
TACS	Total Access Communications System
TDMA	Time Division Multiple Access

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	The UMTS Terrestrial Radio Access Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

$1 - \eta$	- Carga do sistema;
W_t	- Largura de banda total do sistema;
W	- Largura de banda utilizável do sistema;
B_e	- Banda efetiva;
$\mu_S(x)$	- Grau de pertinência de x no conjunto fuzzy S ;
N_c	- Número total de usuários na classe $c \in \{A, B, C\}$;
$r(c, j, t)$	- Taxa de transmissão atual de dados do usuário j na classe c ;
$SIR(c, j, t)$	- Os requerimentos SIR do usuário j na classe c , no tempo t ;
$I(c, j, t)$	- Indicador de função para o usuário j na classe c , no tempo t ;
R_x	- Regra x ;
γ_i	- Constante proporcional à amplitude do sinal piloto transmitido;
κ	- Exponente de <i>path loss</i> ;
D_0	- Distância de referência o qual é determinado com medidas perto do transmissor;
$\xi_i(t_n)$	- Caracteriza o efeito do sombreamento e pode ser modelado por uma variável aleatória normal;
t_n	- Tempo no instante n ;
σ^2	- Variância para $\xi_i(t_n)$;
σ	- Desvio padrão para $\xi_i(t_n)$;
$d_i(t_n)$	- Distância no tempo t entre o usuário móvel e a EB $_i$;
ERB	- Estação rádio base;
ERB $_i$	- Estação rádio base i ;
\vec{a}_n	- Vetor de comprimento do sinal piloto da potência;
\vec{p}_n	- Estimação da informação de mobilidade;
\vec{p}_{n+N}	- Predição da informação de mobilidade;
λ	- Taxa de chegada;
$p_{n,i}$	- Probabilidade de um usuário móvel estar ativo na célula i no tempo t_n ;
D	- Comprimento de um dos lados da célula de forma hexagonal;
d_1	- Distância do usuário móvel à EB A;
d_2	- Distância do usuário móvel à EB B;
m	- Quantidade de <i>taps</i> do filtro transversal utilizado no preditor RLS.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Diferentes Gerações das Redes Celulares	1
1.1.1	Primeira Geração (1G)	1
1.1.2	Segunda Geração (2G)	2
1.1.3	Geração 2.5 (2.5G)	2
1.1.4	Terceira Geração (3G)	2
1.2	Controle de Admissão	4
1.3	Objetivos e Organização da Dissertação	4
2	Sistema de Terceira Geração UMTS	7
2.1	Arquitetura do Sistema UMTS	7
2.1.1	Nó Central da Rede (CN)	8
2.1.2	Rede Terrestre de Acesso Rádio (UTRAN)	9
2.1.3	Equipamentos de Usuários (UE)	10
2.2	Interface Aérea WCDMA	10
2.2.1	Técnicas de Acesso Múltiplo	11
2.2.2	Modulação e Espalhamento no Enlace Reverso	11
2.2.3	Técnicas de Duplexação	13
2.2.4	Características do WCDMA	13
3	Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo Fuzzy	15
3.1	Revisão Bibliográfica	15
3.1.1	Controle de Admissão de Chamadas e Controle de Fluxo (CAC-FC)	17
3.1.2	Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo (FCAC-FC)	18
3.2	Lógica Fuzzy	19
3.2.1	Variável Linguística	21
3.2.2	Base de Regras Fuzzy	22
3.2.3	Mecanismos de Inferência	22
3.2.4	Defuzzificação	24
3.2.5	Estrutura do Controlador Fuzzy	24

3.3	Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo Fuzzy (FCAC-FFC)	26
3.3.1	Estimador de Recursos	27
3.3.2	Controlador de Admissão de Chamadas Fuzzy (FCAC)	28
3.3.3	Controlador de Fluxo Fuzzy (FFC)	30
3.3.4	Estimador de Mobilidade Fuzzy	31
3.3.5	Diagramas de Fluxo de Dados dos Programas Implementados	33
4	Resultados das Simulações	38
4.1	Cenário A - Usuários Fixos	38
4.2	Cenário B - Usuários em Movimento	42
5	Conclusões	53
5.1	Trabalhos Futuros	54
	Bibliografia	55
A	Modelagem de Tráfego	59
A.1	Modelagem de Tráfego Conversacional	59
A.2	Modelagem de Tráfego <i>Streaming</i>	59
A.3	Modelagem de Tráfego <i>Background</i>	60

Introdução

Os sistemas de comunicações móveis são caracterizados pela possibilidade de mobilidade dos usuários. Um sistema de telefonia celular pode ser visto como um sistema móvel terrestre de alta capacidade no qual o espectro alocado é dividido em canais distintos, porém agrupados para cobrir determinada área geográfica de serviço, chamado de célula. Esses canais podem ser reutilizados ao mesmo tempo em células diferentes na área de serviço (Mehrotra 1994). Neste capítulo inicial, faremos uma descrição sucinta sobre a evolução das redes celulares. Em seguida, apresentaremos alguns aspectos e conceitos gerais das técnicas de controle de admissão de chamadas (CAC) (do inglês, *Call Admission Control*) em redes celulares. Finalmente listamos os principais objetivos deste trabalho e como esta dissertação é organizada.

1.1 Diferentes Gerações das Redes Celulares

A evolução das redes celulares são divididas em gerações de acordo com o tipo de tecnologia e abrangência de serviços oferecidos. Nessa Seção faremos uma breve descrição sobre as quatro primeiras gerações 1G, 2G, 2.5G e 3G, mostrando suas específicas evoluções tecnológicas. Daremos ênfase à tecnologia 3G, pois o modelo de controle de admissão proposto neste trabalho está fundamentado nessa tecnologia.

O conceito 4G vai muito além de telefonia móvel, já que não pode ser considerada uma evolução dos padrões de telefonia celular, tais como as existentes no mercado até 3G. As novas tecnologias de redes de banda larga móvel (4G) permitirão o acesso a dados em dispositivos que operam com IP (do inglês, *Internet Protocol*), os quais não serão abordados na presente dissertação.

1.1.1 Primeira Geração (1G)

A primeira geração da tecnologia celular surgiu na década de 1980. A área de cobertura do sistema é dividida em pequenas células, com o objetivo de reutilizar o canal e aumentar a capacidade do sistema. A primeira geração ainda utilizou técnicas de transmissão analógica e seu tráfego era basicamente originado pelo serviço de voz. Não houve padrão dominante nesta primeira geração, porém os mais bem sucedidos e populares foram NMT (do inglês, *Nordic*

Mobile Telephone), TACS (do inglês, *Total Access Communications System*), e AMPS (do inglês, *Advanced Mobile Phone Service*). O padrão NMT foi inicialmente utilizado na Escandinávia e em alguns países da Europa central e meridional. O padrão NMT tem duas variações: NMT-450 e NMT-900. O NMT-450 foi o sistema mais antigo, usando a faixa da frequência de 450 MHz. Mais tarde surgiu o NMT-900 que utilizava a frequência de 900 MHz. TACS é um padrão inglês e foi adotado em alguns países do Oriente Médio e do sul da Europa. Além disso, TACS foi baseado no padrão AMPS, porém com a frequência de 900 MHz. AMPS é um padrão norte-Americano que utiliza a frequência de 800 MHz. Além da América do Norte AMPS foi adotado em alguns países da América do Sul e no extremo Oriente, incluindo a Austrália e Nova Zelândia (Korhonen 2003).

1.1.2 Segunda Geração (2G)

A telefonia móvel de segunda geração é uma forma de nomear a mudança de protocolos de telefonia móvel analógica para digital. A tecnologia 2G tem uma capacidade muito maior que seu antecessor. Um canal de frequência é simultaneamente compartilhado entre vários usuários (divisão por código ou tempo). As estruturas hierárquicas das células, cujas áreas de serviços são cobertas por macro células, micro células e pico células, melhoram a capacidade do sistema ainda mais. Os principais padrões para os sistemas 2G são: GSM (do inglês, *Global System for Mobile*) e seus derivados; D-AMPS (do inglês, *digital AMPS*); IS-95 (CDMA) (do inglês, *Code Division Multiple Access*), PDC (do inglês, *Personal Digital Cellular*) e TDMA (do inglês, *Time Division Multiple Access*). O padrão GSM é de longe o mais bem sucedido sistema 2G e é amplamente utilizado. O padrão GSM básico utiliza a frequência de 900 MHz, porém há também vários derivados, dos quais as duas mais importantes são DCS 1800 (do inglês, *Digital Cellular System*) (também conhecido como GSM-1800) e PCS-1900 (ou GSM-1900). Esse último é usado apenas na América do Norte e no Chile. O DCS-1800 é utilizado em outras partes do mundo (Korhonen 2003).

1.1.3 Geração 2.5 (2.5G)

A Geração 2.5 é considerada o degrau de transição entre as tecnologias 2G e 3G. A tecnologia 2.5G foi criada para descrever serviços de transmissão de dados mais rápidos (banda larga) oferecidos ainda pela tecnologia 2G, como as tecnologias HSCSD (do inglês, *High-Speed Circuit-Switched Data*), GPRS (do inglês, *General Packet Radio Services*), e EDGE (do inglês, *Enhanced Data Rates for Global Evolution*) para o padrão GSM e 1xRTT (do inglês, *Radio Transmission Technology*) para o padrão CDMA. A Geração 2.5 tem velocidades superiores a 2G e através de tecnologias de pacotes, permite um acesso à internet mais flexível e eficiente.

1.1.4 Terceira Geração (3G)

As tecnologias 3G provêm serviços de telefonia e comunicação de dados a velocidades maiores que seus antecessores e visam atender aos usuários fixos e móveis através da interface aérea via acesso terrestre ou por satélite. Os principais padrões da tecnologia 3G são: UMTS (do inglês, *Universal Mobile Telecommunications System*), CDMA 1xEV-DO (do inglês, *Evolution*,

Data-Optimized), CDMA 1xEV-DV (do inglês, *Evolution, Data and Voice*) e HSDPA/HSUPA (do inglês, *High Speed Downlink Packet Access/High Speed Uplink Packet Access*). O padrão UMTS foi desenvolvido pela 3GPP (do inglês, *3rd Generation Partnership Project*) que é um esforço conjunto de várias organizações de padronização ao redor do mundo. O 3GPP é de influência Européia, com a presença da ETSI (do inglês, *European Telecommunications Standards Institute*). Porém a organização 3GPP2 (do inglês, *3rd Generation Partnership Project 2*) é uma iniciativa em grande parte Americana e Asiática, com a presença da TIA (do inglês, *Telecommunications Industry Association*), sendo responsável pela grande família CDMA e sua evolução.

As redes UMTS utilizam a tecnologia WCDMA (do inglês, *Wideband Direct Sequence Code Division Multiple Access*) para o acesso à interface aérea, sendo que a interface aérea do sistema UMTS é responsável pela comunicação entre o equipamento do usuário e sua rede terrestre de acesso de rádio (UTRAN) (do inglês, *The UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Por definição, a largura de banda do sistema WCDMA é de 5 MHz ou mais. A largura de banda de 5 MHz é a largura de banda nominal para todas as propostas 3G WCDMA. Essa largura de banda foi escolhida pelos seguintes motivos (Korhonen 2003):

- Fornece velocidades suficientes de transmissão de dados de 144 e 384 Kbps, e até 2 Mbps. Em ambientes móveis, por exemplo, no carro em movimento, a tecnologia 3G atinge 144 kbps. Em ambientes abertos, com aglomeração de pessoas, 384 kbps. Em ambientes fixos, como dentro do escritório ou em casa, é possível atingir a velocidade máxima da tecnologia WCDMA¹.
- A alocação de largura de banda é sempre a menor possível, pois esse recurso é escasso. A largura de banda ainda é menor se o sistema utiliza faixas de frequências já ocupadas pelos sistemas 2G.
- Essa largura de banda pode resolver problemas de multi-percursos melhorando assim o desempenho do sistema. A propagação por multi-percurso causa dois problemas significativos em um canal de radiofrequência: *flat fading* e interferência intersímbolo. O *flat fading* provoca flutuações rápidas sobre a potência do sinal recebido em curtos períodos de tempo ou em curtas distâncias.

Segundo a União Internacional de Telecomunicações (ITU) (do inglês, *International Telecommunication Union*) os sistemas de terceira geração devem transmitir diferentes tipos de tráfegos com diferentes requisitos de qualidade de acordo com a característica de cada tipo de tráfego. Quatro classes de tráfego são então definidas: conversacional (voz, telefonia com imagem, jogos sem acesso à rede), *streaming* (multimídia e vídeo por demanda), interativa (navegação na web, jogos em rede, acesso a banco de dados) e *background* (e-mail, SMS). A tecnologia WCDMA suporta diferentes tipos de serviços e os recursos (potência, espectro) do sistema podem ser compartilhados entre vários usuários.

¹Gisele Ribeiro. "HowStuffWorks - Como funciona a telefonia 3G". Publicado em 17 de dezembro de 2007 (atualizado em 09 de maio de 2008) <http://informatica.hsw.uol.com.br/telefonia-3g1.htm> (acessado o 21 de junho de 2012)

1.2 Controle de Admissão

O controle de admissão de chamadas (CAC) é um método que determina se uma sessão pode ou não ser estabelecida com base na largura de banda disponível. O CAC evita a sobrecarga do sistema e se não for realizada corretamente, pode resultar na redução desnecessária da qualidade de serviço (QoS) (do inglês, *Quality of Service*) das chamadas em andamento e até mesmo ocasionar queda de chamadas.

Um eficiente controle de admissão dos usuários ao sistema previne a sobrecarga da interface aérea. Ao admitir uma nova chamada quando o sistema se encontra congestionado pode degradar a qualidade das chamadas ativas, resultando num incremento da taxa de queda de chamadas.

O desafio dos métodos CAC no sistema UMTS é tentar maximizar a utilização da interface aérea e minimizar a taxa de bloqueio e queda de chamadas. No CAC é preferível o bloqueio de uma nova chamada do que a queda de uma chamada em andamento, pois ela tem um impacto mais negativo sobre o usuário. Na prática, no entanto, existe um compromisso entre manter a QoS das chamadas em andamento e assim utilizar eficientemente a interface aérea. Às vezes, para garantir a qualidade das conexões existentes, o sistema pode começar a bloquear novos acessos muito cedo e assim comprometer a utilização da interface aérea (Solana, Bardaji & Palacio 2003).

No entanto, quando se trata de um sistema de telefonia celular além dos métodos CAC, deve-se considerar também a possibilidade de um determinado usuário em movimento sair da área de cobertura de uma determinada célula e precisar estabelecer uma nova conexão com a estação rádio base (ERB) da célula vizinha, para evitar a queda da chamada em andamento. O procedimento que permite este cenário é denominado *handover*. Existem dois tipos de *handover*: *hard handover* e *soft handover*. O *hard handover* adota o método *break-before-make*, onde um novo canal é criado após a liberação do antigo canal e o *soft handover* adota o método *make-before-break*, onde um telefone celular está simultaneamente ligado a dois ou mais células durante uma chamada antes de passar a outra célula com melhor sinal.

Em uma rede celular baseado em WCDMA, todos os usuários da mesma célula compartilham o mesmo espectro de frequência simultaneamente. A afirmação anterior também é verdadeira para os usuários de diferentes células, permitindo que o WCDMA também suporte o *soft handover*. Durante o desenvolvimento deste trabalho foi considerado o *hard handover* de forma a simplificar o ambiente de simulação do método de controle de admissão de chamadas proposto.

1.3 Objetivos e Organização da Dissertação

A presente dissertação tem por objetivo propor um método de controle de admissão de chamadas fuzzy que opera em conjunto com o método de controle de fluxo fuzzy (FCAC-FFC) (do inglês, *Fuzzy Call Admission Control with Fuzzy Flow Control*). Ambos são implementados para atuar na interface aérea do sistema UMTS. Na literatura existem alguns trabalhos similares, por exemplo (Zhu & Hu 1999)(Ibrahimi, El-Azouzi & Bouyakhf 2008)(Babu, Shankar & Satyanarayana 2009) e (Truong, Hung & Thanh 2010). No entanto, não consideraram o controle de fluxo que pudesse trabalhar conjuntamente com o controle de admissão de chamadas.

Em geral, o uso dos controladores fuzzy requer menos precisão no formalismo matemático do processo sob controle. Isso porque os controladores fuzzy utilizam a experiência e o conhecimento dos profissionais envolvidos no projeto para a construção da base de regras. As regras são representadas naturalmente utilizando descrições linguísticas, o que possibilita a criação de um procedimento qualitativo. Além disso, temos outras características da lógica fuzzy em relação a outras técnicas de controle (Junges 2006), como por exemplo:

- É robusta porque não requer entradas precisas;
- É possível controlar sistemas não-lineares sem a necessidade de um modelo matemático;
- Apresenta soluções mais rápidas e baratas em alguns casos;
- É de fácil implementação em microprocessadores.

Em telecomunicações, a lógica fuzzy também é uma poderosa ferramenta de controle amplamente utilizada em diversos processos. Por exemplo em (Shen, Chang, Huang & Bi 2004) e (Ye, Shen & Mark 2005) são propostos métodos de controle de admissão para redes celulares WCDMA.

O método FCAC proposto tem o objetivo de aceitar ou rejeitar o requisição de uma nova chamada, considerando a prioridade de cada classe de tráfego e o nível de carga na interface aérea do sistema UMTS, em termos da média da banda efetiva total (MBET). Caso a carga do sistema esteja em nível médio, as chamadas de menor prioridade serão as primeiras a serem bloqueadas a fim de reduzir a probabilidade de bloqueio das chamadas de maior prioridade. Em caso de sobrecarga do sistema, o método FCAC não aceita nenhuma nova chamada até que os recursos (largura de banda) sejam liberados.

O método FCAC-FFC é considerado uma estratégia de bloqueio gradual, pois o controle de fluxo fuzzy proposto diminui a taxa de transmissão dos usuários de menor prioridade a medida que a carga do sistema aumenta, permitindo um aumento da banda efetiva total disponível para a aceitação de novas chamadas de maior prioridade.

O método proposto foi programado e simulado no ambiente de simulação MATLAB R2009a. Também foi utilizada a *toolbox* de lógica fuzzy do MATLAB para projetar os controladores fuzzy. Os resultados das simulações nos dois cenários analisados, considerando diferentes taxas de chegada, mostraram que o método FCAC-FFC proposto garante o uso eficiente dos recursos da interface aérea, e uma menor probabilidade de bloqueio em comparação com os métodos CAC-FC (do inglês, *Call Admission Control with Flow Control*) e FCAC-FC (do inglês, *Fuzzy Call Admission Control with Flow Control*) analisados.

A presente dissertação está dividida em seis capítulos, além das referências bibliográficas e apêndices. No capítulo 2, são apresentados os conceitos que regem o sistema UMTS, assim como uma descrição detalhada de sua arquitetura. O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica dos métodos CAC apresentados na literatura, assim como uma descrição resumida dos algoritmos CAC-FC e FCAC-FC analisados nesta dissertação, com a finalidade de comparar os resultados com o método FCAC-FFC proposto. Na Seção 3.2 é apresentada uma breve introdução à teoria da lógica fuzzy, e na Seção 3.3 é apresentada uma descrição detalhada do método

FCAC-FFC proposto. Nos capítulos 4 e 5 são apresentados os resultados das simulações e as conclusões, respectivamente.

Sistema de Terceira Geração UMTS

O presente capítulo apresenta o sistema celular de terceira geração UMTS, padrão Europeu para os sistemas de comunicações móveis. As especificações técnicas e padronização das características dessa tecnologia foram desenvolvidas pelo grupo 3GPP, com a presença da ETSI. As redes UMTS utilizam a tecnologia WCDMA para o acesso à interface aérea, sendo que a interface aérea do sistema UMTS é responsável pela comunicação entre o equipamento do usuário e sua rede terrestre de acesso de rádio (UTRAN).

As redes 3G WCDMA têm mostrado uma excelente aceitação no mercado mundial. Segundo dados da Anatel (Agencia Nacional de Telecomunicações), em maio de 2012 o Brasil tinha 55,4 milhões de celulares 3G, sendo 45,2 milhões aparelhos WCDMA e 10,2 milhões de terminais de dados 3G (21,7% dos celulares são de 3G).

Nas seguintes seções do presente capítulo faremos uma breve descrição da arquitetura do sistema UMTS e da Interface Aérea WCDMA. No entanto, em (Holma & Toskala 2004) podem ser encontradas informações detalhadas sobre a interface e arquitetura dos sistemas UMTS/WCDMA.

2.1 Arquitetura do Sistema UMTS

O sistema UMTS é caracterizado pelo desenvolvimento de vários serviços. A evolução desses sistemas é baseado no padrão GSM/GPRS. Além disso, os sistemas UMTS suportam os seguintes tipos de serviços: conversacional (voz, telefonia com imagem, jogos sem acesso à rede), *streaming* (multimídia e vídeo por demanda), interativa (navegação na web, jogos em rede, acesso a banco de dados) e *background* (e-mail, SMS). Enquanto IP é a tecnologia de conexão, UMTS introduz uma nova tecnologia de acesso baseada totalmente em rede de acesso de rádio sem trazer maior mudança na rede central (Orlial & A. Ramon 2005).

Os componentes do sistema UMTS são mostrados na Figura 2.1. O sistema UMTS é dividido em três partes fundamentais: nó central de rede (CN) (do inglês, *Core Network*), rede terrestre de acesso rádio UMTS (UTRAN) e os terminais de usuários (UE) (do inglês, *User Equipment*), também chamados de terminais móveis. Os módulos internos dessas unidades componentes são detalhadas nas seguintes subseções.

Os módulos do sistema UMTS estão conectados através das interfaces de comunicação, listados a seguir (Holma & Toskala 2004):

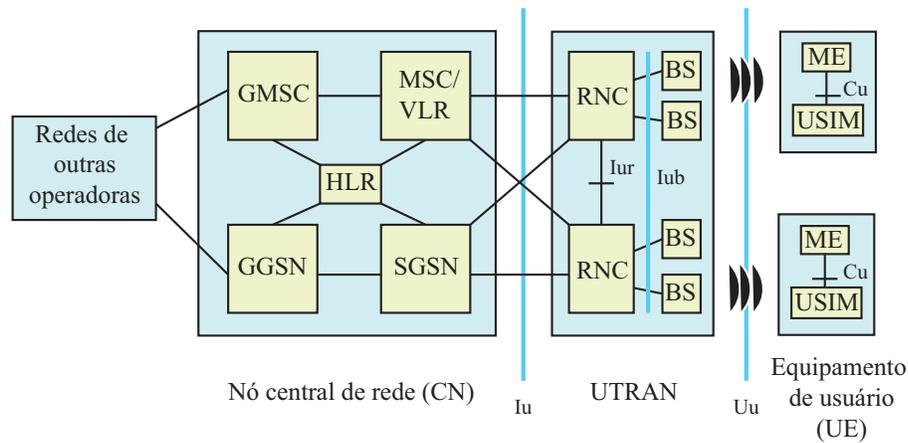


Figura 2.1: Componentes e Interfaces do Sistema UMTS.

