

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROPOSTA DE POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE  
EDGE COMO CAMINHO DE EVOLUÇÃO PARA  
PROVIMENTO DE SERVIÇOS IMS DE TERCEIRA  
GERAÇÃO**

**HENRIQUE PRIMO VIEIRA**

**ORIENTADOR: LEONARDO GUERRA DE REZENDE GUEDES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM - 055/08**

**BRASÍLIA/DF: JULHO – 2008**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROPOSTA DE POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE EDGE  
COMO CAMINHO DE EVOLUÇÃO PARA PROVIMENTO DE  
SERVIÇOS IMS DE TERCEIRA GERAÇÃO**

**HENRIQUE PRIMO VIEIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE  
SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

**APROVADA POR:**

---

**Leonardo Guerra de Rezende Guedes, Dr., UFG  
(Orientador)**

---

**Flávio Elias Gomes de Deus, Dr., ENE/UnB  
(Examinador Interno)**

---

**José Olímpio Ferreira, Dr., UCG  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 31 DE JULHO DE 2008.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

VIEIRA, HENRIQUE PRIMO

Proposta de Política de Adaptação de Enlace EDGE como Caminho de Evolução para Provimento de Serviços IMS de Terceira Geração [Distrito Federal] 2008.

xviii, 99p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2008).

Dissertação de Mestrado Profissionalizante – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1.IP Multimídia Subsystem

2.Redes móveis

3.Adaptação de enlace

4.GSM / EDGE

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

VIEIRA, H. P. (2008). Proposta de Política de Adaptação de Enlace EDGE como Caminho de Evolução para Provimento de Serviços IMS de Terceira Geração. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-055/08, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 99p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Henrique Primo Vieira.

TÍTULO: Proposta de Política de Adaptação de Enlace EDGE como Caminho de Evolução para Provimento de Serviços IMS de Terceira Geração.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Henrique Primo Vieira

QND 04 Casa 30, Taguatinga.

72.120-040 Brasília – DF – Brasil.

À Deus.

À minha esposa Zenilda.

Às minhas filhas Bárbara e Beatriz.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me permitido cruzar mais essa etapa da vida, com Sua luz e proteção;

Agradeço sinceramente ao professor doutor Leonardo Guerra de Rezende Guedes, meu orientador da dissertação, pelo apoio e incentivo, sempre acreditando no sucesso dessa empreitada;

À minha esposa Zenilda, pelo amor, pela paciência e pelo incentivo;

À empresa BrasilTelecom, por disponibilizar os equipamentos necessários para execução dos experimentos, permitindo fazer da rede em operação o laboratório para esse trabalho;

À empresa Alcatel, pela ajuda prestada na coleta de dados, às diversas viagens de *drive test* e a configuração da rede de acesso; e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na elaboração deste trabalho.

## **RESUMO**

### **PROPOSTA DE POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE EDGE COMO CAMINHO DE EVOLUÇÃO PARA PROVIMENTO DE SERVIÇOS IMS DE TERCEIRA GERAÇÃO**

**Autor: Henrique Primo Vieira**

**Orientador: Leonardo Guerra de Rezende Guedes**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, julho de 2008**

Com a crescente demanda pelos serviços de pacote de dados sem fio, as operadoras móveis de rede 3G hoje enfrentam o desafio de oferecer novos serviços multimídia com exigências de qualidade de rede ao mesmo tempo em que devem utilizar de forma eficaz a largura de banda que possuem.

Esses novos serviços requerem o aumento de banda e de *throughput* de dados, devido à natureza intrínseca de interatividade que possuem. Essa crescente demanda por banda e *throughput* fez com que os comitês de padronização das redes de terceira geração trabalhassem no sentido de atender essas necessidades tendo como resultado a especificação de melhores esquemas de modulação e codificação, além da introdução de mecanismos de controle de qualidade dos enlaces (*LQC – Link Quality Control*) mais avançados.

Entre as diversas propostas para a evolução das redes 2G (2ª Geração) para 3G (3ª Geração), o GPRS (*General Packet Radio Services*) e o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) aparecem como soluções transitórias (conhecidas como redes 2,5G), mas efetivas, para as redes GSM existentes.

Este trabalho propõe apresentar uma proposta de política de adaptação de enlace, que suporte serviços 3G, baseada no modelo GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*) definido pelo 3GPP (*3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project*), e que permita controle de admissão de sessão na rede IMS (*IP Multimedia Subsystem*) utilizando o protocolo de sinalização IP (*Internet Protocol*) conhecido como SIP (*Session Initiation Protocol*). Essa proposta é baseada nos resultados teóricos e experimentais, medidos em campo, na rede real de uma operadora GSM/EDGE.

## **ABSTRACT**

### **PROPOSAL FOR A POLICY OF EDGE LINK ADAPTATION AS WAY OF EVOLUTION FOR PROVISIONS OF THIRD GENERATION IMS SERVICES**

**Author: Henrique Primo Vieira**

**Supervisor: Leonardo Guerra de Rezende Guedes**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, July of 2008**

With the increasing demand for wireless packet data services, 3G wireless carriers today are faced with the challenge of offering multimedia applications with quality of service requirements while at the same time effectively utilizing precious wireless bandwidth.

These new data services require increased bandwidth and data throughput, due to their intrinsic nature. This increasing demand for bandwidth and throughput has driven the work of third generation standardization committees, resulting in the specification of improved modulation and coding schemes, besides the introduction of more advanced link quality control mechanisms.

Among the several proposals for the evolution from 2G to 3G, GPRS (General Packet Radio Services) and EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) stand out as transitional solutions for existing GSM networks (it is also referred to as 2.5G system).

This work considers to presenting a proposal of politics of link adaptation, that it support services of 3rd generation, based on GERAN model (GSM EDGE Radio Access Network) defined by 3GPP (3rd Generation Partnership Project), and allows to control session admission in subsystem IMS using a IP signaling protocol known as SIP. This proposal is based on the theoretical and experimental results, measured in the field, in a real network.

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO .....	1
1.2 - PROBLEMA.....	3
1.2.1 - Hipótese.....	3
1.3 - OBJETIVOS GERAIS .....	4
1.3.1 - Objetivos Específicos .....	4
1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
2 – ARQUITETURA DE SERVIÇOS 3G .....	6
2.1 – IMS – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM .....	6
2.1.1 - Arquitetura IMS .....	7
2.1.2 - O problema de admissão de conexão e de sessão .....	22
2.1.3 - A utilidade do SIP para controle de conexão e de sessão .....	24
2.2 – SIP – SESSION INITIATION PROTOCOL .....	24
2.2.1 - Funcionalidade SIP .....	25
2.2.2 - Entidades SIP .....	28
2.2.3 - Formato das mensagens .....	30
2.2.4 - Fluxo de mensagens para estabelecimento de sessão.....	34
2.2.5 - Extensão do SIP .....	40
2.2.6 – Pré-condições .....	41
2.2.7 - Classes de qualidade de serviço .....	44
3 – EDGE - ENHANCED DATA RATE FOR GSM EVOLUTION .....	45
3.1.1 - Arquitetura GSM / GPRS / EDGE.....	46
3.1.2 - A interface rádio.....	50
3.1.3 - Arquitetura do protocolo GPRS/EDGE .....	55
3.1.4 - Esquemas de codificação do canal GPRS .....	59
3.1.5 - Esquemas de codificação do canal EGDE .....	61
3.1.6 - Qualidade do canal em sistema EDGE .....	63

3.1.7	- Gerenciamento da Mobilidade .....	65
3.1.8	- Gerenciamento da sessão de dados .....	67
4	- AVALIAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DE ENLACE .....	70
4.1	- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	70
4.2	- METODOLOGIA DE ANÁLISE DE <i>THROUGHPUT</i> , BLER E C/I.....	74
4.2.1	- Procedimentos .....	74
4.2.2	- Cenário de teste .....	75
4.3	- RESULTADOS E PROPOSTA.....	77
4.4	- PROPOSTA DE POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE .....	91
4.5	- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	92
5	- CONCLUSÃO.....	93
5.1	- REDES 3G .....	93
5.2	- POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE .....	94
5.3	- APLICAÇÃO DOS RESULTADOS.....	94
5.4	- SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tipos de linhas SDP - modificado [10] .....	26
Tabela 2.2: Faixa de códigos de status de resposta SIP .....	31
Tabela 2.3: Nome dos métodos nas requisições SIP .....	32
Tabela 3.1: Canais lógicos utilizados na rede GPRS .....	54
Tabela 3.2: Detalhes dos esquemas de codificação .....	60
Tabela 3.3: Esquemas de codificação utilizados no GPRS. ....	60
Tabela 3.4: Classes multi-slot.....	61
Tabela 3.5: Taxa de transmissão por esquema de codificação .....	61
Tabela 3.6: Detalhes dos esquemas de codificação utilizados no EGPRS [16] .....	62
Tabela 4.1: Taxa de transmissão por esquema de codificação simulada – TU50 [22] .....	72
Tabela 4.2: Esquemas de codificação proposto para TU50 e limiares de decisão teórico [22] .....	74
Tabela 4.3: Taxa de transmissão por esquema de codificação – TU50 (medido em campo) .....	83
Tabela 4.4: Desvio médio padrão por esquema de codificação – TU50 (medido em campo) .....	83
Tabela 4.5: Esquemas de codificação proposto para TU50 e limiares de decisão .....	86
Tabela 4.6: Agrupamento de MCS por faixa de C/I.....	87
Tabela 4.7: Resultados experimentais para EDGE na configuração LA – TU 50 .....	90
Tabela 4.8: Esquemas de codificação propostos para existirem na política de LA EDGE. ....	91
Tabela 4.9: MCS mínimo para atender as classes de serviço de dados.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Visão geral da arquitetura IMS do 3GPP [2] .....	8
Figura 2.2: Exemplo de estrutura do HSS e as interfaces básicas [3] .....	9
Figura 2.3: Funções lógicas do HSS - modificado [3] .....	12
Figura 2.4: Tipos de Servidores de Aplicação [2] .....	17
Figura 2.5: Gateway de Interface com a Rede PSTN/CS [2] .....	20
Figura 2.6: Localização do P-CSCF na rede de origem - modificado [2].....	22
Figura 2.7: Pré-requisitos para operação de serviço IMS - [2].....	22
Figura 2.8: Exemplo de uma descrição de sessão SDP - [2] .....	25
Figura 2.9: Exemplo de registro no servidor de registro de domínio “domain.com” - [2]..	28
Figura 2.10: Exemplos de UA .....	29
Figura 2.11: Exemplos de operação do <i>Redirect Server</i> .....	30
Figura 2.12: Formato da mensagem SIP .....	30
Figura 2.13: Transação SIP .....	32
Figura 2.14: Codificação MIME de corpo de mensagem multi-parte.....	34
Figura 2.15: Transação regular .....	35
Figura 2.16: Transação INVITE-ACK .....	35
Figura 2.17: Transação CANCEL .....	36
Figura 2.18: Registro de usuário com sua localização [2].....	36
Figura 2.19: Exemplo de mensagem SIP REGISTER [2].....	37
Figura 2.20: Exemplo de resposta 200 (OK) à solicitação SIP REGISTER [2] .....	37
Figura 2.21: Estabelecimento de sessão de através de um <i>proxy</i> [2] .....	38
Figura 2.22: Exemplo de mensagem INVITE para estabelecimento de sessão [2].....	38

Figura 2.23: Resposta 200 (OK) para um INVITE de estabelecimento de sessão [2] .....	39
Figura 2.24: Exemplo de mensagem BYE para terminar uma sessão [2] .....	40
Figura 2.25: Resposta 200 (OK) para a requisição BYE [2] .....	40
Figura 2.26: Negociação de extensão no SIP .....	41
Figura 2.27: Pré-condição de acesso [2] .....	42
Figura 2.28: Pré-condição fim-a-fim [2] .....	42
Figura 2.29: O método UPDATE [2] .....	43
Figura 2.30: Atualização das condições de QoS corrente .....	43
Figura 3.1: Arquitetura do sistema GSM .....	47
Figura 3.2: Arquitetura do sistema GPRS .....	48
Figura 3.3: Estrutura dos <i>bursts</i> no sistema GSM .....	50
Figura 3.4: Hierarquia de quadros no GSM .....	52
Figura 3.5: Estrutura do multiquadro-52 .....	53
Figura 3.6: Plano de transmissão GSM/GPRS .....	55
Figura 3.7: Modos de roteamento na rede GPRS [22] .....	56
Figura 3.8: Plano de sinalização entre a MS e o SGSN .....	59
Figura 3.9: Estrutura das famílias de MCS [16] .....	63
Figura 3.10: Estados de contexto de MM [22] .....	67
Figura 3.11: Estados de contexto de PDP .....	68
Figura 4.1: Curva teórica/simulada para EDGE, todos os MCS, ambiente TU50, 1.800 MHz - modificado de [22] e [23] .....	71
Figura 4.2: Curva teórica/simulada para LA, ambiente TU50, 1.800 MHz - [22] .....	73
Figura 4.3: Limiares de decisão de C/I, proposto para LA, TU50 – [22] .....	73

Figura 4.4: Tela do software de captura de dados EDGE em tempo real.....	76
Figura 4.5: Resultado em campo para MCS-1, ambiente TU50 .....	78
Figura 4.6: Resultado em campo para MCS-2, ambiente TU50 .....	78
Figura 4.7: Resultado em campo para MCS-3, ambiente TU50 .....	79
Figura 4.8: Resultado em campo para MCS-4, ambiente TU50 .....	79
Figura 4.9: Resultado em campo para MCS-5, ambiente TU50 .....	80
Figura 4.10: Resultado em campo para MCS-6, ambiente TU50 .....	80
Figura 4.11: Resultado em campo para MCS-7, ambiente TU50 .....	81
Figura 4.12: Resultado em campo para MCS-8, ambiente TU50 .....	81
Figura 4.13: Resultado em campo para MCS-9, ambiente TU50 .....	82
Figura 4.14: Relação C/I (dB) <i>versus</i> distância em km (resultado de campo) .....	84
Figura 4.15: Relação BLER <i>versus</i> C/I (dB) medida em campo – LA – TU50.....	85
Figura 4.16: Curva de LA do EDGE, obtida em campo, ambiente TU50, 1.800 MHz .....	85
Figura 4.17: Faixas de C/I utilizadas para transmissão na configuração LA, TU 50.....	87
Figura 4.18: Distribuição percentual de transporte de bits por MCS .....	88
Figura 4.19: Distribuição percentual de eficiência de MCS, com relação a bits corretos na camada LLC .....	89
Figura 4.20: Percentual de tempo de transmissão por MCS – velocidade constante 50 Km/h .....	90

## **LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES**

1G 1ª Geração

2,5G Geração 2,5

2G 2ª Geração

3G 3ª Geração

3GPP 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project

ACCH Associated Control Channel

AMPS American Mobile Phone System

ARIB Association of Radio Industries and Businesses

ARQ Automatic Repeat Request

ATM Asynchronous Transfer Mode

AuC Authentication Center

BCS Block Check Sequence

BCCH Broadcast Control Channel

BER Bit Error Rate

BG Border Gateway

BLER Block Error Rate

BSC Base Station Controller

BSS Base Station Subsystem

BSSGP Base Station Subsystem GPRS Protocol

BTS Base Transceiver Station

CBR Constant Bit Rate

CCSA China Communications Standards Association

CCU Circuit Control Unit

CDMA Code Division Multiple Access

CDPD Cellular Digital Packet Data

CEPT Conference of European Posts and Telegraphs

CG Charging Gateway

CI Cell's Identity

CS Coding Scheme

CSD Circuit Switched Data

DARPA Defense Advanced Research Projects Agency

ECSD Enhanced CSD

EDGE Enhanced Data rate for GSM Evolution

EGPRS Enhanced GPRS

EIR Equipment Identity Register

ETSI European Telecommunications Standards Institute

GERAN GSM EDGE Radio Access Network

FCCH Frequency Correction Channel

FDMA Frequency Division Multiple Access

GGSN Gateway GPRS Support Node

GMM/SM GPRS Mobility Management and Session Management

GMSK Gaussian Minimal Switch Key

GPRS General Packet Radio Service

GSM Global System for Mobile communications

GSN GPRS Support Node

GTP GPRS Tunnel Protocol

HLR Home Location Register

HSCSD High Speed Circuit Switched Data

IMEI International Mobile station Equipment Identity

IMS IP Multimedia Subsystem

IMSI International Mobile Subscriber Identity

IMT-2000 International Mobile Telecommunications-2000

IP Internet Protocol

ISI Information Sciences Institute

IS136 Interim Standards 136

IS95 Interim Standards 95

ISDN Integrated Services Digital Network

ITU International Telecommunications Union

LA Link Adaptation

LAPD Link Access Procedure-D

LAPG Link Access Procedure on the G-channel

LBNL Lawrence Berkeley National Laboratory

LLC Logical Link Control

LQC Link Quality Control

MAC Medium Access Control

MCS Modulation and Coding Schemes

ME Mobile Equipment

MM Mobile Management

MS Mobile Station

MSC Mobile Switching Center

NMT Nordic Mobile Telephony system

NS Network Simulator

NSAPI Network Layer Service Access Point Identifier

PARC Palo Alto Research Center

PCH Paging Channel

PCU Packet Control Unit

PDC Pacific Digital Cellular

PDN Packet Data Network

PDP Packet Data Protocol

PDTCH Packet Data Traffic Channel

PDU Packet Data Unit

PLL Physical Link Sublayer

P-TMSI Packet Temporary Mobile Subscriber Identity

QoS Quality of Service

RA Rotation Area

RACH Random Access Channel

RAI Routing Area Identity

RFL RF Sublayer

RLC Radio Link Control

SCH Synchronization Channel

SGSN Serving GPRS Support Node

SIM Subscriber Identity Module

SIP Session Initiation Protocol

SMS Short Message Service

SNDCP SubNetwork Dependent Convergence Protocol

TACS Total Access Cellular System

TBF Temporary Block Flow

TCH Traffic Channel

TCP Transmission Control Protocol

TDMA Time Division Multiple Access

TFI Temporary Flow Identifier

TIM Telecom Italia Mobile

TTA Telecommunications Technology Association of Korea

TTC Telecommunication Technology Committee

TU Typical Urban

UDP User Datagram Protocol

USC University of Southern California

USF Uplink State Flag

VLR Visited Location Register

WCDMA Wideband CDMA

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 - MOTIVAÇÃO

Atualmente as redes de telefonia celular fornecem serviços para mais de um bilhão de usuários no mundo todo [32]. Em paralelo, a Internet passou por um forte crescimento nos últimos anos. Com esse novo cenário, as redes de terceira geração (3G) buscam como objetivo a convergência desses dois paradigmas de sucesso das comunicações. Ou seja, aliar a mobilidade da telefonia celular com os serviços da Internet. Essas redes, do ponto de vista técnico, devem oferecer altas taxas de transmissão e uma arquitetura totalmente voltada para o tráfego de pacotes. Do ponto de vista dos serviços, devem disponibilizar multimídia móvel (chamadas de vídeo, áudio e videoconferência, vídeo *mail*, e-mail, etc.) aos seus usuários [1]. A disseminação desse novo paradigma depende ainda da diminuição do custo dos terminais e dos equipamentos e da implementação de um novo subsistema, o *IP (Internet Protocol) Multimedia Subsystem (IMS)*. O IMS é um elemento chave na arquitetura de rede 3G, que tornará possível o acesso celular, independente da localização, a todos os serviços atuais e futuros providos pela Internet.

Dado que todos os pré-requisitos para viabilizar a multimídia móvel ainda não estavam disponíveis, e continuava havendo a necessidade de se utilizar de forma mais efetiva a largura de banda, esses fatores abriram espaço para que o interesse em um padrão que pudesse oferecer serviços 3G utilizando o espectro existente aumentasse. O *Enhanced Data rate for GSM Evolution (EDGE)* permite o oferecimento de serviços de dados a taxas de até 384 kbps no atual espectro, com poucas modificações nas atuais redes *General Packet Radio Service (GPRS)* [26].

No GSM as taxas alcançadas com a comutação por circuitos alcançam a taxa de 9,6 kbps, alocando o canal de rádio durante todo o tempo da sessão. O sistema GPRS traz algumas vantagens aos assinantes como o estado de sempre conectado, ou seja, ausência de tempo de conexão, maiores taxas de transferência de dados, teoricamente até 171,2 kbps, e um custo mais justo, já que a tarifação pode se basear na quantidade de tráfego, na qualidade de serviço exigida e no tipo de serviço requerido [25] Para a operadora, o GPRS oferece uma melhor utilização dos canais de rádio, com recursos compartilhados entre vários assinantes.

Com o crescente aumento do número de usuários de sistemas de dados, a *International Telecommunications Union* (ITU), através do padrão *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000), padronizou os atributos necessários para um sistema 3G. Basicamente ele deve ser capaz de prover altas taxas de transferência de dados: 2 Mbps para cobertura indoor (baixa mobilidade), 384 kbps para cobertura urbana e suburbana (mobilidade pedestre) e 144 kbps para cobertura rural (ou alta mobilidade). Atualmente existem vários sistemas aceitos como sendo de terceira geração, sendo que os dois padrões mais importantes são: o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) e o CDMA-2000 (*Code Division Multiple Access - 2000*), ambas com método de acesso baseado no CDMA (*Code Division Multiple Access*). As tecnologias que não alcançam as taxas propostas, mas já apresentam comutação de pacotes, como a tecnologia GPRS, são citadas por muitos como sendo tecnologias da geração 2,5G.

Com o intuito de prover serviços 3G nas atuais redes GSM, em 1997 foi proposto o padrão *Enhanced Data rate for GSM Evolution* (EDGE), capaz de alcançar taxas de transmissão de até 384 kbps utilizando o atual espectro de transmissão [26]. O 3<sup>rd</sup> *Generation Partnership Project* (3GPP) [13], atual órgão responsável pela padronização dos sistemas 3G para o GSM, que agrega órgãos como o *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), aceitou a interface GSM/EDGE, que recebe o nome de GSM EDGE *Radio Access Network* (GERAN), como sendo um padrão com capacidade de transmissão de terceira geração [13].

O EGDE propicia maiores taxas de transmissão de dados através da utilização de um esquema de modulação mais eficiente, o 8-PSK, sobre as redes GSM, GPRS e de comutação por circuito (CSD - *Circuit Switched Data*). Com a incorporação do EDGE esses sistemas passaram a receber o tratamento de *Enhanced CSD* (ECSD) e *Enhanced GPRS* (EGPRS) [27].

O 3GPP foi um projeto criado para desenvolver soluções para a evolução da rede GSM, e por isso focou no acesso GPRS/EDGE para a primeira versão de IMS [4]. O IMS é definido como uma arquitetura de rede que demanda alguns requisitos com o objetivo de prover serviços de multimídia baseado em IP para os usuários finais. Um requisito evidente é o suporte para estabelecimento de sessões multimídia sobre IP. Para isso, o 3GPP lança

mão do SIP (*Session Initiation Protocol*), um protocolo definido pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*), para a sinalização e controle de sessão. Outro requisito muito importante é o controle dos parâmetros de tráfego, que não são regulados pelo GERAN, pois as redes de comutação de pacotes são do tipo melhor esforço, e o tipo de serviço que será provido pelas redes 3G obrigatoriamente necessitarão de controle com relação à banda disponível [1]. Esse papel de regulador será desempenhado pela rede IMS, que é o sistema que possui as lógicas de serviço e configuração das políticas das operadoras.

## **1.2 - PROBLEMA**

Nas atuais redes GSM/EDGE, disponibilizar recursos de rede para aplicações de comunicação multimídia com diferentes requisitos dos parâmetros de tráfego não é algo trivial dada a dificuldade inerente ao ambiente de comunicação móvel quanto à qualidade do sinal e sua conseqüente implicância em volubilidade de banda. Por esse motivo, as redes de comutação de pacotes móvel (EGPRS) são sempre do tipo melhor esforço.

Outro problema na harmonização dos requisitos do 3G é a orquestração das informações disponíveis na rede de dados e as informações necessárias no domínio IMS. Dado a dificuldade do SIP, protocolo utilizado pelo IMS, de estabelecer diálogo com a camada de enlace, é necessário um protocolo baseado em SDP (*Session Description Protocol*), chamado de COPS (*Common Open Policy Service Protocol*), que permite harmonizar as informações da rede de pacotes EDGE, através de interface específica entre os elementos da rede de comutação de pacotes e os elementos da rede IMS. Por esse motivo faz-se necessário o estudo das arquiteturas dos sistemas IMS e EDGE e dos protocolos envolvidos, como o SIP e SDP.

### **1.2.1 - Hipótese**

Nesse contexto, diversas publicações simulam o desempenho do EDGE [29], [27], [28], [14], [22] e [23], principalmente no que diz respeito à relação de qualidade de sinal e *throughput*. Nesses trabalhos sempre são analisados os comportamentos individuais de cada esquema de modulação e codificação, mas sem uma proposta de otimização na utilização desses esquemas de codificação para o ambiente móvel. Como resultado dessas simulações o que se observa é que o *throughput* máximo sempre ocorre com a

configuração do GERAN com a adaptação de enlace (que será visto no Cap. 2) habilitada, porém com a utilização de todos os esquemas de codificação, independe da eficiência de cada um deles.

A partir da análise dos resultados simulados nos trabalhos mencionados anteriormente, observou-se que é possível propor uma política de adaptação de enlace pela limitação na escolha de esquemas de codificação do EDGE para diferentes situações de tráfego e qualidade do sinal, aumentando a eficiência do sistema rádio.

Assim, baseando-se nos resultados de simulação do trabalho de [22] e [23] que mostram que a maximização do *throughput* na rede EDGE/GPRS se dá na configuração de adaptação de enlace (LA), propõe-se uma experimentação em campo, para verificação dos dados simulados e comprovação da hipótese de maximização da banda com a configuração de LA. Com base nesse resultado, propõe-se a utilização dessa informação, do domínio do *core* de dados, nas mensagens de estabelecimento de sessão do domínio IMS, garantindo-se, assim, a admissão da sessão baseando-se em requisitos de qualidade demandados por um serviço ou sessão específicos.

### **1.3 - OBJETIVOS GERAIS**

Diante do cenário apresentado na seção anterior, esse trabalho busca propor uma tabela de *Modulation and Code Schemes* (MCS) para o processo de adaptação de enlace que atenda a caracterização de tráfego a partir da avaliação empírica do comportamento do sinal no ambiente de radio móvel típico EDGE a 1.800 MHz.

#### **1.3.1 - Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, esse trabalho propõe a verificação em campo dos resultados teóricos simulados em [22] e [23], para a banda de 1.800 MHz no ambiente móvel GSM/EDGE, com a avaliação do *throughput versus* nível de C/I de cada esquema de codificação (MCS).

Propõe-se também avaliar a BLER (*Block Error Rate*) e o *throughput* para a configuração de adaptação de enlace do ambiente móvel, comparando-se os resultados de campo com resultados teóricos e de simulações da bibliografia especializada.

Além disso, tem-se como objetivo específico o estudo da arquitetura das redes 3G e os protocolos envolvidos no sistema GPRS/EDGE e IMS.