- Interface Uu: Comunicação entre o UE e as BS (ERB).
- Interface Iu: Comunicação entre o RNC e o CN.
- Interface UTRAN **Iub**: Responsável pela comunicação entre o RNC e as ERBs.
- Interface UTRAN **Iur**: Esta interface é usada para comunicar dois RNC.
- Interface UE **Cu**: Comunicação entre o ME e o USIM.

2.1.1 Nó Central da Rede (CN)

No nó central ou simplesmente CN, do sistema UMTS concentram-se plataformas de gerenciamento de processos que garantem o funcionamento e a interconexão com outras redes como a Internet ou a rede de uma outra operadora de telefonia. Dentre as partes constituintes do nó central, podemos citar (Holma & Toskala 2004):

- O registrador de localização de origem (HLR) (do inglês, *Home Location Register*). Esse módulo é a base de dados do assinante pertencente a uma operadora específica. Ele armazena todas as informações sobre o seu perfil. Além disso, para o encaminhamento correto das chamadas, a base de dados HLR contém informações sobre a localização dos terminais móveis.
- O centro de comutação de serviços móveis (MSC) (do inglês, *Mobile Switching Center*) e o registrador de localização de visitantes (VLR) (do inglês, *Visitor Location Register*) são, respectivamente, a central telefônica de comutação e a base de dados de assinantes visitantes. Para que a MSC possa servir a todos os visitantes em sua área de serviço, o VLR armazena temporariamente as informações de assinatura, funcionando como um HLR distribuído, visto que contém uma cópia das informações do HLR sobre esses visitantes.
- O *Gateway MSC* (GMSC) é o ponto onde a central de comutação UMTS tem seu meio físico interconectado com as centrais de comutação de outras operadoras.

- O nó de serviço do GPRS (SGSN) (do inglês, *Serving GPRS Support Node*) tem funcionamento similar ao MSC/VLR, sendo utilizado para comunicação de dados de pacote.
- O *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) é a central de comutação para serviços de pacotes. É o ponto onde essa central UMTS é interconectada com as centrais de comutação de pacotes de outras operadoras.

2.1.2 Rede Terrestre de Acesso Rádio (UTRAN)

A rede UTRAN do sistema UMTS é formada por um ou vários subsistemas de rede que são constituídos pelos controladores da rede rádio (RNC) (do inglês, *Radio Network Controllers*). Esses componentes da rede são conectados a diversas estações base (ou BS, do inglês *Base Station*), comumente chamada Nó-B na documentação UMTS.

O RNC é o elemento da rede responsável pelo controle e gerenciamento de recursos de rádio da UTRAN. O RNC executa várias tarefas e controla todos os recursos de rádio. A maioria dos protocolos entre a UTRAN e o UE são implementados no RNC e ele se comunica através da interface Iu com os nós SGSN e MSC. Cada RNC é atribuído a um SGSN e MSC, apesar de existir a opção de usar a interface Iur para comunicar-se com os RNC vizinhos (Chuah 2006) (Maode Ma 2008). Algumas das funcionalidades do RNC são:

- **Controle de admissão de chamadas:** Em contraste com o GSM, CDMA em UMTS oferece um grande número de canais possíveis na interface de rádio. Nem todos estes podem ser usados ao mesmo tempo, pois a interferência resulta na diminuição do número de canais utilizáveis. Assim, o RNC deve calcular para cada chamada a carga do tráfego para cada célula. Com base nas informações, o controle de admissão de chamadas decide se aceita ou rejeita a requisição de uma nova chamada (Maode Ma 2008).
- **Administração de recursos de rádio:** O RNC gerencia os recursos de rádio em todas as células ligadas a ele. O nível de utilização, controle de prioridade e cálculo de interface são responsabilidades do RNC.
- **Agendamento de pacotes:** O mesmo recurso utilizado na interferência de rádio é compartilhado pelos usuários móveis na transmissão de pacotes de dados. A alocação de capacidade de transmissão é individual para cada estação móvel.
- **Criptografia:** Os dados são criptografados no RNC, que chegam para a transmissão da rede fixa.
- **Conversão de protocolo:** RNC é responsável pela conversão de protocolo entre a CN e a ERB.

Para suportar uma grande variedade de serviços, de maneira eficiente e flexível, diferentes protocolos específicos para a interface de rádio, como o protocolo de convergência de dados (PDCP) (do inglês, *Data Convergence Protocol*), o controle de enlace de rádio (RLC) (do inglês, *Radio Link Control*) e o controle de acesso ao meio (MAC) (do inglês, *Medium Access Control*) são utilizados (Holma & Toskala 2004).

O MAC controla a sinalização de acesso na interface aérea, incluindo a gerência dos recursos compartilhados da transmissão como a designação do bloco de rádio a vários usuários em uma mesma janela de tempo (*time slot*). O MAC realiza estas funções colocando um cabeçalho na frente do cabeçalho do RLC, nos blocos de dados RLC/MAC e de controle.

O cabeçalho do MAC contém vários elementos, alguns dos quais são específicos da direção, sendo relativos ao enlace direto (DL) (do inglês, *Downlink*) ou ao enlace reverso (UL) (do inglês, *Uplink*).

As EBs são responsáveis por desempenhar diversos serviços, dentre os quais o principal é a conversão dos dados enviados pelo RNC em sinais eletromagnéticos e o envio desses para o meio de transmissão. Além disso, a ERB também realiza a captura de dados para o processo de gerenciamento de rede, realizado pelo RNC, e o controle de potência dos terminais móveis.

Cada ERB pode ser subdividida em uma determinada quantidade de células para cobrir uma área geográfica. Se em uma ERB são utilizadas antenas de seis setores, por exemplo, para a MSC essa ERB representará seis células distintas. Em situações reais de operação, os limites de cobertura de uma célula geralmente se sobrepõem aos das células de uma mesma ERB ou de EBs vizinhas.

Os usuários localizados nessa região de fronteira, num dado instante de tempo, podem conectar-se a mais de uma ERB. O processo de *soft handover* ocorre quando um terminal móvel, em deslocamento, encontra-se conectado a mais de uma ERB e seleciona a que fornece melhor serviço (Holma & Toskala 2004).

2.1.3 Equipamentos de Usuários (UE)

Os equipamentos de usuários são formados por duas partes: o equipamento móvel (ME) (do inglês, *Mobile Equipment*) e o módulo de identificação de assinante (USIM) (do inglês, *User Services Identity Module*). Dependendo do perfil do usuário, terminais que suportem a transmissão e recepção de grande volume de dados, vídeos, fotos ou emprego de webcam podem ser utilizados, desde que observadas as características de mobilidade e o suporte ao serviço por parte da operadora.

Assim como no padrão GSM, o usuário UMTS é separado do equipamento móvel. Na presente dissertação, nos referiremos aos equipamentos de usuários pelo termo abreviado UE. O UE pode ser um telefone móvel ou um cartão para computador. Ele permite tanto a transmissão como a recepção, ou seja, uma espécie de transceptor. O USIM traz vantagens de segurança e portabilidade para os assinantes, pois o cartão inteligente ou *smart card* (SIM) (do inglês, *Subscriber Identity Module*) que contém as informações de assinante, pode ser inserido em qualquer terminal móvel permitindo a identificação do usuário, realizando os algoritmos de identificação e guardando as informações com segurança (Holma & Toskala 2004).

2.2 Interface Aérea WCDMA

O WCDMA foi adotado como padrão para a interface aérea do sistema UMTS na Europa. Desse ponto em diante denominaremos o padrão UMTS/WCDMA de WCDMA. As especifica-

ções técnicas para o WCDMA, elaboradas pelo grupo 3GPP, são baseadas no CDMA de sequência direta (DS-SS-SS) e algumas delas são apresentadas a seguir (Holma & Toskala 2004).

2.2.1 Técnicas de Acesso Múltiplo

As técnicas baseadas em acessos CDMA têm como características fundamentais a separação dos usuários no canal de transmissão por meio de códigos e utilização de uma só portadora. Na Figura 2.2 são ilustradas as principais técnicas de acesso múltiplo utilizadas em sistemas de comunicações móveis. Maiores detalhes acerca dessas técnicas de acesso podem ser encontradas em (Schwartz 2005) e (Rappaport 1996).

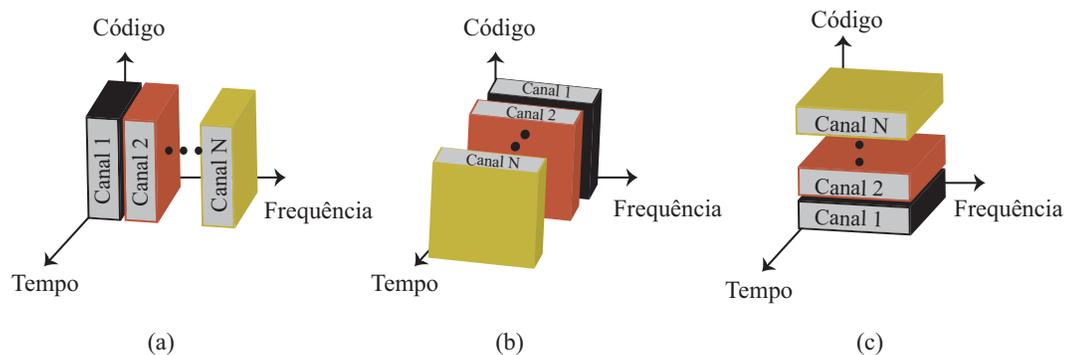


Figura 2.2: Principais Técnicas de Acesso Múltiplo Utilizadas em Sistemas de 1G a 3G: (a) Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA), (b) Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA), (c) Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA).

2.2.2 Modulação e Espalhamento no Enlace Reverso

No WCDMA são definidos códigos de *scrambling*, que são usados para fazer a separação de terminais ou estações base uns dos outros. O *scrambling* é usado em cima do espalhamento, não afetando assim a largura de banda do sinal, como mostrado na Figura 2.3, mas possibilitando que sinais de diferentes fontes sejam separáveis uns dos outros. Assim, é irrelevante se vários transmissores estão usando o mesmo código de espalhamento. As transmissões de uma única fonte são separadas por códigos de canalização ou espalhamento. Esses códigos são baseados na técnica OVSF (do inglês, *Orthogonal Variable Spreading Factor*), que permite mudar o fator de espalhamento, mantendo a ortogonalidade mútua entre diferentes códigos de espalhamento de comprimentos diferentes.

No enlace reverso é utilizada a modulação QPSK na transmissão de dados, com multiplexação no tempo das informações de controle e de dados. Cada par consecutivo de símbolos de entrada é convertido de série para paralelo e mapeado nas componentes em fase (I) e quadratura (Q). As componentes I e Q são multiplicadas pelo código de canalização, sendo espalhadas. O sinal espalhado é multiplicado pelo código de *scrambling* específico da célula. A Figura 2.4 mostra o esquema de espalhamento no enlace reverso. O sinal, após ser multiplicado pelo código de *scrambling*, será combinado e modulado seguindo os procedimentos mostrados nas seguintes figuras (*TS 25.213 version 10.0.0 Release 10, Spreading and modulation (FDD)* 2011).

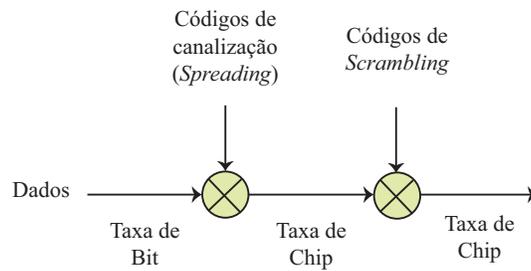


Figura 2.3: Relação entre Espalhamento (*Spreading*) e *Scrambling*

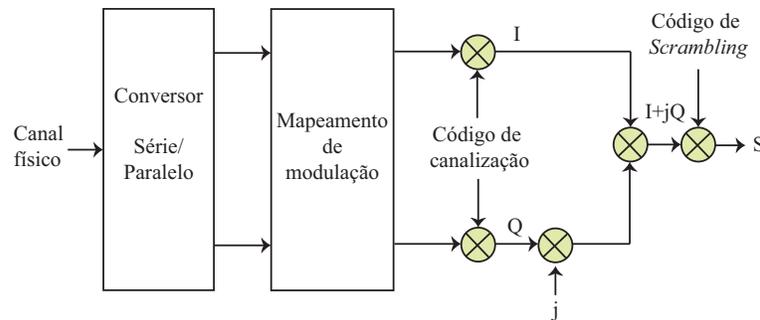


Figura 2.4: Espalhamento para os Canais Físicos no Enlace Reverso

A Figura 2.5 mostra o procedimento para combinar diferentes canais no enlace reverso.

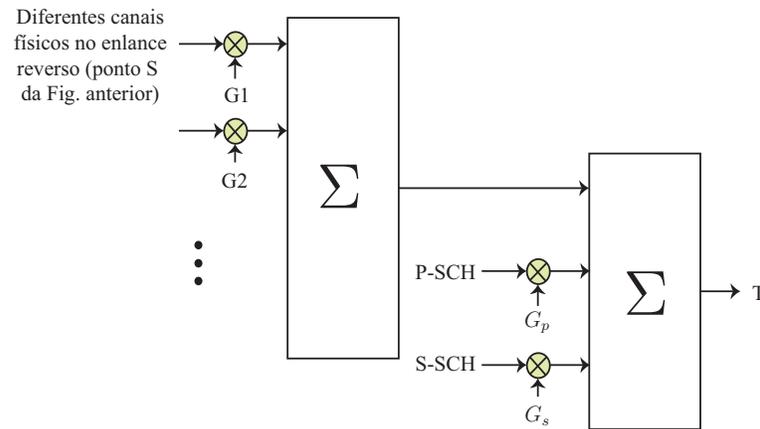


Figura 2.5: Combinação dos Canais Físicos no Enlace Reverso

Cada canal, devidamente multiplicado pelos códigos de espalhamento e *scrambling*, é separadamente ponderado por um fator de peso G_i . Assim, os diversos canais físicos são combinados através de uma soma complexa. Os valores complexos P-SCH e S-SCH, como descritos em (*TS 25.211 version 10.0.0 Release 10, Physical channel and mapping of transport channels onto physical channels (FDD) 2011*), podem ser separadamente ponderados pelos fatores G_p e G_s .

A modulação do sinal proveniente da Figura 2.5 é mostrada na Figura 2.6. As características do *pulse-shaping* são descritas em (*TS 25.104 version 10.5.0 Release 10, Base station (BS) radio transmission and reception (FDD) 2012*).

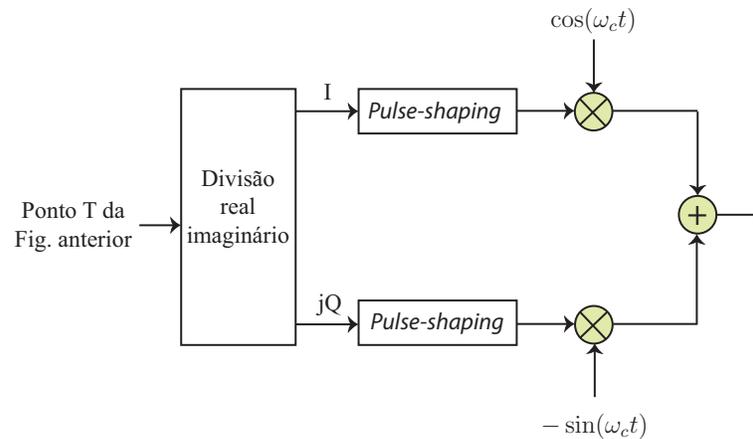


Figura 2.6: Modulação no Enlace Reverso

2.2.3 Técnicas de Duplexação

O sistema de 3G WCDMA pode operar tanto no modo de Duplexação por Divisão de Frequências (FDD) (do inglês, *Frequency Division Duplex*), quanto no modo Duplexação por Divisão de Tempo (TDD) (do inglês, *Time Division Duplex*) (Holma & Toskala 2004). As principais diferenças entre FDD e TDD estão relacionadas às aplicações práticas. No modo FDD, o DL e o UL utilizam duas faixas de frequências separadas e no modo TDD, o UL e DL utilizam a mesma banda para transmissão. No modo TDD, a informação trafega em diferentes intervalos de tempo síncronos, como mostrado na Figura 2.7. Assim parte dos *time slots* é alocada para transmissão e outra para recepção. A diversidade de transmissão é empregada no enlace de descida para que o tráfego assimétrico entre UL e DL seja suportado.

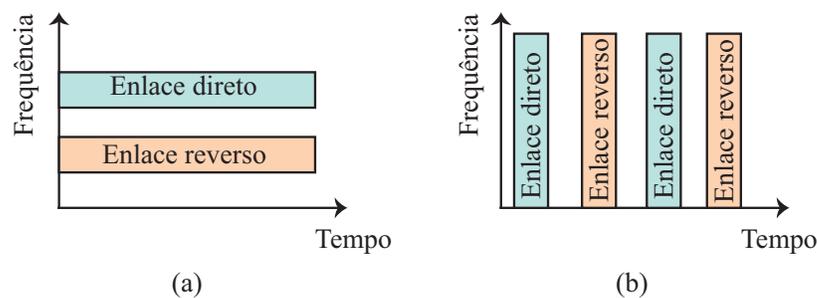


Figura 2.7: Duplexação (a) FDD e (b) TDD.

2.2.4 Características do WCDMA

Algumas características do WCDMA são apresentadas de forma resumida na Tabela 2.1 (Holma & Toskala 2004).

Tabela 2.1: Resumo das Principais Características do WCDMA.

Técnica de Acesso Múltiplo	DS-CDMA
Sincronização das ERB	Operação Assíncrona
Largura de banda	5 MHz
Taxa de chip	3,84 Mcps
Multiplexação de serviços	Múltiplos serviços com diferentes QoS, multiplexados em uma só conexão
<i>Receptor Rake</i>	Recepção coerente dos multipercursos do sinal desejado
Existência de múltiplas taxas	Fator de espalhamento variável e múltiplos códigos
Detecção de múltiplos usuários e utilização de Antenas Inteligentes	Suportado pelo padrão, opcional na etapa de implantação
Modos de duplexação	<p>FDD</p> <p>Fator de espalhamento variável: 4 - 512 no DL 4 - 256 no UL</p> <p>Modulação: QPSK no DL</p> <p>Duração do quadro (TTI) : 10ms</p> <p>TDD</p> <p>Fator de espalhamento variável: 1-16</p> <p>Modulação: QPSK</p> <p>Duração do quadro (15 time slots): 10ms</p> <p>Duração do time slot: 0,667 ms</p>

Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo Fuzzy

Em telecomunicações, o controle de admissão pode ser utilizado para determinar se uma sessão pode ou não ser estabelecida considerando a largura de banda disponível. Além disso, o CAC evita a sobrecarga do sistema, e se não for realizada corretamente, pode resultar na redução desnecessária da QoS das chamadas em andamento e até mesmo ocasionar queda de chamadas. O CAC também previne a sobrecarga da interface aérea desde que seja utilizado de forma eficiente.

Existem vários métodos CAC presentes na literatura, no entanto, o uso da lógica fuzzy nos processos de telecomunicações, assim como no CAC, tem demonstrado ser uma poderosa ferramenta amplamente utilizada. Em (Shen et al. 2004) e (Ye et al. 2005) são propostos métodos de controle de admissão para redes celulares WCDMA.

Sabe-se que o uso dos controladores fuzzy requer menos precisão no formalismo matemático do processo sob controle. Isso porque os controladores fuzzy utilizam a experiência e os conhecimentos dos profissionais envolvidos no projeto para a construção da base de regras. As regras são representadas naturalmente utilizando descrições linguísticas, que possibilitam a criação de um procedimento qualitativo.

No presente capítulo, inicialmente faremos uma breve revisão bibliográfica de alguns métodos CAC propostos na literatura. Também será feita uma descrição resumida dos métodos CAC-FC (*Call Admission Control with Flow Control*) e FCAC-FC (*Fuzzy Call Admission Control with Flow Control*) utilizadas para fins de comparação. Seguidamente, na Seção 3.2 mostraremos os fundamentos da lógica fuzzy que são essenciais no projeto dos controladores fuzzy. Além disso, como parte principal deste capítulo, na Seção 3.3 faremos uma descrição detalhada do projeto do controlador de admissão de chamadas fuzzy e do controlador de fluxo fuzzy (FCAC-FFC) proposto.

3.1 Revisão Bibliográfica

Em termos básicos, os sistemas 3G têm o objetivo de suportar serviços de dados por pacotes a altas velocidades com qualidade similar àquela das redes fixas e também oferecer acesso à

internet. Vários algoritmos CAC foram propostos para as redes celulares durante a década passada. De fato, a interface de rádio destas redes está baseado em WCDMA e sua capacidade é determinada não somente pelo número de usuários e suas taxas de transmissão, mas também pela sua posição na célula, que pode mudar com a mobilidade do usuário.

Os algoritmos CAC presentes na literatura podem ser divididos em dois grupos: CAC Iterativos e CAC Heurísticos. Os métodos CAC iterativos exigem que os terminais móveis requisitando uma nova chamada interajam com o sistema transmitindo uma potência reduzida por um tempo limitado de modo a perceber se um novo equilíbrio pode ser atingido (Redana & Capone 2002), ou seja, o novo terminal é capaz de interagir com a rede antes da decisão ser tomada. Dessa forma, é possível saber qual a reação do sistema caso esse usuário venha a ser admitido. Nos algoritmos heurísticos o mecanismo de controle de admissão de chamadas é acionado quando um determinado parâmetro ou uma combinação de parâmetros atingem um certo limiar. Esses parâmetros podem ser, por exemplo, a potência recebida pela ERB em cada instante ou o aumento do nível de ruído (do inglês, *noise-rise*).

Os trabalhos (Huang & Yates 1996) e (Kim 2000) tratam de algoritmos de CAC iterativos. O CAC cujo parâmetro de decisão é a Potência Recebida na ERB (RP-CAC), é abordado em (Redana & Capone 2002), (Huang & Yates 1996), (Outes, Nielsen, Pedersen & Mogensen 2001) e (Hjelm 2000). Algoritmos RP-CAC normalmente estudam casos que consideram a potência recebida dos terminais de acesso localizados na célula em questão, conhecidos como (SC) *Single Cell*, e os que consideram a potência recebida de terminais de acesso conectados a outras células (MC) *Multi-Cell*. Em (Outes et al. 2001) propõe-se um modo de medir o aumento de potência causado pela nova chamada, em função do *noise-rise*, para ambos os casos SC-CAC e MC-CAC, de acordo com a proposta de (Holma & Laakso 1999) para estimar o aumento da potência.