#### **1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esse trabalho está organizado da seguinte forma:

Este Capítulo apresenta a motivação, o problema e os objetivos propostos;

O Capítulo 2 apresenta os conceitos de arquitetura tecnológica e funcional que dão suporte a comunicação multimídia em sistemas 3G de comunicação móvel, apresentando o subsistema IMS, o protocolo de controle utilizado e o sistema GSM/GPRS/EDGE;

O Capítulo 3 apresenta a arquitetura tecnológica e funcional da rede de comutação por circuito GSM e das redes de comutação por pacotes GPRS e EDGE, enfatizando a interface aérea e a arquitetura do protocolo utilizado;

O Capítulo 4 apresenta uma breve revisão bibliográfica de estudos sobre qualidade do sinal e suas implicações no desempenho do enlace de dados. Em seguida, são apresentados os resultados dos dados coletados pelo trabalho de investigação em campo do desempenho do enlace *versus* as condições de qualidade do sinal resultando em uma proposta de política de adaptação do enlace;

O Capítulo 5 apresenta as considerações finais deste trabalho, discute sua aplicabilidade no cenário de uma operadora de telefonia e sugere oportunidades de continuação deste trabalho.

## 2 – ARQUITETURA DE SERVIÇOS 3G

### 2.1 – IMS – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM

O IMS é definido como uma arquitetura de rede que demanda alguns requisitos para sua implementação. Esses requisitos foram definidos pelo 3GPP [1] com o objetivo de prover serviços de multimídia baseado em IP para os usuários finais. O primeiro, e mais óbvio, é o suporte para estabelecimento de sessões multimídia sobre IP. Esse requisito é a base necessária para suportar o principal serviço a ser entregue pelo IMS: sessões multimídia sobre redes de comutação por pacotes, onde se entenda por multimídia a existência simultânea de vários tipos de mídia. Como principal exemplo de serviço, e de especial importância para o usuário, tem-se a comunicação de áudio e vídeo. Nesse caso, multimídia é representada pelos tipos de mídia de áudio e de vídeo.

Outro importante requerimento, que é um componente chave para o IMS, é a negociação da qualidade de serviço – QoS (*Quality of Service*). O QoS para uma sessão particular é determinado por uma série de fatores, como a largura máxima de banda que pode ser alocada ao usuário, que pode estar baseado no seu tipo de contrato com a operadora ou baseado no estado corrente da rede como um todo. O IMS permite a operadora controlar o QoS do usuário. Com isso, a operadora pode diferenciar certos grupos de usuário e com isso aplicar políticas de acesso e tarifação.

Um terceiro requisito é a interoperabilidade com a Internet e as redes de comutação por circuitos. Dado que a Internet possibilita acessos a conteúdo multimídia, esse se torna um requisito natural para as sessões IMS, pois a quantidade de fontes e destinos de sessões multimídia é potencialmente expandida pela Internet. Já a interoperabilidade com as redes de comutação por circuito (redes de telefonia fixa, redes celulares de 1ª e 2ª geração) é um requisito necessário para garantir a comunicação entre a rede IMS e as redes legadas.

O suporte a um controle rígido de acesso aos serviços entregues ao usuário final, necessário às operadoras, é um requisito que pode ser dividido em duas categorias. A primeira diz respeito a regras ou políticas genéricas, que são aplicadas a todos os usuários da rede. Por exemplo, a operadora pode querer restringir o uso de *codecs* de áudio que

utilizem uma grande largura de banda, como o G.711 [33] que utiliza 64 kbps, com o intuito de otimizar a utilização de recursos na rede de acesso. A outra categoria diz respeito a regras ou políticas que são aplicadas a cada usuário. Neste caso, as regras são baseadas nos serviços contratados pelo usuário. Por exemplo, o usuário pode ter uma assinatura com acesso a serviços IMS que não incluem o uso de vídeo, embora o seu terminal tenha essa facilidade. No caso do usuário tentar iniciar uma sessão multimídia que inclua suporte a vídeo, a operadora pode impedir que a sessão se estabeleça baseada nessas regras.

Outro requisito definido é o suporte a implementação rápida de novos serviços, de que tem um forte impacto na definição da arquitetura do IMS. Atualmente, a padronização de serviços e os testes de interoperabilidade despendem uma grande quantidade de tempo. Como o objetivo é reduzir esse tempo para a introdução de um novo serviço, o IMS padroniza as facilidades que o serviço deve ter ao contrário dos serviços.

Outros dois requisitos são o suporte ao *roaming* (utilização de uma rede visitada quando em viagem), requisito básico desde as redes 2G, e acesso a rede IMS a partir de outras redes que não a rede GPRS. Isso porque o 3GPP foi um projeto criado para desenvolver soluções para a evolução da rede GSM, e por isso focou no acesso GPRS para a primeira versão de IMS [4]. As futuras versões do 3GPP já estudam outros tipos de acesso a rede de pacotes, como o WLAN (*Wireless Local Area Network*).

### **2.1.1 - Arquitetura IMS**

A arquitetura de rede IMS definida pelo 3GPP não padroniza nós físicos, mas funções. Isso significa que a arquitetura IMS é um conjunto de funções ligadas por interfaces padronizadas [2]. Essas funções tanto podem ser combinadas e implementadas em um único nó físico, como também uma única função pode ser separada e implementada em mais de um nó.

A Figura 2.1 apresenta uma visão geral da arquitetura IMS padronizada pelo 3GPP. A figura mostra as interfaces de sinalização mais relevantes definidas no IMS, tipicamente nomeadas com um código de duas ou três letras. Essas interfaces são descritas em [3].

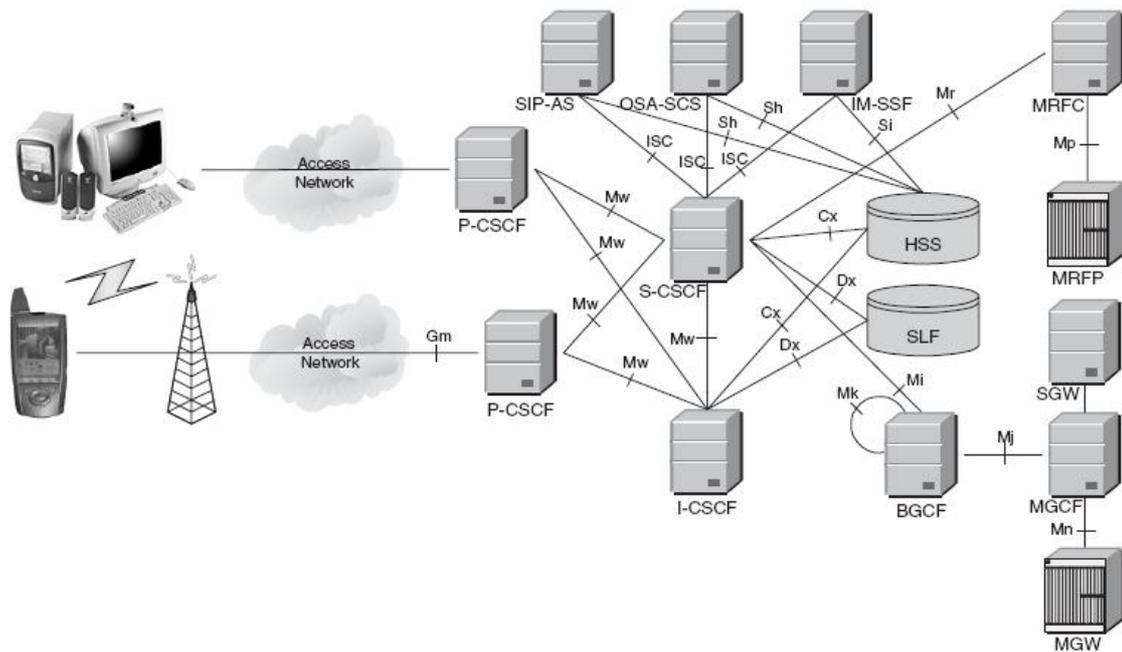


Figura 2.1: Visão geral da arquitetura IMS do 3GPP [2]

Como dispositivos de acesso à rede IMS, pode-se citar: computadores, PDA (*Personal Digital Assistants*) e terminais móveis. O terminal móvel é chamado de UE (*user equipment*). Esses dispositivos devem se ligar na rede IMS através de uma rede de pacotes. A rede de pacotes utilizada pelo UE pode ser a rede GPRS/EDGE, através de um enlace de rádio. Outros exemplos de rede de pacotes de acesso à rede IMS podem ser o WLAN ou o ADSL.

Como nós do chamado núcleo do subsistema de rede IMS, têm-se, genericamente:

- Uma ou mais base de dados, chamadas de HSS (*Home Subscriber Servers*) e SLF (*Subscriber Location Functions*);
- Um ou mais servidores SIP, comumente chamados de CSCF (*Call/Session Control Functions*);
- Um ou mais servidores de aplicação, genericamente chamados de AS (*Application Servers*);
- Um ou mais recurso de mídia (MRF - *Media Resource Functions*), divididos em MRFC (*Media Resource Function Controllers*) e MRFP (*Media Resource Function Processors*);

- Um ou mais BGCFs (*Breakout Gateway Control Function*);
- Um ou mais gateways de conexão com a rede de telefonia fixa (PSTN - *Public Switched Telephone Network*) ou móvel convencional de comutação por circuitos (PLMN - *Public Land Mobile Network*), decompostos em: gateway de sinalização (SGW - *Signaling Gateway*), gateway de controle de mídia (MGCF - *Media gateway Controller Function*) e gateway de mídia (MGW - *Media Gateway*);

Todos esses elementos têm suas funções detalhadas a seguir.

#### 2.1.1.1 - Bases de Dados HSS e SLF

O HSS é um repositório central de informações de usuário. Tecnicamente, o HSS é uma evolução do nó HLR (*Home Location Register*) da rede GSM. O HSS contém todos os dados de subscrição relacionados ao usuário necessários para manipular sessões multimídia. Esses dados incluem, entre outros itens, informações de localização, informações de segurança (incluindo ambas as informações de autenticação e autorização), informações de perfil do usuário (incluindo os serviços que o usuário tem assinado ou tem acesso) e o S-CSCF (*Serving-CSCF*) alocado ao usuário em seu registro.

O HSS também é responsável por suportar o controle de chamadas e as entidades de gerenciamento de sessão dos diferentes domínios e subsistemas (de comutação por circuitos e comutação por pacotes e IMS) de uma operadora de telecomunicações como mostra a Figura 2.2.

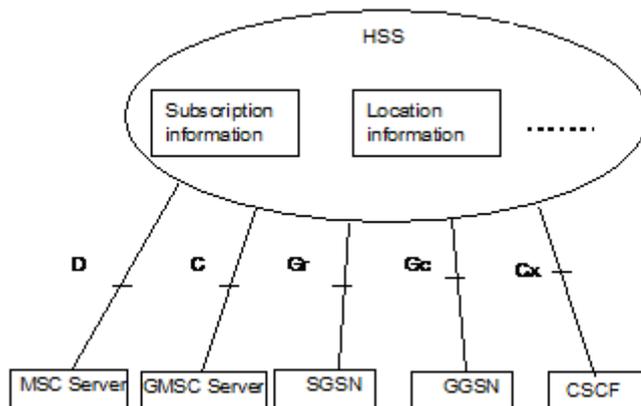


Figura 2.2: Exemplo de estrutura do HSS e as interfaces básicas [3]

O HSS pode combinar informações heterogêneas, e habilitar facilidades avançadas no núcleo da rede para serem oferecidas para o domínio de aplicações e serviços, ao mesmo tempo em que pode esconder essa heterogeneidade.

O HSS consiste das seguintes funcionalidades:

- Funcionalidades de multimídia IP para prover suporte para as funções de controle do subsistema Multimídia IP, como os CSCF. Isso é necessário para disponibilizar para o assinante o uso dos serviços da rede IMS. A funcionalidade de multimídia IP é independente da rede de acesso utilizada para acessar o núcleo da rede IMS;
- Funcionalidade de HLR/AuC (*Authentication Centre*) requerida pelo domínio de comutação por pacotes;
- Funcionalidade de HLR/AuC requerida pelo domínio de comutação por circuitos, se a operadora desejar habilitar o assinante para acesso ao domínio de comutação por circuitos ou para suportar assinantes visitantes da rede legada de comutação por circuitos GSM.

Uma rede IMS pode conter mais de um HSS, para o caso de haverem muitos assinantes a serem gerenciados por um único HSS. De qualquer forma, todos os dados relacionados a um assinantes são armazenados em um único HSS.

As redes com somente um HSS não necessitam da Função de Localização de Assinante (SLF). Por outro lado, redes com mais de um HSS requerem um SLF.

O SLF é uma base de dados simples que mapeia endereços de usuários e seu respectivo HSS. Assim, um nó que consulta o SLF tendo como entrada o endereço do assinante, obtém como resposta o HSS que contém todas as informações relacionadas àquele usuário.

O SLF é consultado pelo I-CSCF o processo de registro e de estabelecimento de sessão para buscar o HSS que contém os dados do assinante. Além disso, o SLF também é consultado pelo S-CSCF no processo de registro. O SLF é acessado via interface Dx.

Ambos HSS e SLF implementam o protocolo *Diameter* conforme a RFC 3588 [34], através de uma aplicação *Diameter* específica para o IMS.

### 2.1.1.2 - Funções lógicas do HSS

A Figura 2.3 apresenta uma visão macro das funcionalidades de um HSS.

De forma genérica pode-se descrever essas funcionalidades como:

- Gerenciamento de Mobilidade: essa função suporta a mobilidade do usuário tanto no domínio de comutação por circuitos quanto a comutação por pacotes ou no domínio do subsistema IMS;
- Suporte ao estabelecimento de chamada/sessão: o HSS suporta os procedimentos de estabelecimento de chamada/sessão seja no domínio de comutação por circuitos, comutação por pacotes ou no subsistema de rede IMS. Para o tráfego terminado, o HSS provê informação sobre qual elemento de rede controla a chamada e/ou sessão;
- Geração de informação de segurança do usuário: o HSS gera autenticação de usuário, dados de integridade e cifragem para os domínios de comutação por circuitos e por pacotes e para o subsistema IMS;
- Suporte a segurança do usuário: O HSS suporta os procedimentos de autenticação para acesso aos serviços nos domínios de comutação por circuitos e por pacotes e no subsistema IMS através do armazenamento dos dados gerados de autenticação, integridade e cifragem e provendo essas informações para o elemento apropriado do núcleo da rede, ou seja, MSC, SGSN ou CSCF, ao qual está conectado o usuário;
- Gerenciamento de identificação do usuário: o HSS fornece o relacionamento apropriado entre todos os identificadores que unicamente determinam o usuário em cada sistema: IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) e MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN - Integrated Services Digital Network*) para o domínio de comutação por circuitos, IMSI, MSISDN e endereço IP para o domínio de comutação por pacotes e Identidades Privada e Públicas para o subsistema de rede IMS;
- Autorização de acesso: quando os elementos de rede (MSC/VLR, SGSN ou CSCF) solicitam acesso à rede móvel, o HSS verifica se o usuário possui permissão para visitar aquela rede;

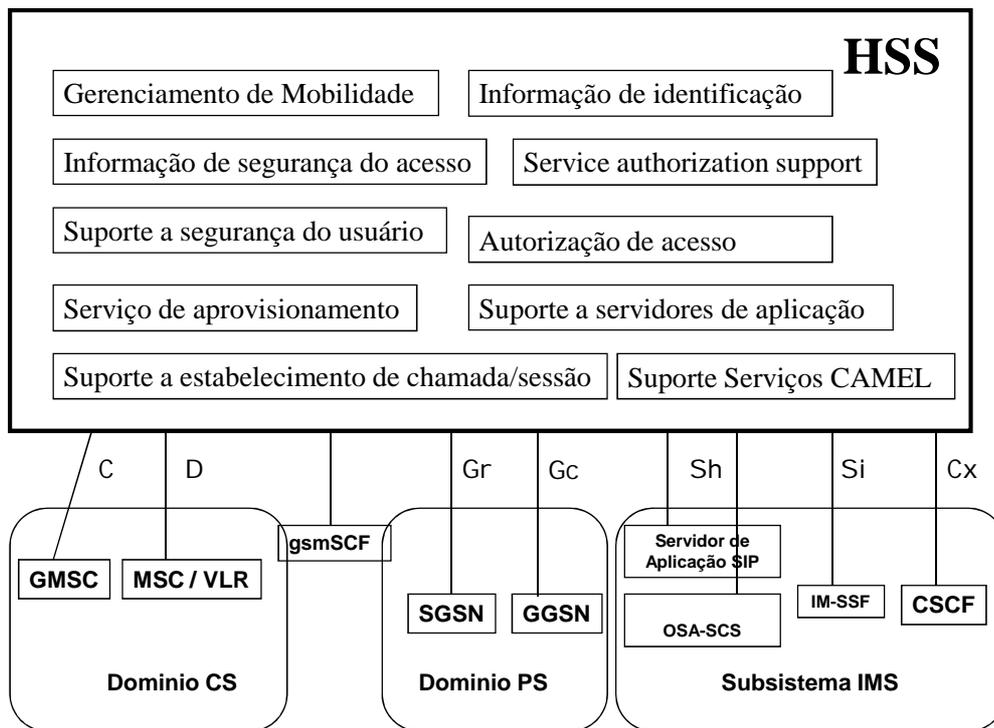


Figura 2.3: Funções lógicas do HSS - modificado [3]

- Suporte a autorização de serviço: o HSS fornece autorização básica para estabelecimento de chamada/sessão terminada no usuário e solicitação de serviço. Além disso, o HSS atualiza o elemento de rede no qual o usuário está registrado com informações relevantes ao serviço a ser fornecido para o usuário;
- Suporte ao provisionamento de serviços: o HSS fornece acesso aos dados do perfil de serviços do usuário dentro dos domínios de comutação por circuitos, comutação por pacotes e/ou do subsistema IMS;
- Suporte aos Servidores de Aplicação e Serviços CAMEL (*será visto no item 2.1.1.4*): no subsistema IMS, o HSS comunica-se com os Servidores de Aplicação SIP e com o OSA-SCS para suportar as aplicações de serviços. Também comunica-se com o IM-SSF para suportar os serviços baseados em CAMEL no subsistema IMS. No caso dos domínios de comutação por circuitos e por pacotes, o HSS comunica-se com o gsmSCF para suportar os serviços CAMEL nesses domínios.

### 2.1.1.3 - O CSCF

O CSCF é um servidor SIP essencial na arquitetura IMS. O CSCF é o nó que processa a sinalização SIP. Embora sejam coletivamente conhecidos como CSCF, são definidos três tipos de CSCF, dependendo da funcionalidade que eles fornecem. Os tipos de CSCF são categorizados da seguinte forma [4]:

- P-CSCF (*Proxy-CSCF*);
- I-CSCF (*Interrogating-CSCF*); e
- S-CSCF (*Serving-CSCF*)

Do ponto de vista de sinalização, o P-CSCF é o primeiro ponto de contato entre o terminal IMS do usuário e a rede IMS. Do ponto de vista do SIP, o P-CSCF atua como um servidor *proxy* SIP de entrada/saída. Isso significa que todas as requisições iniciadas ou destinadas ao terminal IMS atravessarão o P-CSCF. O P-CSCF transmite requisições e respostas SIP tanto na direção do terminal para a rede IMS quanto da rede para o terminal IMS.

O P-CSCF é alocado ao terminal durante o processo de registro IMS e não muda durante esse processo, isto é, o terminal IMS se comunica com somente um P-CSCF.

Uma vez o terminal registrado e autenticado no P-CSCF, esse elemento é o responsável por confirmar a identidade do usuário para o resto dos nós da rede. Através desse método, os outros nós da rede não necessitam autenticar novamente o usuário, porque há a confiabilidade desses elementos no P-CSCF.

O P-CSCF também possui a função de comprimir e descomprimir mensagens SIP. Dado que o SIP é um protocolo baseado em texto, as mensagens trocadas podem ser grandes. Enquanto uma mensagem SIP pode ser transmitida rapidamente em uma conexão banda larga (por exemplo, ADSL2+), transmitir mensagens SIP longas em um canal de banda estreita, como por exemplo, em alguns tipos de enlace de rádio, pode demorar até segundos. Assim, o mecanismo usado para reduzir o tempo de transmissão de uma mensagem SIP é a compressão da mensagem. Após enviá-la através da interface de rádio a mensagem é descomprimida na outra ponta. Por conseguinte, é necessário que o terminal

IMS também tenha implementado essa função. Portanto, o principal motivo da compressão é reduzir o tempo para transmitir mensagens SIP na interface aérea.

O P-CSCF pode incluir um PDF (*Policy Decision Function*). O PDF pode ser integrado como parte do P-CSCF ou ser implementado como uma unidade independente. O PDF é o responsável por autorizar os recursos e gerenciar a qualidade do serviço - QoS, no plano de mídia.

O P-CSCF pode estar localizado tanto na rede de origem do usuário quanto em uma rede visitada. No caso da rede de pacotes ser uma rede GPRS, o P-CSCF sempre estará localizado na mesma rede onde o GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) estiver localizado. Como nas atuais redes GPRS o GGSN sempre está na rede de origem, é esperado que o P-CSCF também esteja, pelo menos num primeiro momento, com vista à redução de investimentos e implementação mais rápida.

O I-CSCF é um proxy SIP posicionado na borda de um domínio administrativo. O endereço do I-CSCF está registrado no DNS (*Domain Name System*) do domínio. Quando um servidor SIP segue os procedimentos SIP conforme descrito na RFC 3263 [5] para encontrar o próximo salto (*hop*) SIP para uma dada mensagem, o servidor SIP obtém o endereço de um I-CSCF do domínio de destino.

Além da funcionalidade de servidor proxy SIP, o I-CSCF tem uma interface com o SLF e o HSS. Essa interface é baseada no protocolo *Diameter*. O I-CSCF recupera a informação de localização de usuário do HSS e envia as requisições SIP para o destino apropriado (tipicamente um S-CSCF). Assim, o I-CSCF é um nó que funciona como ponto de contato para as conexões destinadas a um usuário que pertence a sua própria rede ou para um usuário visitante dessa rede.

O I-CSCF também pode ser utilizado para esconder a configuração, a capacidade e a topologia de sua rede local para o mundo exterior. Essa funcionalidade é chamada de THIG (*Topology Hiding Inter-network Gateway*) e é implementada a partir da cifragem de partes da mensagem SIP que contém informações sensíveis sobre o domínio como, por exemplo, o número de servidores no domínio ou seus nomes no DNS.

Normalmente o I-CSCF está localizado em sua própria rede, mas em alguns casos especiais, como quando o I-CSCF tem a funcionalidade THIG, ele também poderá estar localizado na rede visitada.

O S-CSCF é o nó central do plano de sinalização IMS. O S-CSCF é essencialmente um servidor SIP, mas que também executa o controle de sessão. Adicionalmente às funcionalidades de um servidor SIP, o S-CSCF atua como um servidor de registro SIP (“*SIP registrar*”). Isso significa que o S-CSCF mantém uma relação entre a localização do usuário (por exemplo, o endereço IP que foi registrado pelo terminal do usuário) e o registro de endereço SIP do usuário (também conhecido como uma Identidade Pública do Usuário – *Public User Identity*).

Assim como o I-CSCF, o S-CSCF também implementa uma interface *Diameter* para trocar informações com o HSS. As principais razões para existência dessa interface com o HSS são [4]:

- Receber do HSS os vetores de autenticação do usuário que está tentando acessar a rede IMS. O S-CSCF utiliza esses vetores para autenticar o usuário;
- Receber do HSS o perfil do usuário. O perfil do usuário inclui o perfil de serviço, que é um conjunto de *triggers* que pode fazer com que uma mensagem SIP seja roteada através de um ou mais servidores de aplicação;
- Informar ao HSS o endereço do S-CSCF que está alocado para o usuário durante o período de registro;

Toda a sinalização SIP enviada ou recebida por um terminal IMS sempre atravessa, obrigatoriamente, o S-CSCF que foi alocado ao terminal durante o processo de registro. O S-CSCF inspeciona toda mensagem SIP e determina se a sinalização SIP deve visitar um ou mais servidores de aplicação no caminho do destino final. Esses servidores de aplicação podem, potencialmente, prover um serviço para o usuário.

Um das principais funções do S-CSCF é suportar serviços de roteamento SIP. Se o usuário chama um número de telefone ao invés de um SIP URI (*Uniform Resource Identifier*), o S-CSCF oferece um serviço de tradução, tipicamente baseado na norma de Tradução de Número DNS E.164, descrita na RFC 2916 [35].

O S-CSCF também implementa as regras de policiamento da rede da operadora. Por exemplo, um usuário pode não estar autorizado a estabelecer certos tipos de sessão. Então o S-CSCF mantém esses usuários registrados para controlar as operações não autorizadas para eles.

Do ponto de vista de localização, o S-CSCF está sempre instalado na rede de origem. Cada S-CSCF serve uma quantidade de terminais IMS, dependendo somente da capacidade de processamento do nó.

#### 2.1.1.4 - O Servidor de Aplicação

O Servidor de Aplicação - AS (*Application Server*) é um elemento SIP que hospeda e executa serviços. Dependendo do serviço definido, o AS pode operar no modo *proxy* SIP, no modo agente usuário - UA (*User Agent*) SIP, isto é, como um terminal, ou no modo agente usuário fim-a-fim - B2BUA (*Back-to-Back User Agent*), ou seja, uma concatenação de dois agentes usuário SIP.

O AS se comunica com o S-CSCF utilizando o protocolo SIP, através da interface ISC (*IMS Service Control*)

A Figura 2.4 descreve os diferentes tipos de Servidores de Aplicação, que são detalhados a seguir [4]:

- SIP AS (Servidor de Aplicação): esse é um Servidor de Aplicação nativo que hospeda e executa serviços multimídia IP baseados em SIP. É esperado que todos os novos serviços, específicos do subsistema IMS, sejam desenvolvidos nos servidores de aplicações SIP.
- OSA - SCS (*Open Service Access - Service Capability Server*): esse servidor de aplicação provê uma interface para o Servidor de Aplicação OSA (*Open Service Access*). Ele herda todas as facilidades OSA, especialmente a capacidade de acessar a rede IMS a partir de redes externas. Esse nó atua, de um lado, como um Servidor de Aplicação (fazendo interface com o S-CSCF através de SIP) e, do outro lado, como uma interface entre o Servidor de Aplicação OSA e as API OSA [6].

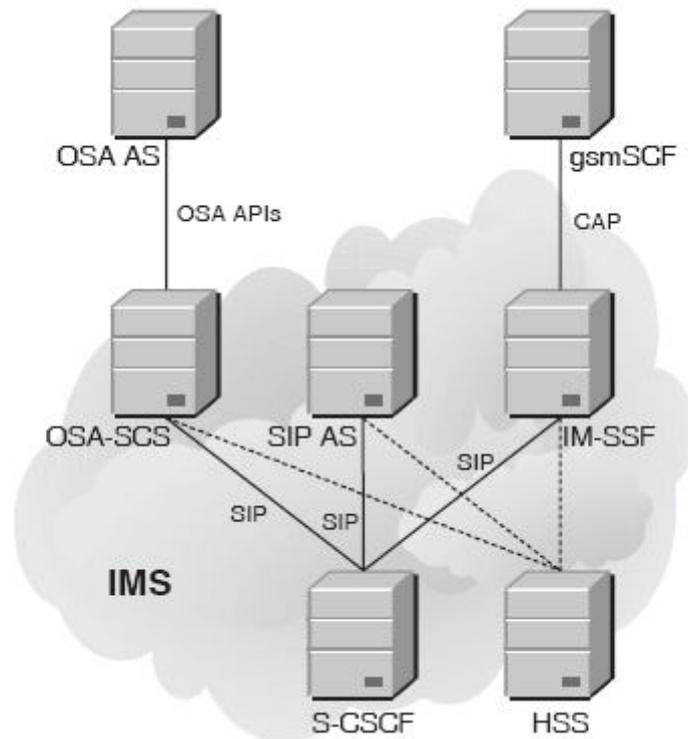


Figura 2.4: Tipos de Servidores de Aplicação [2]

- IM – SSF (*IP Multimedia - Service Switching Function*): esse servidor de aplicação especializado permite o reuso, na rede IMS, dos serviços CAMEL (*Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic*) que foram desenvolvidos para a rede GSM. O IM – SSF permite um gsmSCF (*GSM Service Control Function*) controlar uma sessão IMS. O IM – SSF atua, de um lado, como um Servidor de Aplicação, fazendo interface com o S-CSCF através de SIP. Do outro lado, ele atua como um SSF (*Service Switch Function*), fazendo interface como o gsmSCF através de protocolo baseado em CAP (CAMEL Application Part) [7].