As referências (Liu & El Zarki 1994) e (Lee & Jo 2004) estudam o CAC cujo parâmetro de decisão é a SIR medida na ERB, sendo que (Lee & Jo 2004) considera a diferenciação de classes. O artigo (Tian & Zhu 2001) introduz um algoritmo de agendamento de banda o qual foi utilizado como referência para o algoritmo de controle de fluxo apresentado em (Borgonovo 2006). Em (Rodrigues, de Lima, de Sousa, Cavalcanti, Braga & Maciel 2004) o parâmetro de decisão do CAC é a potência transmitida pela ERB, sendo esse um algoritmo CAC para o enlace direto (Knutsson, Butovitsch, Persson & Yates 1998), (Osseiran & Ericson 2003) e (Rodrigues et al. 2004).

Em (Guo & Chaskar 2000) apresenta-se um modelo para proporcionar QoS em sistemas 3G a partir da diferenciação entre classes na interface aérea. Nesse trabalho, três classes de usuários são propostas: classe conversacional, *streaming* e *background*. Usuários da classe conversacional podem negociar a banda o tempo todo, independentemente da carga do sistema e da interferência. Já as classes *streaming* e *background* têm uma certa elasticidade e em caso de congestionamento na interface aérea a banda das mesmas podem ser reduzidas. Os recursos requeridos por cada usuário são caracterizados em termos da sua banda efetiva, a qual é função da taxa de transmissão e da SIR requerida. A relação exata entre taxa de transmissão, SIR requerida e banda efetiva dependem do receptor da ERB.

O trabalho (Tian & Zhu 2001) introduz um método de agendamento de banda diferenciado

na interface aérea com o objetivo de oferecer QoS. Três classes são propostas: Premium, assured e Best effort. Um alocador de recursos de rádio é utilizado para determinar a capacidade da interface aérea e alimentar o agendador de banda. O parâmetro de referência para o algoritmo de agendamento é a banda efetiva, que do mesmo modo que em (Guo & Chaskar 2000) é caracterizada em função da taxa de transmissão e da SIR requerida. O modelo usa controle de potência e controle do fator de espalhamento. Em (Akhtar, Malik & Zeghlache 2001) estuda-se um algoritmo de CAC com prioridade para redes WCDMA com diferentes serviços. São considerados tráfegos das classes: conversacional, streaming e interativo, sendo que a classe conversacional tem maior prioridade e a classe interativa a menor prioridade.

O trabalho (Lee & Jo 2004) propõe um algoritmo de CAC cujo parâmetro de decisão é a SIR, considerando três classes de serviços e diferentes taxas de transmissão. O método considera uma estimativa da capacidade do sistema CDMA e faz reserva de recursos para as chamadas de *handover*. A prioridade das classes é estabelecida da seguinte forma: serviços em tempo real com alta taxa de transmissão, serviços em tempo real com baixa taxa de transmissão e serviços de voz. Existem seis níveis de prioridade como um todo. As chamadas de *handover* têm maior prioridade e podem usar todos os recursos do sistema. Para a modelagem dos tráfegos multi-classes utilizou-se a cadeia de Markov. Em (Rodrigues et al. 2004) estuda-se um método de QoS e controle de carga a partir de CAC para o enlace direto de sistemas WCDMA. Um dos fundamentos do trabalho considera que existem dois recursos que devem ser adequadamente alocados e compartilhados para um eficiente compromisso entre capacidade e qualidade no enlace direto de sistemas UMTS. Esta estratégia também visa aumentar os ganhos do sistema a partir da minimização dos níveis de bloqueio e de probabilidade de quedas de chamadas.

A utilização da largura de banda efetiva foi uma ideia que surgiu em algoritmos CAC para redes ATM baseado em B-ISDN (do inglês, *Broadband Integrated Services Digital Network*), usando a teoria desvios grandes (Cox, Cigna & andT. Valente 1996), e está tomando força nos sistemas 3G. Em (Evans & Everitt 1999), foi aplicado a técnica de banda efetiva das redes ATM em CDMA multi-celular. Sendo assim, no método proposto será utilizada a banda efetiva como parâmetro de decisão para aceitar ou rejeitar a requisição de conexão de um usuário, como será descrito detalhadamente no próximo capítulo. Porém, os métodos CAC que vêm sendo abordados pela comunidade científica não se limitam aos tipos mencionados até então neste capítulo.

3.1.1 Controle de Admissão de Chamadas e Controle de Fluxo (CAC-FC)

Em (Borgonovo 2006) é apresentado o algoritmo CAC-FC denominado pela autora como algoritmo Multi e nessa subseção descreveremos brevemente este método de controle. O método CAC-FC trabalha com diferenciação de classes. A ideia principal desse método é tomar medidas pró-ativas em relação à sobrecarga, introduzindo uma estratégia de bloqueio gradual. Três classes de usuários são consideradas: premium, ouro e prata, sendo as classes premium e prata a de maior e menor prioridade respectivamente. Neste método cada usuário é caracterizado em termos de sua banda efetiva (B_e). Esta, por sua vez, é função da taxa de transmissão e respectiva SIR requerida para manter a qualidade da comunicação, assim como em (Tian &

Zhu 2001) e (Guo & Chaskar 2000).

O método CAC-FC está baseado em WCDMA, utilizando uma largura de banda de 3,84 MHz, a qual é denominada W_t . A banda utilizável do sistema é definida como $W = W_t(1 - \eta)$, sendo que o fator $(1 - \eta)$ representa a carga máxima que o sistema pode suportar e foi fixada em 70% da capacidade de pólo. Desse modo, considera-se que se a banda efetiva de todos os usuários juntos superar o valor de W , o sistema pode tornar-se instável com comportamento imprevisível. Este método considera três limiares de decisão, com referência na banda efetiva do sistema. São eles: T_1W , T_2W e T_3W , onde, T_1 , T_2 e T_3 são números entre 0 e 1. O algoritmo CAC-FC funciona da seguinte forma:

1. Se $B_e \leq T_1W$, aceitar todos os usuários com taxa requerida,
2. Se $T_1W < B_e \leq T_2W$, bloquear usuários prata, admitir apenas classes ouro e premium, reduzir pela metade a taxa de transmissão dos usuários Prata na célula com sobrecarga,
3. Se $T_2W < B_e \leq T_3W$, bloquear usuários da classe prata e ouro, zerar a taxa de transmissão da classe prata e reduzir a taxa de usuários ouro pela metade,
4. Se $B_e > T_3W$, com $T_3W < W_t(1 - \eta)$, bloquear todos os usuários, zerar taxa de transmissão dos usuários prata e ouro, apenas os usuários premium continuam transmitindo na célula.

Espera-se que com o bloqueio de novos usuários e redução das taxas de dados, a situação de sobrecarga possa ser resolvida e a taxa de transmissão re-estabelecida. Dessa forma o bloqueio é priorizado em relação à queda de chamadas e a utilização da interface aérea tende a ser eficiente, uma vez que o truncamento das taxas e o bloqueio de usuários acontece de maneira gradual.

3.1.2 Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo (FCAC-FC)

O trabalho (Truong et al. 2010) considera um sistema celular WCDMA com células hexagonais de igual tamanho. Cada célula contém uma ERB localizada no centro. O mesmo espectro de rádio é reutilizado em cada célula. As EBs estão ligadas a um centro de comutação móvel, que por sua vez é ligada ao *backbone* de uma rede fixa. O artigo aborda especificamente o processo CAC para o enlace reverso. Nesse trabalho, a informação sobre a mobilidade é definido como sendo a probabilidade de uma estação móvel (MS) (do inglês - *Mobile Station*) estar ativo em células vizinhas em momentos futuros. Essa informação de mobilidade também será utilizada em nossa proposta.

O método TP-FCAC, consiste de três subsistemas: (1) o estimador de mobilidade fuzzy; (2) o estimador de recursos de rede; e (3) o processador de admissão de chamadas fuzzy com prioridade de tráfego. Nesse método, quando um usuário faz a requisição de uma conexão, primeiro o método estima a banda efetiva na célula atual e nas células vizinhas, assim como também a informação de mobilidade que facilitam a decisão do CAC. Finalmente, reserva recursos para a chamada que se admitiu. Então, o método TP-FCAC toma a decisão de aceitar a chamada

apenas se os requisitos de QoS de todas as chamadas ativas na célula atual e as células vizinhas podem ser garantidos e os requisitos de QoS da nova chamada pode ser garantido. Esse método apresenta a idéia de prioridade para o método CAC usando a prioridade das classes de tráfegos. De acordo com essa idéia, uma nova chamada de prioridade mais alta tem uma maior probabilidade de ser admitida que outros de menor prioridade. Assim, se o recurso de rede disponível for suficiente, uma chamada de qualquer prioridade é admitida no sistema. Caso contrário, apenas as chamadas de maior prioridade são admitidas, chamadas de prioridade mais baixa são bloqueadas.

O método FCAC-FFC proposto neste trabalho pode ser visto como uma FCAC-FC modificada, onde foi adicionado o controle de fluxo fuzzy. Espera-se que com a adição desse controle de fluxo possamos ter um melhor desempenho em relação aos bloqueios de novos usuários.

3.2 Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy é baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Essa é uma generalização da teoria dos conjuntos tradicionais para resolver os paradoxos gerados a partir da classificação *verdadeiro* ou *falso* da lógica clássica. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos distintos: *completamente verdadeiro* e *completamente falso*. Entretanto, na lógica fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa.

Com a incorporação do conceito de *grau de verdade*, a teoria dos conjuntos fuzzy estende a teoria dos conjuntos tradicionais. Os grupos são rotulados qualitativamente (usando termos linguísticos, tais como: alto, baixo, pequeno, grande, etc.) e os elementos desses conjuntos são caracterizados variando o grau de pertinência (valor que indica o grau em que um elemento pertence a um conjunto). Por exemplo, um homem de 1,80 metro e um homem de 1,75 metro são membros do conjunto *alto*, embora o homem de 1,80 metro tenha um grau de pertinência maior nesse conjunto. Nas seguintes subseções apresentaremos uma breve teoria dos conjuntos fuzzy, operações com conjuntos fuzzy, variáveis linguísticas, base de regras, mecanismos de inferências, defuzzificação, e a estrutura do controlador fuzzy.

Conjuntos Fuzzy

Na teoria clássica de conjuntos, os valores de pertinência ou não de um elemento a um conjunto estão bem definidos, onde cada proposição é tratada como totalmente falsa ou verdadeira. Porém a maioria dos conjuntos e proposições não pode ser caracterizado de maneira tão exata. Por exemplo, o conjunto de pessoas altas é um conjunto cujo limiar não pode ser estabelecido de forma precisa. Na lógica fuzzy, a pertinência de um elemento a um conjunto ocorre gradativamente e se expressa através de uma função de pertinência.

Função Característica

Seja \mathbf{S} um conjunto cujo domínio é \mathbf{X} . A função característica do conjunto \mathbf{S} tem o valor $\mu_S(x) = 1$ se $x \in S$, e $\mu_S(x) = 0$ se $x \notin S$, $\mu_S : X \rightarrow \{0,1\}$. O conjunto \mathbf{S} com esta função característica é denominado conjunto clássico ou *crisp*.

Função de Pertinência

Seja F um conjunto cujo domínio é X . A função de pertinência $\mu_F(x)$ do conjunto F é uma função que designa valores, ou graus de pertinência, para cada $x \in F$, $\mu_F : X \rightarrow [0,1]$. Então F é denominado de conjunto Fuzzy.

Aparentemente, os conjuntos *crisp* podem ser tratados como um caso especial dos conjuntos fuzzy visto que a função característica pode assumir valores somente marginais do intervalo $[0,1]$ no qual é definida a função de pertinência.

Em teoria de conjuntos fuzzy, a faixa de possíveis valores quantitativos considerados para os membros do conjunto fuzzy é denominada **universo de discurso**.

A função de pertinência converte o grau de nebulosidade num intervalo normalizado $[0,1]$ onde os valores limites 0 e 1 lembram o grau de pertinência dos membros do conjunto *crisp*. As funções de pertinência podem ter diferentes formas, no entanto, as mais usadas são as formas: triangular, trapezoidal, Gaussiana e curvas de Gauss, como mostrado na Figura 3.1.

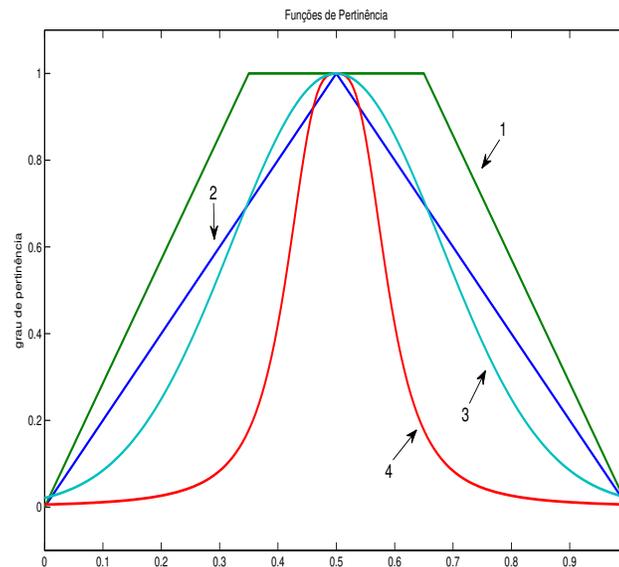


Figura 3.1: Funções de Pertinência (1) Trapezoidal (2) Triangular (3) Gaussiano e (4) Curva Bell-Shaped.

Centro e Núcleo do Conjunto Fuzzy

O único valor $x = c_F = c_F^x \in F$ com o máximo valor de pertinência $\mu_F(c_F) = 1$, é denominado o centro do conjunto fuzzy F . Se existe um conjunto de valores com o máximo grau de pertinência, $core(F) = \{x \in X : \mu_F(x) = 1\}$, então $core(F)$ é denominado núcleo do conjunto fuzzy F . O centro do conjunto fuzzy F com um núcleo é calculado através de $c_F^x = (xa + xb)/2$, sendo que xa e xb são os limites do núcleo.

União, Intersecção e Complemento de Conjuntos Fuzzy

Há muitas formas diferentes de determinar a função de pertinência do conjunto fuzzy resultante da união e intersecção de conjuntos fuzzy, assim como também para determinar o complemento de um conjunto fuzzy. Zadeh (Zadeh 1965) propôs as seguintes definições para essas operações:

$$\begin{aligned}\mu_{B \cap C}(x) &= \min(\mu_B(x), \mu_C(x)) \\ \mu_{B \cup C}(x) &= \max(\mu_B(x), \mu_C(x)) \\ \mu_{\bar{B}}(x) &= 1 - \mu_B(x)\end{aligned}\tag{3.1}$$

3.2.1 Variável Linguística

Uma das grandes vantagens do uso da lógica fuzzy é a possibilidade de transformar a linguagem natural em conjuntos de números, permitindo sua manipulação computacional. As variáveis linguísticas são variáveis cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial. As variáveis linguísticas assumem valores chamados de termos linguísticos. Por exemplo, os termos linguísticos BAIXO, MÉDIO, e ALTO são relativos à variável linguística ALTURA [Figura 3.2].

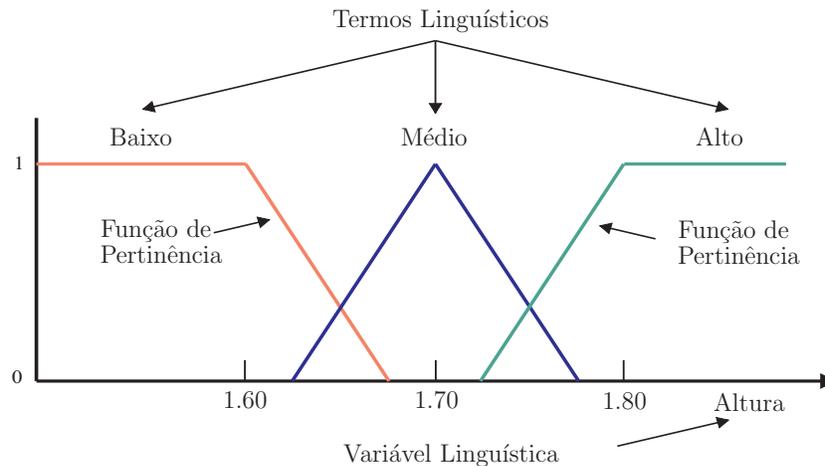


Figura 3.2: Função de Pertinência, Variável Linguística e Termos Linguísticos.

Proposições Fuzzy

Seja $x \in X$ uma variável linguística e $T_i(x)$ um conjunto fuzzy associado com o termo linguístico T_i , então a seguinte estrutura representa uma proposição, isto é:

$$P_i : x \text{ é } T_i\tag{3.2}$$

Uma proposição fuzzy é interpretada por um processo conhecido como fuzzificação.

Fuzzificação

Seja $x \in X$ uma variável linguística e $T_i(x)$ o conjunto fuzzy associado com o termo linguístico T_i . A conversão de um valor físico (numérico) de x no seu correspondente termo linguístico com a associação de um grau de pertinência, $x \rightarrow \mu_{T_i(x)}$ é denominado fuzzificação. A função de pertinência $\mu_{T_i(x)}$ representa o equivalente fuzzy do valor de x .

Relação Fuzzy

Sejam $x \in X$ e $y \in Y$ variáveis linguísticas, e $T_i(x)$ e $F_j(y)$ conjuntos fuzzy correspondentes aos termos linguísticos T_i e F_j respectivamente. Então, a seguinte estrutura representa uma relação de duas dimensões:

$$\begin{aligned} R_{ij} &= x \text{ é } T_i \wp y \text{ é } F_j, \text{ denotado por} \\ R_{ij} &= P_i^x \wp P_j^y \end{aligned} \quad (3.3)$$

sendo que \wp é um operador. A escolha do operador \wp tem uma influência direta na estrutura do controlador fuzzy (Kovacic & Bogdan 2006).

3.2.2 Base de Regras Fuzzy

A base de regras fuzzy é a parte central do controlador fuzzy e esse representa a "inteligência" em qualquer algoritmo de controle fuzzy. É aqui onde o conhecimento do projetista e sua experiência devem ser corretamente interpretados e organizados num apropriado conjunto de regras (Kovacic & Bogdan 2006).

A base de regras contém um conjunto de regras-proposições fuzzy onde as variáveis antecedentes-consequentes são variáveis linguísticas e os possíveis valores de uma variável linguística são representados por conjuntos fuzzy. Uma proposição fuzzy expressa relações entre variáveis linguísticas e conjuntos fuzzy (Aguiar & Jr 1999). As proposições podem estar no formato SE-ENTÃO, como por exemplo:

$$\text{FR: SE } \mathbf{pressão} \text{ é alta ENTÃO } \mathbf{volume} \text{ é pequeno} \quad (3.4)$$

sendo que na regra fuzzy (*FR-Fuzzy Rule*), **alta** e **pequeno** são conjuntos fuzzy, e **pressão** e **volume** são variáveis linguísticas. Pressão é o antecedente (premissa) e volume é o consequente.

3.2.3 Mecanismos de Inferência

Independentemente da forma das regras fuzzy, a maior preocupação é como interpretar o significado de cada regra, isto é, como determinar a influência produzida pela parte antecedente da regra fuzzy na parte consequente da regra. O procedimento para analisar essa influência é denominado **implicação fuzzy**. Existem muitas formas possíveis para definir uma implicação fuzzy (Mizumoto 1988), mas em aplicações de controle geralmente duas delas são preferidas: a implicação **produto** (também denominado implicação Larsen), e a implicação **mínimo** ou Mandani.

$$\begin{aligned}\mu_{FR^i} &= \mu_{R_{pq}} \cdot \mu_{P_m} \\ \mu_{FR^i} &= \min(\mu_{R_{pq}}, \mu_{P_m})\end{aligned}\quad (3.5)$$

O índice FR^i na Equação (3.5) determina que o valor da função de pertinência μ_{FR^i} refere-se à regra fuzzy i . A regra é do tipo FR^i : SE R_{pq} ENTÃO P_m .

A implicação fuzzy produto (**prod**) multiplica o valor numérico resultante da aplicação da norma T **mínimo** (método para operação AND) no antecedente pela função de pertinência do conjunto fuzzy do conseqüente da regra. Isto é apresentado na Figura 3.3. Sendo que $\mu_{T_1}(x)$ e $\mu_{F_1}(y)$ são as funções de pertinência das variáveis de entrada x e y respectivamente e $\mu_{v_1}(u)$ é a função de pertinência da variável u de saída.

No entanto, a implicação fuzzy mínimo (**min**), calcula o valor mínimo entre o valor numérico resultante da aplicação da norma T **mínimo** (método para operação AND) no antecedente e a função de pertinência do conjunto fuzzy do conseqüente da regra. Isto é apresentado na Figura 3.4.

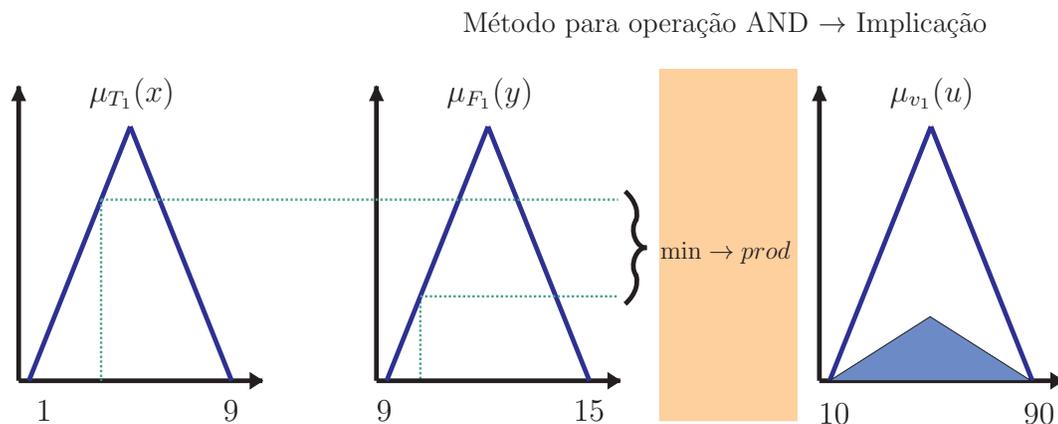


Figura 3.3: Implicação Fuzzy Produto (**prod**) Aplicada a uma Regra.