Todos os três tipos de servidores de aplicação comportam-se como servidores de aplicação SIP para a rede IMS, isto é, eles atuam tanto como um servidor proxy SIP, um agente usuário SIP, um servidor de redirecionamento SIP, ou como um agente usuário SIP fim-a-fim. Os servidores de aplicação IM – SSF e OSA – SCS possuem, ainda, outras funções quando fazem interface com CAMEL ou OSA, respectivamente.

Além da interface SIP, o AS pode, opcionalmente, suportar uma interface com o HSS. A interface do Servidor de Aplicação SIP e do OSA – SCS com o HSS é baseada no protocolo *Diameter* [34] e é utilizada para receber e enviar dados relacionados ao usuário e

que estão armazenados no HSS. A interface do IM – SSF para o HSS é baseada em MAP (*Mobile Application Part*).

O AS pode estar localizado tanto na rede de origem quanto na rede visitada ou em uma rede externa de terceiros com a qual a operadora de origem mantenha contrato de serviço. Em qualquer um dos casos, se o AS utilizado estiver localizado fora da rede de origem, ele não tem interface de comunicação com o HSS.

#### 2.1.1.5 - O MRF

O MRF (*Media Resource Function*) suporta os recursos de mídia na rede de origem. Isso significa que o MRF provê para a rede de origem a habilidade de tocar anúncios, combinar fluxos de mídia (por exemplo, em uma ponte de conferência centralizada), transcodificação entre diferentes *codecs*, obter estatísticas e realizar diversos tipos de análise de mídia.

O MRF é dividido em um nó de plano de sinalização, chamado de MRFC (*Media Resource Function Controller*), e um nó do plano de mídia, chamado de MRFP (*Media Resource Function Processor*). O MRFC atua como um agente usuário SIP e possui interface para o S-CSCF. O MRFC interpreta a sinalização SIP recebida do S-CSCF, e através de uma interface H.248 (*Media Gateway Control Protocol*) [36], controla os recursos no MRFP [8].

Como responsável pelo plano de mídia, o MRFP implementa todas as funções relacionadas a mídia. Isto é, ele é o nó que de fato armazena e toca os anúncios, combina os fluxos de mídia que chegam, e realiza o processamento de mídia (por exemplo, transcodificação de áudio, análise de mídia, etc.) [3] e [4].

Do ponto de vista de localização, o MRF está sempre instalado na rede de origem.

#### 2.1.1.6 - O BGCF

O BGCF (*Breakout Gateway Control Function*) é essencialmente um servidor SIP que possui funcionalidade de roteamento baseada em numeração de telefone. O BGCF somente é utilizado nas sessões que são iniciadas por um terminal IMS e são endereçadas a um

usuário em uma rede comutada por circuitos – CS (*Circuit Switched*), seja a rede de telefonia fixa ou rede de telefonia celular (PSTN – *Public Switched Telephone Network* ou PLMN - *Public Land Mobile Network*).

Dessa forma, o BGCF é responsável por selecionar a rede apropriada onde a interconexão com o domínio de comutação por circuitos deve ocorrer baseado na solicitação SIP recebida do S-CSCF. Se o BGCF determina que o acesso esteja para ocorrer na mesma rede, ele seleciona um MGCF responsável pela interligação com a rede pública de telefonia comutada (fixa ou celular). Se o ponto de acesso está em outra rede, dependendo da configuração, o BGCF envia esta solicitação utilizando o protocolo SIP para outro BGCF ou um MGCF da rede selecionada.

#### 2.1.1.7 - O Gateway para Rede Pública Comutada por Circuito (PSTN/CS)

O Gateway PSTN/CS fornece uma interface para a rede comutada por circuito, permitindo que terminais IMS façam e recebam chamadas de/para a PSTN (ou qualquer outra rede comutada por circuitos).

A Figura 2.5 mostra uma BGCF fazendo interface com um Gateway PSTN/CS. O Gateway PSTN/CS é decomposto nas seguintes funções:

- **SGW (*Signaling Gateway*):** o Gateway de Sinalização interage com o plano de sinalização da rede de comutação por circuitos (CS). O SGW executa a conversão de sinalização/protocolo das camadas de transporte de SS7 e IP [3]. Para exemplificar, um SGW é responsável por substituir a camada de transporte MTP (*Message Transfer Part*) por SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) sobre IP. Como o SGW não interpreta as mensagens da camada de aplicação (por exemplo, BICC, ISUP), ele então somente converte ISUP (*ISDN User Part*) ou BICC (*Bearer Independent Call Control*) sobre MTP em ISUP ou BICC sobre SCTP/IP [2].

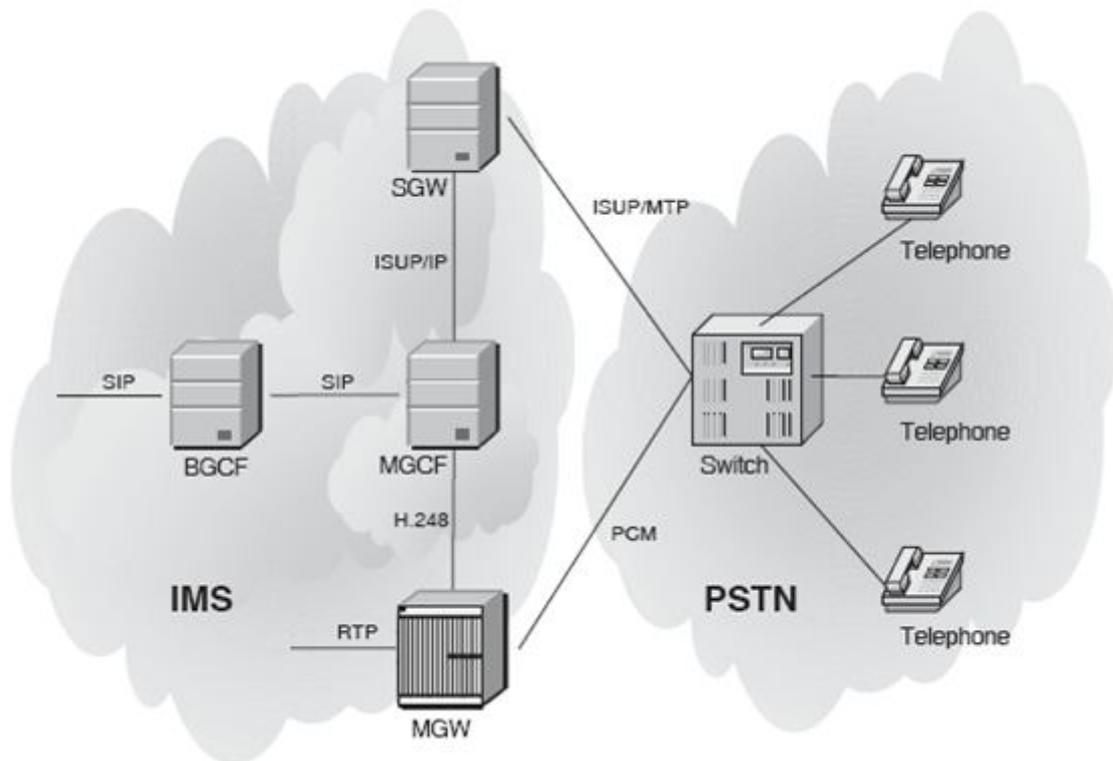


Figura 2.5: Gateway de Interface com a Rede PSTN/CS [2]

- **MGCF (Media Gateway Control Function):** O MGCF é um nó central do Gateway PSTN/CS. Ele implementa a máquina de estados que faz a conversão de protocolo e mapeia SIP (o protocolo de controle de chamada do lado do IMS) tanto no ISUP sobre IP ou BICC sobre IP (ambos ISUP e BICC são os protocolos de controle de chamada na rede de comutação por circuitos). Além da conversão do protocolo de controle de chamadas, o MGCF controla os recursos em um MGW (*Media Gateway*). O protocolo utilizado entre o MGCF e o MGW é o H.248 [36], ou protocolo MEGACO (*MEdia GAteway COntrol*).
- **MGW (Media Gateway):** o MGW faz a interface com o plano de mídia da rede PSTN/CS. De um lado o MGW é capaz de enviar e receber mídia IMS sobre o Protocolo de Tempo Real – RTP (*Real-Time Protocol*, conforme definido na RFC 3550 [37]). Do outro lado, o MGW um ou mais *time slot* PCM (*Pulse Code Modulation*) para se conectar a rede de comutação por circuitos. Além disso, o MGW realiza a transcodificação quando um terminal IMS não suporta o *codec* utilizado do lado CS. Um exemplo comum ocorre quando o terminal IMS está

utilizando o *codec* AMR (*Adaptative Multi Rate*, definido pelo 3GPP) e o terminal PSTN está utilizando o *codec* G.711 [33].

#### 2.1.1.8 - Localização do P-CSCF

O IMS faz uso de alguns conceitos da rede GSM e GPRS, como, por exemplo, ter uma rede origem e rede visitada. A maioria dos elementos IMS está localizada na rede de origem, como acontece na rede GSM/GPRS. Porém, há um nó que pode estar localizado tanto na rede de origem ou na rede visitada. Esse nó é o P-CSCF. O IMS permite duas diferentes configurações, dependendo se o P-CSCF está localizado na rede de origem ou na rede visitada.

Adicionalmente, quando a rede de acesso IP-CAN (*IP Connectivity Access Network*) é GPRS, a localização do P-CSCF é subordinada a localização do GGSN. Nos cenários de *roaming*, o GPRS permite que o GGSN esteja localizado tanto na rede de origem ou rede visitada, porém, o SGSN está sempre localizado na rede visitada.

No IMS, ambos GGSN e P-CSCF compartilham a mesma rede. Isso permite o P-CSCF controlar o GGSN através da chamada interface *Go*. Como tanto o P-CSCF e o GGSN estão localizados na mesma rede, a interface *Go* é sempre uma interface intra-operadora, o que torna mais simples a sua operação.

A configuração onde o P-CSCF (e o GGSN) está localizado na rede visitada representa uma visão de longo prazo do IMS, pois isso requer suporte IMS da rede visitada, ou seja, o GGSN tem que ser atualizado para ter compatibilidade com a versão cinco do 3GPP [4].

A Figura 2.6 mostra a configuração de curto-prazo onde ambos o P-CSCF e o GGSN estão localizados na rede de origem. Essa configuração não requer nenhum suporte IMS na rede visitada. A rede visitada somente provê os recursos de rádio e o SGSN (comutação por pacotes). Assim, essa configuração pode ser instalada logo no início da rede IMS. Como consequência, é esperado que essa seja a configuração mais comum nos primeiros anos de instalação das redes IMS pelas operadoras.

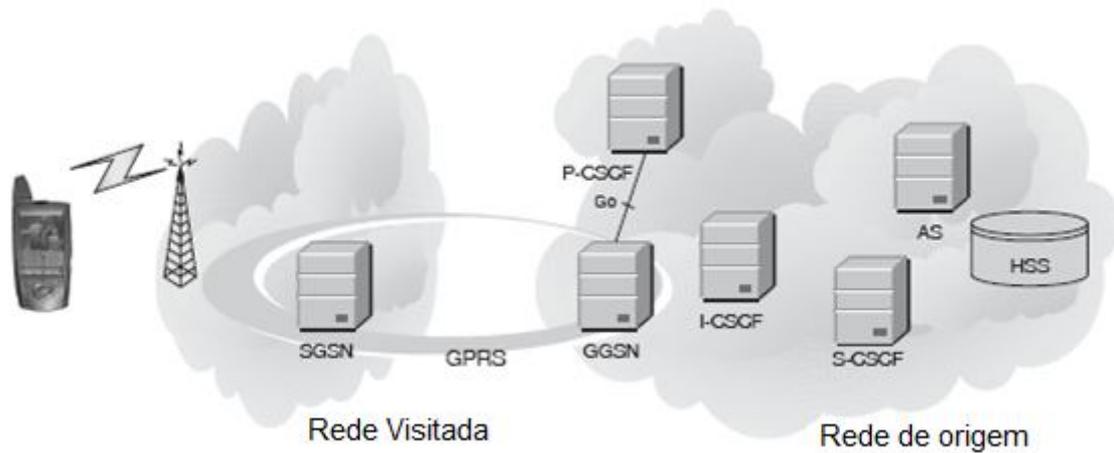


Figura 2.6: Localização do P-CSCF na rede de origem - modificado [2]

### 2.1.2 - O problema de admissão de conexão e de sessão

Antes que um terminal IMS comece uma operação relacionada ao mundo IMS, existe uma quantidade de pré-requisitos que tem que ser atendidos. A Figura 2.7 mostra uma visão macro dos pré-requisitos necessários.

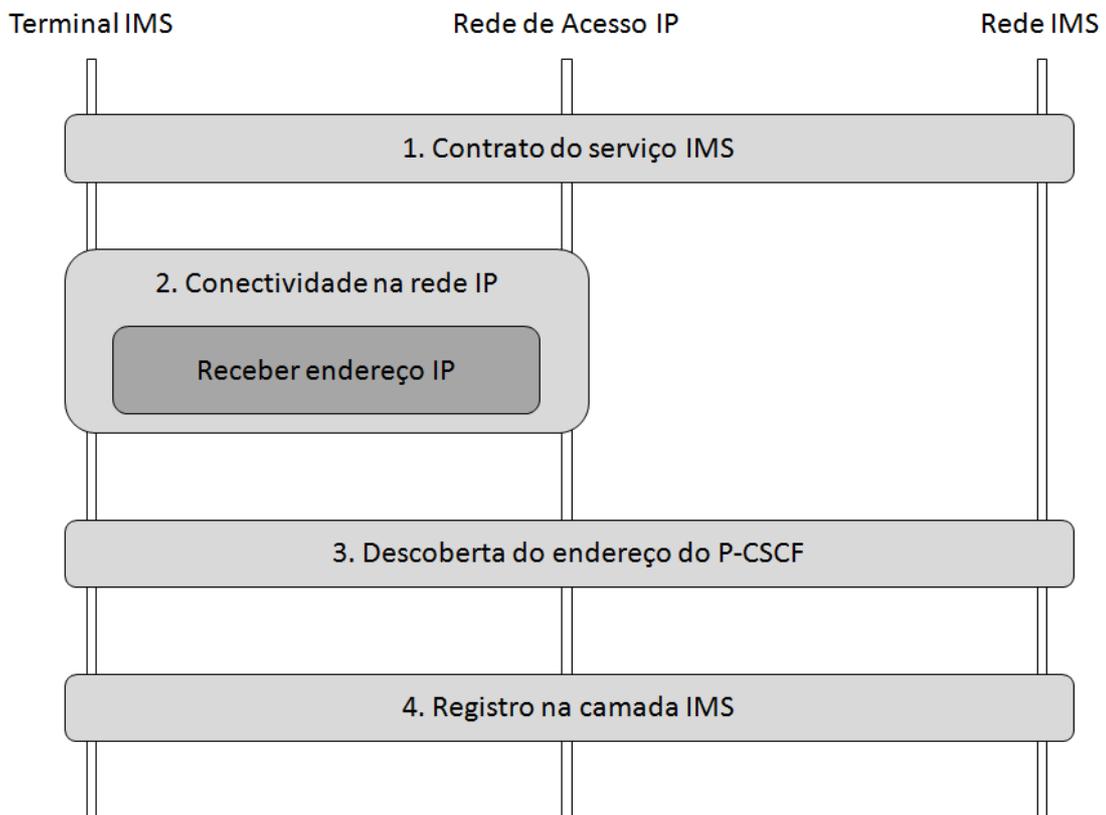


Figura 2.7: Pré-requisitos para operação de serviço IMS - [2]

Primeiro, o provedor de serviços IMS tem que autorizar o usuário final a usar o serviço IMS. Isso requer, tipicamente, uma assinatura ou contrato assinado entre a operadora de rede IMS e o usuário. Esse contrato é similar a assinatura que autoriza um usuário final a receber e estabelecer chamadas sobre uma rede celular.

Segundo, o terminal IMS necessitar ter acesso a um IP-CAN (*IP Connectivity Access Network*) como GPRS/EDGE (em redes GSM/UMTS), ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), ou WLAN (*Wireless Local Access Network*). O IP-CAN provê acesso à rede IMS de origem do acesso ou a uma rede IMS visitada. Como parte desse pré-requisito, o terminal IMS precisa adquirir um endereço IP (os procedimentos para acesso GPRS/EDGE são descritos em 3GPP TS 23.060 [12]). Esse endereço IP, tipicamente, é alocado de forma dinâmica pela operadora do IP-CAN, por um determinado período de tempo.

Quando esses dois pré-requisitos são atendidos, o terminal IMS precisa descobrir o endereço IP do P-CSCF que irá atuar como seu servidor *proxy* de mensagens SIP entrante / saínte. Todas as sinalizações SIP enviadas pelo terminal IMS passam por esse P-CSCF. Quando o procedimento de descoberta do P-CSCF é completado, o terminal IMS está habilitado a enviar e receber sinalização SIP para ou do P-CSCF. O P-CSCF é alocado permanentemente durante todo o registro IMS, um procedimento que é tipicamente disparado quando o terminal IMS é ligado ou desligado.

Quando os pré-requisitos acima são preenchidos, o terminal IMS passa para o registro no nível de aplicação SIP da rede IMS. Isso é realizado através de um registro normal do SIP, como será visto em 2.2.4. O termino SIP necessita estar registrado no IMS antes de iniciar ou receber qualquer outra sinalização SIP. Como o IMS é modelado em diferentes camadas, a camada IP-CAN é independente da camada de aplicação (SIP) IMS. Por isso, o registro no nível do IMS é independente do registro com o IP-CAN (por exemplo, o *attachment* na rede GPRS/EDGE). O processo de registro no IMS permite a essa rede localizar o usuário, isto é, o IMS obtém o endereço IP do terminal IMS. O registro também permite a rede IMS autenticar o usuário, estabelecer associações de segurança, e autorizar o estabelecimento de sessões.

### **2.1.3 - A utilidade do SIP para controle de conexão e de sessão**

O SIP (*Session Initiation Protocol*) é um protocolo especificado pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) como um protocolo para estabelecer e gerenciar sessões multimídia sobre redes IP [9], e que foi escolhido pelo 3GPP como o protocolo de controle de sessão para ser utilizado na rede IMS.

O SIP segue o conhecido modelo de cliente-servidor, bastante utilizado por muitos protocolos desenvolvidos pelo IETF. O desenvolvimento do SIP utilizou princípios de projeto do SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) [38], e especialmente, do HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) [39]. Assim, o SIP herdou muitas de suas características desses dois protocolos. Isso traz uma força importante para o SIP, porque o HTTP e o SMTP são os protocolos de mais sucesso na Internet.

O SIP, ao contrário de outros protocolos de rede, não diferencia a interface rede-usuário – UNI (*User-to-Network Interface*) da interface rede-rede – NNI (*Network-to-Network Interface*). O SIP é um protocolo simples que trabalha fim-a-fim. Diferentemente de protocolos como BICC e ISUP, o SIP é um protocolo baseado em texto. Isso significa que ele é mais fácil de estender, de analisar falhas e de ser utilizado para construir novos serviços. Esse fato, do SIP tornar fácil a criação de novos serviços, foi de grande peso na escolha e decisão do SIP como o protocolo de controle de sessão.

## **2.2 – SIP – SESSION INITIATION PROTOCOL**

Do ponto de vista de plano de sinalização, um dos componentes mais importantes é o protocolo que realiza o controle da sessão. O protocolo escolhido para executar essa tarefa no IMS é o SIP (*Session Initiation Protocol*) definido na RFC 3261 [9].

O SIP foi originalmente desenvolvido dentro do grupo de trabalho SIP no IETF (*Internet Engineering Task Force*). Embora o SIP tenha sido inicialmente projetado para convidar usuários para as conferências multimídia existentes, atualmente ele é principalmente utilizado para criar, modificar e terminar sessões multimídia. Além disso, também existem extensões SIP para viabilizar mensagens instantâneas e manipular outros eventos de assinantes.

### 2.2.1 - Funcionalidade SIP

O principal objetivo do SIP é entregar uma descrição de sessão para um usuário na sua localização corrente. Uma vez que o usuário tenha sido descoberto e a descrição de sessão inicial entregue, o SIP pode entregar novas descrições de sessão para modificar as características da sessão em curso e terminar a sessão sempre que o usuário ou a operadora desejem.

Uma descrição de sessão é, como o próprio nome indica, a descrição de uma sessão a ser estabelecida. Ela contém informações suficientes para que o usuário remoto possa se juntar a sessão. Em sessões multimídia sobre a Internet essa informação inclui o endereço IP e o número da porta onde a mídia necessita ser enviada e os *codecs* usados para codificar a voz e as imagens dos participantes.

As descrições de sessão são criadas usando formatos padrões. O formato mais comum para descrever sessões multimídia é o SDP (*Session Description Protocol*), definido na RFC 2327 [10]. A Figura 2.8 mostra um exemplo de uma descrição de sessão SDP enviada de Alice para Bob. Ela contém, entre outras coisas, o assunto da conversação (“*Swimming techniques*”), o endereço IP da Alice (192.0.0.1), o número da porta onde Alice deseja receber áudio (20000), o número da porta onde Alice deseja receber vídeo (20002), e os *codecs* de áudio e vídeo que Alice suporta (**0** corresponde ao *codec* de áudio G.711  $\mu$ -law e **31** corresponde ao *codec* de vídeo H.261 [40]).

```
v=0
o=Alice 2790844676 2867892807 IN IP4 192.0.0.1
s=Let's talk about swimming techniques
c=IN IP4 192.0.0.1
t=0 0
m=audio 20000 RTP/AVP 0
a=sendrecv
m=video 20002 RTP/AVP 31
a=sendrecv
```

Figura 2.8: Exemplo de uma descrição de sessão SDP - [2]

Como se pode observar na Figura 2.8 uma descrição SDP consiste em duas partes: informações do nível de sessão e informações do nível de mídia. As informações do nível de sessão se aplicam a sessão inteira e aparecem sempre antes das linhas m=. A informação do nível de mídia refere-se a um fluxo de mídia específico e consiste de uma linha m= e de

uma quantidade de linhas opcionais `a=` que provêm mais informações sobre o fluxo da mídia. Como a Figura 2.8 ilustra, o formato de toda linha SDP é da forma `tipo=valor`, onde `tipo` tem sempre o tamanho de um caractere. A Tabela 2.1 mostra todos os tipos definidos no SDP.

Tabela 2.1: Tipos de linhas SDP - modificado [10]

Tipo	Significado
<i>v</i>	<i>Versão do Protocolo</i>
<i>b</i>	<i>Informação de largura de banda</i>
<i>o</i>	<i>Identificador e nome do dono da sessão</i>
<i>z</i>	<i>Ajuste de fuso horário</i>
<i>s</i>	<i>Nome da Sessão</i>
<i>k</i>	<i>Chave de cifragem</i>
<i>i</i>	<i>Informação sobre a sessão</i>
<i>a</i>	<i>Linhas de atributo</i>
<i>u</i>	<i>URL que contém a descrição da sessão</i>
<i>t</i>	<i>Horário em que a sessão foi ativada</i>
<i>e</i>	<i>Endereço de e-mail para obter informação sobre a sessão</i>
<i>t</i>	<i>Tempo em que a sessão será repetida.</i>
<i>p</i>	<i>Número de telefone para obter informação sobre a sessão</i>
<i>m</i>	<i>Linha do tipo de mídia</i>
<i>c</i>	<i>Informação de conexão</i>
<i>i</i>	<i>Informação sobre linha do tipo de mídia</i>

No exemplo da Figura 2.8 a descrição de sessão enviada, que contém o endereço de transporte do dono da sessão, não possui informação suficiente para estabelecer a sessão, pois o dono da sessão precisa saber o endereço de transporte da outra parte. Assim, o SIP provê um modelo de troca de descrição de sessão em dois caminhos, chamado de modelo desafio/resposta, definido na RFC 3264 [11]. Nesse modelo, um dos usuários (o “desafiador”) gera a descrição de sessão (o desafio) e envia-a para o usuário remoto (o “respondedor”) o qual gera uma nova descrição de sessão (a resposta) e envia-a para o desafiador.

A RFC 3264 [11] fornece as regras para a geração do desafio e da resposta. Após a troca do desafio/resposta, ambos os usuários possuem uma visão comum da sessão a ser estabelecida. Eles sabem, no mínimo, os formatos que poderão utilizar de *codecs* e os endereços de transporte para a sessão. A troca do desafio/resposta também pode fornecer informação extra, como chave de cifragem para o tráfego cifrado.

No SIP, os usuários são identificados por SIP URI (*Uniform Resource Identifier*), as quais têm um formato de endereçamento similar ao endereço de *e-mail*, ou seja, consistem de um nome de usuário e de um nome de domínio. Adicionalmente, as SIP URI podem conter parâmetros (por exemplo, transporte), que são inseridos utilizando-se ponto-e-vírgula. Alguns exemplos de SIP URI são:

sip:Alice.Smith@domain.com

sip:Bob.Brown@example.com

sip:carol@ws1234.domain2.com;transport=tcp

O SIP provê a mobilidade do usuário através dos registros. Isso é, o usuário pode ser encontrado usando o mesmo identificador não importando onde ele esteja. Por exemplo, Alice pode ser encontrada no endereço SIP URI abaixo a despeito de sua localização atual.

sip:Alice.Smith@domain.com

Esse é o seu SIP URI público, também conhecido como AoR (*Address of Record*).

De outra forma, quando, por exemplo, Alice está conectada no trabalho, a sua SIP URI é:

sip:asmith@ws1234.company.com

Ou quando ela está em seu computador pessoal na Universidade, a sua SIP URI é:

sip:alice@pc12.university.edu

Portanto, é necessário uma forma de mapear o endereço público SIP URI como endereço URI corrente (no trabalho ou na Universidade) para qualquer dado momento. Para fazer isso, o SIP introduz um elemento de rede chamado de servidor de registro (*Registrar ou Register Server*) localizado no domínio particular, que manipula as requisições endereçadas para o seu domínio. Isso significa que as requisições SIP enviadas para o endereço público SIP URI serão gerenciadas pelo servidor de registro do seu domínio. Sempre que o usuário se registra em um novo local, ele registra sua nova localização no seu servidor de registro de domínio, como o exemplo mostrado na Figura 2.9.

Dessa forma o servidor de registro de um domínio específico pode sempre encaminhar as requisições que chegam para um usuário de seu domínio onde quer que ele esteja, pois ele

sempre terá a informação da localização atual do usuário. Essa informação pode tanto ser armazenada no próprio *Registrar* quanto pode ser mapeada em um servidor de localização. O *Registrar* ou *Register Server* pode ser incluído em um servidor *Proxy* ou em um *Redirect Server*.

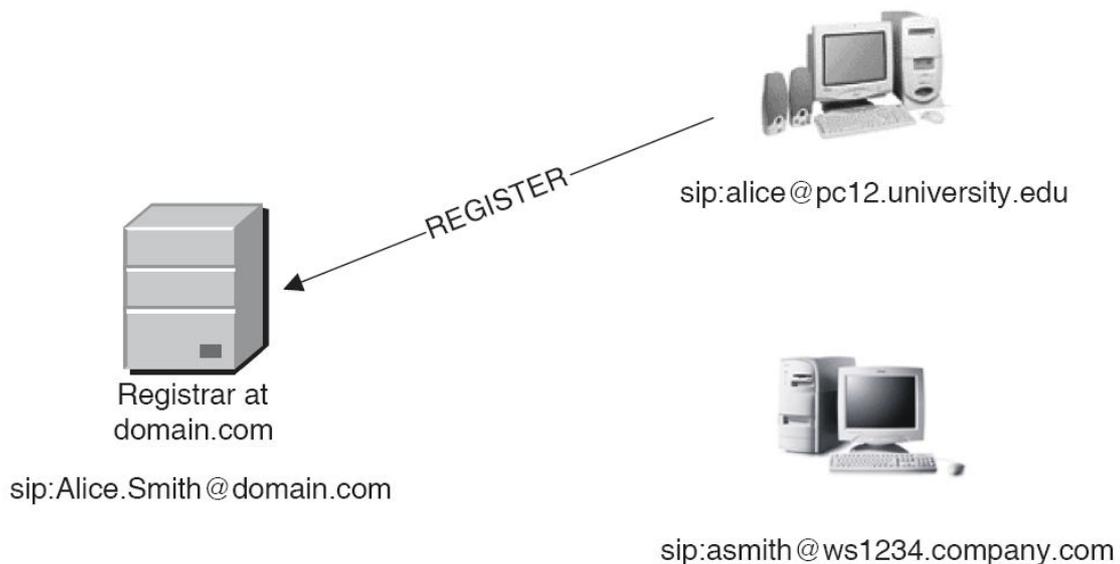


Figura 2.9: Exemplo de registro no servidor de registro de domínio “domain.com” - [2]

### 2.2.2 - Entidades SIP

Além dos *Registrars*, o SIP define agentes usuário (UA - *User Agents*), servidores proxy (*Proxy Servers*) e servidores de redirecionamento (*Redirect Servers*). Os UA são pontos finais da comunicação multimídia e normalmente são utilizados por um usuário. Porém, também há a possibilidade do UA estabelecer sessões automaticamente, sem intervenção do usuário, como no caso de uma caixa postal de voz SIP. No SIP, as sessões são tipicamente estabelecidas entre UA. O UA possui dois componentes: um UAC (*User Agent Client*), que é responsável por iniciar as chamadas enviando as requisições, e um UAS (*User Agent Server*) responsável por responder as requisições do UAC. Um UA tem a capacidade de atuar como UAC e UAS, porém de um modo a cada transação, dependendo de quem inicia o pedido. Os SIP UA, como mostrado na Figura 2.10, são implementados em diversos tipos de sistemas. Eles podem, por exemplo, operarem em um computador ou

um dispositivo móvel PDA e celulares, através de uma aplicação; ou podem ser implementados em dispositivos dedicados como um telefone SIP.



Figura 2.10: Exemplos de UA

Os *Proxy Servers*, normalmente chamados apenas de proxy, são roteadores SIP. O SIP *Proxy Server* recebe uma mensagem SIP de um UA ou de outro proxy e a redireciona até o seu destino. Esse redirecionamento da requisição envolve a retransmissão da mensagem para o UA destinatário ou para outro proxy no caminho. O SIP *Proxy Server* também disponibiliza serviços como: autenticação, autorização, controle de acessos, roteamento, retransmissões de pedidos e segurança.

Os *Redirect Servers* também são usados para rotear mensagens SIP, mas eles não simplesmente retransmitem a mensagem para o seu destino ou para o próximo proxy, como um servidor Proxy faz. O *Redirect Server* instrui a entidade que enviou a mensagem (um *User Agent* ou um *Proxy Server*) para tentar uma nova localização ou outro endereço de destino. A Figura 2.11 mostra como um *Redirect Server* trabalha. Um agente usuário envia uma mensagem SIP para sip:Alice.Smith@domain.com, e o *Redirect Server* retorna o endereço alternativo sip:alice@pda.com.

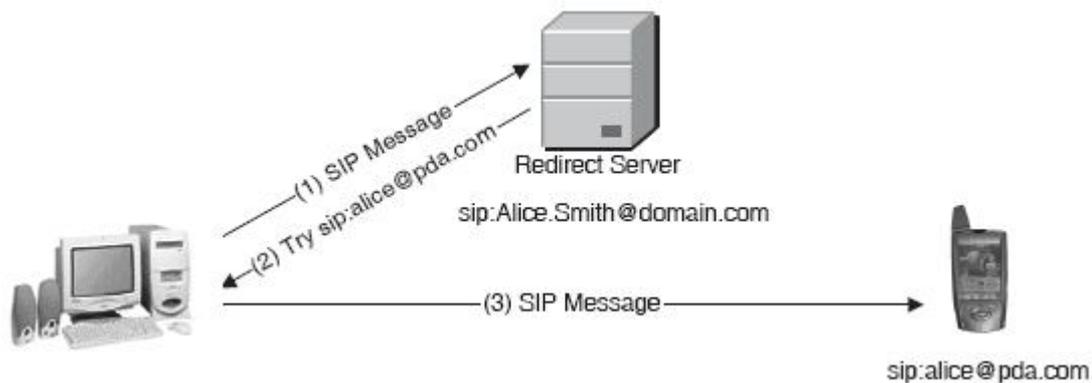


Figura 2.11: Exemplos de operação do *Redirect Server*

### 2.2.3 - Formato das mensagens

O SIP é baseado em HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) e, portanto, é um protocolo textual do tipo solicitação-resposta. O cliente envia a solicitação e o servidor retorna com a resposta. Uma transação SIP consiste de uma solicitação de um cliente, nenhuma ou mais respostas provisórias e uma resposta final do servidor.

A Figura 2.12 mostra o formato das mensagens SIP. Elas começam com o *start line*, o qual é chamado de *request line* nas solicitações e de *status line* nas respostas. A *start line* é seguida por uma quantidade de *header fields* que possuem o formato nome:valor e uma linha vazia que separa os *header fields* da parte opcional do corpo da mensagem

```

Start line
A number of header fields
Empty line
Optional message body

```

Figura 2.12: Formato da mensagem SIP

A linha de status (*status line*), que é quando se tem a linha de *start line* como sendo de uma resposta, contém a versão do protocolo (SIP/2.0) e o status da transação, a qual é dada nos formatos de valor numérico (código de status) e texto (frase motivo). A linha a seguir é um exemplo de linha de status:

```
SIP/2.0 180 Ringing
```

A versão do protocolo é sempre configurada para SIP/2.0. O código de status 180 indica que o usuário remoto está sendo alertado com relação a uma solicitação prévia. Ringing é a frase motivo e se destina a ser lida por qualquer usuário (por exemplo, pode ser mostrada em um monitor ou display de dispositivo).

As respostas são classificadas por seus códigos de status, os quais são números inteiros na faixa de 100 a 699. A Tabela 2.2 mostra como os códigos de status são classificados de acordo com seus respectivos valores:

Tabela 2.2: Faixa de códigos de status de resposta SIP

Faixa do código de status	Significado
100 - 199	<i>Provisório (informativo)</i>
200 - 299	<i>Sucesso</i>
300 - 399	<i>Redireção</i>
400 - 499	<i>Erro no Cliente</i>
500 - 599	<i>Erro no Servidor</i>
600 - 699	<i>Falha Geral</i>

A linha de solicitação (*request line*), que é quando se tem a linha de *start line* como sendo de um pedido, contém o nome do método, endereço *Request-URI* e a versão do protocolo (SIP/2.0). O nome do método indica a finalidade do pedido e o *Request-URI* o destinatário da solicitação. A linha a seguir é um exemplo de linha de solicitação:

```
INVITE sip:Alice.Smith@domain.com SIP/2.0
```

Nesse exemplo, o nome do método é INVITE, que indica que a finalidade desse pedido é convidar um usuário para uma sessão. O *Request-URI* mostra que a solicitação é destinada para Alice.Smith.

A Tabela 2.3 mostra os métodos que atualmente estão definidos no SIP e seus significados.

Tabela 2.3: Nome dos métodos nas requisições SIP

Nome do método	Significado
<i>ACK</i>	<i>Acknowledges the establishment of a session</i>
<i>BYE</i>	<i>Terminates a session</i>
<i>CANCEL</i>	<i>Cancel a pending request</i>
<i>INFO</i>	<i>Transports PSTN telephony signaling</i>
<i>INVITE</i>	<i>Establishes a session</i>
<i>NOTIFY</i>	<i>Notifies the user agent about a particular event</i>
<i>OPTIONS</i>	<i>Queries a server about its capabilities</i>
<i>PRACK</i>	<i>Acknowledges the reception of a provisional response</i>
<i>PUBLISH</i>	<i>Uploads information to a server</i>
<i>REGISTER</i>	<i>Maps a public URI with the current location of the user</i>
<i>SUBSCRIBE</i>	<i>Requests to be notified about a particular event</i>
<i>UPDATE</i>	<i>Modifies some characteristics of a session</i>
<i>MESSAGE</i>	<i>Carries an instant message</i>
<i>REFER</i>	<i>Instructs a server to send a request</i>

Para exemplificar, a Figura 2.13 mostra uma transação SIP. O agente usuário cliente (UAC) envia um pedido BYE e o agente usuário servidor (UAS) retorna a resposta 200 (OK).

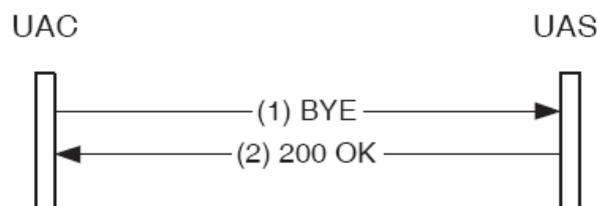


Figura 2.13: Transação SIP

Logo após o *start line*, as mensagens SIP (tanto de solicitação quanto de resposta) contêm um conjunto de *header fields*. Existe *header fields* mandatórios, que aparecem em todas as mensagens, e *header fields* opcionais, que somente aparecem quando são necessários. Um *header field* é composto pelo nome do campo, o sinal de dois-pontos, e o valor do campo, como nos exemplos abaixo:

To: Alice Smith <sip:Alice.smith@domain.com>;tag=1234

Route: <sip:p1.domain1.com>, <sip:p34.domain2.com>

Existem seis campos mandatórios de header fields que devem aparecer em toda mensagem SIP. São eles: To, From, Cseq, Call-ID, Max-Forwards e Via.

- To: o campo To contém o endereço URI do destinatário da solicitação. Porém, esse URI não é usado para encaminhar a requisição. Basicamente é utilizado em interface humana e com finalidade de filtragem pelo campo do destinatário.
- From: esse campo contém o endereço URI do originador da requisição. Como no campo To, é principalmente para fins de interface e de filtragem.
- Cseq: o campo Cseq contém um número sequencial e o nome do método. Eles são usados para fazer a correspondência entre requisições e respostas.
- Call-ID: o Call-ID fornece um identificador único para a troca de mensagem SIP.
- Max-Forwards: esse campo é utilizado para evitar loops de roteamento. Cada *proxy* que trata uma requisição decrementa o valor desse campo de um. Se o campo Max-Forwards alcança o valor de zero, a requisição é descartada.
- Via: o campo Via monitora o caminho trilhado por uma requisição através dos *proxies* que passou. A resposta utiliza as informações armazenadas no campo Via para enviar-las através dos mesmos *proxies*, na direção oposta.

Como visto na Figura 2.12, o corpo da mensagem é separado do *header fields* por uma linha vazia. O SIP pode transportar qualquer corpo de mensagem e até mesmo corpo de mensagem multi-partes usando a codificação MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*). O formato MIME definido na RFC2045 [41] permite o envio de *e-mails* com múltiplos arquivos anexos e em diferentes formatos. Assim, o SIP utiliza o MIME para codificar o corpo das mensagens da que os anexos de uma mensagem de *e-mail*. U conjunto de *header fields* fornece informação sobre o corpo da mensagem: seu tamanho, formato, e como deve ser manuseado.

Um exemplo de corpo de mensagem multi-parte codificado usando MIME é mostrado na Figura 2.14. A primeira parte do corpo da mensagem é uma descrição de sessão SDP e a segunda parte consiste do texto “This is the second body part”.

```

Content-Type: multipart/mixed; boundary="--0806040504000805090"
Content-Length: 384

--0806040504000805090
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session

v=0
o=Alice 2790844676 2867892807 IN IP4 192.0.0.1
s=Let's talk about swimming techniques
c=IN IP4 192.0.0.1
t=0 0
m=audio 20000 RTP/AVP 0
a=sendrecv
m=video 20002 RTP/AVP 31
a=sendrecv
--0806040504000805090
Content-Type: text/plain;

This is the second body part
--0806040504000805090

```

Figura 2.14: Codificação MIME de corpo de mensagem multi-parte

Uma propriedade importante dos corpos de mensagem é que eles são transmitidos fim-a-fim. Isso significa que os *proxies* não necessitam decodificar o corpo da mensagem. De fato, os agentes usuários podem escolher cifrar o conteúdo do corpo da mensagem fim-a-fim. Nesse caso, os *proxies* não são capazes de dizer qual o tipo de sessão será estabelecido entre ambos os agentes usuários.

#### 2.2.4 - Fluxo de mensagens para estabelecimento de sessão

O SIP define três tipos de transações, dependendo do tipo da solicitação inicial. São elas: transações regulares, transações do tipo INVITE-ACK, e transações do tipo CANCEL.

As transações regulares são iniciadas por qualquer pedido menos INVITE, ACK ou CANCEL. A Figura 2.15 mostra uma transação regular BYE. Em uma transação regular o usuário agente servidor (UAS) recebe um pedido e gera uma resposta final que termina a transação. Em teoria, seria possível para o agente usuário servidor (UAS) gerar uma ou mais respostas provisórias antes de gerar a resposta final, embora na prática, respostas provisórias raramente são enviadas dentro de uma transação regular.

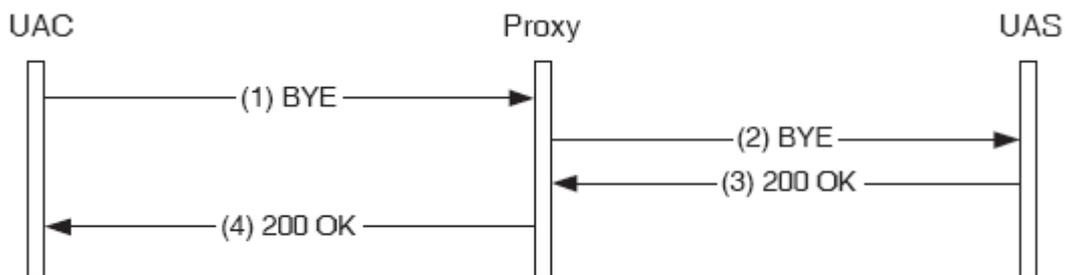


Figura 2.15: Transação regular

Uma transação INVITE-ACK envolve duas transações: uma transação INVITE e uma transação ACK, como mostra a Figura 2.16. O usuário agente servidor (UAS) recebe uma requisição INVITE e gera nenhuma ou mais respostas provisórias e uma resposta final. Quando o agente usuário cliente (UAC) recebe a resposta final, ele gera uma requisição ACK, a qual não tem nenhuma resposta associada a ela.

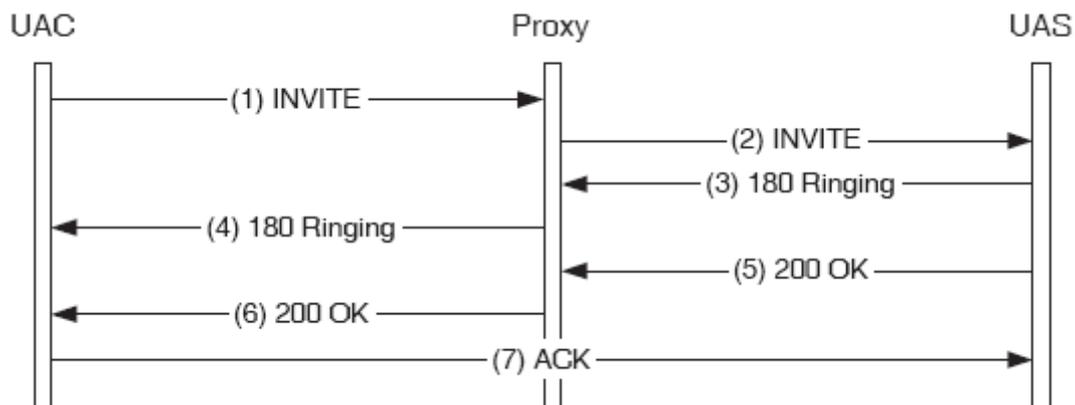


Figura 2.16: Transação INVITE-ACK

As transações do tipo CANCEL são iniciadas por uma solicitação CANCEL e estão sempre relacionadas a uma transação previa (a transação a ser cancelada). As transações CANCEL são similares às transações regulares, com a diferença de que a resposta final é gerada pelo próximo salto SIP (tipicamente um *proxy*) ao invés de ser gerada pelo usuário agente servidor. Para exemplificar, a Figura 2.17 mostra uma transação CANCEL cancelando uma transação INVITE.

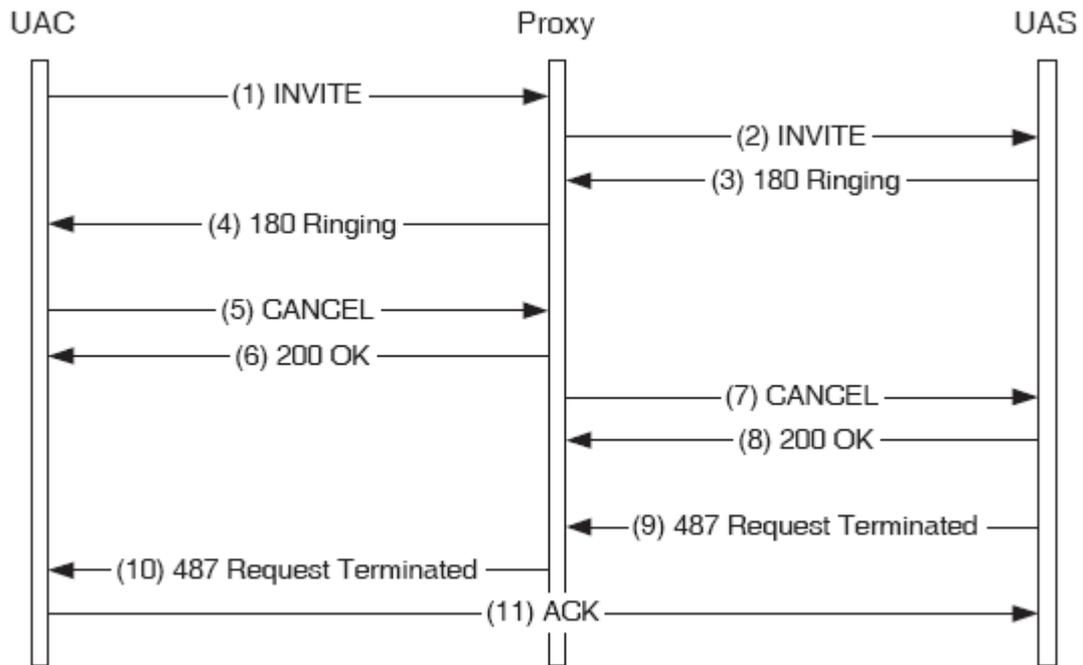


Figura 2.17: Transação CANCEL

A partir do conhecimento dos diferentes tipos de transações SIP, pode-se verificar como o SIP é utilizado para estabelecer sessões multimídia. O primeiro evento necessário é o registro do usuário, com sua localização corrente no servidor de registro (*Registrar*), como mostrado na Figura 2.18.



Figura 2.18: Registro de usuário com sua localização [2]

Para que o registro aconteça, o usuário envia uma requisição do tipo REGISTER, como descrito na Figura 2.19, indicando que os pedidos dirigidos para o endereço URI no campo To do *header field* deve ser retransmitido para o endereço URI do campo Contact do *header field*.

```
REGISTER sip:domain.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 192.0.0.1:5060;branch=z9hG4bKna43f
Max-Forwards: 70
To: <sip:Alice.Smith@domain.com>
From: <sip:Alice@pda.com>;tag=453448
Call-ID: 843528637684230@998sdasdsfgt
Cseq: 1 REGISTER
Contact: <sip:alice@pda.com>
Expires: 7200
Content-Length: 0
```

Figura 2.19: Exemplo de mensagem SIP REGISTER [2]

O servidor de registro retorna com uma resposta 200 (OK), como descrito na Figura 2.20, indicando que a transação foi completada com sucesso.

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP 192.0.0.1:5060;branch=z9hG4bKna43f
;received=192.0.0.1
To: <sip:Alice.Smith@domain.com>;tag=54262
From: <sip:Alice@pda.com>;tag=453448
Call-ID: 843528637684230@998sdasdsfgt
Cseq: 1 REGISTER
Contact: <sip:alice@pda.com>
Expires: 7200
Content-Length: 0
```

Figura 2.20: Exemplo de resposta 200 (OK) à solicitação SIP REGISTER [2]

Após o registro do usuário é possível, então, o estabelecimento de uma sessão multimídia. Para se estabelecer esse tipo de sessão, um usuário deve enviar uma solicitação do tipo INVITE usando o endereço URI público do outro usuário como endereço URI de requisição, como mostra a Figura 2.21, através de um servidor proxy do domínio.

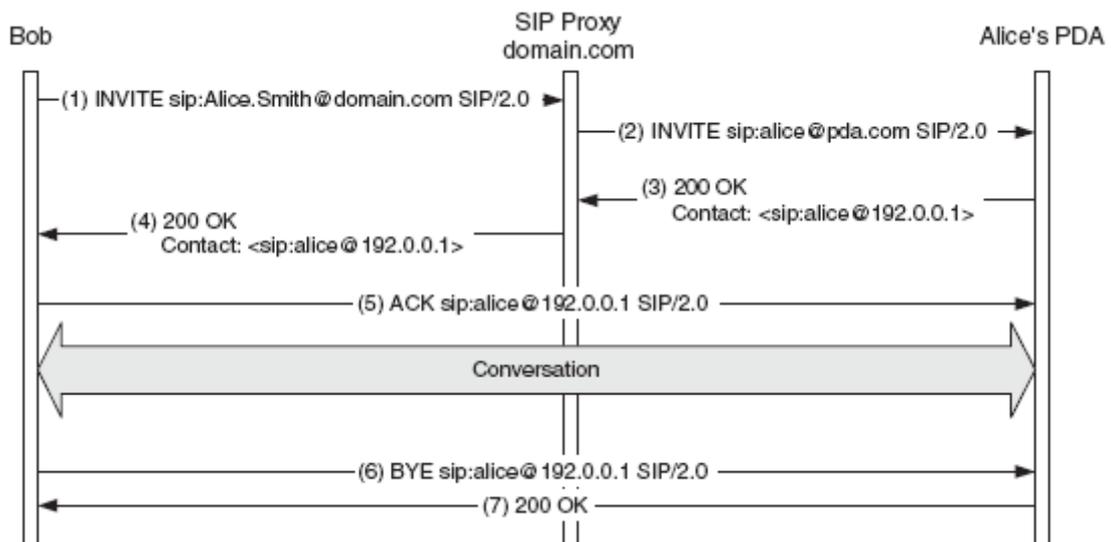


Figura 2.21: Estabelecimento de sessão de através de um *proxy* [2]

No caso de uma sessão de áudio, a mensagem de requisição teria o formato mostrado na Figura 2.22.

```

INVITE sip:Alice.Smith@domain.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP ws1.domain2.com:5060;branch=z9hG4bK74gh5
Max-Forwards: 70
From: Bob <sip:Bob.Brown@domain2.com>;tag=9hx34576s1
To: Alice <sip:Alice.Smith@domain.com>
Call-ID: 6328776298220188511@192.0.100.2
Cseq: 1 INVITE
Contact: <sip:bob@192.0.100.2>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 151

v=0
o=bob 2890844526 2890844526 IN IP4 ws1.domain2.com
s=-
c=IN IP4 192.0.100.2
t=0 0
m=audio 20000 RTP/AVP 0
a=rtpmap:0 PCMU/8000

```

Figura 2.22: Exemplo de mensagem INVITE para estabelecimento de sessão [2]

Nesse caso, o *proxy* que recebe a mensagem externa, retransmite a requisição de INVITE até o destinatário, porém em sua localização corrente (por exemplo, se o ultimo registro for um dispositivo PDA, a requisição será enviada para esse UAC, como no exemplo da Figura 2.20).

O usuário requisitado aceita o convite enviando uma resposta do tipo 200 (OK), que é retransmitida para o usuário requisitante, como mostra a Figura 2.23.

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP ws1.domain2.com:5060;branch=z9hG4bK74gh5
    ;received=192.0.100.2
From: Bob <sip:Bob.Brown@domain2.com>;tag=9hx34576s1
To: Alice <sip:Alice.Smith@domain.com>;tag=1df345fkj
Call-ID: 6328776298220188511@192.0.100.2
Cseq: 1 INVITE
Contact: <sip:alice@192.0.0.1>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 151

v=0
o=alice 2890844545 2890844545 IN IP4 192.0.0.1
s=-
c=IN IP4 192.0.0.1
t=0 0
m=audio 30000 RTP/AVP 0
a=rtpmap:0 PCMU/8000
```

Figura 2.23: Resposta 200 (OK) para um INVITE de estabelecimento de sessão [2]

Em ambas as mensagens, a requisição INVITE e a resposta de confirmação 200 (OK), os usuários incluem o campo `Contact` no *header field*, para que dessa forma possam trocar mensagens, depois de estabelecida a sessão, diretamente, sem necessidade do *Proxy Server*.

Para que a sessão finalmente se estabeleça e haja a troca de mídia (por exemplo, áudio), o usuário deve, após o recebimento da resposta 200 (OK), confirmar a sessão enviando a mensagem de reconhecimento ACK (transação INVITE-ACK).

Se, após o estabelecimento da sessão, os usuários queiram fazer qualquer modificação na mesma, por exemplo, adicionar vídeo, tudo o que necessitam fazer é enviar outra requisição de INVITE com uma atualização da descrição da sessão.