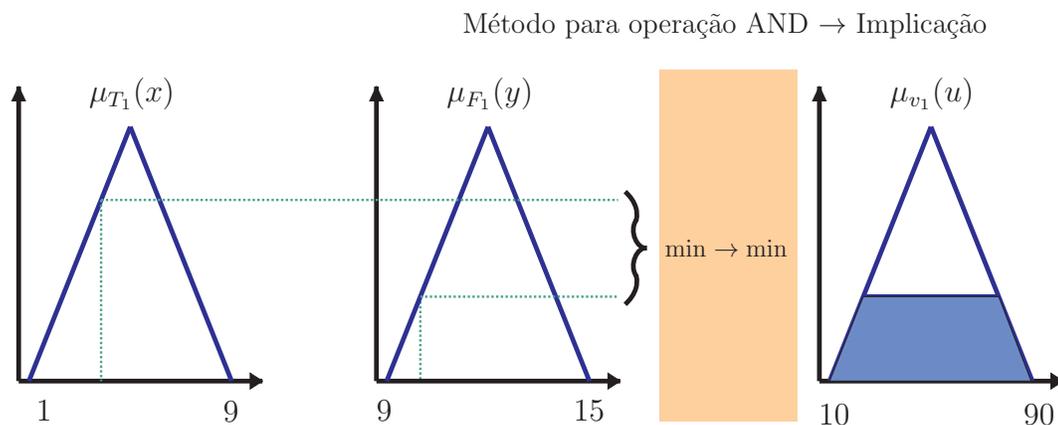


Figura 3.4: Implicação Fuzzy Mínimo (**min**) Aplicada a uma Regra.

Agregação Max-Min

O primeiro passo da inferência baseada em regras individuais, o qual é predominantemente usado no projeto de controladores, é calcular o grau de pertinência da parte antecedente da regra (por exemplo, relação R_{pq}), e então calcularmos a influência deste na parte consequente da regra (por exemplo, na preposição P_m). Esse procedimento é feito para todas as regras fuzzy ativadas. Finalmente o processo denominado agregação conclui com a inferência do conjunto fuzzy resultante para o sistema. Esse conjunto fuzzy resultante será usado para calcular o valor *crisp* da saída (Hellendoorn 1990).

A saída das regras individuais podem ser compostas de diferentes formas, dependendo de qual operador de agregação se esteja usando. Há diferentes operadores de agregação, mas os operadores **max** e **sum** são os operadores usados com maior frequência (Kovacic & Bogdan 2006).

Se o operador máximo (**Max**) for usado como operador de agregação, então o significado de todas as regras fuzzy serão definidas pela Equação (3.6). No entanto, se o operador fosse a soma (**Sum**), o significado de todas as regras serão definidas pela Equação (3.7).

$$\mu_U(x_k, y_k, u) = \mu_{\cup_{i=1}^r FR^i}(x_k, y_k, u) = \max\{\min_{i=1}^r[\mu_{R_{pq}}, \mu_{P_m}]\} \quad (3.6)$$

$$\mu_U(x_k, y_k, u) = \mu_{\cup_{i=1}^r FR^i}(x_k, y_k, u) = \sum \min_{i=1}^r[\mu_{R_{pq}}, \mu_{P_m}] \quad (3.7)$$

Pode-se observar o processo completo de inferência, de forma gráfica, na Figura 3.5. Nesta figura foi considerada duas regras fuzzy, cada uma destas regras tem duas variáveis de entrada (x e y) e uma variável de saída (u). As funções de pertinência resultantes para cada uma das regras são mostradas como uma área hachurada, estas áreas podem ser agregadas através do operador soma (*Sum*) ou máximo (*Max*) como se mostra nesta mesma Figura.

3.2.4 Defuzzificação

Transforma os resultados fuzzy da inferência em valores de saída numéricos. Esta saída é calculada, baseada na inferência obtida no módulo Unidade de Decisão Lógica, com as funções de pertinência das variáveis linguísticas da parte consequente das regras para obter uma saída não fuzzy (*crisp*). Nessa etapa as regiões resultantes são convertidas em valores de saída numéricos do sistema.

Há vários tipos de defuzzificação. No entanto, o valor de saída *crisp* é frequentemente calculado de acordo com o princípio de centro de área (COA) (do inglês, *Center of Area*), isto é:

$$u_{FC}(x_k, y_k) = \frac{\sum_i u_i \cdot \mu_u(x_k, y_k, u_i)}{\sum_i \mu_u(x_k, y_k, u_i)} \quad (3.8)$$

3.2.5 Estrutura do Controlador Fuzzy

O tipo de estrutura do controlador fuzzy depende do processo sob controle e da qualidade requerida. As estruturas diferem significativamente em relação ao número de entradas e saídas

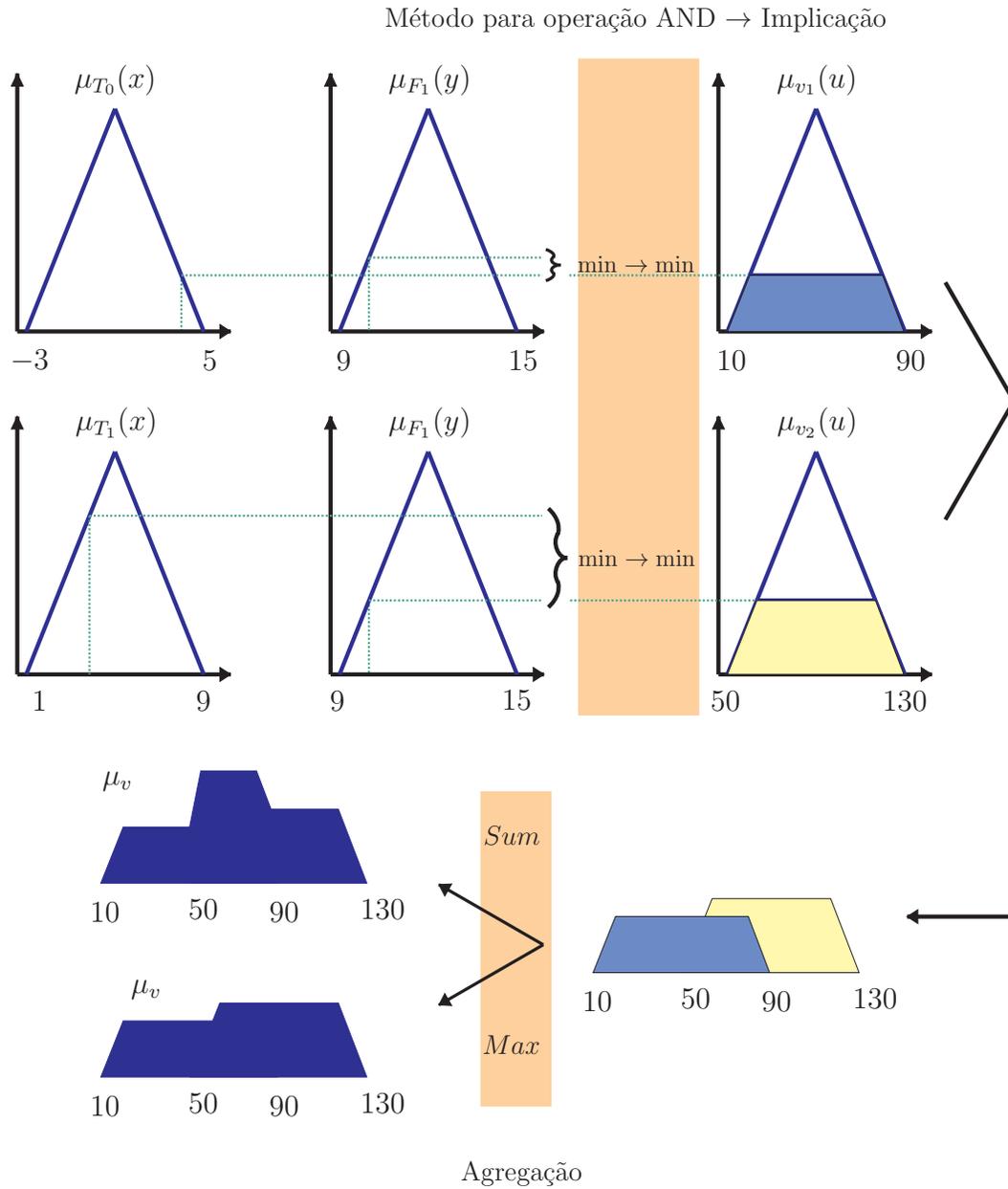


Figura 3.5: Representação Gráfica do Procedimento de Inferência.

ou menos significativamente pelo número de conjuntos fuzzy utilizados para a(s) entrada(s) e saída(s), pela forma das funções de pertinência, regras de controle, tipo de mecanismo de inferência e método de defuzzificação utilizado.

Apesar da variedade de possibilidades de estruturas para o controlador fuzzy, a forma básica de todos os tipos comuns de controladores consiste em: 1. Fuzzificação (binário para fuzzy), 2. Base de regras fuzzy, 3. Mecanismo de inferência, e 4. Defuzzificação (fuzzy para binário). Uma representação gráfica da estrutura é mostrada na Figura 3.6.

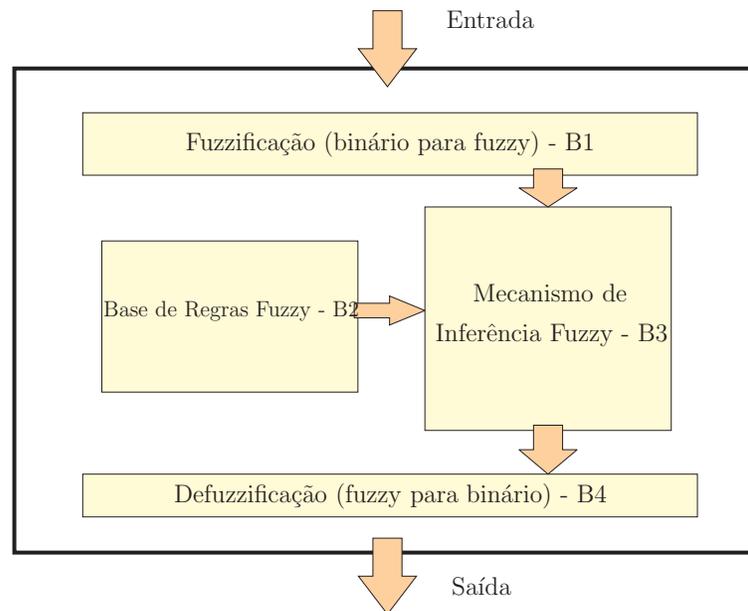


Figura 3.6: Estrutura do Controlador Fuzzy.

3.3 Controle de Admissão de Chamadas Fuzzy e Controle de Fluxo Fuzzy (FCAC-FFC)

O método FCAC-FFC proposto pode ser visto como um sistema combinado que envolve simultaneamente o algoritmo de agendamento de banda (Tian & Zhu 2001), o controle de admissão de chamadas multi-limiares para um sistema com diferenciação de classes (Guo & Chaskar 2000), como também o controle de admissão de chamadas fuzzy com prioridades (Truong et al. 2010). O método FCAC-FFC toma medidas pró-ativas de acordo com a carga do sistema, a fim de manter o nível de qualidade exigida por cada classe de tráfego.

O controle de admissão fuzzy e o controle de fluxo fuzzy são os principais componentes do método de controle de admissão de chamadas fuzzy proposto, cujos elementos básicos são mostrados na Figura 3.7. Estes elementos são nomeados como: (1) estimador de recursos, (2) controlador de admissão de chamadas Fuzzy (FCAC), (3) controlador de fluxo fuzzy (FFC) e (4) estimador de mobilidade fuzzy.

Quando uma estação móvel faz a requisição de um serviço, estima-se em primeiro lugar a banda efetiva do sistema. A aceitação ou rejeição da requisição de conexão é condicionada à disponibilidade da banda, previamente estimada, e que seja suficiente para garantir a QoS exigida por cada classe de tráfego. Além disso, de acordo com as regras estabelecidas no controlador FCAC, uma nova chamada de maior prioridade deve ser a primeira a ser admitida sempre que a banda efetiva atual for suficiente. Nas seguintes subseções detalharemos cada uma das partes do método FCAC-FFC.

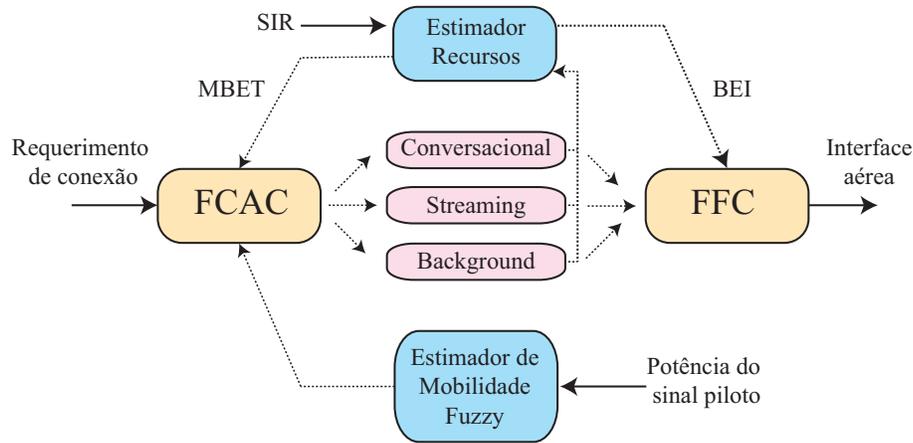


Figura 3.7: Diagrama de Blocos do Método FCAC-FFC.

3.3.1 Estimador de Recursos

O estimador de recursos é o responsável por fornecer informações sobre a carga do sistema para o FCAC e o FFC. As principais informações fornecidas são: média da banda efetiva total (MBET) e banda efetiva instantânea (BEI). A banda efetiva instantânea é determinada em função da taxa de transmissão do sistema e da relação sinal interferência (SIR) (do inglês, *Signal-to-Interference Ratio*) como se mostra na Equação (3.9). A média da banda efetiva total é a soma da banda efetiva média do buffer e a banda efetiva média usada na interface aérea. Por outro lado, a banda efetiva instantânea é a banda efetiva usada na interface aérea em cada instante de transmissão (Tian & Zhu 2001).

$$BEI = \sum_{c \in \{A, B, C\}} \sum_{j=1}^{N_c} I(c, j, t) r(c, j, t) SIR(c, j, t) \quad (3.9)$$

sendo que:

- N_c : número total de usuários na classe $c \in \{A, B, C\}$.
- $r(c, j, t)$: taxa de transmissão de dados no instante t do usuário j na classe c . O r é função do tempo e é atualizado a cada período de tempo.
- $SIR(c, j, t)$: os requerimentos SIR do usuário j na classe c , no instante t .
- $I(c, j, t)$: indicador de função para o usuário j na classe c , no instante t . É igual a 1 se a transmissão do usuário está ativa. Caso contrário, é igual a 0.

O estimador de recursos também possui uma função de Controle de Congestionamento que elimina os usuários que têm pacotes no buffer, mas não estão transmitindo por um determinado intervalo de tempo. A presente dissertação utiliza um simples Controle de Congestionamento de modo a eliminar os usuários que tem conteúdo para transmitir, mas ficam muito tempo proibidos de fazê-lo, como proposto em (Borgonovo 2006).

3.3.2 Controlador de Admissão de Chamadas Fuzzy (FCAC)

O controlador FCAC tem como variáveis de entrada: a média da banda efetiva total (MBET) e a classe de tráfego (Classe). A saída do controlador FCAC é a variável de decisão D. A estrutura do controlador se mostra na Figura 3.8. As variáveis de entrada estão representadas pelos seus respectivos termos linguísticos: MBET={P, PM, M, MG, G} e Classe={A, B, C}, e os termos linguísticos para a variável de saída são D={Ac, Re}. As variáveis linguísticas são denominadas: P-Pequeno, PM-Pequeno Médio, M-Médio, MG-Médio Grande, G-grande, Ac-Aceito e Re-Rejeitado.

As funções de pertinência utilizadas para definir os conjuntos fuzzy foram triangulares e trapezoidais, porque elas são adequadas para a operação em tempo real (Dubois, Prade & Yager 1993). As funções de pertinência para as entradas MBET e Classe são representadas nas Figuras 3.9 e 3.10, respectivamente. O universo de discurso da entrada MBET está definida no intervalo fechado $[0,2]$, mas com a finalidade de observar detalhadamente os conjuntos fuzzy somente é mostrado o intervalo $[0.5, 1.3]$. Por outro lado, o universo de discurso para a entrada Classe está definido no intervalo fechado $[-0.5, 2.5]$, como se observa na respectiva figura. Essas funções de pertinência serão utilizadas para o processo de fuzzificação (Bloco B1 da Figura 3.6)

A saída do controlador FCAC é um sinal binário, 1 ou 0, representando a aceitação (Ac) ou rejeição (Re) da nova chamada. A Tabela 3.1 mostra a base de regras implementada no controlador FCAC proposto (Bloco B2 da Figura 3.6) .

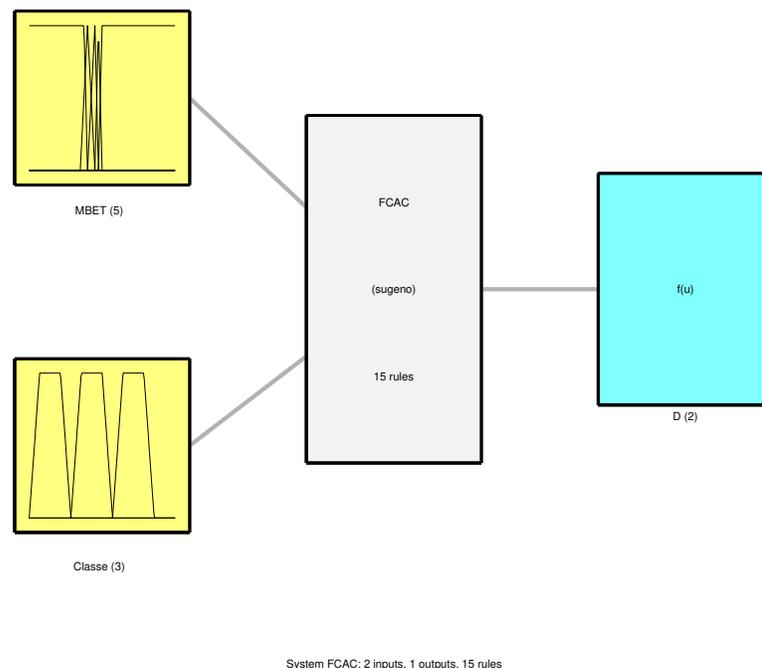


Figura 3.8: Estrutura do Controlador FCAC.

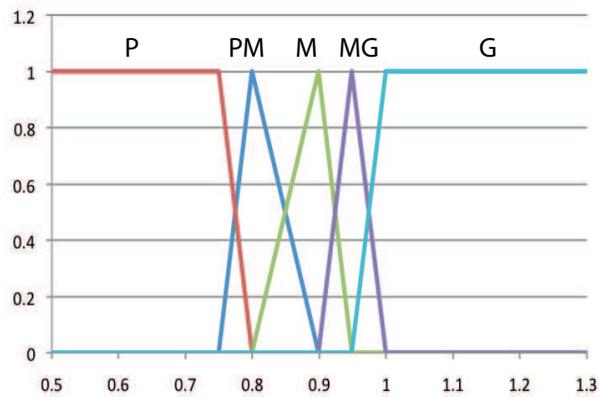
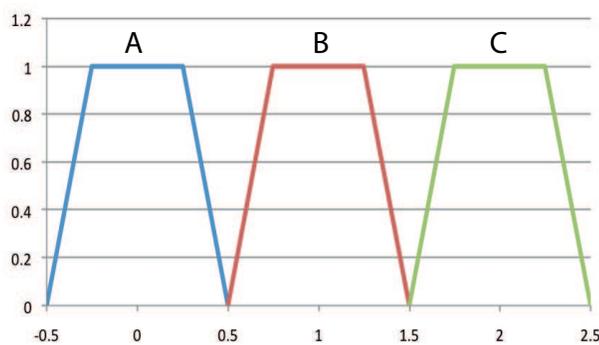


Figura 3.9: Funções de Pertinência para a Variável de Entrada MBET.


 Figura 3.10: Funções de Pertinência para a Variável de Entrada **Classe**.

O controle de admissão de chamadas Fuzzy é baseado no método Fuzzy Takagi-Sugeno (Takagi & Sugeno 1985), para o processo de inferência foi utilizado a norma T produto, assim como o método de média ponderada foi utilizado para a defuzzificação (Blocos B3 e B4 da Figura 3.6) (Ross 2004). O FCAC determina se uma nova chamada é aceita ou rejeitada com base nas regras, por exemplo:

$$R_x : \text{se MBET é P e Classe é A então D é Ac} \quad (3.10)$$

sendo que: $MBET = \{P, PM, M, MG, G\}$, $Classe = \{A, B, C\}$ e $D = \{Ac, Re\}$

Tabela 3.1: Base de Regras para o Controlador FCAC

MBET / Classe	A	B	C
P	Ac	Ac	Ac
PM	Ac	Ac	Ac
M	Ac	Ac	Re
MG	Ac	Re	Re
G	Re	Re	Re

A Figura 3.11 apresenta a relação não linear entre as variáveis de entrada: classe e MBET com a variável de saída D.

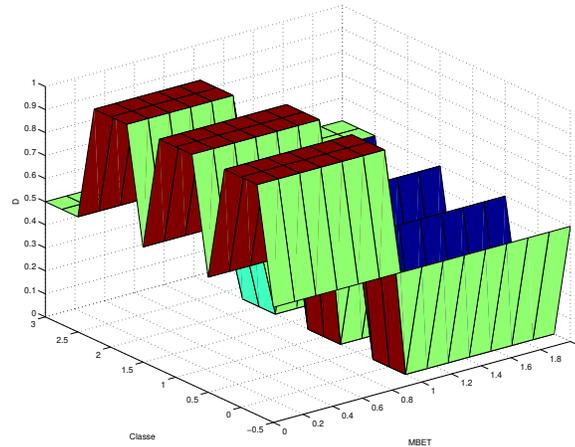


Figura 3.11: Superfície de Controle para o Controlador FCAC.

3.3.3 Controlador de Fluxo Fuzzy (FFC)

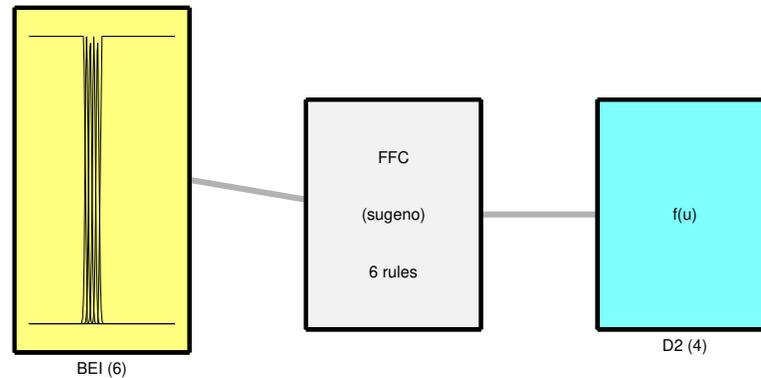
O controle de fluxo fuzzy tem como entrada a variável BEI e como saída a variável D2. A estrutura do controlador é mostrada na Figura 3.12. Os termos linguísticos das variáveis de entrada e de saída são: $BEI = \{P, PM, M, MG, G, SG\}$ e $D2 = \{Total, Médio, Baixo, Zero\}$, respectivamente. Estas variáveis linguísticas são denominadas: P-Pequeno, PM-Pequeno Médio, M-Médio, MG-Médio Grande, G-Grande, SG-Super Grande.