Quando os usuários terminam a conversação, qualquer um deles pode terminar a sessão enviando uma mensagem de requisição BYE, como exemplificada na Figura 2.24.

```
BYE sip:alice@192.0.0.1 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP ws1.domain2.com:5060;branch=z9hG4bK745gh
Max-Forwards: 70
From: Bob <sip:Bob.Brown@domain2.com>;tag=9hx34576sl
To: Alice <sip:Alice.Smith@domain.com>;tag=1df345fkj
Call-ID: 6328776298220188511@192.0.100.2
Cseq: 2 BYE
Contact: <sip:bob@192.0.100.2>
Content-Length: 0
```

Figura 2.24: Exemplo de mensagem BYE para terminar uma sessão [2]

A mensagem de requisição BYE é respondida pelo outro usuário com a resposta 200 (OK), como mostra a Figura 2.25.

```
SIP/2.0 200 OK
Via: SIP/2.0/UDP ws1.domain2.com:5060;branch=z9hG4bK745gh
;received=192.0.100.2
From: Bob <sip:Bob.Brown@domain2.com>;tag=9hx34576sl
To: Alice <sip:Alice.Smith@domain.com>;tag=1df345fkj
Call-ID: 6328776298220188511@192.0.100.2
Cseq: 2 BYE
Contact: <sip:alice@192.0.0.1>
Content-Length: 0
```

Figura 2.25: Resposta 200 (OK) para a requisição BYE [2]

Dessa forma, para estabelecer, atualizar ou terminar sessões é necessário o fluxo e a troca de mensagens SIP. A essa troca de um conjunto de mensagens SIP entre dois agentes usuários é dado o nome de diálogo SIP. Portanto, os diálogos SIP são montados de acordo com o tipo de transação utilizada no estabelecimento, atualização ou termino de sessões.

### 2.2.5 - Extensão do SIP

O mecanismo de negociação de extensão do SIP utiliza três campos do *header fields*: Supported, Required, e Unsupported. Quando um diálogo SIP está sendo estabelecido, o agente usuário cliente lista todos os nomes de extensões que ele quer usar para o diálogo, no campo Require dentro do *header field*, e todos os nomes de extensões que ele suporta não listados previamente no campo Supported. Os nomes das extensões são referenciados como *option tags*.

O agente usuário servidor inspeciona o campo `Require` dentro do *header Field* e, se ele não suportar qualquer das extensões listadas no campo, ele envia para o agente usuário cliente uma resposta de erro indicando que o diálogo não pode ser estabelecido. Essa resposta de erro contém o campo `Supported` no *header field* listando as extensões que o agente usuário servidor não suporta.

Se o agente usuário servidor suportar (e desejar utilizar) todas as extensões requeridas, ele decidirá se quer ou não usar qualquer extensão extra para esse diálogo e, se sim, deverá incluir o *option tag* para a extensão extra no campo `Require` do *header Field*, na sua resposta. E a partir daí o diálogo será estabelecido.

A Figura 2.26 mostra uma negociação de extensão com sucesso. Eles concluem a negociação usando as extensões cujos *option tags* são `foo1`, `foo2` e `foo4`.

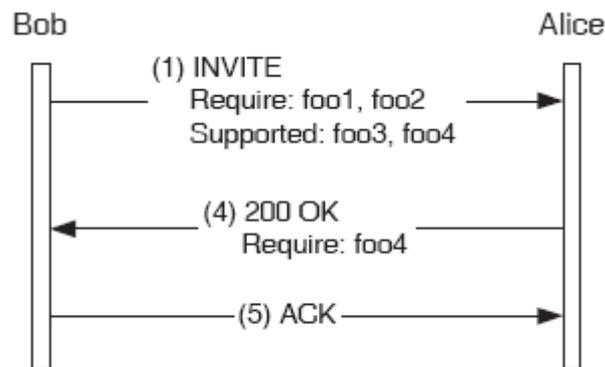


Figura 2.26: Negociação de extensão no SIP

Além dos *option tags*, o SIP pode ser estendido através da definição de novos métodos. A Tabela 2.3 mostra que existem muitos métodos SIP, mas o núcleo do protocolo apenas usa um subconjunto deles. Os demais métodos são definidos em extensões do SIP.

### 2.2.6 – Pré-condições

Para que uma sessão SIP seja estabelecida, além do aceite do usuário chamado e que o usuário agente servidor suporte as extensões requeridas, algumas pré-condições podem ser requeridas antes do estabelecimento de uma sessão. Por exemplo, um usuário pode querer falar com outro usuário contanto que a qualidade de voz seja aceitável. Nesse caso, se a rede não pode assegurar certa banda ou *throughput* durante toda a sessão, o chamador pode preferir não estabelecer a sessão.

A extensão que permite um agente usuário expressar uma pré-condição, cujo *option tag* é *precondition*, é uma mistura de extensão do SIP e do SDP.

Quando um agente usuário recebe uma oferta com precondições, ele não alerta o usuário até que aquelas precondições sejam encontradas. Essas pré-condições são codificadas no corpo SDP da mensagem. Existem dois tipos de pré-condições: pré-condições de acesso e pré-condições fim-a-fim. A Figura 2.27 mostra um SDP com pré-condições de acesso. O agente usuário que gerou essa descrição de sessão está requisitando (*a=des:qos* significa que deseja QoS) QoS em ambas as direções (*sendrecv*) em ambos os acessos; no acesso local (*local*) e no acesso remoto (*remote*). A linha *a=curr:qos* indica que, no momento, não há QoS em qualquer dos acessos.

```
m=audio 20000 RTP/AVP 0
a=curr:qos local none
a=curr:qos remote none
a=des:qos mandatory local sendrecv
a=des:qos mandatory remote sendrecv
```

Figura 2.27: Pré-condição de acesso [2]

A Figura 2.28 mostra um SDP com pré-condições fim-a-fim. O agente usuário que gerou essa descrição de sessão está requisitando a opção de QoS fim-a-fim (*e2e*) em ambas as direções (*sendrecv*).

```
m=audio 20000 RTP/AVP 0
a=curr:qos e2e none
a=des:qos optional e2e sendrecv
```

Figura 2.28: Pré-condição fim-a-fim [2]

Quando uma precondição mandatória aparece em uma descrição de sessão o usuário chamado somente é alertado quando as condições de QoS corrente são iguais ou melhores que as condições desejadas.

De forma a saber quando todas as pré-condições são encontradas, ambos os agentes necessitam trocar descrições de sessão. Essa troca de descrição de sessão é enviada usando o método UPDATE, como mostrado na Figura 2.29. Usando esse método, ambos os agentes mantêm um ao outro atualizado sobre o status das pré-condições.

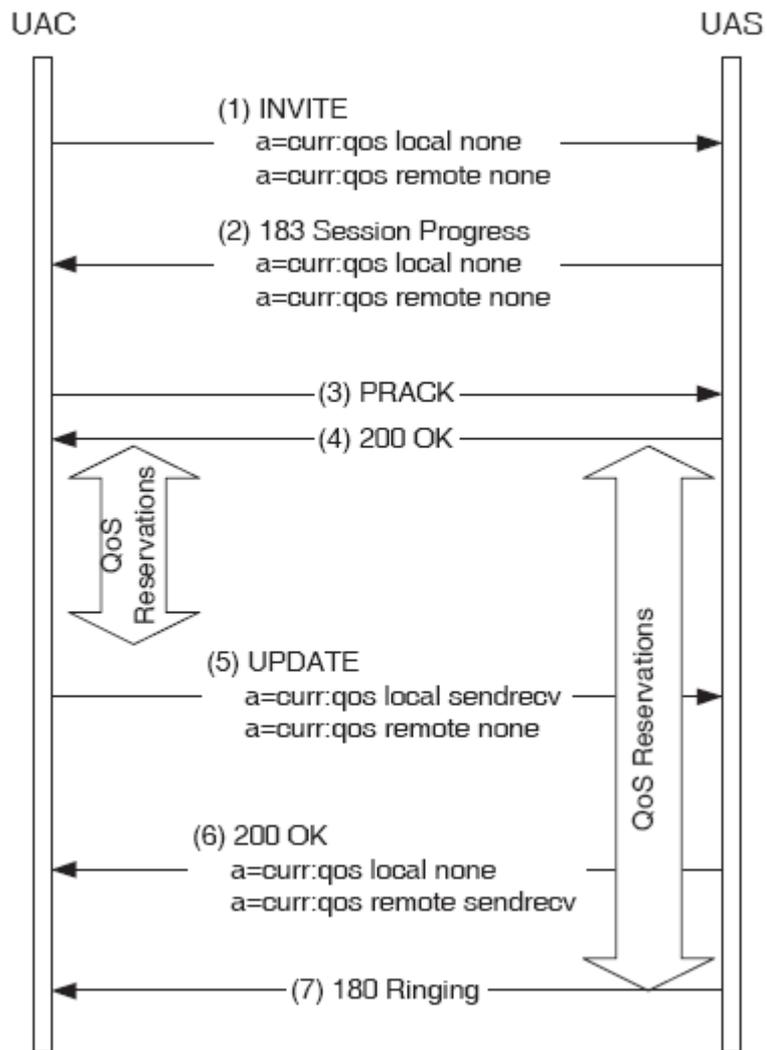


Figura 2.29: O método UPDATE [2]

Na Figura 2.30, uma vez que a primeira descrição de sessão foi trocada, ambos os usuários executam a reserva de QoS em seus respectivos acessos. Quando o agente usuário cliente termina sua reserva, ele envia uma requisição de UPDATE (5) informando ao agente usuário servidor (`a=curr:qos local sendrecv`). Quando o agente usuário servidor finalizar sua reserva de QoS, todas as pré-condições serão encontradas e o usuário chamado será alertado (7).

```

m=audio 20000 RTP/AVP 0
a=curr:qos local sendrecv
a=curr:qos remote none
a=des:qos mandatory local sendrecv
a=des:qos mandatory remote sendrecv
  
```

Figura 2.30: Atualização das condições de QoS corrente

### 2.2.7 - Classes de qualidade de serviço

As classes de serviço definidas pelo 3GPP para classificarem o tipo de serviço, de acordo com o tráfego e as necessidades de desempenho da rede são definidas em [24]. Para a definição das classes de serviço no padrão IMT-2000, as restrições e limitações da interface aérea devem ser levadas em consideração.

Os mecanismos de QoS providos para a rede celular devem ser capazes de atender as demandas específicas de um ambiente sem fio. São propostas quatro diferentes classes de QoS [24]:

- Classe *Conversational*;
- Classe *Streaming*;
- Classe *Interactive*;
- Classe *Background*.

As classes *Conversational* e *Streaming* devem ser usadas para carregar fluxos de tráfego que tenham o perfil de ao vivo. O principal divisor entre estas duas classes é o quanto é sensível o atraso de tráfego especificado.

As classes *Interactive* e *Background* são usadas principalmente nas aplicações tradicionais de Internet, tais como WWW, e-mail, protocolos de gerência (telnet, ssh, snmp), FTP dentre outros.

Conforme [1], as quatro diferentes classes são baseadas segundo o atraso individual, a taxa de bit imposta, a taxa de erro de bit e os requerimentos de prioridade atribuídos aos tráfegos.

### 3 – EDGE - ENHANCED DATA RATE FOR GSM EVOLUTION

Atualmente o GSM (*Global System for Mobile Communications*) se tornou um padrão de comunicações móveis global. Presente em todos os continentes, em mais de 190 países, é o padrão utilizado por mais de 70% da população mundial [32]. Seu desenvolvimento na Europa se deu na faixa de frequência de 900 MHz, recebendo o nome de GSM900 [32]. Devido à ocupação dessa faixa de frequência em outras regiões, o GSM também pode ser encontrado na faixa de 1800 MHz, como na América do Sul, Ásia e Oceania, e na faixa de 1900 MHz, como na América do Norte.

O sistema GSM é baseado na comutação de circuitos, tanto para o tráfego de voz, quanto para o tráfego de dados. Com o crescente aumento do número de pessoas com acesso às redes de dados, criou-se a necessidade de prover estrutura adequada que permita ao usuário o acesso móvel a essas redes, como a Internet.

Os estudos para especificação do GPRS tiveram início em 1994, como parte da fase 2+ das especificações do GSM. Os estudos resultaram em uma rede orientada ao tráfego de pacotes totalmente compatível com a rede GSM, podendo, inclusive, compartilhar canais de sinalização.

O GSM por si só é capaz de transportar pacotes de dados à baixas taxas, cerca de 9,6 kbps. Para isso o usuário ocupa um *time slot* durante toda a conexão. Outras tecnologias, como o CSD, permitem obtenção de taxas maiores através da utilização de mais de um *time slot*. O GPRS permite que o transporte dos pacotes seja feito por alocação de recursos segundo a demanda de tráfego do usuário. Taxas maiores de transmissão no GPRS podem ser obtidas pela diminuição da proteção aos dados e também pela utilização de mais de um *time slot*.

A ITU definiu a taxa de 384 kbps como o limite para um sistema ser enquadrado nos padrões IMT-2000. Isso representa uma taxa de 48 kbps por *time slot*, assumindo uma transmissão utilizando oito *time slots*, taxa alcançada pelo EDGE. O EDGE se torna então um padrão capaz de prover taxas e serviços de terceira geração.

Tecnicamente, o EDGE é primeiramente uma melhoria na interface de rádio, mas em um contexto geral pode ser considerado um sistema que oferece às redes GSM e IS-136 uma gama de novos serviços de transporte. O EDGE provê serviços de terceira geração nas faixas existentes, já que utiliza os mesmos canais de 200 kHz do sistema GSM. Nessa perspectiva, o padrão se torna muito atraente, pois o custo de implantação é menor que o

de sistemas 3G, que exigem uma reestruturação da rede e a aquisição de novas licenças. No caso do EDGE, a mudança se dá apenas na interface aérea. A implantação do EDGE pode também ser utilizada como um teste dos novos serviços que as altas taxas de transmissão propiciarão.

Uma característica fundamental dos sistemas celulares é que usuários diferentes tendem a experimentar diferentes qualidades de canal em termos do nível de *C/I* (*Carrier to Interference*) como consequência de diferentes distâncias em relação à ERB (Estação Rádio Base), fading e interferências. O EDGE parte dessa característica e introduz uma série de novos esquemas de codificação e um novo esquema de modulação aos sistemas GPRS e HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*). Com a utilização do EGDE, o GPRS passa a ser tratado por EGPRS e o HSCSD, por ECSD. Nessa dissertação será abordado apenas o sistema EGPRS.

### **3.1.1 - Arquitetura GSM / GPRS / EDGE**

A arquitetura física do sistema consiste na *Mobile Station* (MS), na *Base Station Subsystem* (BSS) e na *Mobile Switching Center* (MSC). A MS é formada pelo *Mobile Equipment* (ME) e pelo *Subscriber Identity Module* (SIM), que armazena o *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI). O ponto de entrada da rede é a BSS, que é formada pelas *Base Transceiver Station* (BTS), controladas pela *Base Station Controller* (BSC).

Uma BSC pode controlar várias BTS. A comutação das chamadas e a interligação da rede móvel celular com outras redes são feitas pela MSC. Um exemplo da arquitetura do sistema é mostrado na Figura 3.1.

A interface entre a MS e a BTS, entre a BTS e a BSC e entre a BSC e a MSC receberam os nomes de interface Um, Abis e A, respectivamente.

O sistema GSM possui algumas bases de dados necessárias para que os procedimentos de gerência da rede sejam implementados. O *Home Location Register* (HLR) armazena informações administrativas, ou perfil, de cada assinante registrado na rede GSM correspondente, bem como sua localização atual. O *Visited Location Register* (VLR) é responsável por armazenar informações sobre usuários de outra operadora que por acaso

estejam conectados na rede. Essas informações são repassadas pelo HLR da rede de origem da MS visitante.

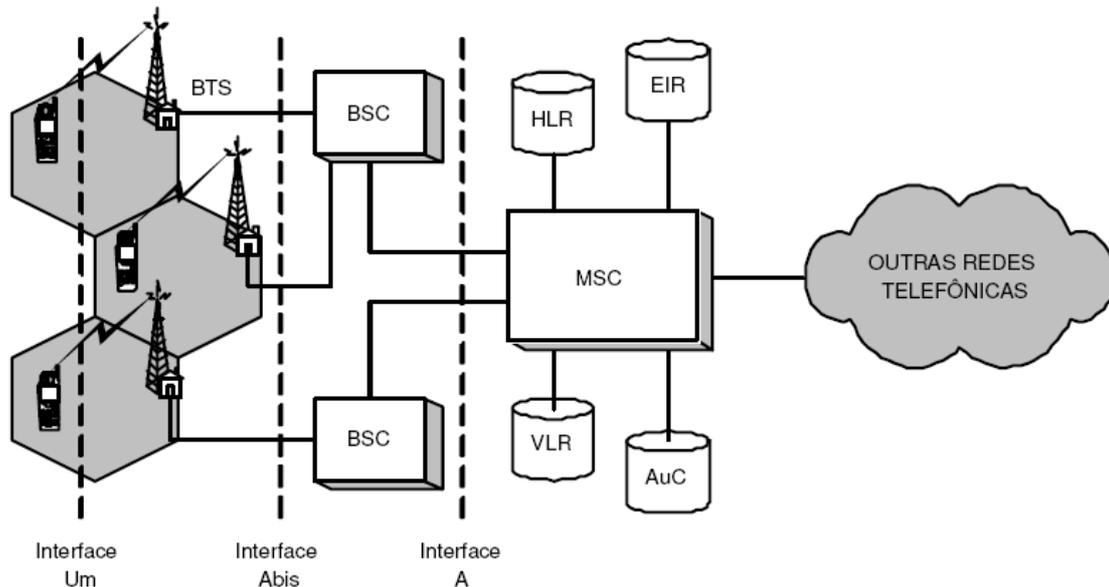


Figura 3.1: Arquitetura do sistema GSM

As informações necessárias para a autenticação do usuário são armazenadas no *Authentication Center* (AuC), que possui uma cópia das chaves, algoritmo A3, A8 e Ki, contida no SIM de cada MS. O *Equipment Identity Register* (EIR) armazena o *International Mobile Station Equipment Identity* (IMEI), espécie de número de série único, presente em todos os MS, necessário durante o acesso à rede. Uma MS só tem acesso à rede com um IMSI e um IMEI válidos.

O sistema GPRS acrescenta às redes GSM dois novos nós: o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e o *Gateway GPRS Support Node* (GGSN). Esses nós são, basicamente, responsáveis pela entrega de pacotes entre as MS e pelo roteamento a redes de pacotes externa. A arquitetura lógica da rede GPRS e as interfaces entre os seus nós pode ser vista na Figura 3.2.

Um sistema GPRS pode conter vários SGSN e a cada SGSN podem estar ligadas várias BSS. Possuindo o mesmo nível hierárquico da MSC, o SGSN é conectado as BSC através da interface Gb. Suas tarefas incluem a transferência de pacotes de ou para as MS que

estiverem em sua área de cobertura, gerenciamento da mobilidade das MS, gerenciamento do enlace lógico e funções de autenticação, cifragem e tarifação.

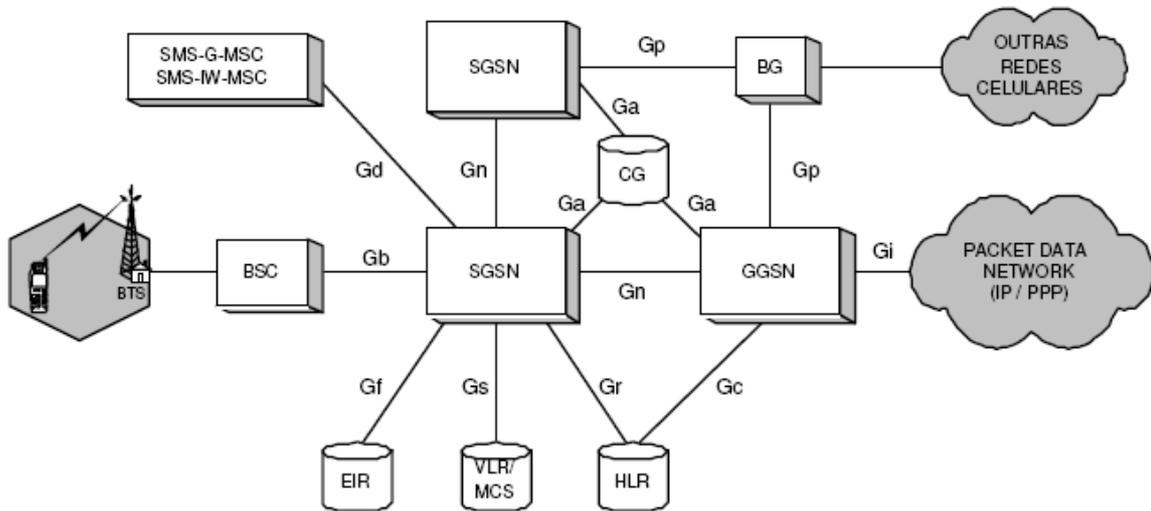


Figura 3.2: Arquitetura do sistema GPRS

Outro nó da rede GPRS, o GGSN, realiza a conexão entre o *backbone* GPRS e as redes de pacotes externas, através da interface Gi. Contém informações de roteamento dos usuários GPRS registrados, de forma a permitir a conversão dos formatos de endereços GSM em formatos de endereços das redes de pacotes externas (IP ou X.25) e vice-versa. Desse modo, o GGSN consegue rotear pacotes vindo das SGSN para outras redes de pacotes, mapeando os respectivos endereços, e encontrar o SGSN em que uma MS está registrada para lhe entregar um pacote.

O SGSN e o GGSN podem estar combinados em um mesmo nó físico ou não, estando ligados através de uma rede IP. A interface entre os GPRS *Support Nodes* (GSN) recebe o nome de Gn. Quando o SGSN e o GGSN forem de redes GPRS diferentes, eles estarão ligados através da interface Gp usando um *Border Gateway* (BG). Similar a interface Gn, a interface Gp contém funcionalidades extras de segurança, necessárias na interconexão de duas redes GPRS diferentes.

Em uma rede GPRS o HLR armazena as informações de roteamento e de assinatura do serviço GPRS do assinante, estando ligado ao SGSN e ao GGSN através das interfaces Gr e Gc respectivamente.

O SGSN pode trocar informações de localização e receber requisições de *paging* por meio da interface Gs, que liga o SGSN ao MSC/VLR. Essa conexão possibilita que procedimentos de registro e atualização da localização, necessários tanto na rede GPRS quanto na rede GSM, sejam combinados. Isso permite, por exemplo, que procedimentos de *paging* da rede GSM possam ser executados pela rede GPRS e vice-versa.

A interface Gf interliga o SGSN ao EIR, permitindo a confirmação do IMEI da MS que está tentando se registrar na rede. A fim de prover o tráfego de *Short Message Service* (SMS) sobre canais GPRS, o *Short Message Service Gateway MSC* (SMS-GMSC) e o *Short Message Service Interworking MSC* (SMS-IW MSC) podem estar ligados a um SGSN via interface Gd.

Com o objetivo de tarifar o tráfego de pacotes, uma plataforma intermediária, chamada de *Charging Gateway* (CG), é interligada aos nós da rede, através da interface Ga. é responsável pela coleta de informações sobre a carga de dados de cada assinante, preparando os dados para o sistema de tarifação.

A implementação do sistema GPRS em redes GSM já existentes não acarretam profundas alterações na arquitetura da rede. Soluções de fabricantes prometem a inclusão de apenas duas novas estruturas físicas, os dois novos nós SGSN e GGSN. A BSC sofreria uma atualização de hardware, sendo acrescentado o *Packet Control Unit* (PCU), para incorporar a gerência dos novos canais de dados. A BTS ficaria, portanto, com mais uma unidade funcional além do *Circuit Control Unit* (CCU).

As estações móveis GPRS são classificadas em três tipos, de acordo com a capacidade de prover ou de se registrar simultaneamente em serviços da rede de comutação de circuitos, GSM, e da rede de comutação de pacotes, GPRS:

- classe A: são capazes de se registrarem e de utilizarem serviços GPRS e GSM simultaneamente;
- classe B: conseguem estar registradas em ambos tipos de serviços, mas só são capazes de operar um tipo de serviço de cada vez;
- classe C: são capazes de estar registradas a somente uma rede.

### 3.1.2 - A interface rádio

O GSM usa o *Time Division Multiple Access* (TDMA) e o *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) como métodos de acesso. O FDMA é utilizado dividindo o espectro disponível para *uplink* e *downlink* em canais de 200kHz e o TDMA dividindo cada canal físico no tempo em oito *time slots*, criando assim oito canais para serem compartilhados por usuários dentro de um único canal físico. Cada MS usa o canal por um *time slot* e aguarda o próximo quadro para usá-lo novamente. Um canal GSM é então definido como um meio de comunicação indicado pela sua frequência e a posição de seu intervalo de tempo correspondente dentro de um quadro TDMA.

Como o sistema é baseado no TDMA, a transmissão da informação é descontínua, e feita em *bursts*, que trafegam em um *time slot*. O tipo de *burst* no *time slot* varia de acordo com o modelo do canal lógico utilizado.

Na rede GSM, o canal que realiza o transporte do tráfego de voz é chamado de *Traffic Channel* (TCH). O tipo de *burst* que trafega nesse canal é o *normal burst*. No *Broadcast Control Channel* (BCCH), o canal de controle do sistema, também trafega *normal bursts*. A estrutura de cada *burst* presente no sistema GSM pode ser vista na Figura 3.3.

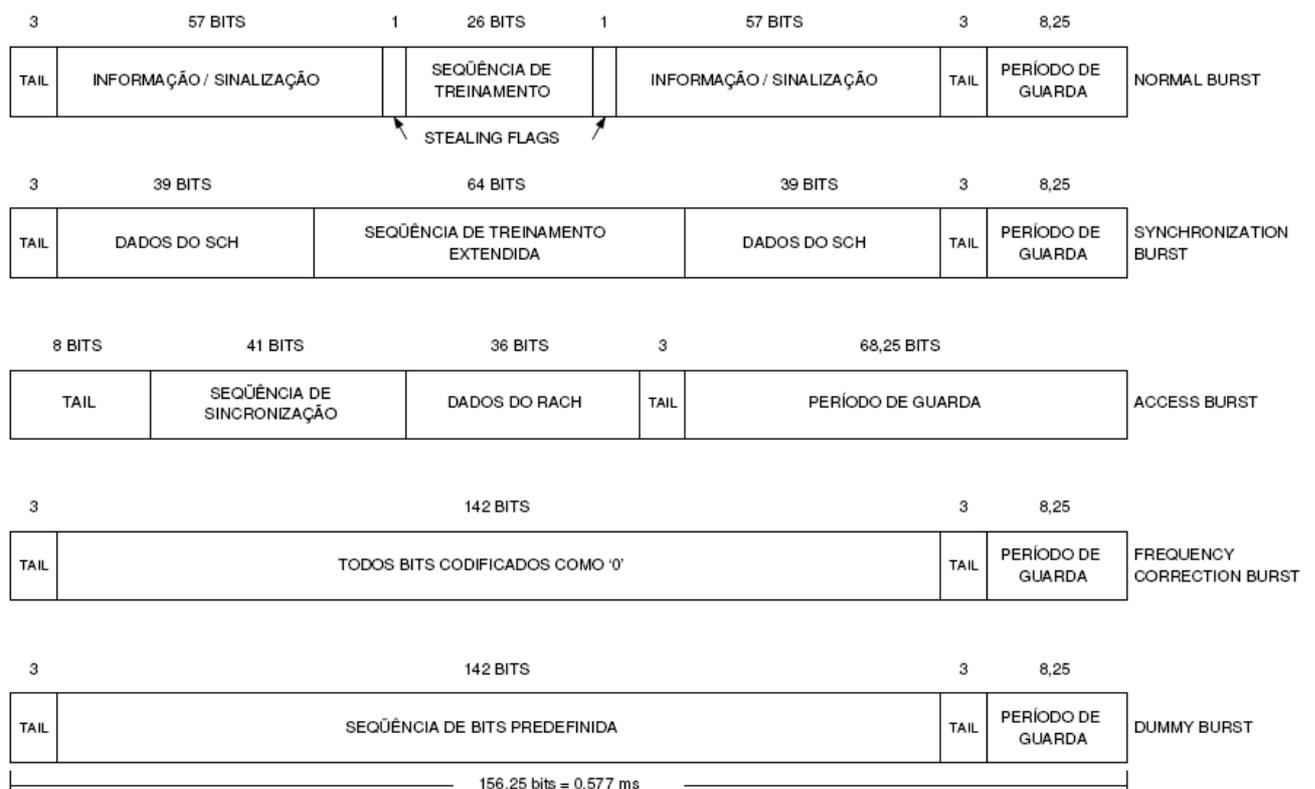


Figura 3.3: Estrutura dos *bursts* no sistema GSM.