As funções de pertinência para a variável de entrada possuem o seguinte formato geométrico: funções triangulares com 50% de sobreposição para os conjuntos PM, M, MG e G, representadas na Figura 3.13 e funções trapezoidais para os conjuntos P e SG. Estes conjuntos fuzzy são definidos no intervalo fechado $[0, 2]$, mas com a finalidade de observar as funções de pertinência detalhadamente é mostrado o intervalo $[0.55, 1.15]$. Essas funções de pertinência serão utilizadas para o processo de fuzzificação (Bloco B1 da Figura 3.6)

A variável de saída do FFC é um valor numérico determinado pela média ponderada do método utilizado para a defuzzificação e para o processo de inferência foi utilizado a norma T produto (Blocos B3 e B4 da Figura 3.6). A Tabela 3.2 mostra a base de regras (Bloco B2 da Figura 3.6) implementada no controlador FFC proposto.

Tabela 3.2: Base de Regras para o Controlador FFC.

BEI	D2
P	Total
PM	Médio
M	Médio
MG	Baixo
G	Zero
SG	Zero



System FFC: 1 inputs, 1 outputs, 6 rules

Figura 3.12: Estrutura do Controlador FFC.

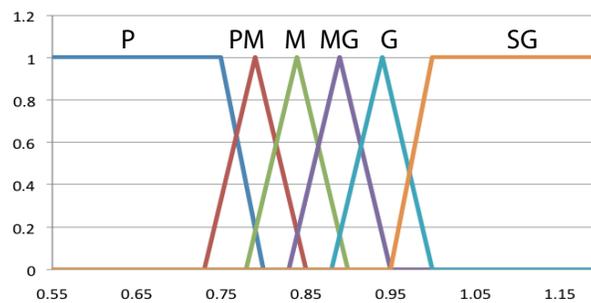


Figura 3.13: Funções de Pertinência para a Variável de Entrada BEI.

3.3.4 Estimador de Mobilidade Fuzzy

O Estimador apresentado em (Shen, Mark & Ye 2000) estima as probabilidades de um usuário móvel estar ativo em uma célula em particular em momentos futuros. A informação sobre a mobilidade está diretamente relacionada à multiplexação estatística e desempenha um papel importante na gestão eficiente dos recursos nos sistemas celulares.

Em geral, se um usuário está mais perto de uma ERB, em seguida, as perdas de propagação (*path loss*) da ERB para o usuário móvel é menor e vice-versa. Assim, se a ERB transmite um sinal piloto com potência transmitida constante, então o sinal de potência recebida no usuário móvel transporta a informação da distância entre o usuário e a ERB. Assim, a média

da amplitude do sinal piloto recebido em cada usuário móvel, no tempo t_n , pode ser modelado por (Rappaport 1996)

$$a_{n,i} = \gamma_i \left[\frac{d_i(t_n)}{D_0} \right]^{-\kappa} 10^{\xi_i(t_n)/10} \quad (3.11)$$

sendo que γ_i é uma constante proporcional à amplitude do sinal piloto transmitido, κ é o expoente de perda de percurso (*path loss*), D_0 é uma distância de referência que é determinado com medidas perto do transmissor, e $\xi_i(t_n)$ serve para caracterizar o efeito do sombreamento e pode ser modelado pela variável aleatória normal (para qualquer tempo t_n) com média zero e variância σ^2 . Observe que $d_i(t_n)$ denota a distância no tempo t entre o usuário móvel e a ERB_{*i*}.

A probabilidade de um usuário estar ativo em uma célula em particular num momento futuro é uma função das distâncias atuais entre o usuário móvel e as ERB vizinhas. A probabilidade pode ser estimada com base em medições em tempo real do sinal piloto da potência recebida no usuário móvel a partir das EBs. Além disso, a probabilidade depende do padrão de mobilidade do usuário. Embora os padrões de movimento de usuários móveis sejam de natureza aleatória, o movimento de cada usuário móvel tem uma trajetória relativamente simples na maioria das vezes. Isto é, a localização de um usuário móvel num momento futuro depende das suas localizações no momento atual e nos momentos anteriores.

Como resultado, é possível prever a informação sobre a mobilidade com base nos dados de medição atual e anteriores. Se as previsões futuras de informação de mobilidade podem ser obtidas com precisão razoável, então a gestão de recursos de rede será substancialmente eficiente em termos de QoS do usuário e utilização de recursos.

A Figura 3.14 mostra o diagrama de blocos do sistema de predição adaptativo Fuzzy e está composto por dois subsistemas: Um sistema de inferência fuzzy e um preditor RLS (do inglês, *Recursive Least Squares*). O sistema de inferência fuzzy estima a probabilidade de um usuário móvel estar ativo na célula i no tempo t_n baseado na medida da amplitude da potência do sinal piloto no tempo t_n . Antes das medições em t_{n+1} estarem disponíveis, o preditor RLS prevê a probabilidade do usuário móvel estar ativo na célula i no tempo t_{n+N} para $N = 1, 2, \dots$ com base nas estimativas do sistema de inferência fuzzy até o tempo t_n , como representado na Figura 3.15.

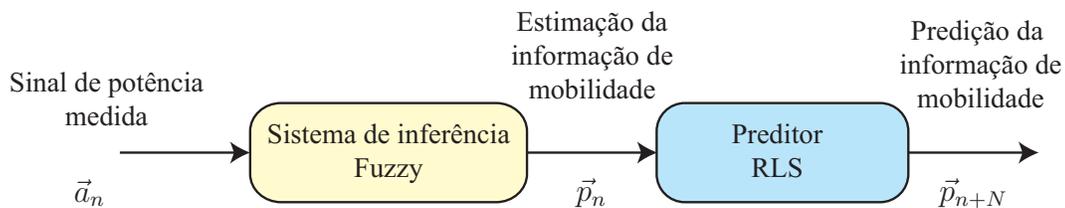


Figura 3.14: Sistema de Inferência Fuzzy Adaptativo.

Na presente dissertação, o estimador de mobilidade fuzzy é utilizado na parte de geração de tráfego, com o objetivo de determinar antecipadamente a qual ERB deve-se conectar o usuário móvel. Na Figura 3.17 pode-se observar o diagrama de fluxo de dados (DFD) do programa implementado no Matlab.

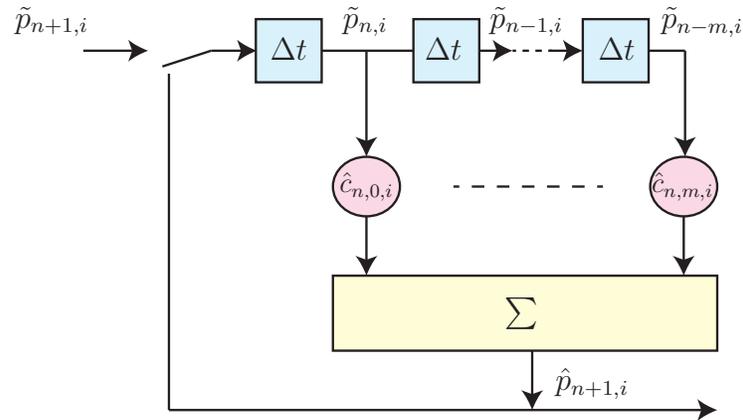


Figura 3.15: Estrutura do Preditor RLS para uma Componente do Vetor de Probabilidade.

3.3.5 Diagramas de Fluxo de Dados dos Programas Implementados

Como observado, nas subseções anteriores foi feita uma descrição dos componentes que são parte integral do método FCAC-FFC. Com base nesses conhecimentos, foi desenvolvido no Matlab um programa que concatena todos esses componentes e executa os seguintes processos: admissão de chamadas, transmissão de pacotes de cada usuário, controle de fluxo e estimação de mobilidade. Os cenários considerados nas simulações foram as seguintes:

Cenário A: Nesse cenário foi considerada uma célula principal (célula A) com todos os usuários fixos. Isto significa que o usuário começa a conexão de um ponto de localização específico da célula e permanece nesse ponto até o fim de sua conexão.

Cenário B: Neste cenário foram consideradas duas células adjacentes (célula A e célula B), nas quais o usuário pode-se movimentar livremente. Isto significa que o usuário pode-se conectar a ERB A ou a ERB B. Para isso, será necessário conhecer a localização de cada usuário e em consequência a ERB com a qual o usuário deverá estabelecer a conexão.

A Figura 3.16 mostra o DFD do programa para geração das três classes de tráfego para quando é considerada só uma ERB com os usuários fixos (sem mobilidade) (tráfegos utilizados no cenário A). O sorteio das classes de tráfego é feito de forma aleatória através da função **rand** do Matlab, assim como a duração das sessões segue uma determinada distribuição dependendo da classe de tráfego, maiores detalhes podem ser encontradas no anexo A.

Além disso, na Figura 3.17 tem-se o DFD para geração de tráfego considerando mobilidade dos usuários entre duas células adjacentes (cada célula tem uma ERB) (tráfegos utilizados no cenário B). A diferença em relação ao caso anterior é a necessidade de deslocar o usuário a cada um segundo, esse deslocamento pode gerar o *handover*.

Na Figura 3.18 tem-se o DFD do programa principal para o controle de admissão dos usuários (ou sessões) que foram gerados pelo gerador de tráfegos, e na Figura 3.19 mostra-se o DFD do programa principal considerando a mobilidade dos usuários entre duas células adjacentes.

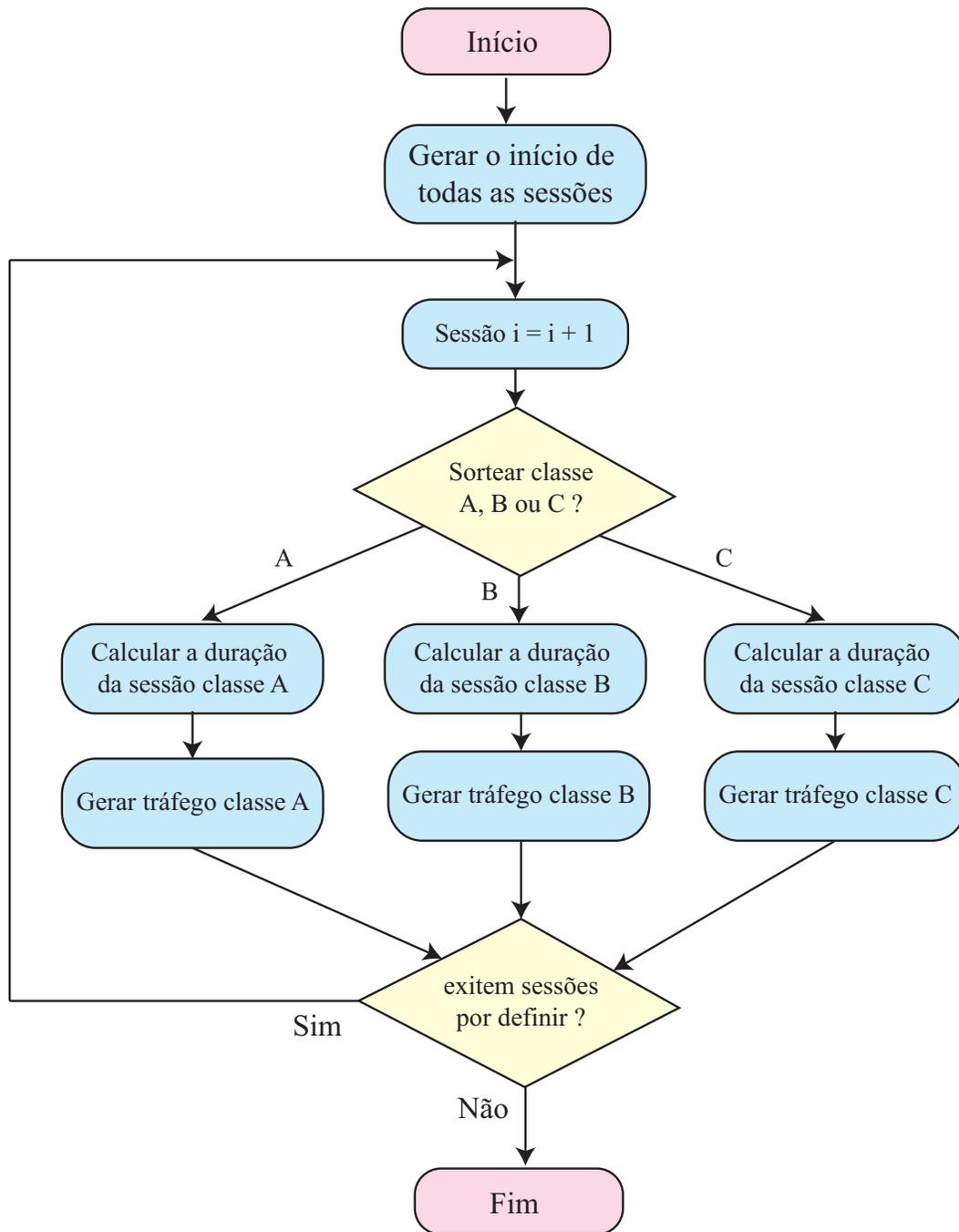


Figura 3.16: DFD do Gerador de Tráfego (Cenário A).

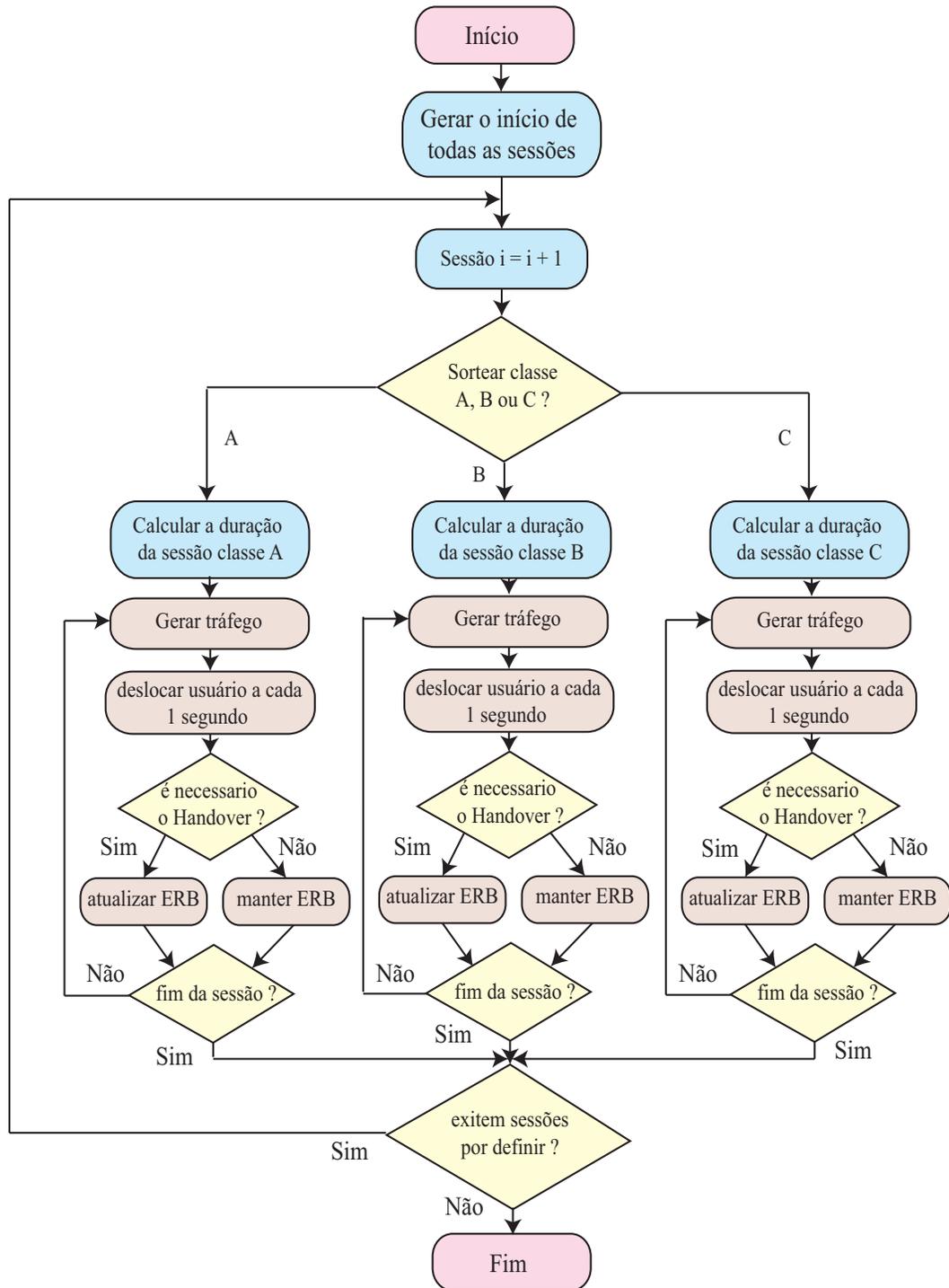


Figura 3.17: DFD do Gerador de Tráfego Considerando Mobilidade (Cenário B).

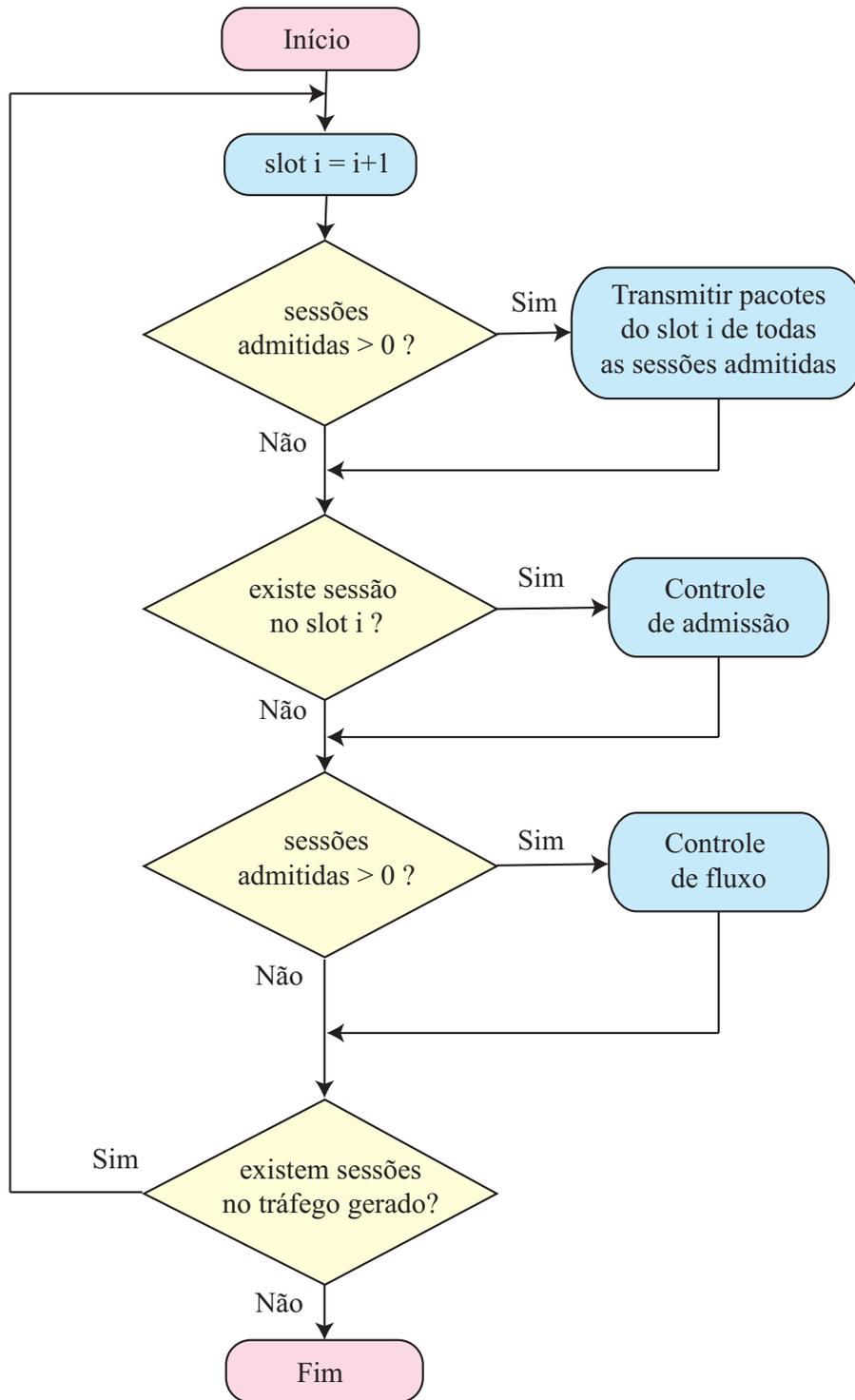


Figura 3.18: DFD do Método FCAC-FFC (Cenário A).

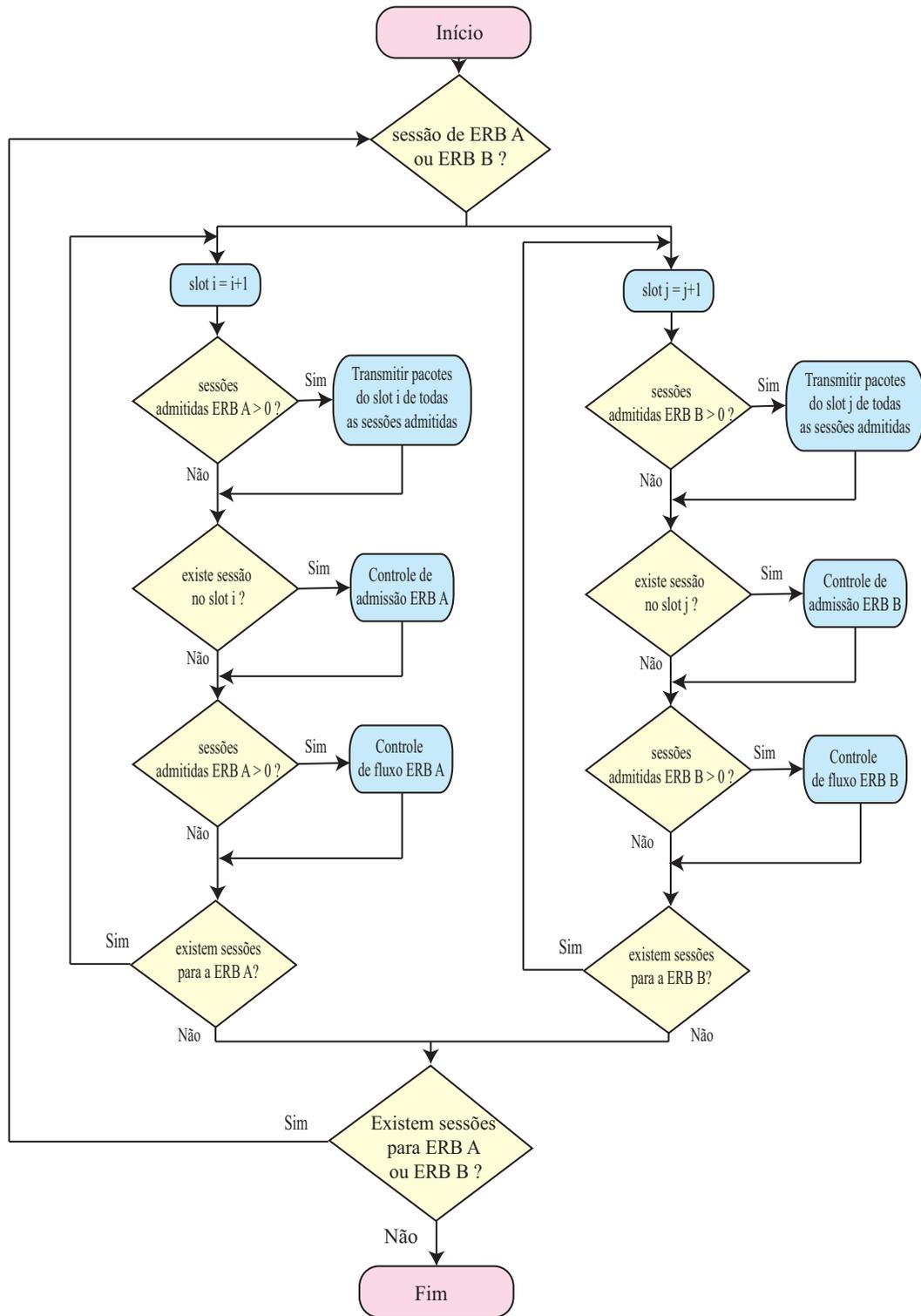


Figura 3.19: DFD do Método FCAC-FFC Considerando Mobilidade (Cenário B).

Resultados das Simulações

O método proposto foi implementado e simulado no ambiente de simulação Matlab R2009a, e para o projeto dos controladores fuzzy foi utilizada a *toolbox* de lógica fuzzy do próprio Matlab. Foram programados diversos *scripts* para que fosse possível a simulação dos dois cenários utilizados na validação do método FCAC-FFC proposto. O sistema UMTS/WCDMA considerado tem uma largura de banda de enlace reverso de $W_r = 3,84$ MHz. A banda utilizável do sistema é definida como $W = W_r(1 - \eta)$, sendo que o fator $(1 - \eta)$ representa a carga máxima que o sistema pode suportar, e foi fixada em 70% da capacidade de pólo, como considerado em (Borgonovo 2006). Deste modo, considera-se que se a banda efetiva de todos os usuários juntos superar o valor de W , o sistema pode-se tornar instável com comportamento imprevisível.

Os tipos de tráfego considerados nas simulações são: classe conversacional, *streaming* e *background*, e eles têm uma probabilidade de ocorrência de 15%, 40% e 45%, respectivamente. Nas seguintes seções, esses tráfegos serão nomeados de classe A, classe B e classe C, respectivamente.

Para a validação dos métodos analisados foram considerados diferentes níveis de carga (diferentes taxas de chegada), começando de uma carga leve do sistema $\lambda = 0,10$, até uma carga pesada do sistema $\lambda = 0,25$. Neste trabalho, considera-se que cada usuário faz uso unicamente de um tipo de tráfego. Sendo assim, nomearemos como usuários classe A aos usuários que fazem uso do tráfego classe A (conversacional), usuários classe B aos usuários que fazem uso do tráfego classe B (*streaming*), e usuários classe C aos usuários que fazem uso do tráfego classe C (*background*).

4.1 Cenário A - Usuários Fixos

Nesse cenário foi considerada uma célula principal (célula A), como mostrado na Figura 4.1, com todos os usuários fixos. Isto significa que o usuário começa a conexão de um ponto de localização específico da célula e permanece nesse ponto até o fim de sua conexão.

A estação base está localizada no centro da célula (ERB A). Além disso, a localização inicial dos usuários segue uma distribuição uniforme dentro da célula A sob análise. Com o objetivo de analisar o desempenho dos métodos CAC-FC, FCAC-FC e FCAC-FFC, cada um deles foi submetido a diferentes valores de carga do sistema.

Na Figura 4.2 assim como na Tabela 4.1 se observam os resultados obtidos para o método

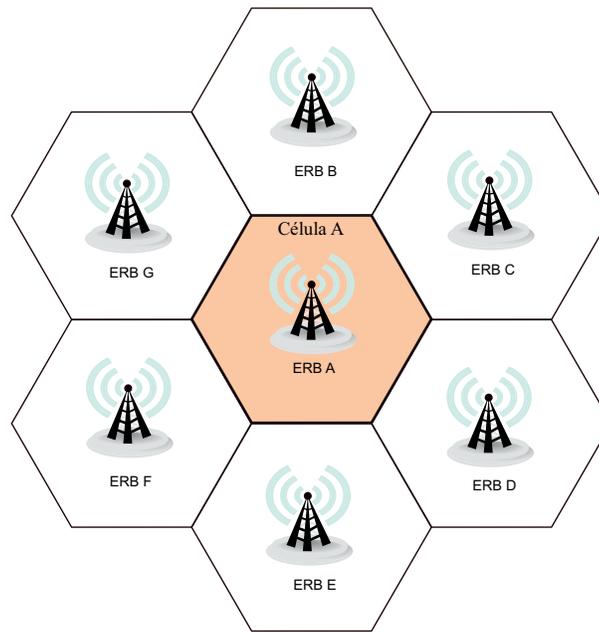


Figura 4.1: Estrutura de Setes Células Adjacentes com a Célula A sob Análise.

CAC-FC. A porcentagem de bloqueio sofre um incremento gradual que está diretamente relacionado com a carga do sistema (λ : 0,10; 0,13; 0,15; 0,20). O bloqueio dos usuários classe A é sempre menor que o bloqueio dos usuários classe B, assim como o bloqueio dos usuários classe B é menor que o bloqueio dos usuários classe C, respeitando-se assim a prioridade imposta para cada classe de usuário. Observa-se também que o bloqueio total, que é obtido nesse método, incrementa quando a carga do sistema aumenta. O bloqueio total considera o bloqueio dos usuários das três classes.

Tabela 4.1: Bloqueio (%) para o Método CAC-FC na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	0,00	0,61	0,26
$\lambda = 0,13$	0,00	0,50	8,09	4,02
$\lambda = 0,15$	1,35	2,13	13,39	7,39
$\lambda = 0,20$	3,67	8,02	42,20	23,35

Tabela 4.2: Bloqueio (%) para o Método FCAC-FC na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	0,00	0,61	0,26
$\lambda = 0,13$	1,61	0,99	6,98	3,81
$\lambda = 0,15$	5,41	1,60	10,88	6,59
$\lambda = 0,20$	12,84	13,74	33,33	22,78

Na Figura 4.3 e na Tabela 4.2 têm-se os resultados obtidos para o método FCAC-FC. Os resultados mostram que o bloqueio para os usuários classe B são menores que o bloqueio dos

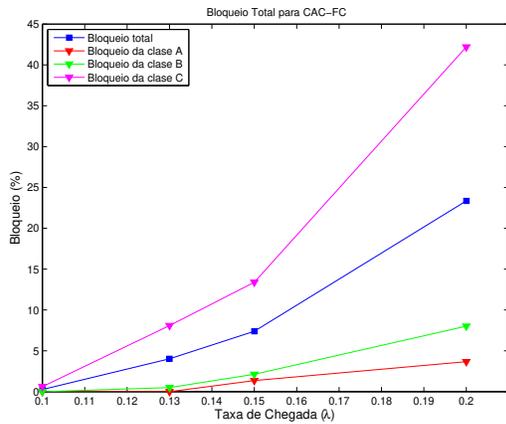


Figura 4.2: Bloqueio para o Método CAC-FC na Célula A.

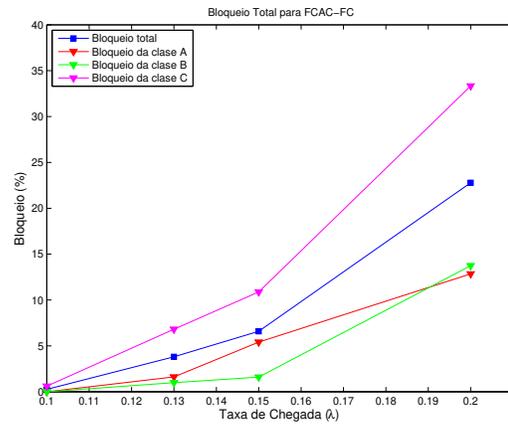


Figura 4.3: Bloqueio para o Método FCAC-FC na Célula A.

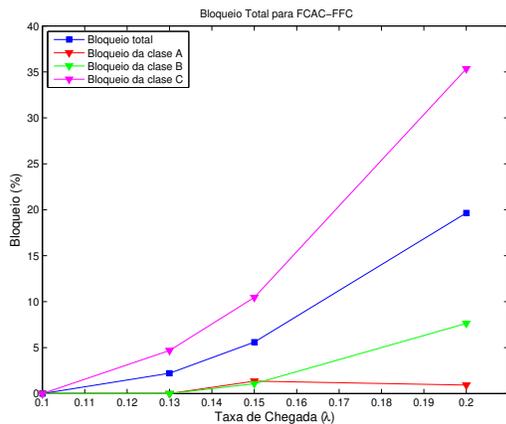


Figura 4.4: Bloqueio para o Método FCAC-FFC na Célula A.

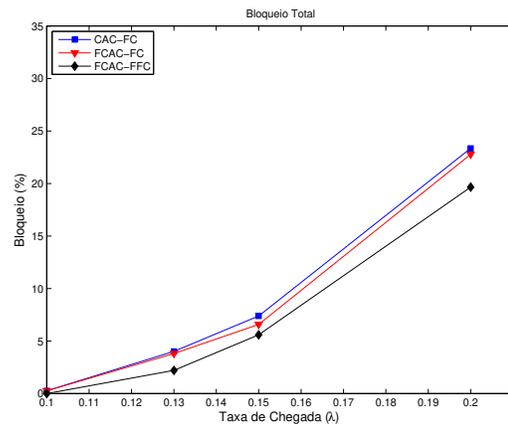


Figura 4.5: Bloqueio para os Três Métodos CAC na Célula A.

usuários classe A para $\lambda : 0,13; 0,15$. Mesmo com esses resultados o bloqueio total do método FCAC-FC é menor que o bloqueio total do método CAC-FC. Por exemplo, para $\lambda = 0,15$, o bloqueio total dos métodos FCAC-FC e CAC-FC são 6,59% e 7,39%, respectivamente.

Na Figura 4.4 e na Tabela 4.3, têm-se os resultados para o método FCAC-FFC. O bloqueio para cada classe de usuário incrementa gradualmente com o aumento da carga do sistema. Observa-se também que para uma taxa de chegada de $\lambda = 0,15$, o bloqueio dos usuários classe B é menor que o bloqueio dos usuários classe A, sendo este o único caso em que isso acontece. Mas em termos de bloqueio total, o método FCAC-FFC tem o melhor desempenho em relação aos dois métodos anteriores, como pode ser observado em detalhes na Figura 4.5. Além disso, na Tabela 4.4 tem-se uma comparação numérica da porcentagem de bloqueio dos três métodos sob análise, isto considerando a máxima carga do sistema para esse cenário ($\lambda = 0,20$).

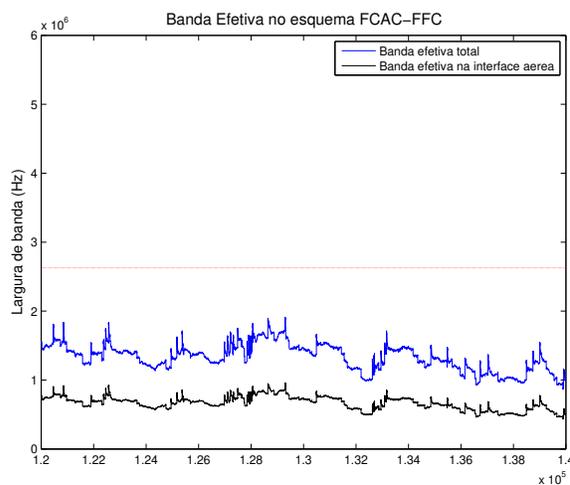
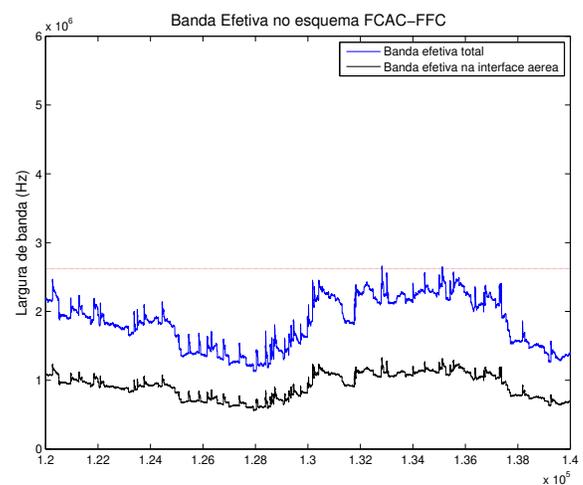
As Figuras 4.6 até a 4.9, mostram os gráficos da banda efetiva total e da banda efetiva na

Tabela 4.3: Bloqueio(%) para o Método FCAC-FFC na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	0,00	0,00	0,00
$\lambda = 0,13$	0,00	0,00	4,68	2,21
$\lambda = 0,15$	1,35	1,06	10,46	5,59
$\lambda = 0,20$	0,92	7,63	35,35	19,66

Tabela 4.4: Bloqueio (%) para os Métodos CAC com $\lambda = 0,20$ na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
CAC-FC	3,67	8,02	42,20	23,35
FCAC-FC	12,84	13,74	33,33	22,78
FCAC-FFC	0,92	7,63	35,35	19,66

Figura 4.6: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,10$) na Célula A.Figura 4.7: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,13$) na Célula A.

interface aérea, considerando as seguintes taxas de chegada $\lambda = 0,10; 0,13; 0,15$ e $\lambda = 0,20$. Em todos os gráficos a curva em azul (superior) representa a banda efetiva total, que é o resultado da soma da banda efetiva no buffer com a banda efetiva utilizada na interface aérea. O gráfico em preto (inferior) representa a banda efetiva na interface aérea. A linha horizontal vermelha representa a banda efetiva disponível no sistema W . No eixo Y tem-se a banda efetiva em hertz (Hz), e no eixo X tem-se o tempo em *slots*, lembrando que um *slot* representa 0,02 segundos.

Na Figura 4.6, pode-se observar que a banda efetiva total não atinge nenhuma vez a banda efetiva disponível no sistema no intervalo mostrado. Então, pode-se considerar que o sistema tem um comportamento estável. Por outro lado, a Figura 4.9 mostra que a banda efetiva total para $\lambda = 0,20$ atinge brevemente a linha horizontal que representa a banda efetiva disponível no sistema. No entanto, devido à ação dos mecanismos de controle, o sistema volta rapidamente à estabilidade, o que mostra a eficácia do algoritmo proposto mesmo quando o sistema está

carregado ($\lambda = 0,20$).

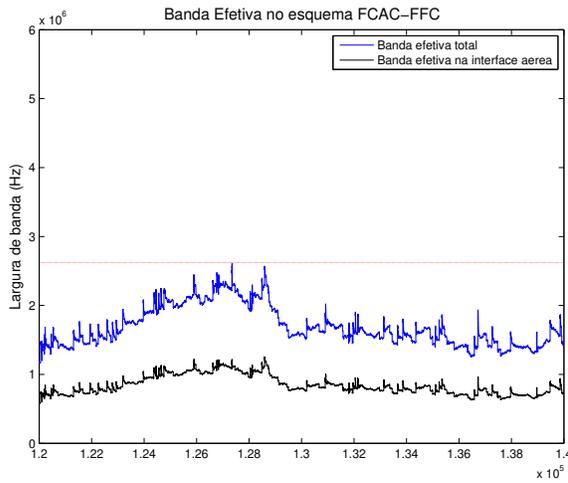


Figura 4.8: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,15$) na Célula A.

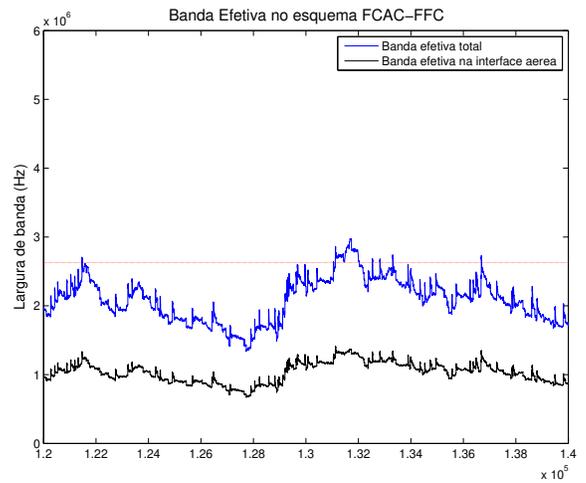


Figura 4.9: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,20$) na Célula A.

4.2 Cenário B - Usuários em Movimento

Neste segundo cenário foram consideradas duas células adjacentes (célula A e célula B), nas quais o usuário pode-se movimentar livremente. Para isso, será necessário conhecer a localização de cada usuário e em consequência a estação base com a qual o usuário deverá estabelecer a conexão. Para isso foi preciso utilizar o estimador de mobilidade fuzzy proposto em (Shen et al. 2000), o qual foi brevemente explicado na Seção 3.3. O estimador de mobilidade determina a probabilidade de um usuário permanecer na célula atual ou passar para a outra célula adjacente.

As células consideradas no cenário B têm uma estrutura hexagonal como pode-se observar na Figura 4.10. As estações base estão localizadas no centro de cada célula semelhante ao cenário anterior. A probabilidade $p_{n,i}$ de um usuário móvel estar ativo na célula i no tempo t_n depende de sua localização atual (x_{MT}, y_{MT}) no instante t_n . Sendo assim, primeiro é necessário estimar a localização do usuário. Com o objetivo de reduzir a complexidade dessa estimação, foram adotadas as seguintes suposições:

1. Em primeiro lugar, limitar o número de células para o *handover* em 3. Para o usuário móvel da Figura 4.11, tem-se que $p_{n,D} = p_{n,E} = p_{n,F} = 0$, para a restrição $y_{MT} > 0$;
2. Limitar ainda mais a quantidade de células para *handover* em 2. Para o usuário móvel da Figura 4.11, tem-se que $p_{n,G} = 0$, com a restrição $x_{MT} > 0$;
3. A probabilidade do usuário permanecer na célula A depende de y_{MT} ,

$$p_{n,A} = 1 - \frac{y_{MT}}{\sqrt{3}D} \quad (4.1)$$

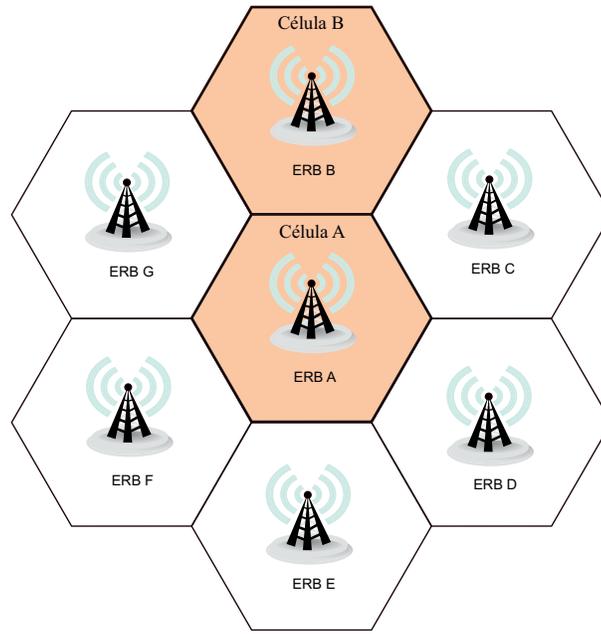


Figura 4.10: Estrutura de Setes Células Adjacentes Contendo as Células A e B sob Análise.

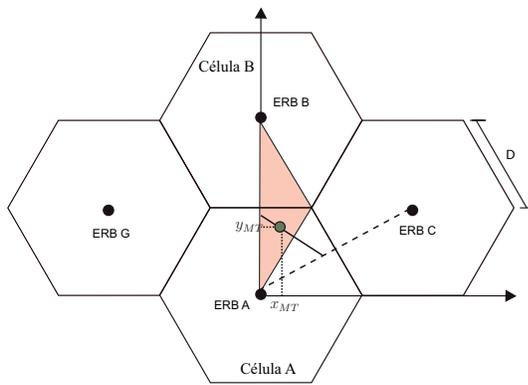


Figura 4.11: Localização do Usuário Móvel em (x_{MT}, y_{MT}) .

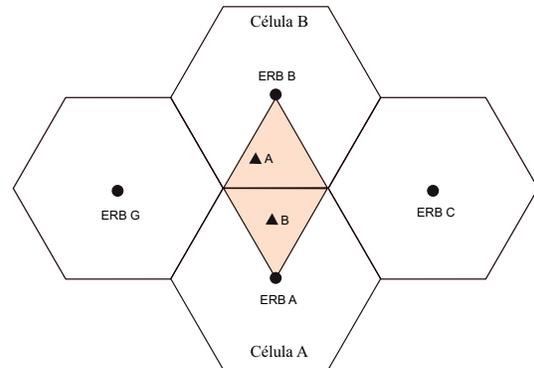


Figura 4.12: Área sob Análise na Célula A e B.

sendo que D é o comprimento de um dos lados da célula de forma hexagonal;

4. As probabilidades $p_{n,B}$ e $p_{n,C}$ podem ser calculadas como,

$$p_{n,B} + p_{n,C} = 1 - p_{n,A} \quad (4.2)$$

$$\frac{p_{n,B}}{p_{n,C}} = \frac{d_2}{d_1} \quad (4.3)$$

sendo que a distância d_1 e d_2 dependem de x_{MT} e y_{MT} , e essas distâncias podem ser calculadas da seguinte forma,

$$d_1 = \frac{x_{MT}(y_{MT}/\sqrt{3} - x_{MT})}{\sqrt{x_{MT}^2 + y_{MT}^2} \sin(\alpha)} \quad (4.4)$$

$$d_2 = d_1 + 2\sqrt{x_{MT}^2 + y_{MT}^2} \sin(\alpha) \quad (4.5)$$

sendo que $\alpha = \pi/6 - \arctan(x_{MT}/y_{MT})$. Por praticidade, as equações anteriores mostram que as probabilidades $p_{n,i}$ são funções unicamente da localização do usuário móvel na célula. No entanto, na prática, as probabilidades dependem de outros fatores como: perdas de propagação (*path loss*), interferências e ruídos na estação base. O modelo de simulação pode ser generalizado se a relação entre as probabilidades e cada um dos fatores é conhecido. Em (Shen et al. 2000) se mostra que o efeito da sombra (*effect of the shadowing*) influencia diretamente na precisão da estimação, e incrementa com a aproximação do usuário ao contorno da célula. Sendo assim, a área perto do contorno da célula é muito importante para a tomada de decisões de um possível *handover*. O parâmetro σ (desvio padrão de $\xi_i(t_n)$ que caracteriza o efeito do sombreamento na Equação 3.11) é o fator mais importante para a precisão da estimação de localização do usuário, porque a sombra caracterizada por σ é a principal fonte que introduz aleatoriedade nos níveis do sinal recebido.