O *Synchronization Channel* (SCH) utiliza o *synchronization burst* para enviar uma seqüência de treinamento necessária na decodificação das informações. O *Frequency Correction Channel* (FCCH) é o canal lógico responsável pela correção das diferenças de relógio da MS e da rede GSM. Utiliza o *frequency correction burst*. No acesso à rede por parte da MS é utilizado o *access burst*. Antes do acesso à rede, a MS ainda não sabe o quanto seus quadros estão defasados em relação aos da BTS. Essa defasagem se dá devido à distância entre a MS e a BTS. Na tentativa de aumentar a possibilidade de encaixe no intervalo de leitura dos *time slots* da BTS, o *access burst* foi projetado bem menor que os demais, levando apenas uma seqüência de sincronismo e dados necessários para o acesso. O canal que utiliza o *access burst* é chamado de *Random Access Channel* (RACH), presente apenas no *uplink*. O *dummy burst* é um tipo de *burst* que carrega uma seqüência de bits pré-definida, sendo utilizado no BCCH sempre que não há informação a ser transmitida.

Existem outros tipos de canais lógicos: o *Paging Channel* (PCH) que é utilizado na transmissão de *pagings* para as MS; o *Associated Control Channel* (ACCH), responsável pela troca de sinalização, como *timing advance* ou controle de potencia, entre a MS e a BTS.

A menor unidade do sistema de multiplexação por divisão de tempo é o bit de dados. O período de cada bit é de  $3,69\mu\text{s}$ . Um *time slot* tem 156,25 bits de dados (147 bits úteis), com um período equivalente de  $576,92\mu\text{s}$ , aproximadamente  $577\mu\text{s}$ . Um quadro TDMA no GSM é formado pelos *time slots* de todos os usuários do canal, ou seja, por oito *time slots*, tendo portanto  $4,615\text{ms}$  de período. Os quadros são agrupados em estruturas maiores denominadas multiquadros. Há dois tamanhos de multiquadros, os multiquadros de 26 quadros e os multiquadros de 51 quadros. Os multiquadros são ainda agrupados para formar os chamados superquadros. O superquadro possui 51 multiquadros 26 ou 26 multiquadros 51. A combinação de 51 superquadros forma ainda o hiperquadro. A hierarquia de quadros no GSM pode ser vista na Figura 3.4.

A estrutura hierárquica dos quadros é necessária para a divisão dos canais físicos em canais lógicos, para o tráfego de sinalização. A cada multiquadro, por exemplo, um dos *time slots* de canais físicos de tráfego é usado para transportar informações de controle, ou seja, um *time slot* a cada  $120\text{ms}$ .

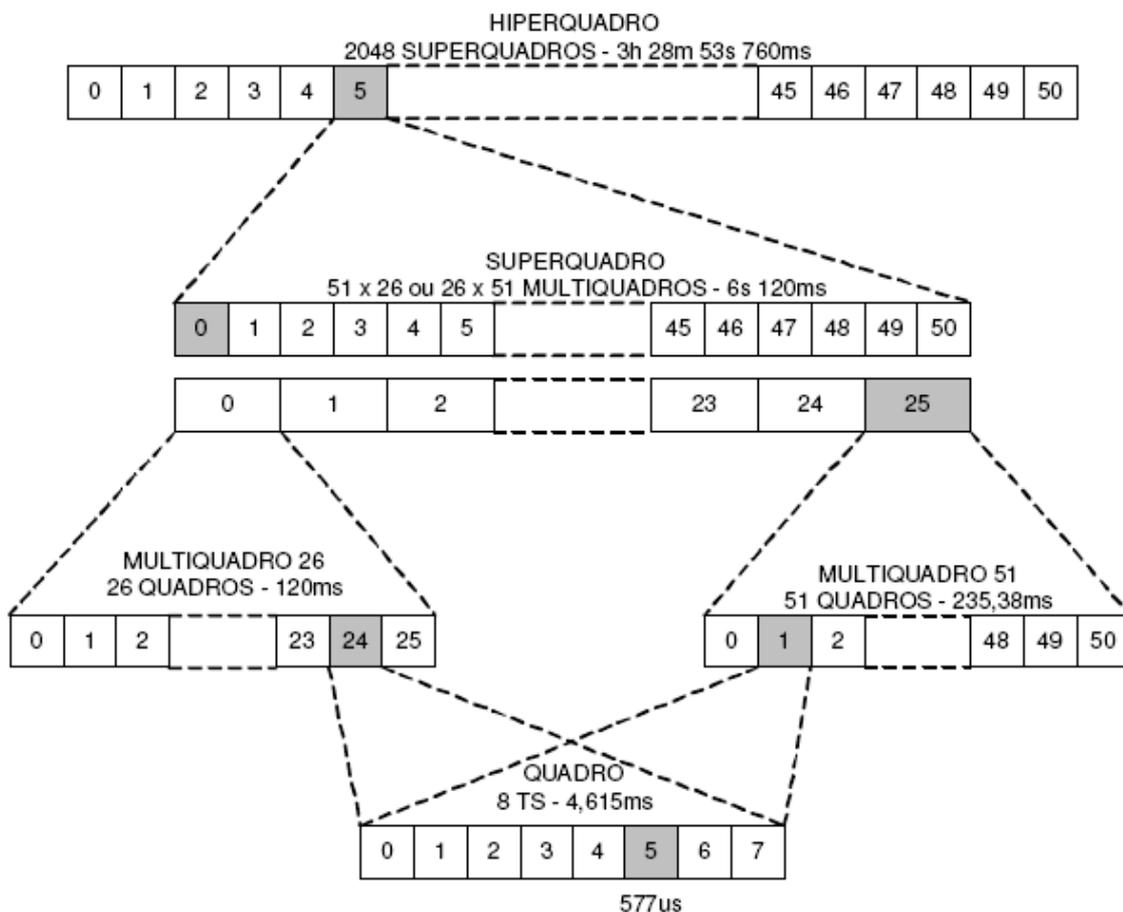


Figura 3.4: Hierarquia de quadros no GSM

A necessidade de transporte de dados nas redes GSM foi suprida pela capacidade de cada *time slot*, utilizando a tecnologia CSD. Para proporcionar taxas maiores, vários *time slots* podem ser utilizados por um único usuário, aprimoramento realizado pela tecnologia HSCSD. Esses métodos de transporte utilizam a comutação de circuitos, com o *time slot* ficando retido durante todo o período de conexão.

Toda informação a ser transmitida no enlace aéreo do sistema GSM utiliza a modulação *Gaussian Minimal Switch Key* (GMSK).

### 3.1.2.1 Interface aérea GPRS/EDGE

O sistema GPRS compartilha a mesma interface de rádio que o sistema GSM. A estrutura de quadros utilizada no GPRS diferencia um pouco da utilizada no GSM. Um multiquadro no GPRS possui 52 quadros. Essa estrutura pode ser vista na Figura 3.5.

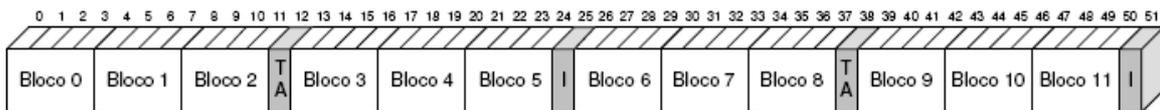


Figura 3.5: Estrutura do multiquadro-52

Cada bloco, chamado de radio block, é constituído de quatro repetições consecutivas do mesmo time slots. Os doze blocos, os blocos de 0 a 11 na Figura 3.5, são responsáveis pelo tráfego de dados. Dois time slots são reservados para Timing Advance (TA), havendo, portanto, troca de sinalização. Dois são nomeados como Idle. Nesse período, as medições de interferência no canal são realizadas. Essa estrutura tem um período aproximado de 240ms ( $52 \times 8$  períodos de time slot =  $52 \times 8 \times 0,577$ ms), o que resulta em uma média de envio de um radio block a cada 20ms. No GPRS os radio blocks são independentes no downlink e no uplink.

Um time slot em uma determinada frequência, quando utilizado para o tráfego de dados, recebe o nome de *Packet Data Traffic Channel* (PDTCH), que é análogo ao TCH do sistema GSM. Esse tipo de canal, no GPRS, utiliza a estrutura multiquadro-52. O PDTCH utiliza o normal burst em sua comunicação, sua capacidade de carga é de 114 bits por time slot. Um radio block tem, portanto, uma capacidade de 456 bits de informação.

Os canais lógicos da rede GPRS são, da mesma forma que o PDTCH, baseados nos canais da rede GSM. A Tabela 3.1 apresenta um resumo dos canais lógicos presentes na rede GPRS, bem como sua função.

Tabela 3.1: Canais lógicos utilizados na rede GPRS

Nome	Sigla	Função
<i>Packet Data Traffic Channel</i>	PDTCH	Transporte de dados
<i>Packet Random Access Channel</i>	PRACH	Acesso à rede
<i>Packet Access Grant Channel</i>	PAGCH	Atribuição de recursos
<i>Packet Notification Channel</i>	PNCH	Notificação <i>multicast</i>
<i>Packet Paging Channel</i>	PPCH	<i>Paging</i>
<i>Packet Broadcast Control Channel</i>	PBCCH	Controle <i>broadcast</i> do sistema
<i>Packet Associated Control Channel</i>	PACCH	Sinalização associada
<i>Packet Timing Control Channel</i>	PTCCH	Controle de <i>Timing Advance</i>

A transmissão de pacotes na interface aérea é problemática, uma vez que existem várias MS dividindo um ou mais PDTCH. No *downlink* a rede pode identificar o endereço de cada MS e controlar a utilização dos canais. No *uplink* a situação é crítica, pois transmissões de várias MS poderão colidir. No acesso inicial o *Slotted Aloha* pode ajudar, mas durante o envio de dados será necessária a utilização de um controle por parte da rede.

A transmissão de pacotes na interface aérea ocorre com o estabelecimento de um *Temporary Block Flow* (TBF), identificando uma série de blocos de uma MS. Um TBF é identificado por um *Temporary Flow Identifier* (TFI). Um número de *time slots* é atribuído para a MS, que monitora o canal analisando o TFI de cada bloco, de forma a coletar blocos direcionados para si.

No *uplink*, foram padronizadas algumas formas de alocação de recursos. Na alocação fixa de recursos, a rede passa um bitmap às MS identificando os *radio blocks* habilitados para a transmissão de pacotes. A alocação dinâmica de recursos é baseada na utilização do *Uplink State Flag* (USF), parte integrante do cabeçalho da camada MAC. O USF do *radio block* N do *downlink* identifica o usuário do *radio block* N + 1 do *uplink*. O USF é formado por três bits, conseguindo identificar até sete usuários diferentes por *time slot*. Indica também quando o PDTCH é utilizado como *Packet Random Access Channel* (PRACH). No acesso a MS informa o valor da granularidade, zero ou um, podendo utilizar um ou quatro *radio blocks* no *uplink*.

O acesso inicial à rede é feito através do envio de uma requisição de conexão no PRACH. O acesso também pode ser feito via RACH se não houver um PRACH disponibilizado na célula. A disputa por um PRACH é realizada de acordo com o mecanismo *Slotted Aloha*. O PRACH utiliza o *access burst*.

### 3.1.3 - Arquitetura do protocolo GPRS/EDGE

A arquitetura do protocolo GPRS pode ser dividida, de acordo com a função de transmissão ou de controle, no plano de transmissão e de sinalização. O plano de transmissão consiste em uma estrutura de camadas de protocolos com o objetivo de transmitir informações dos usuários através da rede, executando também, procedimentos de controle de fluxo, detecção e correção de erros. O esquema da estrutura dos protocolos pode ser visto na Figura 3.6. As camadas responsáveis pela interface aérea do sistema estão destacadas em cinza na Figura 3.6.

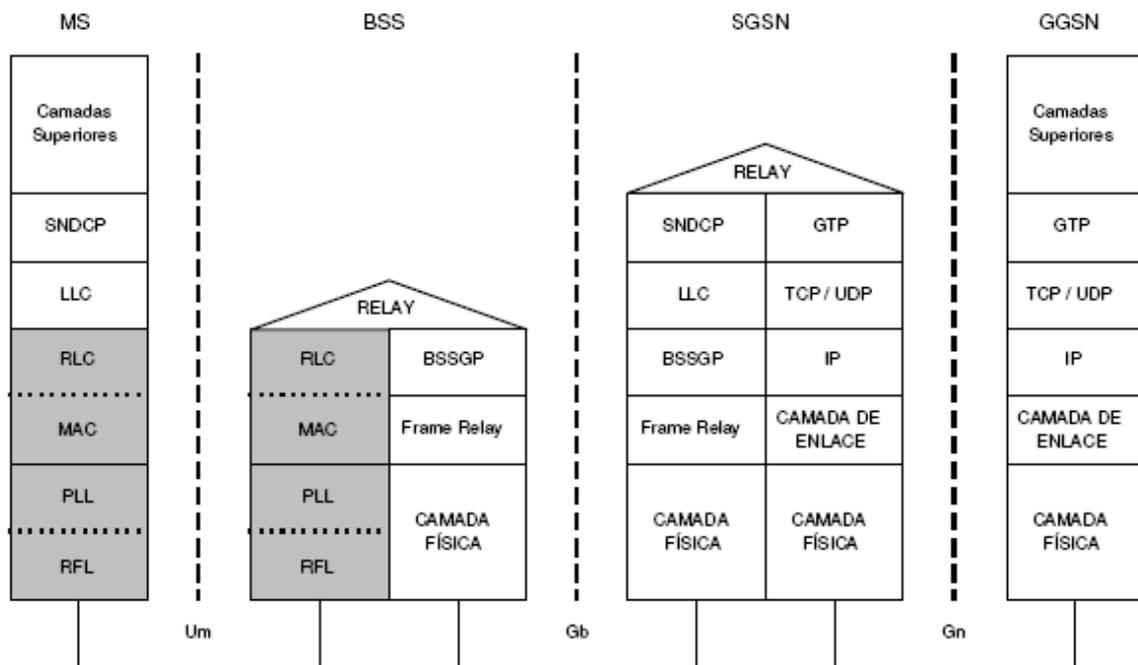


Figura 3.6: Plano de transmissão GSM/GPRS

Entre dois GSN, que podem ser tanto o SGSN quanto o GGSN, o *GPRS Tunnel Protocol* (GTP) faz o tunelamento dos pacotes de dados e sinalização através do *backbone* da rede GPRS. Os nós podem fazer parte de uma mesma rede, como por exemplo, quando a informação deve ser repassada do SGSN ao GGSN pela interface Gn, ou de redes diferentes, como quando o tráfego for entre SGSN de operadoras diferentes, que ocorre pela interface Gp. Os dois exemplos de roteamento podem ser vistos na Figura 3.7.

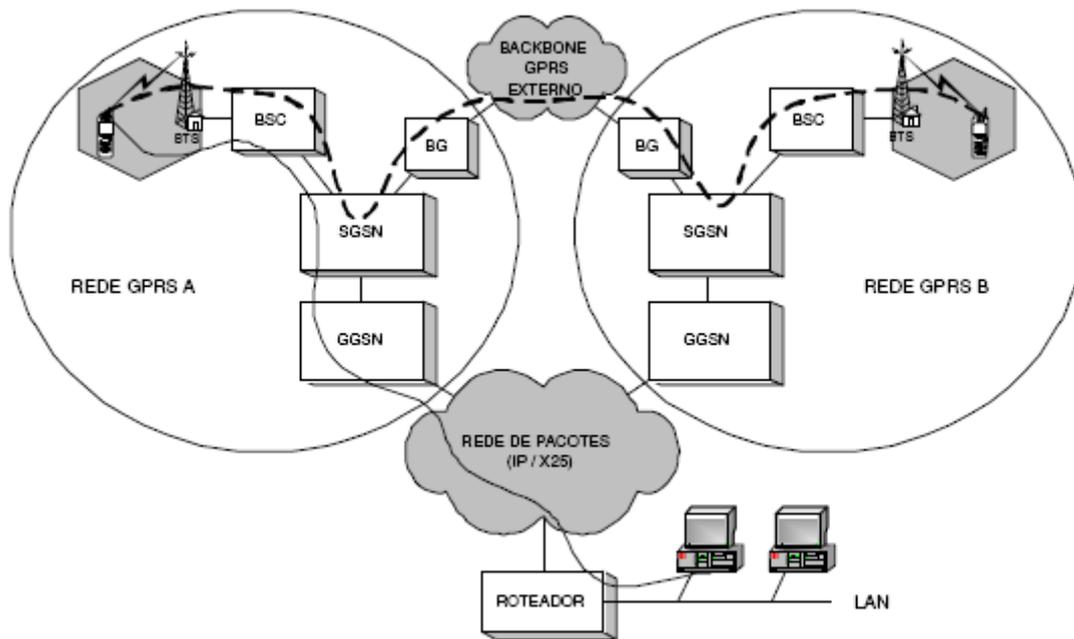


Figura 3.7: Modos de roteamento na rede GPRS [22]

Como pode ser visto na Figura 3.6, o *backbone* GPRS é uma rede IP e os protocolos *Transmission Control Protocol* (TCP) [42] e *User Datagram Protocol* (UDP) [43] são usados. O protocolo TCP é usado quando o GTP encapsula pacotes X.25. Quando os pacotes forem IP, o UDP é utilizado. A camada inferior pode utilizar protocolos Ethernet, RDSI ou ATM, de acordo com a arquitetura da rede da operadora.

O *Base Station Subsystem GPRS Protocol* (BSSGP) fornece informações de qualidade de serviço, QoS, e roteamento para facilitar a transferência de dados entre o BSS e o SGSN. Quadros que chegam à PCU passam pelo BSSGP onde as mensagens de dados do usuário e de sinalização são separadas em quadros LLC. Uma rede *Frame Relay* fornece um enlace confiável entre o BSS e o SGSN.

A transferência de pacotes entre a MS e o SGSN é realizada, no nível de camada de rede, através do *Subnetwork Dependent Convergence Protocol* (SNDCP). Essa camada realiza a multiplexação das várias conexões da camada de rede em um único enlace lógico sobre a subcamada *Logical Link Control* (LLC), e serviços de compressão e cifragem. Realiza a segmentação dos dados em quadros da camada LLC.

O SNDCP suporta a transmissão e a recepção de *Packet Data Units* (PDUs) entre a MS e o SGSN no modo com reconhecimento ou sem reconhecimento. No modo de transferência

com reconhecimento, o número máximo de bytes que o campo de informação de um quadro LLC pode conter é 1520 bytes. No modo sem reconhecimento, o número máximo de bytes contidos no campo de informação de um quadro LLC é 500 bytes. No lado do receptor, o SNDCP remonta os quadros LLC recebidos antes de efetuar a descompressão dos dados.

A interface de rádio entre a rede GPRS e a MS, a interface Um, é definida pelas funcionalidades das camadas física e de enlace de dados. A camada de enlace de dados foi dividida em duas subcamadas. A superior, a LLC, provê um enlace lógico entre a MS GPRS e o SGSN. A LLC realiza tarefas de cifragem, controle de seqüência, de fluxo, detecção de erros e retransmissão, o *Automatic Repeat Request* (ARQ). Os PDUs, vindos das camadas superiores, são segmentados em quadros, que podem possuir diversos tamanhos. Possui dois modos de transmissão: com ou sem confirmação. No primeiro modo, o serviço de confirmação de chegada correta de pacotes e de retransmissão em caso de erros é implementado, enquanto que no segundo não há confirmação.

A subcamada inferior se divide na *Radio Link Control* (RLC) e na *Medium Access Control* (MAC), responsável pelo compartilhamento dos canais de rádio com várias MS. A RLC provê a comunicação de rádio entre a MS e a BSS, realizando a transmissão de blocos de dados, segmentação e remontagem dos quadros vindos da LLC. Os quadros LLC são segmentados em blocos de dados que, de acordo com o esquema de codificação, podem assumir tamanhos variados. A esses blocos são acrescentados ou não esquemas para proteção dos dados para em seguida serem repassados na camada MAC.

A MAC opera entre a MS e a BTS. Com o protocolo baseado no *Slotted Aloha*, durante o acesso ao canal de rádio, controla as tentativas dos vários assinantes e o acesso pelo lado da rede nas estações já conectadas, oferece os serviços de mapeamento dos blocos da subcamada RLC no canal físico GSM, implementa a multiplexação dos usuários nos canais de dados, os *Packet Data Traffic Channel* (PDTCH), e organiza o esquema de prioridades baseado no QoS negociado. A MAC é a responsável por permitir que as MS utilizem vários canais de dados em paralelo, isto é, vários *time slots* de um quadro TDMA.

As subcamadas *Physical Link Sublayer* (PLL) e *RF Sublayer* (RFL) formam a camada física do sistema. A PLL provê serviços de transferência de informação sobre o canal físico entre a MS e a rede. Essas funções incluem enquadramento das unidades de dados, codificação de dados, detecção e correção dos erros do meio de transmissão físico e

procedimentos de detecção de congestionamento no enlace. A função da camada RFL inclui modulação e demodulação.

O GPRS utiliza alguns planos de sinalização consistindo nos protocolos de controle e provimento das seguintes funções do plano de transmissão:

- controle das conexões de acesso da rede GPRS, como os procedimentos de conexão e desconexão;
- controle dos atributos de uma conexão, como a ativação do endereço de *Packet Data Protocol* (PDP), a ser descrito adiante;
- controle do caminho de roteamento de uma conexão, a fim de prover a mobilidade do usuário;
- controle da atribuição dos recursos da rede.

O plano de sinalização MS-SGSN pode ser visto na Figura 3.8. O protocolo *GPRS Mobility Management and Session Management* (GMM/SM) é responsável pelo gerenciamento da mobilidade, de segurança, atualização da área de roteamento e da localização da MS, ativação e desativação do contexto de PDP.

Os outros planos de sinalização não serão mostrados, devido a sua menor importância a este trabalho. São os seguintes planos responsáveis pela troca de sinalização entre as entidades envolvidas:

- SGSN - HLR;
- SGSN - MSC/VLR;
- SGSN - EIR;
- SGSN - SMS-GMSC ou SMS-IW MSC;
- GSN - GSN;
- GGSN - HLR;
- MAP-based GGSN - HLR Signalling, e
- GTP e MAP-based GGSN - HLR Signalling.

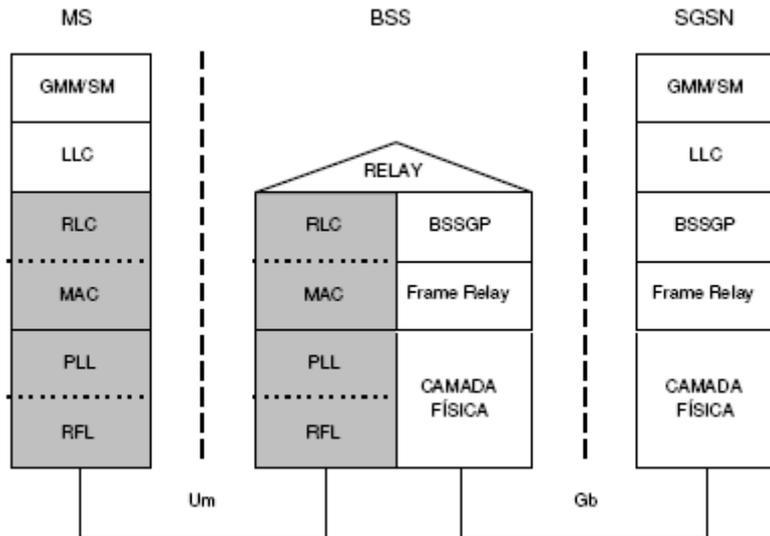


Figura 3.8: Plano de sinalização entre a MS e o SGSN

### 3.1.4 - Esquemas de codificação do canal GPRS

O GPRS introduz o conceito de controle de qualidade do enlace, *Link Quality Control* (LQC), para as conexões de comutação de pacotes. O controle de qualidade adapta a proteção dos dados à qualidade do canal de forma a obter a melhor taxa de transmissão. A técnica de LQC utilizada no GPRS é chamada de adaptação do enlace, *Link Adaptation* (LA). Com a adaptação do enlace o sistema escolhe a melhor taxa de codificação para as condições do canal previamente avaliado.

A escolha do esquema de codificação é feita baseada em medidas no canal, tentando maximizar a taxa de transmissão de bits. Essas medidas reportam valores da relação sinal por interferência, *Carrier to Interference* (C/I). Para valores baixos, esquemas com mais proteção são selecionados, pois o código corretor consegue corrigir eventuais erros. Esquemas com pouca proteção só são utilizados para altas relações de C/I.

No GPRS são utilizados quatro tipos diferentes de esquemas de codificação, os chamados *Coding Scheme* (CS), divididos em CS-1, CS-2, CS-3 e CS4. A opção pela utilização dos esquemas é feita na camada RLC, e resulta em *radio blocks* com quantidades de bits de

dados do usuário diferentes, mas sempre com uma quantidade total de 456 bits ao final da operação, como pode ser visto nas Tabela 3.2 e Tabela 3.3.

Tabela 3.2: Detalhes dos esquemas de codificação

Esquema	Informação	USF			Bits de Enchimento	Total
		Pré-codif. (bits)	BCS			
CS-1	181	3	40		4	228
CS-2	268	6	16		4	294
CS-3	312	6	16		4	338
CS-4	428	12	16		0	456

Tabela 3.3: Esquemas de codificação utilizados no GPRS.

Esquema	Bits por RB	Taxa de Codificação	Total	
			após Codificação	Bits Retirados Total
CS-1	228	1/2	456	0 456
CS-2	294	1/2	588	132 456
CS-3	338	1/2	676	220 456
CS-4	456	1	456	0 456

O USF é pré-codificado nos esquemas CS-2, CS-3 e CS-4 para promover a detecção de erros. O Block Check Sequence (BCS) é um código utilizado na detecção de erros.

Os PDTCH podem usar qualquer um dos quatro esquemas na transmissão de blocos de dados RLC. Porém, para os radio blocks carregando blocos de controle apenas o CS-1 é utilizado.

Na padronização do GPRS, é previsto que a MS poderá utilizar até oito *time slots*, sempre de um mesmo canal. A Tabela 3.4 apresenta a classificação das MS de acordo com a capacidade de utilização simultânea de *time slots*.

Tabela 3.4: Classes multi-slot

Classe	<i>Slots downlink</i>	<i>Slots uplink</i>
1	1	1
2	2	1
3	2	2
4	3	1
5	2	2
6	3	2
7	3	3
8	4	1
9	3	2
10	4	2
11	4	3
12	4	4

Cada quadro RLC é transmitido em um *radio block*. O período médio de cada *radio block* é de 20ms. As taxas de transmissão obtidas por esquema de codificação são mostradas na Tabela 3.5. É importante salientar que as taxas mostradas são obtidas com apenas uma MS utilizando o *radio block*.

Tabela 3.5: Taxa de transmissão por esquema de codificação

Esquema	Taxa de transmissão (kbps)		
	<i>1 time slot</i>	<i>4 time slots</i>	<i>8 time slots</i>
CS-1	9,05	36,2	72,4
CS-2	13,4	53,6	107,2
CS-3	15,6	62,4	124,8
CS-4	21,4	85,6	171,2

### 3.1.5 - Esquemas de codificação do canal EGDE

O sistema GSM utiliza a modulação GMSK na transmissão dos dados na interface aérea. Esse esquema também é utilizado no GPRS. O EDGE introduz a modulação 8-PSK na forma de novos esquemas utilizados na interface aérea. Dessa forma, pelo fato do 8-PSK enviar três bits por símbolo, a taxa de transmissão do GPRS pode ser aumentada. O GPRS

utiliza quatro esquemas de codificação. O EGPRS utiliza nove esquemas diferentes, chamados de *Modulation and Coding Schemes* (MCS). Os detalhes de cada esquema podem ser vistos na Tabela 3.6. A taxa de transmissão mostrada nessa tabela é por *time slot*, podendo ser multiplicada por oito para atingir a taxa máxima de transmissão teórica de 473,6 Kbps (59,2 x 8).

Tabela 3.6: Detalhes dos esquemas de codificação utilizados no EGPRS [16]

Esquema	Taxa de Codificação	Modulação	Dados em um <i>Radio Block</i>	Família	Taxa de Transmissão (kbps)
MCS-1	0,53	GMSK	176	C	8,8
MCS-2	0,66	GMSK	224	B	11,2
MCS-3	0,80	GMSK	296	A	14,8
MCS-4	1	GMSK	352	C	17,6
MCS-5	0,37	8PSK	448	B	22,4
MCS-6	0,49	8PSK	592	A	29,6
MCS-7	0,76	8PSK	896	B	44,8
MCS-8	0,92	8PSK	1088	A	54,4
MCS-9	1	8PSK	1184	A	59,2

Os MCS estão divididos em famílias de forma a propiciar a utilização de esquemas diferentes durante retransmissões. Cada família possui unidades básicas de carga diferentes, com 37 (34), 28 e 22 octetos. Taxas de codificação diferentes podem ser obtidas com uma família, utilizando diferentes números de unidades em um *radio block* [23]. Para as famílias A e B, uma, duas ou quatro unidades básicas são transmitidas, enquanto que para a família C são transmitidas uma ou duas unidades. A Figura 3.9 ilustra as estruturas de blocos para cada família.

Quando quatro unidades de carga são transmitidas (MCS-7, MCS-8 e MCS-9), a transmissão ocorre em dois blocos RLC. Quando há a troca de MCS-8 para MCS-3 ou MCS-6, três ou seis *padding* octetos respectivamente são adicionados aos dados.

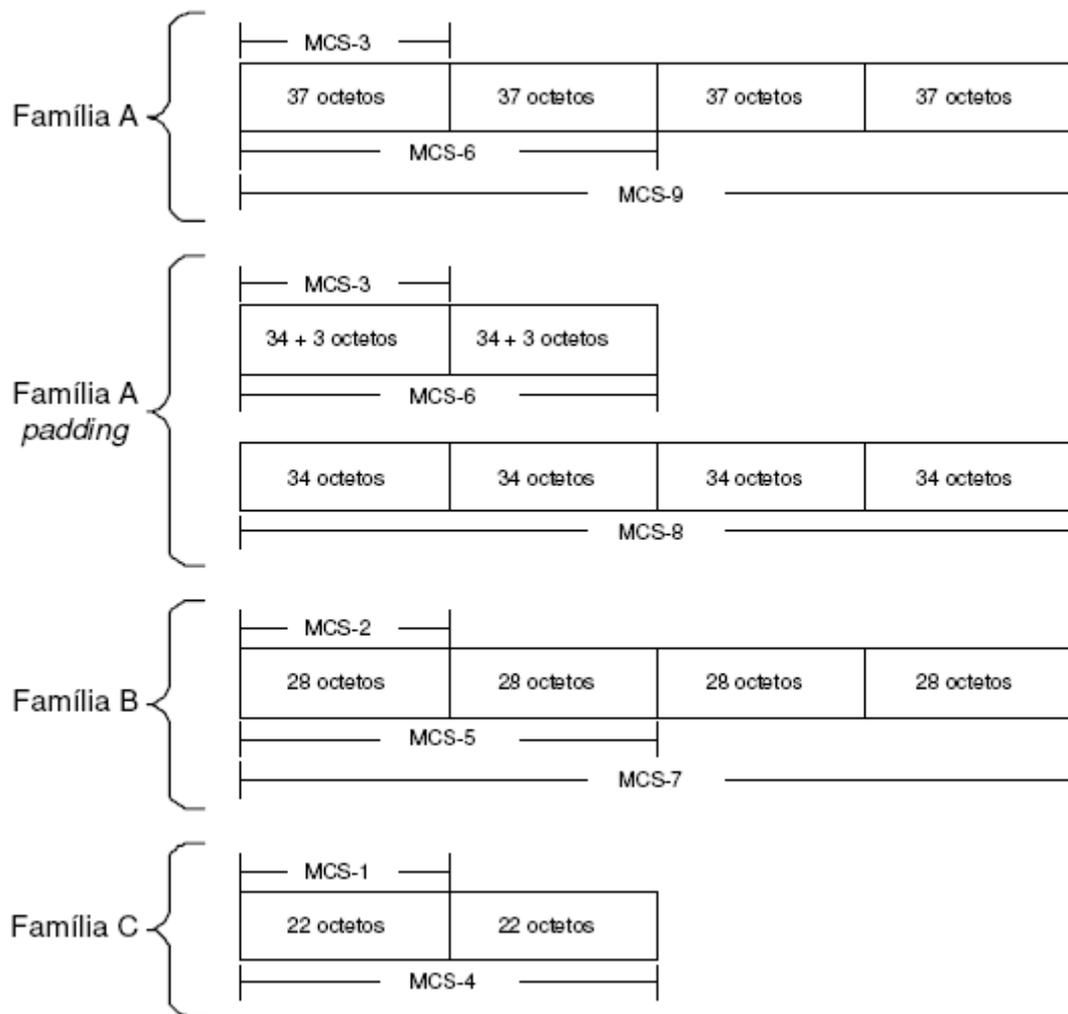


Figura 3.9: Estrutura das famílias de MCS [16]

### 3.1.6 - Qualidade do canal em sistema EDGE

Os diferentes esquemas de codificação são selecionados de acordo com a qualidade do canal. Quanto menor o nível de  $C/I$ , mais robusto deve ser o esquema selecionado. Esse nível de  $C/I$  está intimamente ligado à taxa de erro de bit, *Bit Error Rate* (BER), no canal de comunicação. Essa relação, própria de cada esquema de modulação, advém da probabilidade do símbolo ser interpretado de forma errada. Para esquemas com maior quantidade de símbolos, essa probabilidade é maior.

No EDGE, para a avaliação de cada esquema de codificação, que diferem na taxa de codificação, é mais adequado utilizar a taxa de erro de bloco, *Block Error Rate* (BLER), pois já leva em consideração a eficiência da codificação. A relação entre a quantidade de bits enviados por *radio block* e a BLER de cada esquema proporciona a escolha do esquema ótimo para cada nível de  $C/I$ .

O EDGE aplica o chamado controle de qualidade do enlace com o objetivo de adaptar a proteção dos dados à qualidade do canal. A escolha do esquema é feita de forma a maximizar a taxa de transmissão de bits durante as variações de C/I. Durante uma conexão, a maioria dos usuários experimenta um C/I na ordem de 20 a 30 dB [29]. Os esquemas que utilizam a modulação GMSK têm sua taxa de transmissão saturada em níveis próximos a esses valores. O sistema EDGE tira proveito das melhores condições nos canais para aumentar sua taxa de transmissão, fazendo uso da modulação 8-PSK.

O EDGE provê um esquema de controle de qualidade do canal que combina as técnicas de adaptação do enlace e de redundância incremental [30]. O esquema de adaptação do enlace estima regularmente a qualidade do canal e seleciona a modulação e o esquema de codificação mais apropriado, de forma a maximizar o *throughput*. Na redundância incremental, a informação primeiramente é enviada com pouca ou nenhuma proteção, produzindo uma alta taxa de transmissão se a decodificação obtiver sucesso. Se a decodificação falhar, esquemas com maior proteção são selecionados nas retransmissões até que a decodificação obtenha sucesso.

O esquema provido pelo EDGE é uma combinação dos dois sistemas. Inicialmente são efetuadas medições da qualidade do canal com o objetivo de chegar ao esquema de codificação ideal que será utilizado na redundância incremental. Dessa forma, o atraso provocado pelo processo de obtenção da taxa inicial é minimizado.

Quando utilizando o procedimento de redundância incremental, o receptor deve possuir memória suficiente para armazenar informações sobre os blocos com insucesso na decodificação [30]. O transmissor irá então transmitir o bloco com maior codificação. No caso da adaptação do enlace o receptor descarta os blocos com problemas na decodificação. A adaptação do enlace é o procedimento padrão e a redundância incremental é implementada opcionalmente. Nas simulações realizadas nessa dissertação foi considerado apenas o processo de adaptação do enlace.

Informações sobre esquemas de codificação e formato dos dados utilizados no *radio block* são enviados no cabeçalho do bloco. Em [17] o processo de adaptação do enlace para o EDGE é descrito. As medições da qualidade são realizadas durante os *idle blocks* do multiquadro-52, tanto pela MS quanto pela rede. Quando realizadas pela MS, são reportadas à rede através das mensagens de ARQ ou de conexão. As medições geram valores de BLER médio e de desvio padrão para quatro *radio blocks* seguidos. A escolha é

feita mapeando-se esses valores em uma matriz com limiares de decisão de esquemas de codificação previamente decididos. De acordo com a recomendação, a definição dos valores desses limiares fica a cargo de cada operadora.

Para suportar o EDGE as MS devem possuir um transceptor 8-PSK. Foram padronizadas duas classes de MS. Na primeira o novo esquema de modulação 8-PSK está disponível apenas no *downlink*. O *uplink* é efetuado utilizando os esquemas que utilizam a modulação GMSK. A segunda provê transmissões utilizando 8-PSK em ambas as direções [15].

### 3.1.7 - Gerenciamento da Mobilidade

O gerenciamento da mobilidade trata da lógica de atualização da posição da MS de forma a permitir que pacotes sejam roteados de forma mais rápida. Para tanto, é criado um contexto de gerenciamento de mobilidade, *Mobile Management context (MM context)*, entre a MS e o SGSN, com informações necessárias para manter a localização da MS atualizada. Desse modo o tempo despendido com o *paging* é diminuído, reduzindo, portanto, o atraso na entrega dos pacotes. Sabendo disso, o ideal seria que o controle fosse efetuado no nível de célula. Por outro lado, um excesso de atualizações das MS congestionaria o canal de *uplink* e comprometeria o tempo de utilização da bateria das MS.

Para contornar esse problema, a área de localização, que é o conjunto de todas as células sob a administração de uma mesma operadora, é dividida em áreas menores, chamadas de áreas de roteamento, *Routing Area (RA)*. Um SGSN pode controlar várias RAs. A atualização do contexto deve ocorrer a cada troca de célula ou a cada troca RA, de acordo com o estado do tráfego de pacotes da MS. O contexto de MM carrega a identidade da célula, *Cell Identity (CI)*, e a identidade da RA, *Routing Area Identity (RAI)*, que a MS se encontra.

Portanto, de acordo com o estado do tráfego da MS, foram definidos 3 (três) estados de gerenciamento de mobilidade [19], cada qual com uma diferente frequência de atualização da localidade. São eles:

- Estado inativo (*idle*) - nesse estado o assinante não se encontra registrado na rede GPRS/EDGE, portanto, não há contexto de roteamento nem informação sobre a localização da MS. A atualização de localização não é implementada e a rede

GPRS/EDGE não sabe onde se encontra a MS. A transmissão de dados de/para a MS e o processo de *paging* não são possíveis. Para que o contexto de MM seja criado, é necessária a realização do procedimento de conexão, que será discutido posteriormente.

- Estado de espera (*stand by*) - o assinante está registrado na rede e há um contexto de MM estabelecido. A atualização da localidade no estado de espera é executada somente quando a MS muda de RA. Para isso a MS envia ao SGSN a requisição de atualização de RA. A atualização de RA pode ser de dois tipos: intra SGSN, quando a MS passa para uma RA sob responsabilidade de um mesmo SGSN, ou entre SGSN, quando as RAs são administradas por SGSN diferentes. O enlace LLC entre a MS e a SGSN não sofre modificações nos *handoffs* intra SGSN.
- Estado ativo (*ready*) - a atualização da localização da MS, quando nesse estado, é feita ao nível de célula. O contexto de MM possui então a informação precisa de qual célula do RA a MS está.

Quando no modo de espera, a MS responde aos processos de *paging* das redes GPRS/EDGE e GSM. A recepção e transmissão de dados não são possíveis, pois o contexto de PDP se encontra desativado. Quando for necessário o envio de dados ou sinalização, o SGSN envia na RA em que se encontra a MS a requisição de *paging*. Ao responder a requisição, o estado de gerenciamento de mobilidade da MS e do SGSN passa a estar ativo. O mesmo acontece quando o envio de dados ou sinalização partir da MS. O estado de gerenciamento de mobilidade é mudado para inativo sempre que o temporizador de *stand by* expirar ou se o procedimento de desconexão for executado pela MS ou pelo SGSN. O contexto de gerenciamento de mobilidade e de roteamento são então apagados.

Quando no modo ativo, a MS pode enviar e receber pacotes de dados, e as requisições de *paging* de serviços não GPRS/EDGE podem ser feitas pelo SGSN. Há um temporizador indicando o tempo em que a MS se encontra ativada e sem enviar dados. O contexto de MM é alternado para o modo espera quando esse temporizador expira. A mudança direta para o estado inativo ocorre quando o procedimento de desconexão é executado. Um resumo dos eventos necessários para a mudança de estados pode ser visto na Figura 3.10.

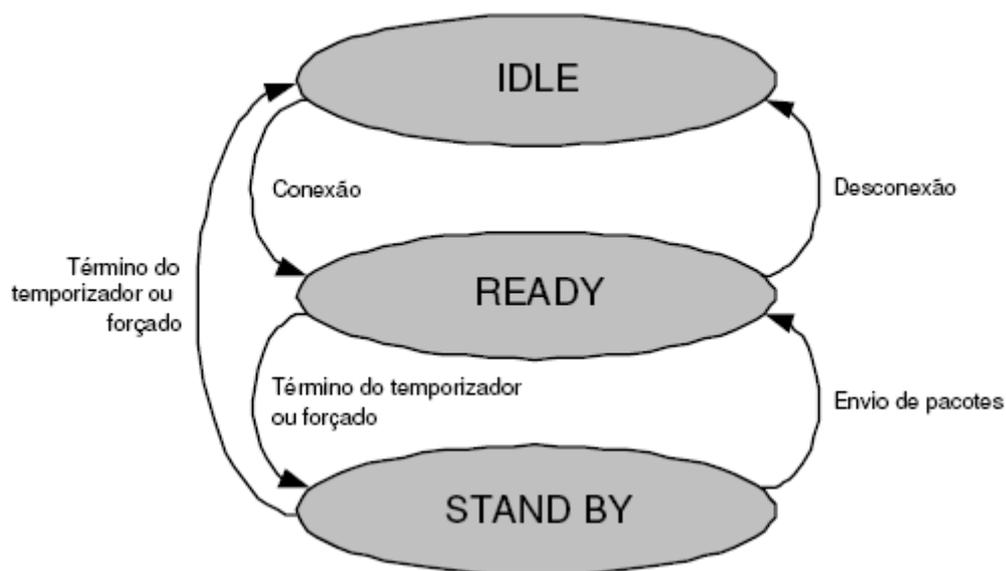


Figura 3.10: Estados de contexto de MM [22]

### 3.1.8 - Gerenciamento da sessão de dados

Para que a transferência de pacotes de dados entre a MS e uma rede de pacotes externa, *Packet Data Network* (PDN), seja efetuada é necessário que a MS GPRS/EDGE receba um endereço de rede válido, como, por exemplo, um endereço IP. Esse endereço é chamado de *Packet Data Protocol Address* (PDP address). Para cada sessão um contexto de protocolo de pacote de dados, *Packet Data Protocol context* (PDP context), é criado entre a MS, o SGSN e o GGSN, descrevendo o tipo de PDP utilizado, IP ou X.25, o endereço de PDP atribuído à MS, o *QoS* requisitado, e o endereço do GGSN que serve de ponto de acesso para a PDN externa. A MS pode receber endereços IPv4, IPv6 ou endereços X.121.

Todos os contextos de PDP de um assinante estão associados ao contexto de MM da MS. O mapeamento entre esses dois endereços habilita o GGSN a transferir dados entre a PDN e a MS. O contexto de PDP pode estar no ativado ou desativado.

Quando no estado inativo, a transferência de dados da ou para a MS está impossibilitada. Para que o mesmo passe para o estado ativo e possa habilitar o serviço de transferência de dados é necessária à execução do procedimento de ativação do contexto de PDP.

No estado ativo, o contexto de PDP esta ativado na MS, no SGSN e no GGSN, possibilitando a transferência de pacotes de dados. O estado ativo do contexto de PDP só

existe para as MS com seu contexto de MM no estado ativo ou em espera. O contexto de PDP se torna inativo quando o procedimento de desativação é executado ou quando o estado do contexto de MM passa a ser inativo, conforme pode ser visto na Figura 3.11.

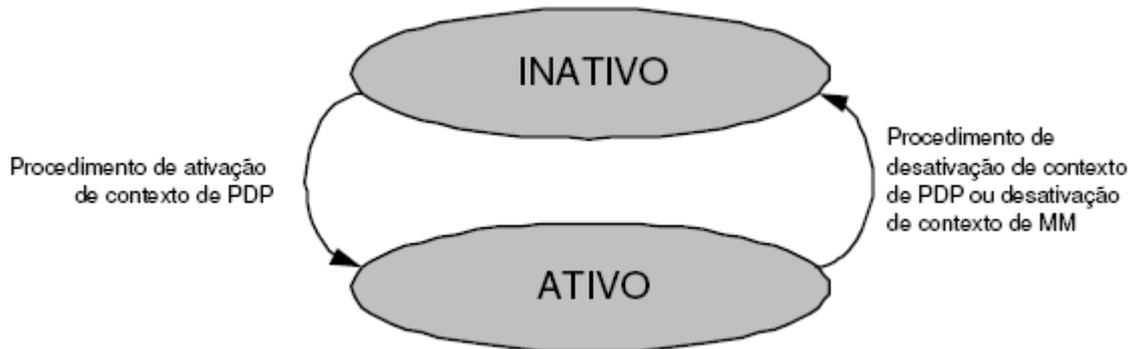


Figura 3.11: Estados de contexto de PDP

No estado de contexto de MM ativo ou em espera, a MS pode requisitar a realização do procedimento de ativação do contexto de PDP para habilitar a transferência de dados. Inicialmente a MS GPRS/EDGE envia para o SGSN a mensagem de requisição de ativação do contexto de PDP com as informações necessárias para o estabelecimento do contexto. Funções de segurança necessárias para a autenticação do usuário são implementadas. Após validar o acesso, o SGSN envia ao GGSN a requisição da criação do contexto, repassando as informações enviadas pela MS. O GGSN estabelece o contexto de PDP, ativa o início da coleta de informações de tráfego para tarifação e envia ao SGSN a mensagem de confirmação. Após atualizar seu contexto de PDP, o SGSN repassa à MS a confirmação da criação.

A atribuição do endereço de PDP na rede GPRS/EDGE pode ser feita de dois modos: forma estática ou dinâmica. Utilizando-se a forma estática, o usuário sempre receberá o mesmo endereço de PDP. Dessa forma, durante a requisição da criação do contexto, o usuário deverá informar qual o seu endereço. Atribuindo-se endereços PDP dinamicamente, o GGSN fica responsável pela alocação dos endereços. Ao requerer a criação do contexto de PDP, o campo referente ao endereço fica em branco. O GGSN informa à MS seu novo endereço PDP durante a confirmação da criação do contexto [12].

A requisição de criação do contexto de PDP também pode ser executada pela rede, quando um pacote vindo de uma PDN é destinado a uma MS GPRS/EDGE. Esse caso somente é definido para atribuições estáticas de endereços de PDP.

A rede GPRS/EDGE também oferece serviço de criação de contexto de PDP para usuários anônimos. Somente a atribuição dinâmica de endereços é aceita nesse caso.

Caso haja necessidade, o SGSN pode modificar os parâmetros de QoS e de prioridade de rádio definidos no estabelecimento do contexto de PDP. Para tanto, o SGSN envia uma mensagem de requisição de modificação de contexto de PDP. Essa modificação antes é negociada com a GGSN, que pode rejeitá-la, como por exemplo, se o novo QoS pretendido for insuficiente para o contexto de PDP. A MS também pode rejeitar o novo parâmetro. Caso isso aconteça, a MS inicia o processo de desativação do contexto.

## 4 – AVALIAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DE ENLACE

### 4.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme visto no capítulo anterior, a interface aérea EDGE estende a funcionalidade do GPRS através do incremento das taxas de transferência de dados sobre a mesma largura de banda do canal. O EDGE introduz uma nova modulação, o 8-PSK, um esquema que oferece melhoria na eficiência espectral com uma complexidade moderada de implementação [28]. A modulação original GMSK usada no GPRS é ainda mantida para as baixas taxas de transmissão (até 22,4 kbps), e os esquemas usando o 8-PSK são usados para as taxas mais altas. A máxima taxa de transmissão de dados no EDGE, por *time slot*, é de 59,2 kbps [15].

No modo de comutação por pacotes EDGE (EGPRS) são definidos nove diferentes modulações e esquemas de codificação, de MCS-1 a MCS-9, cujas principais características de cada MCS foram mostradas na Tabela 3.6 [15].

Com o intuito de analisar o canal EDGE, diversos trabalhos de pesquisa conduziram seus esforços no sentido de caracterizar o desempenho de cada MCS em separado e o desempenho da configuração de adaptação de enlace (LA). Ambas as bandas de 900 e 1.800 MHz foram investigadas em alguns desses trabalhos [22] e [23], para definir o desempenho da relação dos esquemas propostos sob níveis diferentes de interferência, do ambiente de propagação e da velocidade da estação móvel.

Alguns modelos espaciais foram desenvolvidos para simulações aplicáveis ao padrão GSM/GPRS/EDGE [31], porém dois modelos são mais utilizados. O modelo *Typical Urban* (TU) foi desenvolvido para modelar propriedades temporais apropriadas para ambientes de grandes cidades, enquanto o *Rural Area* (RA) foi desenvolvido para modelar ambientes com grandes espalhamentos no tempo, como por exemplo, áreas semi-urbanas ou rurais. O perfil GSM/EDGE *Typical Urban* é recomendado pela ITU para testes envolvendo recepção móvel em ambiente tipicamente urbano. Esse perfil pode ser utilizado para simular a mobilidade em várias velocidades da estação móvel. As velocidades típicas de simulação são 3 Km/h e 50 Km/h. Assim, uma simulação que use o

perfil TU3 representa a utilização do perfil GSM/EDGE *Typical Urban* à velocidade de deslocamento de 3 Km/h. Se a simulação utilizar o perfil TU50, significa dizer que se está utilizando o perfil *Typical Urban* com deslocamento da estação móvel à 50 Km/h.

Os resultados das simulações apresentadas em [22] e [23] utilizaram o modelo *Typical Urban*, tanto a 3 Km/h (TU3) quanto a 50 Km/h (TU50).

Este trabalho restringiu-se à análise apenas do ambiente tipicamente urbano, caracterizando-se a mobilidade através do deslocamento da estação móvel a 50 Km/h e à banda de 1.800 MHz. Por esse motivo, são mostrados a seguir apenas os resultados das simulações de [22] e [23] para esse cenário (TU50, em 1.800 MHz).

A Figura 4.1 mostra os resultados teóricos/simulados de *throughput versus C/I*, para cada esquema de codificação, considerando-se o ambiente TU50, na banda de frequência de 1.800MHz.

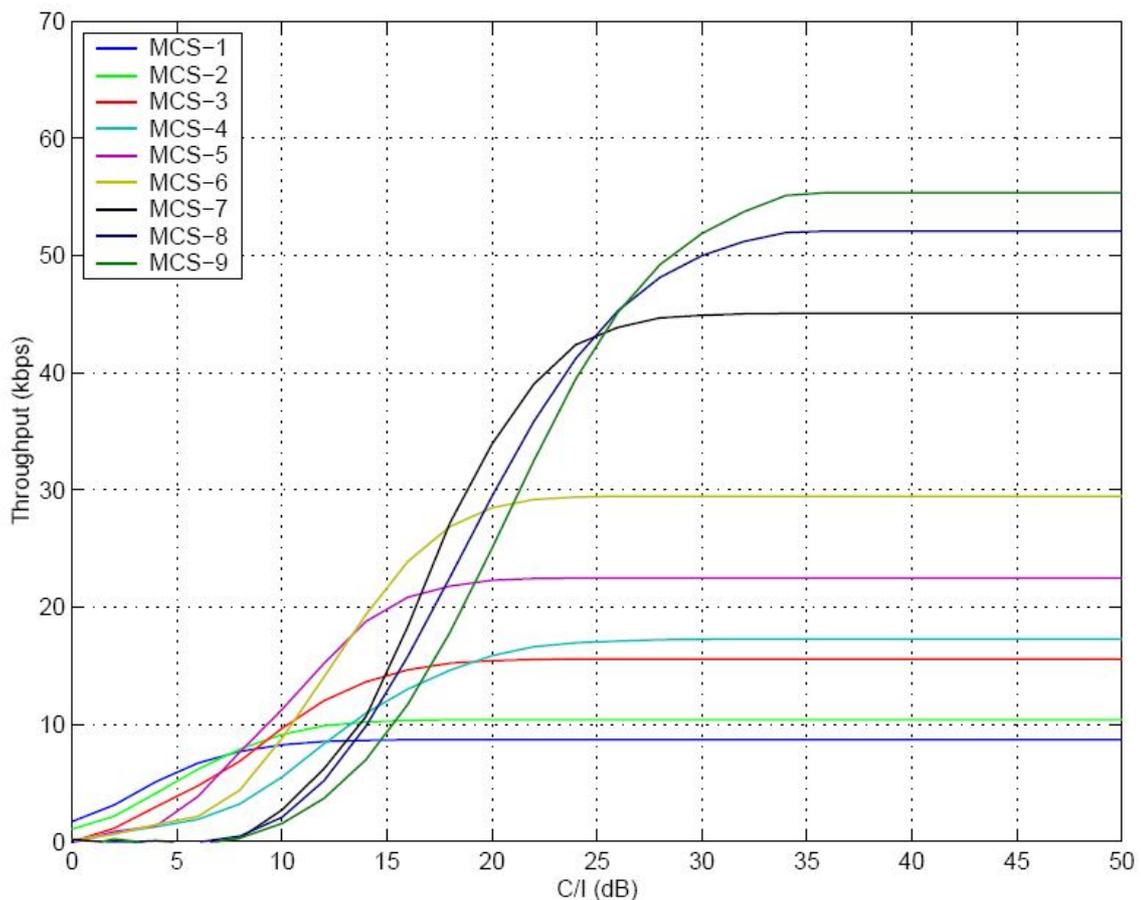


Figura 4.1: Curva teórica/simulada para EDGE, todos os MCS, ambiente TU50, 1.800 MHz - modificado de [22] e [23]

Da Figura 4.1 pode-se verificar que cada esquema de codificação apresenta um valor de saturação de *throughput*, para o ambiente TU50, que é o valor máximo que cada esquema de codificação possui de capacidade para transferir de dados, ainda que o valor de C/I aumente. Isso ocorre porque cada esquema de codificação possui uma característica de BLER intrínseca. Com base nessa observação, obtém-se a Tabela 4.1, que mostra os valores máximos de *throughput*, para cada esquema de codificação, porém, considerando-se a mobilidade, à velocidade de 50 Km/h. Esses resultados podem ser comparados com os valores teóricos da Tabela 3.6.