Para a validação do método proposto, foram gerados tráfegos para um período de duas horas, com os usuários movimentando-se com o seguinte padrão:

1. A localização inicial de cada usuário é uniformemente distribuída na região colorida da Figura 4.12;
2. Cada usuário móvel tem uma velocidade constante uniformemente distribuída no intervalo $[10;30]$ m/s;
3. A direção inicial de cada usuário é distribuída uniformemente no intervalo $[0; 2\pi]$, a direção de movimento muda várias vezes, está distribuída uniformemente no intervalo $[0; 2\pi]$ e independe da direção anterior;
4. O intervalo de tempo Δt para a atualização do movimento é de um segundo.

Os parâmetros κ e σ do ambiente de propagação são 4 e 2dB (Equação 3.11), respectivamente, e o parâmetro m do preditor RLS é 7. As Figuras 4.13 e 4.14 mostram a distribuição uniforme dos usuários na região hachurada para um tráfego de 15 minutos para uma taxa de chegada de $\lambda = 0,10$ e $\lambda = 0,25$, respectivamente. Por outro lado, nas Figuras 4.15 e 4.16 podem se observar a localização inicial dos usuários para um tráfego de duas horas considerando uma taxa de chegada de $\lambda = 0,10$ e $\lambda = 0,25$, respectivamente. Durante a simulação deste cenário foi considerado o tráfego de duas horas para cada um dos três métodos: CAC-FC, FCAC-FC e FCAC-FFC.

As Figuras 4.17 e 4.18 mostram o funcionamento do estimador de mobilidade fuzzy implementado. Nessas figuras está traçada a trajetória de um único usuário movimentando-se através das células. Quando o usuário se encontra na célula A, a cor dele é vermelho, isto é, o usuário

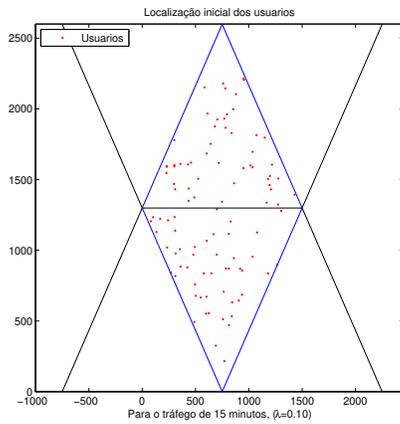


Figura 4.13: Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 15 min ($\lambda = 0,10$).

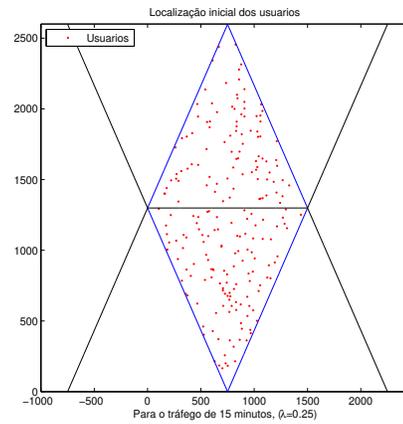


Figura 4.14: Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 15 min ($\lambda = 0,25$).

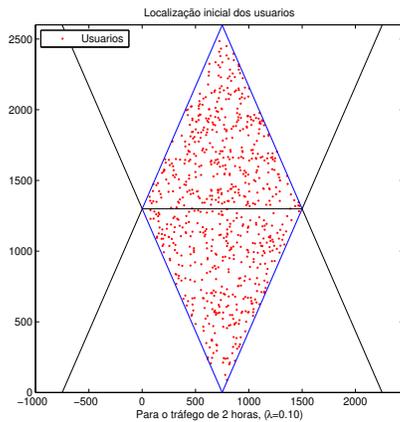


Figura 4.15: Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 2h ($\lambda = 0,10$).

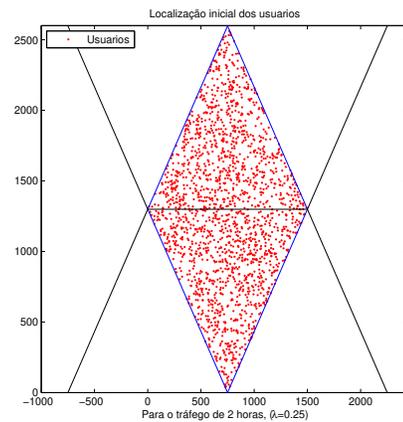


Figura 4.16: Distribuição dos Usuários para um Tráfego de 2h ($\lambda = 0,25$).

está conectado com a ERB A. Quando o usuário se encontra na célula B, a cor dele é preto, isto é, está conectado com a ERB B.

Para exemplificar os possíveis comportamentos dos usuários no cenário B, consideraremos que inicialmente o usuário A está conectado com a ERB B, como se mostra na Figura 4.19. Em um segundo momento, na Figura 4.20, o usuário B, que está conectado com a ERB A, se movimenta na direção da ERB B até que o estimador de mobilidade fuzzy determine que deve-se conectar com a ERB B, como observado na Figura 4.21. Observa-se também nessa figura que o usuário A está se movendo em direção da ERB A. Finalmente, na Figura 4.22 o usuário A se conecta com a ERB A.

Como neste cenário foram consideradas duas células, analisaremos os bloqueios que acontecem tanto na célula A como na célula B. Na Figura 4.23, assim como na Tabela 4.5, têm-se os resultados obtidos para o método CAC-FC na célula A. A porcentagem de bloqueio total

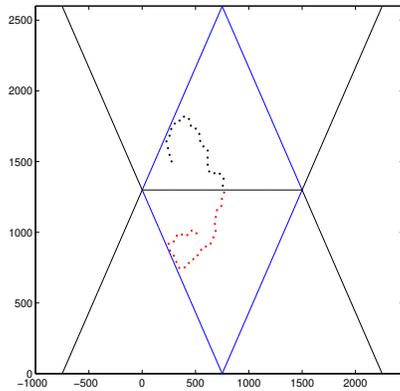


Figura 4.17: Localização do Usuário Através do Estimador de Mobilidade Fuzzy.

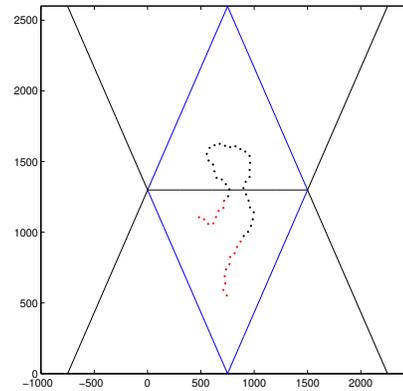


Figura 4.18: Localização do Usuário Através do Estimador de Mobilidade Fuzzy.



Figura 4.19: Usuário A Conectado com a ERB B.

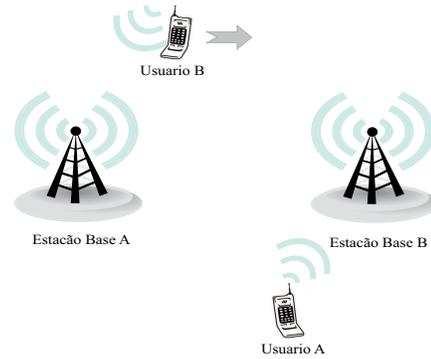


Figura 4.20: Usuário B Movimentando-se em Direção à ERB B.

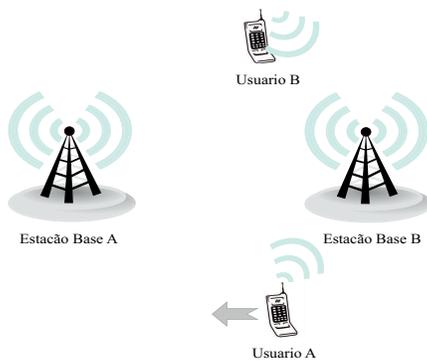


Figura 4.21: Usuário A Movimentando-se em Direção à ERB A.

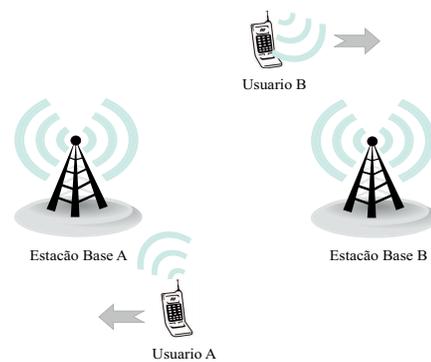


Figura 4.22: Usuário A e B Conectados e em Movimento.

aumenta gradualmente quando a carga do sistema aumenta ($\lambda : 0,10; 0,13; 0,15; 0,18; 0,20; 0,25$). O bloqueio para os usuários de classe A é maior que o bloqueio para os usuários de classe B e C quando $\lambda : 0,13; 0,18$. Este tipo de comportamento é esperado pelo fato de estarmos utilizando o *hard handover*, que permite que usuários da célula adjacente passem a utilizar a banda

efetiva da célula atual diretamente quando o requeriam devido ao *handover*. Por causa disso diminui a banda efetiva disponível, não permitindo aceitar os usuários de classe A que tentaram se conectar nesse instante incrementando o bloqueio.

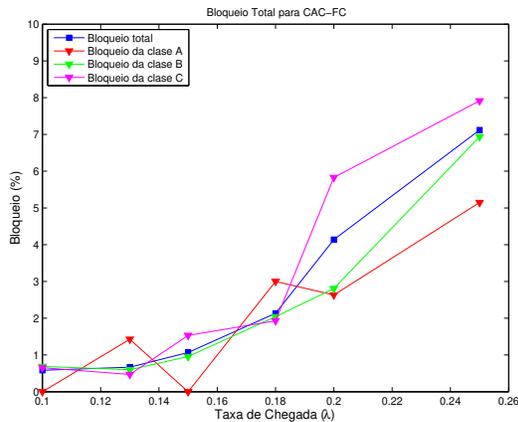


Figura 4.23: Bloqueio para o Método CAC-FC na Célula A.

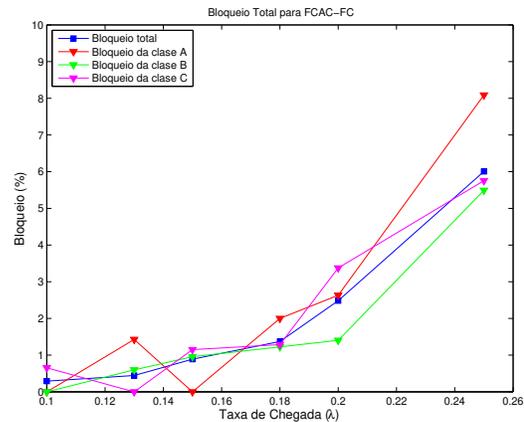


Figura 4.24: Bloqueio para o Método FCAC-FC na Célula A.

Na Figura 4.24 e na Tabela 4.6 têm-se os resultados obtidos para o método FCAC-FC na célula A. Os resultados mostram que o bloqueio para os usuários de classe A seguem um comportamento semelhante ao caso anterior, no entanto nesse caso os usuários de classe B foram os menos bloqueados quando a carga do sistema aumentou. Na Tabela 4.5 e 4.6 pode-se observar que o método FCAC-FC, comparado com o método CAC-FC, teve um melhor desempenho em relação à probabilidade de bloqueio total para todas as taxas de chegada analisadas.

Tabela 4.5: Bloqueio (%) para o Método CAC-FC na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	0,69	0,65	0,58
$\lambda = 0,13$	1,43	0,60	0,47	0,67
$\lambda = 0,15$	0,00	0,96	1,53	1,07
$\lambda = 0,18$	3,00	2,04	1,93	2,13
$\lambda = 0,20$	2,63	2,81	5,83	4,14
$\lambda = 0,25$	5,15	6,94	7,91	7,12

Na Figura 4.25 e na Tabela 4.7 têm-se os resultados para o método FCAC-FFC na célula A. O bloqueio para cada classe de usuário incrementa gradualmente com o aumento da carga do sistema, mas o bloqueio para os usuários de classe A segue o mesmo perfil apresentado nos dois casos anteriores. Isto ocorre, pois o tráfego utilizado para analisar o desempenho de cada um dos três métodos é o mesmo, considerando o mesmo instante de *handover* dos usuários. Em termos de bloqueio total o método FCAC-FFC tem o melhor desempenho em relação aos dois métodos anteriores, como pode ser observado em detalhe na Figura 4.26. Assim como na

Tabela 4.6: Bloqueio (%) para o Método FCAC-FC na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	0,00	0,65	0,29
$\lambda = 0,13$	1,43	0,60	0,00	0,44
$\lambda = 0,15$	0,00	0,96	1,15	0,89
$\lambda = 0,18$	2,00	1,22	1,29	1,37
$\lambda = 0,20$	2,63	1,40	3,37	2,48
$\lambda = 0,25$	8,09	5,49	5,76	6,01

Tabela 4.8, tem-se uma comparação numérica do bloqueio dos três métodos sob análise para a máxima carga do sistema considerada neste cenário ($\lambda = 0,25$).

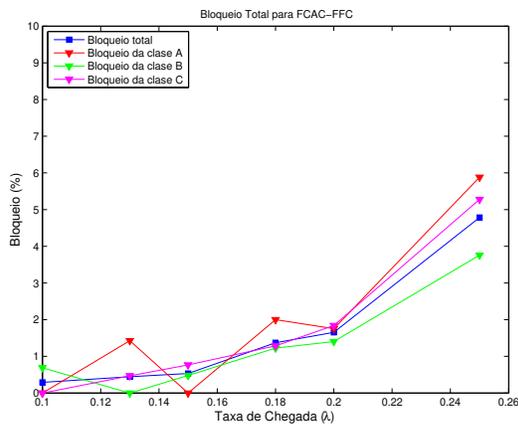


Figura 4.25: Bloqueio para o Método FCAC-FFC na Célula A.

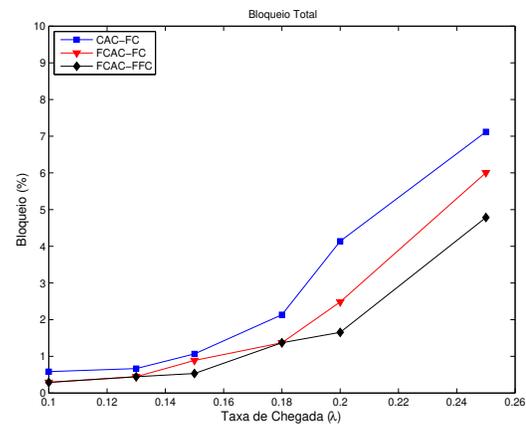


Figura 4.26: Bloqueio para os Três Métodos CAC na Célula A.

Tabela 4.7: Bloqueio (%) para o Método FCAC-FFC na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	0,69	0,00	0,29
$\lambda = 0,13$	1,43	0,00	0,47	0,44
$\lambda = 0,15$	0,00	0,48	0,77	0,53
$\lambda = 0,18$	2,00	1,22	1,29	1,37
$\lambda = 0,20$	1,75	1,40	1,84	1,66
$\lambda = 0,25$	5,88	3,76	5,28	4,78

Na Figura 4.27, assim como na Tabela 4.9, observam-se os resultados obtidos para o método CAC-FC na célula B. A porcentagem de bloqueio total aumenta gradualmente quando a carga do sistema aumenta ($\lambda : 0,10; 0,13; 0,15; 0,18; 0,20; 0,25$). O bloqueio para os usuários de classe A é menor que o bloqueio para o resto das classes. Observa-se também que o comportamento da curva de bloqueio para os usuários de classe A tem perfil diferente ao caso apresentado na

Tabela 4.8: Bloqueio (%) para os Métodos CAC com $\lambda = 0,25$ na Célula A.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
CAC-FC	5,15	6,94	7,91	7,12
FCAC-FC	8,09	5,49	5,76	6,01
FCAC-FFC	5,88	3,76	5,28	4,78

Tabela 4.9: Bloqueio (%) para o Método CAC-FC na Célula B.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	1,20	0,00	0,51
$\lambda = 0,13$	0,00	1,63	2,42	1,73
$\lambda = 0,15$	2,41	4,57	5,79	4,78
$\lambda = 0,18$	1,20	7,12	8,74	7,13
$\lambda = 0,20$	4,76	7,52	10,36	8,41
$\lambda = 0,25$	10,77	12,07	21,28	16,06

Tabela 4.10: Bloqueio (%) para o Método FCAC-FC na Célula B.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	1,20	0,00	0,51
$\lambda = 0,13$	0,00	1,09	0,97	0,87
$\lambda = 0,15$	1,20	1,83	3,31	2,39
$\lambda = 0,18$	1,20	5,69	5,18	4,90
$\lambda = 0,20$	4,76	5,88	6,80	6,14
$\lambda = 0,25$	11,54	9,71	13,00	11,46

célula A. Isto ocorre, pois os usuários de classe A desta estação base (ERB B) liberaram a banda que estavam utilizando, pois agora estão conectados com a ERB A, devido ao *handover*. Assim, com mais banda disponível, o bloqueio diminui.

Na Figura 4.28 e na Tabela 4.10 são mostrados os resultados obtidos para o método FCAC-FC na célula B. Os resultados mostram que o bloqueio para os usuários de classe A seguem um comportamento semelhante ao caso anterior. Neste caso, os usuários de classe B foram os menos bloqueado quando a carga do sistema foi $\lambda = 0,25$. As Tabelas 4.9 e 4.10 mostram que o método FCAC-FC, comparado com o método CAC-FC, teve um melhor desempenho em relação à probabilidade de bloqueio total para todas as taxas de chegada analisadas.

Na Figura 4.29 e na Tabela 4.11 são apresentados os resultados para o método FCAC-FFC na célula B. O bloqueio para cada uma das classes dos usuários também incrementa gradualmente com o aumento da carga do sistema. Observa-se que o comportamento do bloqueio para a classe A segue um comportamento semelhante ao apresentado nos dois casos anteriores. Isto acontece porque o tráfego utilizado para analisar o desempenho dos três métodos sob análise é o mesmo, considerando o mesmo instante de *handover* dos usuários. Finalmente, tem-se que em termos de bloqueio total o método FCAC-FFC tem um desempenho melhor em relação aos dois métodos anteriores, como pode ser observado em detalhe na Figura 4.30 e de forma numérica

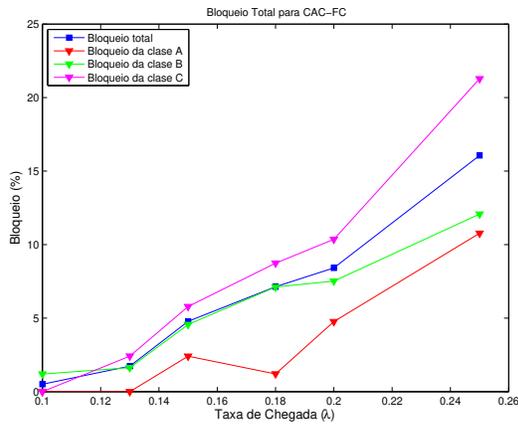


Figura 4.27: Bloqueio para o Método CAC-FC na Célula B.

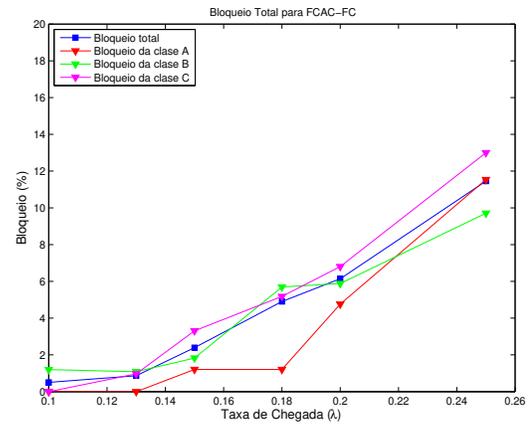


Figura 4.28: Bloqueio para o Método FCAC-FC na Célula B.

Tabela 4.11: Bloqueio (%) para o Método FCAC-FFC na Célula B.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
$\lambda = 0,10$	0,00	1,20	0,00	0,51
$\lambda = 0,13$	0,00	0,54	0,97	0,65
$\lambda = 0,15$	2,41	1,37	3,31	2,39
$\lambda = 0,18$	1,20	3,91	3,88	3,57
$\lambda = 0,20$	2,86	3,92	7,69	5,47
$\lambda = 0,25$	6,92	10,24	12,53	10,81

na Tabela 4.12 para uma taxa de chegada de $\lambda = 0,25$.

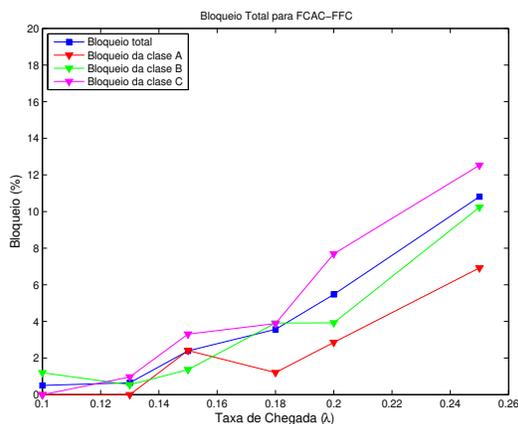


Figura 4.29: Bloqueio para o Método FCAC-FFC na Célula B.

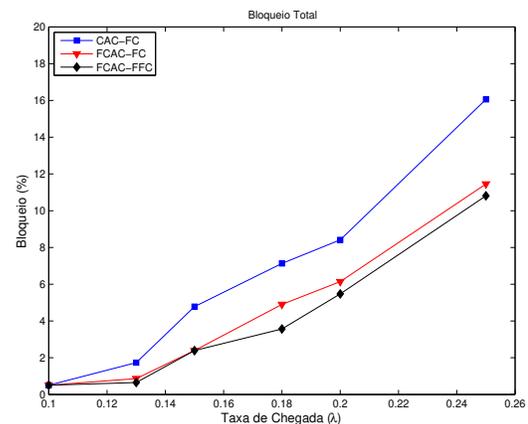


Figura 4.30: Bloqueio para o Três Métodos CAC na Célula B.

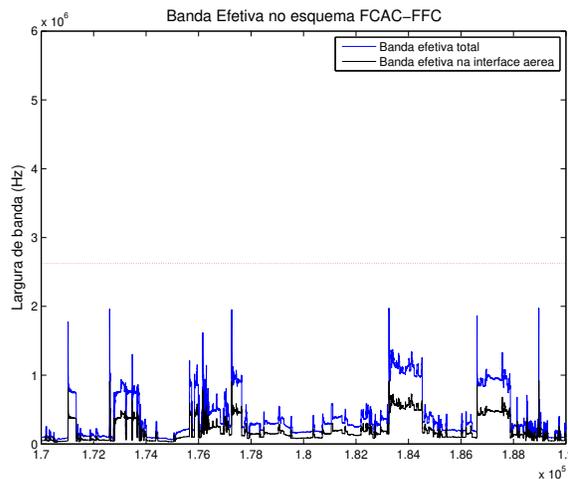
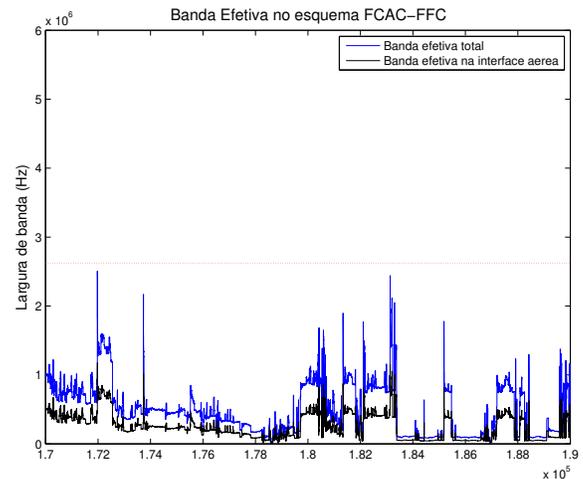
Da Figura 4.31 a Figura 4.34 são apresentadas as curvas da banda efetiva total e da banda

Tabela 4.12: Bloqueio (%) para os Método CAC com $\lambda = 0,25$ na Célula B.

taxa de chegada	Classe A	Classe B	Classe C	Total
CAC-FC	10,77	12,07	21,28	16,06
FCAC-FC	11,54	9,71	13,00	11,46
FCAC-FFC	6,92	10,24	12,53	10,81

na interface aérea para o método FCAC-FFC considerando $\lambda : 0,10; 0,13; 0,15$ e $\lambda = 0,20$. Em todos os gráficos a curva em azul (superior) representa a banda efetiva total, que é o resultado da soma da banda efetiva no buffer com a banda efetiva utilizada na interface aérea. O gráfico em preto (inferior) representa a banda efetiva na interface aérea. A linha horizontal vermelha representa a banda efetiva disponível no sistema W . No eixo Y tem-se a banda efetiva em hertz (Hz) e no eixo X tem-se o tempo em *slots*, lembrando que um *slot* representa 0,02 segundos.

Na Figura 4.31 a banda efetiva total não atinge nenhuma vez a banda efetiva disponível no sistema no intervalo mostrado, portanto pode-se considerar que o sistema tem um comportamento estável. Por outro lado, nas Figuras 4.33 e 4.34 a banda efetiva total atinge brevemente a linha horizontal, que representa a banda efetiva disponível no sistema. No entanto, devido à ação dos mecanismos de controle, o sistema volta rapidamente à estabilidade, o que mostra a eficácia do algoritmo proposto mesmo quando o sistema se encontra carregado ($\lambda = 0,20$).

Figura 4.31: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,10$) na Célula A.Figura 4.32: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,13$) na Célula A.

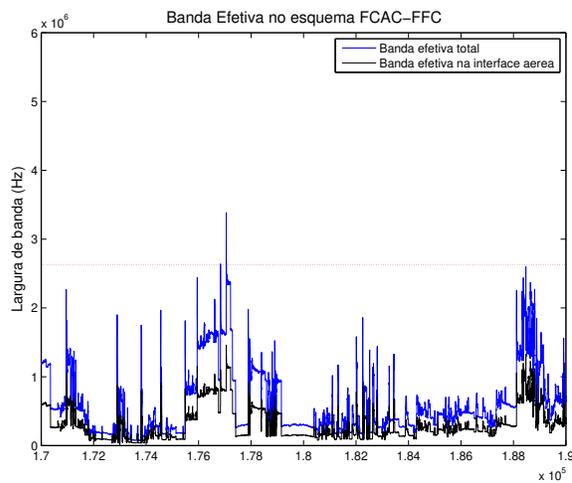


Figura 4.33: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,15$) na Célula A.

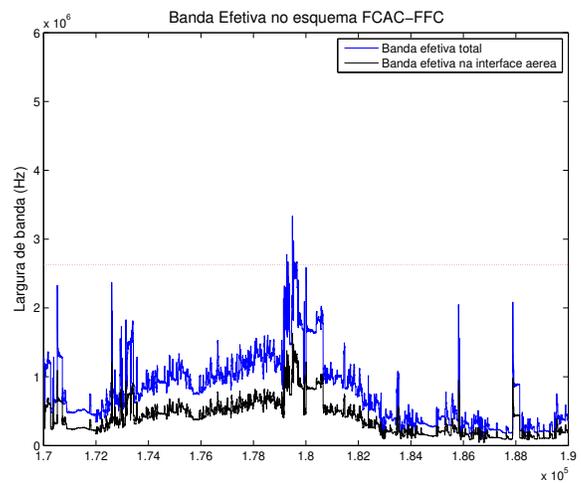


Figura 4.34: Banda Efetiva para o Método FCAC-FFC ($\lambda = 0,20$) na Célula A.

Conclusões

Esta dissertação teve como finalidade propor um método de controle de admissão de chamadas e um método de controle de fluxo, ambos baseados em lógica fuzzy ao qual denominamos FCAC-FFC. O método FCAC-FFC foi implementado na interface aérea da rede 3G UMTS.

Para a validação do método proposto foram utilizados três tipos de tráfego: conversacional, *streaming* e *background*. Esses tráfegos foram denominados como Classe A, Classe B e Classe C, respectivamente. Cada um desses tráfegos têm uma probabilidade de ocorrer de 15%, 40% e 45%, respectivamente. Com o objetivo de simplificar a análise do método proposto, foi considerado que cada usuário utiliza apenas um tipo de tráfego. Assim, foi denominado como usuário classe A aos usuários que utilizam o tráfego Classe A, mantendo essa mesma analogia para os usuários Classe B e C.

O método de controle de admissão de chamada fuzzy (FCAC) tem o propósito de aceitar ou rejeitar a requisição de uma nova chamada considerando a prioridade de cada classe de usuário, assim como a banda efetiva total disponível na interface aérea. No entanto, o método de controle de fluxo fuzzy (FFC), tem o objetivo de garantir a maior taxa de transmissão para os usuários de maior prioridade, mesmo quando o sistema esteja carregado. Para isso, foi necessário diminuir a taxa de transmissão dos usuários de menor prioridade. Como consequência, o método FFC é capaz de aumentar a banda efetiva total disponível na interface aérea permitindo aceitar novas chamadas e assim aumentar o número médio de usuários ativos.

Os dois cenários de simulação, considerados neste trabalho, foram implementados no ambiente de simulação Matlab R2009a. Além disso, para o projeto dos controladores fuzzy foi utilizada a *toolbox* de lógica fuzzy do próprio Matlab. No cenário A, foi considerada uma única célula, com todos os usuários fixos. Isto significa que o usuário começa sua conexão de um ponto de localização específico da célula e permanece nesse ponto até o fim de sua conexão.

No entanto, no cenário B, foram consideradas duas células adjacentes nas quais os usuários podem se movimentar livremente, possibilitando o *handover*. Neste trabalho foi considerado, nas simulações desse cenário, o *handover* do tipo *hard handover*, de forma a simplificar o ambiente de simulação do método FCAC-FFC proposto. Mesmo utilizando o *hard handover* foi necessário determinar o instante em que o *handover* deveria acontecer. Para isso foi utilizado o estimador de mobilidade fuzzy proposto em (Shen et al. 2000).

Com fins de comparação, foram também simulados os métodos CAC-FC e FCAC-FC de

forma a comparar o desempenho desses métodos com o método FCAC-FFC proposto. Através da simulação dos métodos CAC-FC, FCAC-FC e FCAC-FFC, concluiu-se que à medida que a carga do sistema aumenta, a probabilidade de bloqueio também aumenta. No sistema 3G UMTS verificou-se também que o comportamento da probabilidade de bloqueio está em conformidade com os resultados obtidos em (Truong et al. 2010) e (Borgonovo 2006). Concluindo-se assim que o método FCAC-FFC permitiu uma diminuição da probabilidade de bloqueio total nos dois cenários testados, e aumento no número médio de usuários admitidos.

Como conclusão final, pode-se afirmar que o método FCAC-FFC proposto para o sistema 3G UMTS comporta-se conforme o esperado nos dois cenários utilizados para a validação deste trabalho, garantindo o uso eficiente dos recursos da interface aérea e uma menor probabilidade de bloqueio em comparação com os métodos CAC-FC e FCAC-FC analisados.

5.1 Trabalhos Futuros

De modo a dar continuidade à implementação e avaliação mais profunda do método FCAC-FFC proposto, poderão ser realizados as seguintes pesquisas:

- Aplicar técnicas neuro-fuzzy ou algoritmos genéticos para tentar melhorar ainda mais o desempenho do método de controle de admissão proposto.
- Aplicar técnicas de lógica fuzzy para implementar o *soft-handover* para o *handover*.
- Estender o análise do método FCAC-FFC num cenário que considera tráfegos modelados através de técnicas avançadas como multifractais.

Bibliografia

- Aguiar, H. & Jr, O. (1999). *Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações*. ISBN: 8571930244.
- Akhtar, S., Malik, S. & Zeghlache, D. (2001). Prioritized admission control for mixed services in umts wcdma networks, *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2001 12th IEEE International Symposium on*, Vol. 1, pp. B-133-B-137 vol.1.
- Aniba, G. & Aissa, S. (2004). A general traffic and queueing delay model for 3g wireless packet networks, in J. de Souza, P. Dini & P. Lorenz (eds), *Telecommunications and Networking - ICT 2004*, Vol. 3124 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin - Heidelberg, pp. 123-137.
- Babu, H., Shankar, G. & Satyanarayana, P. (2009). Call admission control approaches in beyond 3g networks using multi criteria decision making, *Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, 2009. CICSYN '09. First International Conference on*, pp. 492-496.
- Borgonovo, M. (2006). *Controle de admissão e de fluxo em sistemas sem fio*, Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas.
- Chuah, Q. Z. M. C. (2006). *Design and Performance of 3G Wireless Networks and wireless LANS*, Springer Science-I-Business Media.
- Cox, R., Cigna, R. & and T. Valente, O. V. (1996). Broadband network teletraffic, final report of action cost 242, *Technical report*, Springer, 1st edition.
- Dubois, D., Prade, H. & Yager, R. (1993). *Fuzzy Sets for Intelligent Systems*, Morgan Kaufman Publishers.
- Evans, J. S. & Everitt, D. (1999). Effective bandwidth-based admission control for multiservice cdma cellular networks, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* **48**(1): 36-46.
- Guo, Y. & Chaskar, H. (2000). A framework for quality of service differentiation on 3g cdma air interface, *Wireless Communications and Networking Conference, 2000. WCNC. 2000 IEEE*, Vol. 3, pp. 975-979.

- Hellendoorn, H. (1990). Closure properties of the compositional rule of inference, *Fuzzy Sets Syst.* **35**(2): 163–183.
- Hjelm, B. (2000). Admission control in future multi-service wideband direct-sequence cdma systems, *Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE VTS-Fall VTC 2000. 52nd*, Vol. 3, pp. 1086–1093 vol.3.
- Holma, H. & Laakso, J. (1999). Uplink admission control and soft capacity with mud in cdma, *Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999 - Fall. IEEE VTS 50th*, Vol. 1, pp. 431–435 vol.1.
- Holma, H. & Toskala, A. (2004). *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, 3rd. edn, John Wiley Sons.
- Huang, C. Y. & Yates, R. (1996). Call admission in power controlled cdma systems, *Vehicular Technology Conference, 1996. 'Mobile Technology for the Human Race'.*, *IEEE 46th*, Vol. 3, pp. 1665–1669 vol.3.
- Ibrahimi, K., El-Azouzi, R. & Bouyakhf, E. (2008). Uplink call admission control in multi-services w-cdma network, *Computers and Communications, 2008. ISCC 2008. IEEE Symposium on*, pp. 208–213.
- Junges, L. C. D. (2006). Introdução a lógica fuzzy, *Technical report*, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Kim, D. (2000). Efficient interactive call admission control in power-controlled mobile systems, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* **49**(3): 1017–1028.
- Knutsson, J., Butovitsch, P., Persson, M. & Yates, R. (1998). Downlink admission control strategies for cdma systems in a manhattan environment, *Vehicular Technology Conference, 1998. VTC 98. 48th IEEE*, Vol. 2, pp. 1453–1457 vol.2.
- Korhonen, J. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications*, ARTECH HOUSE, INC.
- Kovacic, Z. & Bogdan, S. (2006). *Fuzzy Controller Design: Theory and Applications*. ISBN 084933747X.
- Lee, C. & Jo, J. (2004). Service specific call admission control in wcdma system, *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th*, Vol. 2, pp. 1033–1037 Vol. 2.
- Liu, Z. & El Zarki, M. (1994). Sir-based call admission control for ds-cdma cellular systems, *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* **12**(4): 638–644.
- Lopes, J. M. C. (2008). *Performance analysis of umts/hsdpa/hsupa at the cellular level*, Master's thesis, Universidade Técnica de Lisboa.

- Maode Ma, Mieso K. Denko, Y. Z. (2008). *Wireless Quality of Service: Techniques, Standards, and Applications (Wireless Networks and Mobile)*, Auerbach Publications.
- Mehrotra, A. (1994). *Cellular Radio: Analog and Digital Systems*, Mobile Communications Series - Artech House Publishers.
- Mizumoto, M. (1988). Fuzzy controls under various fuzzy reasoning methods, *Inf. Sci.* **45**(2): 129–151.
- Orial, S. & A. Ramon, P. R. J. (2005). *Radio Resource management strategies in UMTS*, John Wiley & Sons.
- Osseiran, A. & Ericson, M. (2003). On downlink admission control with fixed multi-beam antennas for wcdma system, *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual*, Vol. 2, pp. 1203 – 1207 vol.2.
- Outes, J., Nielsen, L., Pedersen, K. & Mogensen, P. (2001). Multi-cell admission control for umts, *Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd*, Vol. 2, pp. 987 –991 vol.2.
- Rappaport, T. S. (1996). *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall.
- Redana, S. & Capone, A. (2002). Received power based call admission control techniques for umts uplink, *Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th*, Vol. 4, pp. 2206 – 2210.
- Rodrigues, E. B., de Lima, C. H. M., de Sousa, V. A., J., Cavalcanti, F., Braga, A. & Maciel, T. (2004). Qos and load management via admission control in umts forward link, *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Spring. 2004 IEEE 59th*, Vol. 4, pp. 2425 – 2429 Vol.4.
- Ross, T. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley and Son Ltd.
- Schwartz, M. (2005). *Mobile Wireless Communications*, Cambridge University Press.
- Shen, S., Chang, C.-J., Huang, C. & Bi, Q. (2004). Intelligent call admission control for wideband cdma cellular systems, *Wireless Communications, IEEE Transactions on* **3**(5): 1810 – 1821.
- Shen, X., Mark, J. W. & Ye, J. (2000). User mobility profile prediction: an adaptive fuzzy inference approach, *Wirel. Netw.* **6**(5): 363–374.
URL: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1019166304306>
- Silva, H. & Serrador, A. (2005). Estimação de tráfego misto para umts, *Terceiras Jornadas de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores*.
- Solana, A., Bardaji, A. & Palacio, F. (2003). Capacity analysis and performance evaluation of call admission control for multimedia packet transmission in umts wcdma system, *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE*, Vol. 3, pp. 1550 –1555 vol.3.

- Takagi, T. & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Transc. on Systems, man, and cybernetics* **15**: pp. 116–132.
- Tian, D. & Zhu, J. (2001). A qos oriented bandwidth scheduling scheme on 3g wcdma air interface, *Info-tech and Info-net, 2001. Proceedings. ICII 2001 - Beijing. 2001 International Conferences on*, Vol. 2, pp. 139 –144 vol.2.
- Truong, S. V., Hung, L. L. & Thanh, H. N. (2010). A fuzzy logic call admission control scheme in multi-class traffic cellular mobile networks, *Computer Communication Control and Automation (3CA), 2010 International Symposium on*, Vol. 1, pp. 330 –333.
- TS 25.104 version 10.5.0 Release 10, Base station (BS) radio transmission and reception (FDD)* (2012).
- TS 25.211 version 10.0.0 Release 10, Physical channel and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)* (2011).
- TS 25.213 version 10.0.0 Release 10, Spreading and modulation (FDD)* (2011).
- Ye, J., Shen, X. & Mark, J. (2005). Call admission control in wideband cdma cellular networks by using fuzzy logic, *Mobile Computing, IEEE Transactions on* **4**(2): 129 – 141.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control* **8**(3): pp. 338–353.
- Zhu, A. & Hu, J. (1999). Adaptive call admission control for multi-class cdma cellular systems, *Communications, 1999. APCC/OECC '99. Fifth Asia-Pacific Conference on. and Fourth Optoelectronics and Communications Conference*, Vol. 1, pp. 533 –536 vol.1.

Modelagem de Tráfego

Os serviços oferecidos pelos sistemas UMTS classificam-se em quatro: conversacional, *streaming*, interativo e *background* (Silva & Serrador 2005). As quatro classes são basicamente distinguidas pelos seus requerimentos de qualidade de serviço (QoS). Uma aplicação tipicamente interativa pode ser considerada dentro da classe conversacional desde que a requisição do atraso seja pequeno (Lopes 2008). Neste trabalho considera-se os tráfegos conversacional, *streaming* e *background* para verificar o desempenho do esquema de controle de admissão de chamadas proposto. Utiliza-se a generalização feita em (Aniba & Aissa 2004) para a modelagem dos tráfegos conversacional e *streaming*. As chamadas são geradas aleatoriamente com as seguintes proporções: 15%, 40% e 45% para os tráfegos conversacional, *streaming* e *background*, respectivamente. Cada tipo de tráfego é caracterizado considerando sua prioridade de admissão, parâmetros do tráfego e requerimentos de QoS para a conexão demandada.

A.1 Modelagem de Tráfego Conversacional

A classe conversacional se caracteriza por preservar a relação de tempo nos fluxos de dados e por seu baixo atraso para garantir a qualidade de voz. O tráfego de voz segue uma representação como se mostra na Figura A.1. A modelagem é feita considerando três níveis:

- Nível sessão: representa sessões de voz ativos modelado através de um processo de Markov de dois estados,
- Nível *burst*: representa os estados ON e OFF, cujos intervalos de duração seguem uma distribuição exponencial,
- Nível pacote: representam os pacotes presentes no estado ON. O tempo entre chegadas dos pacotes é de 20ms com um tamanho constante.

A.2 Modelagem de Tráfego *Streaming*

A adaptação de fluxo de tráfego de vídeo para o modelo de três níveis (sessão, burst e pacotes) é apresentado na Figura A.2. Uma sessão de vídeo consiste de vários pacotes e cada

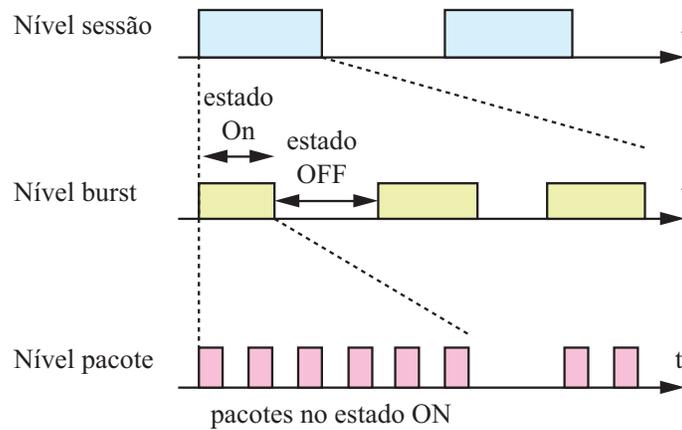


Figura A.1: Pacotes da Sessão de Serviço de Voz.

um deles contém um número de blocos de dados.

- Nível sessão: representa sessões de vídeo ativos,
- Nível *burst*: representa os frames presentes em cada sessão. Cada GOP (do inglês, *Group of Pictures*) contém 12 frames,
- Nível de pacotes: representa os pacotes presentes no frame, cujos tamanhos seguem uma distribuição log-normal. Para o frame (I) considera-se um $\mu = 3000$ bytes e um $\sigma = 42$ bytes, para o frame (P) considera-se um $\mu = 1000$ bytes e um $\sigma = 25$ bytes e para o frame (B) considera-se um $\mu = 500$ bytes e um $\sigma = 17$ bytes.

Se supõe que as sessões de vídeo chegam com um processo Poisson com durações exponencialmente distribuídas.

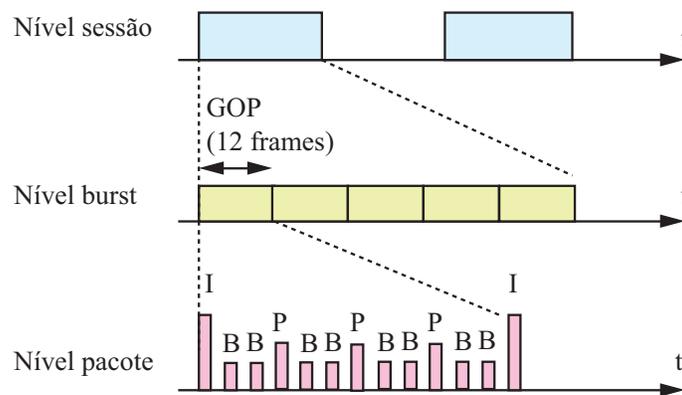


Figura A.2: Pacotes da Sessão de Serviço de Vídeo.

A.3 Modelagem de Tráfego *Background*

O tráfego *Background* é modelado através de um processo de Markov de dois estados. A diferença em relação ao tráfego conversacional é o fator de atividade (FA). O fator de atividade FA pode ser estimado a partir da equação A.1.

$$FA = \frac{T_{\text{ativo}}}{T_{\text{ativo}} + T_{\text{silêncio}}} \quad (\text{A.1})$$

Sendo que T_{ativo} é o tempo médio de transmissão (com dados disponíveis) e $T_{\text{silêncio}}$ é o tempo médio de silêncio (ausência de dados). Os tráfegos conversacional, *streaming* e *background* serão denominados como tráfego de classe A, B e C, respectivamente. O tráfego de Classe A tem maior prioridade de admissão e exige sempre alta taxa de transmissão, enquanto o tráfego de Classe C tem a menor prioridade.