Tabela 4.1: Taxa de transmissão por esquema de codificação simulada – TU50 [22]

Esquema de Codificação	Taxa de transmissão (kbps) – 1 <i>time slot</i>
MCS-1	8,5
MCS-2	10,2
MCS-3	15,7
MCS-4	17,4
MCS-5	23,4
MCS-6	29,3
MCS-7	45,0
MCS-8	52,1
MCS-9	55,5

Já o processo de adaptação de enlace (LA) permite a escolha do melhor esquema de codificação a cada nível de C/I, de forma a obter o *throughput* máximo para cada nível [17]. A Figura 4.2 mostra a curva ideal, obtida dos ensaios teóricos de [23] e das simulações encontradas em [22].

Com base nesses resultados (Figura 4.1 e Figura 4.2), [22] propõe que na configuração de adaptação de enlace, apenas alguns MCS sejam utilizados, buscando-se assim uma maior eficiência na utilização dos esquemas de codificação e reduzindo-se a necessidade de processamento dos rádios para escolher MCS. Sobrepondo-se a curva teórica para o LA com as curvas teóricas obtidas para cada MCS, [22] propõe os limiares de decisão para transição de MCS, conforme a Figura 4.3.

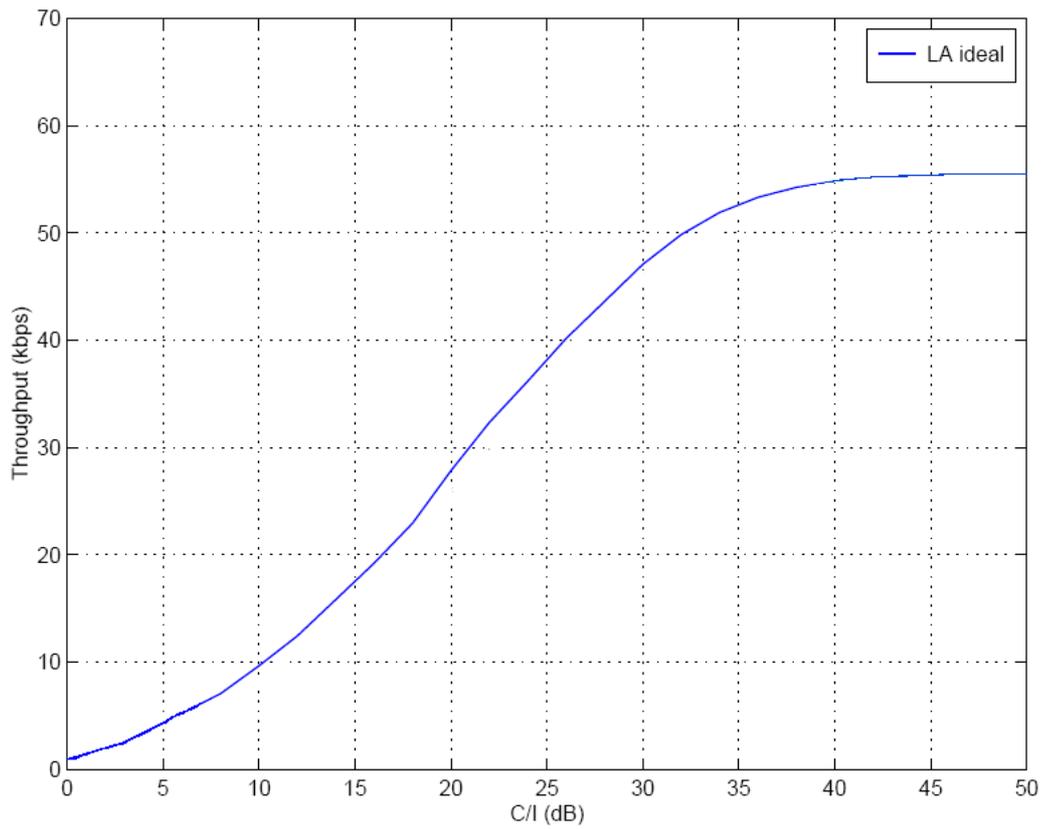


Figura 4.2: Curva teórica/simulada para LA, ambiente TU50, 1.800 MHz - [22]

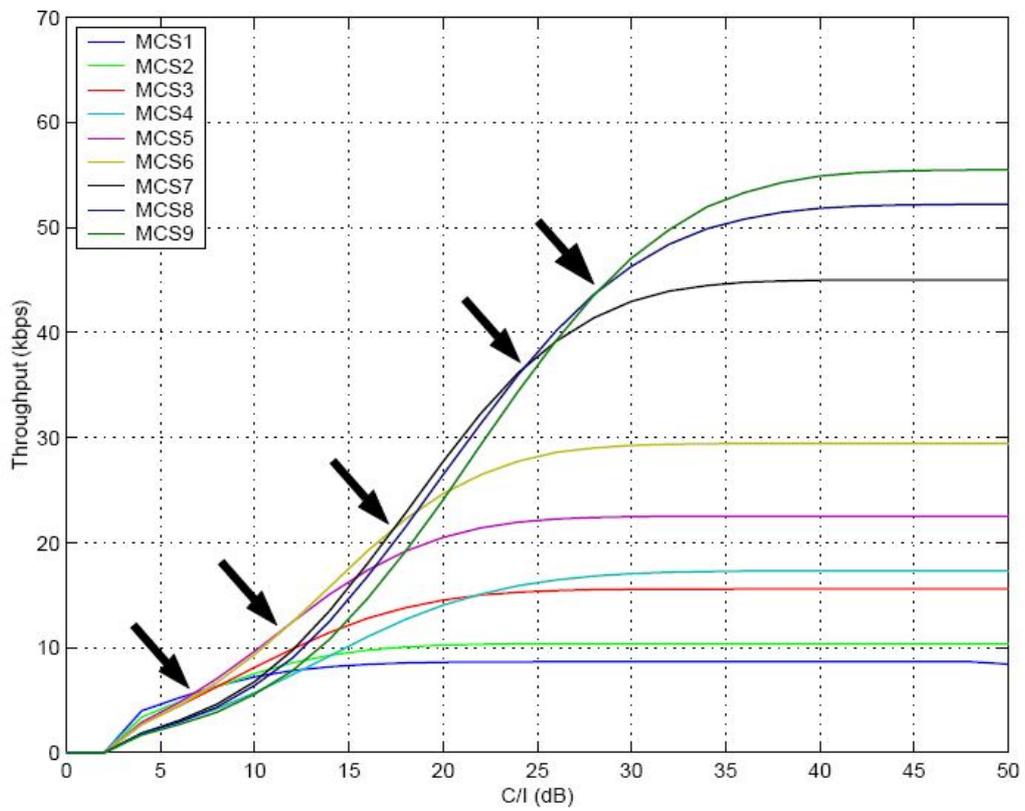


Figura 4.3: Limiares de decisão de C/I, proposto para LA, TU50 - [22]

Assim, os MCS e as respectivas faixas teóricas de C/I, para a adaptação de enlace, ambiente TU50, são mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Esquemas de codificação proposto para TU50 e limiares de decisão teórico [22]

Nível de C/I (dB)	Esquema de Codificação
$C/I \leq 6,5$	MCS-3
$6,5 < C/I \leq 11$	MCS-5
$11 < C/I \leq 17,5$	MCS-6
$17,5 < C/I \leq 24$	MCS-7
$24 < C/I \leq 34$	MCS-8
$C/I > 34$	MCS-9

## 4.2 - METODOLOGIA DE ANÁLISE DE *THROUGHPUT*, BLER E C/I

### 4.2.1 – Procedimentos

Para poder analisar os resultados empíricos e se obter insumos para propor uma política de seleção de esquemas de codificação ou mesmo de adaptação de enlace, foram definidos alguns balizadores para a definição do procedimento de coleta das informações para posterior análise e comparação com os trabalhos teóricos de [22] e [23]:

- Utilização do cenário TU50, conforme [18], pois evidencia a mobilidade, permite a variação do nível de C/I e conseqüente amostragem da qualidade do sinal;
- Canal PDTCH no enlace de rádio dedicado para tráfego de dados;
- Escolha de BTS que permita o deslocamento em uma rota o mais linear possível;
- Frequência da BTS em 1.800MHz (área urbana);
- Arquivo para download acima de 50 MB, em servidor na própria rede, sem concorrência de acesso.

O procedimento se baseia, em primeiro lugar, na definição das rotas por meio do estudo do mapa de distribuição espacial das BTS, arruamento da cidade na qual se fará a investigação em campo, mancha de cobertura das células com relação à potência de sinal *versus*

distância de alcance, e, também, dos pontos de *handover* (borda da célula), para que se garanta que os dados não sejam “contaminados” pela re-seleção de rádio (processo de *handover*).

Após a definição das rotas a serem estudadas, desloca-se para campo para a execução dos *drive tests*, que consiste em capturar dados de um telefone móvel, utilizando a rede “viva” (em plena operação), através de um computador e um software específico, em um veículo em movimento, associar com coordenadas de um GPS, armazenando todas as informações em um arquivo para análise posterior.

A partir do ponto mais próximo da BTS, em que se tem a melhor condição de recepção de sinal pela MS, e conseqüentemente o melhor nível de C/I, inicializa-se o sistema de captura, estabelecendo-se uma conexão EDGE e conectando-se a um servidor de FTP (*File Transfer Protocol*) para realizar a transferência de dados. Uma observação importante é que o veículo já deve estar em movimento, na velocidade constante de 50 Km/h e com a monitoração do setor da BTS que se quer investigar ligada, para que se verifique o exato instante em que a MS começa a transmitir por aquele setor.

Em cada deslocamento, devem-se coletar as informações de latitude, longitude, BCCH, Cell ID, nível de C/I em dB, blocos recebidos na camada RLC, blocos recebidos na camada LLC, blocos errados na camada RLC, a cada segundo. Com essas informações será possível calcular o *throughput* e a BLER.

#### **4.2.2 - Cenário de teste**

Na cidade de Brasília - DF, em uma operadora de rede GSM/GPRS/EDGE, foram escolhidas 10 (dez) BTS em que as rodovias nas quais seriam executados os *drive tests* houvesse a iluminação por apenas um setor de 1.800 MHz da referida BTS. Em todos os setores escolhidos, a distância média entre a base da BTS e o ponto mais distante antes do *handover* é de 3,5 Km. Deslocando-se a velocidade constante de 50 Km/h, e realizando uma amostragem a cada segundo, em cada passada dos testes foi possível coletar aproximadamente 250 amostras. Foram realizadas 10 (dez) viagens em cada setor, para cada MCS, para aumentar a quantidade de dados para se calcular o comportamento médio de cada configuração.

Foi utilizado o *software EdgeMonitor* da empresa *Hexagon* [44]. A tela do *software* é mostrada na Figura 4.4, durante um dos testes de captura de dados com a BTS na configuração de *code scheme* fixo, com MCS igual a MCS-5.

Além de *notebook* com o *software*, também estavam embarcados no veículo de *drive test* um aparelho celular (MS - *mobile station*) *Nokia* [45], modelo 6020, EDGE classe 6, com capacidade máxima para *downlink* de 177,6 kbps, ou seja, metade<sup>1</sup> da capacidade teórica máxima suportada pelo EDGE, e um GPS *Garmin* [46], modelo GPS18 Deluxe, ambos conectados via porta USB 2.0 no *notebook*.

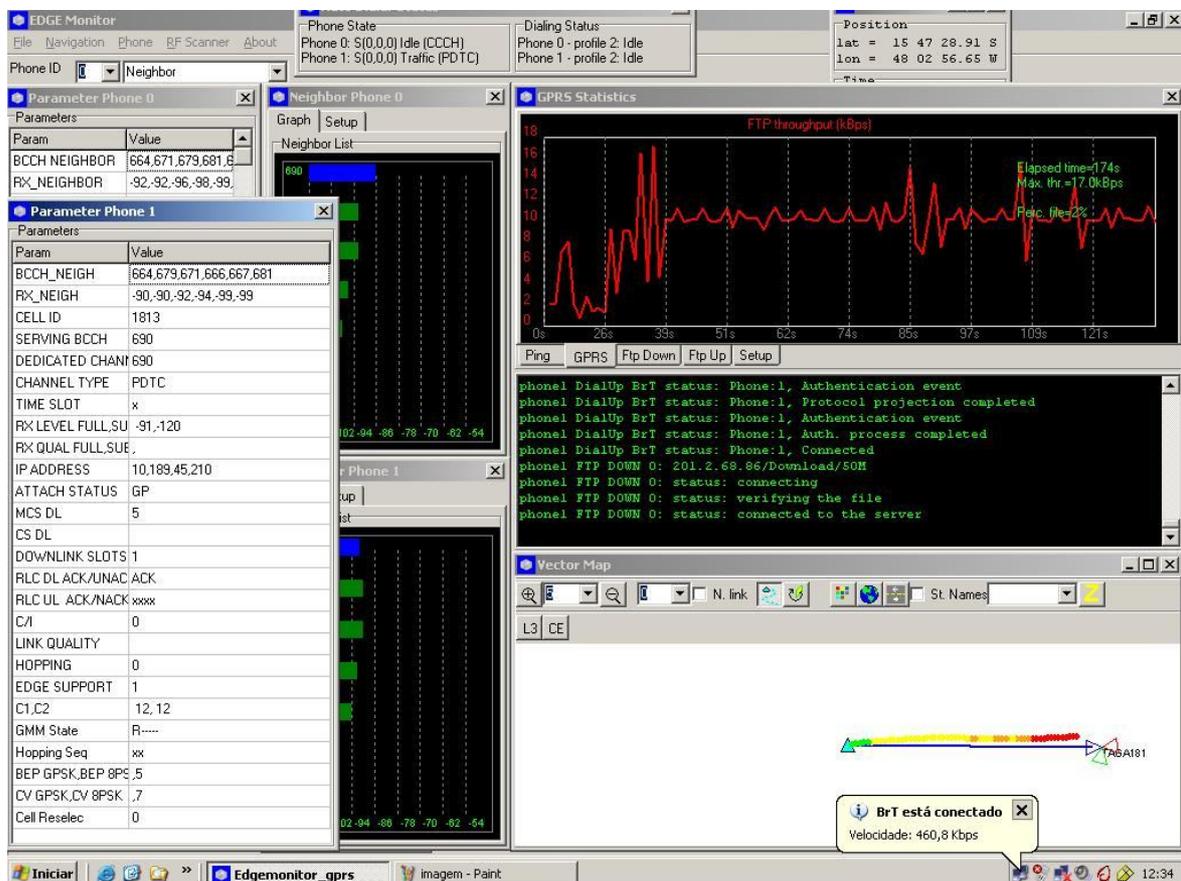


Figura 4.4: Tela do software de captura de dados EDGE em tempo real

<sup>1</sup> Isso significa que todos os resultados de *throughput* deverão ser multiplicados por 2, para efeito de comparação com os resultados teóricos.

### 4.3 - RESULTADOS E PROPOSTA

Com o objetivo de verificar os resultados teóricos/simulados em [22] e [23], para cada curva de MCS, foram executadas as seguintes configurações de rede para a captura dos dados, todos em ambiente TU50:

- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-1;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-2;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-3;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-4;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-5;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-6;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-7;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-8;
- Sistema configurado com MCS fixo em MCS-9;

Os dados obtidos em TU50, na frequência de rádio de 1.800 MHz, para a relação de *throughput versus* qualidade do sinal C/I, são mostrados nos gráficos de cada configuração, de MCS-1 a MCS-9, nas Figuras 4.5 a 4.13:

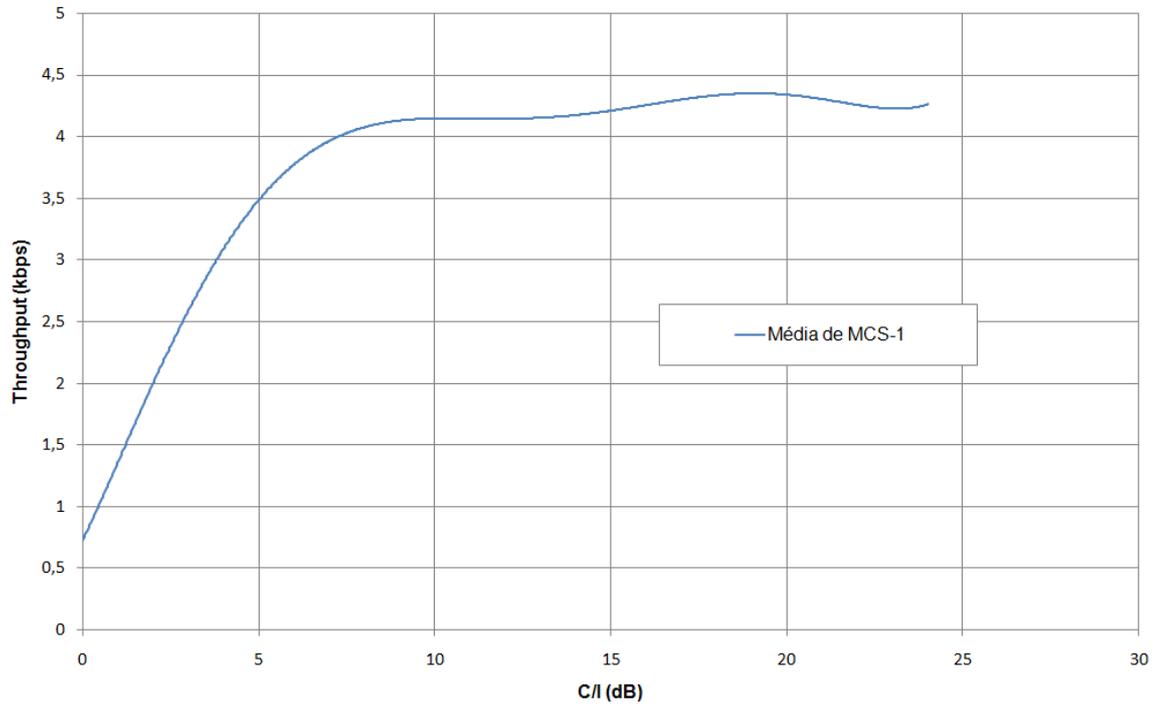


Figura 4.5: Resultado em campo para MCS-1, ambiente TU50

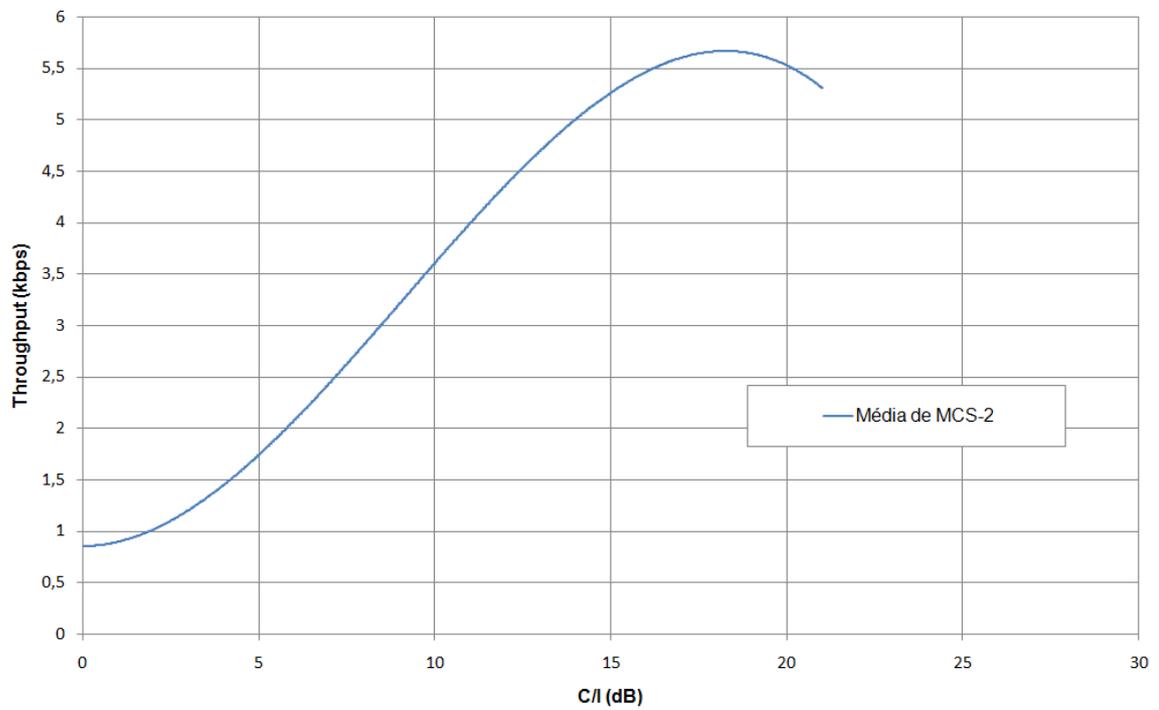


Figura 4.6: Resultado em campo para MCS-2, ambiente TU50

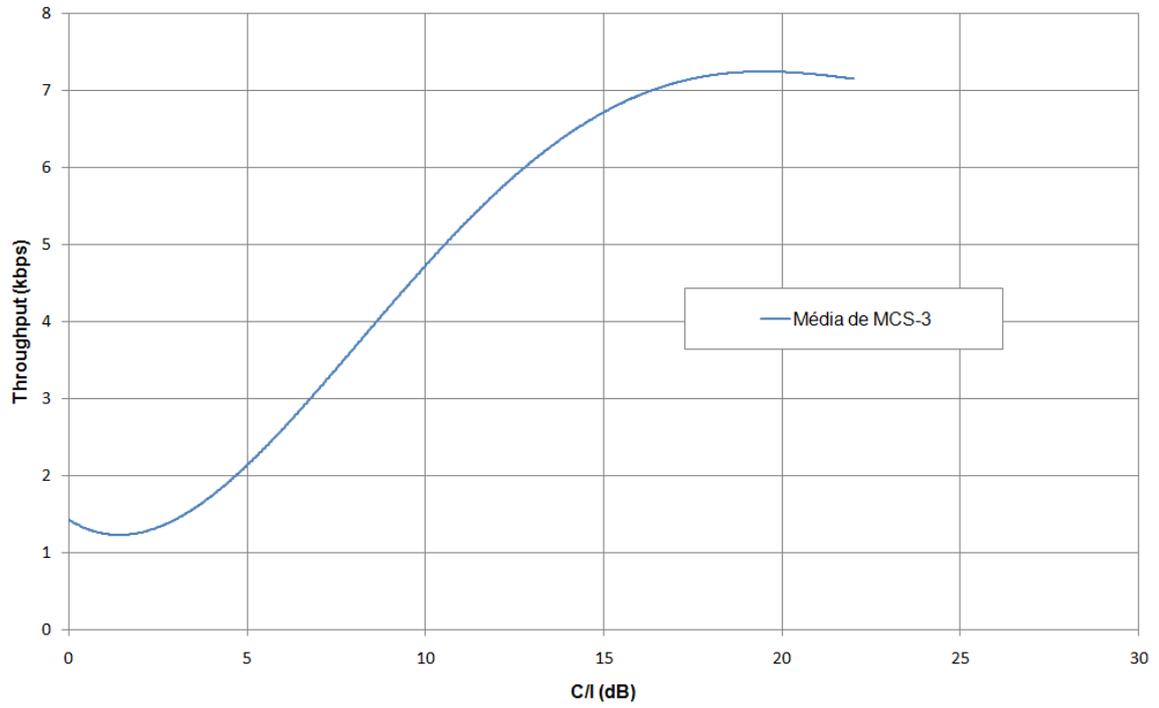


Figura 4.7: Resultado em campo para MCS-3, ambiente TU50

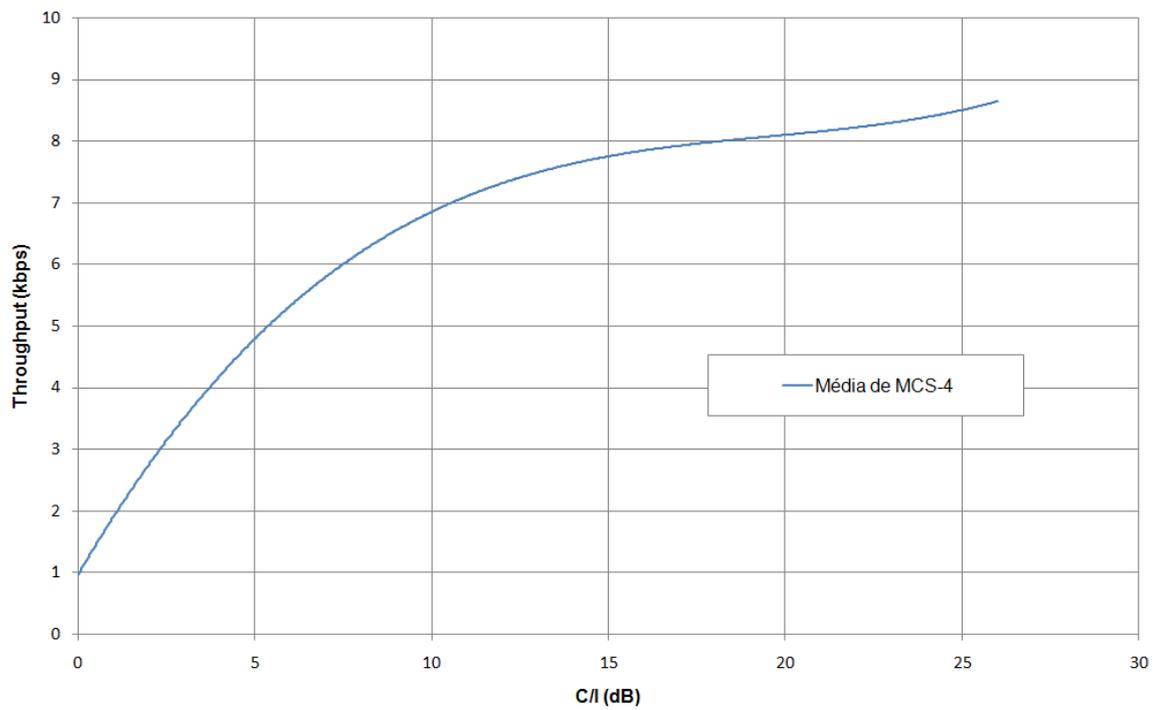


Figura 4.8: Resultado em campo para MCS-4, ambiente TU50

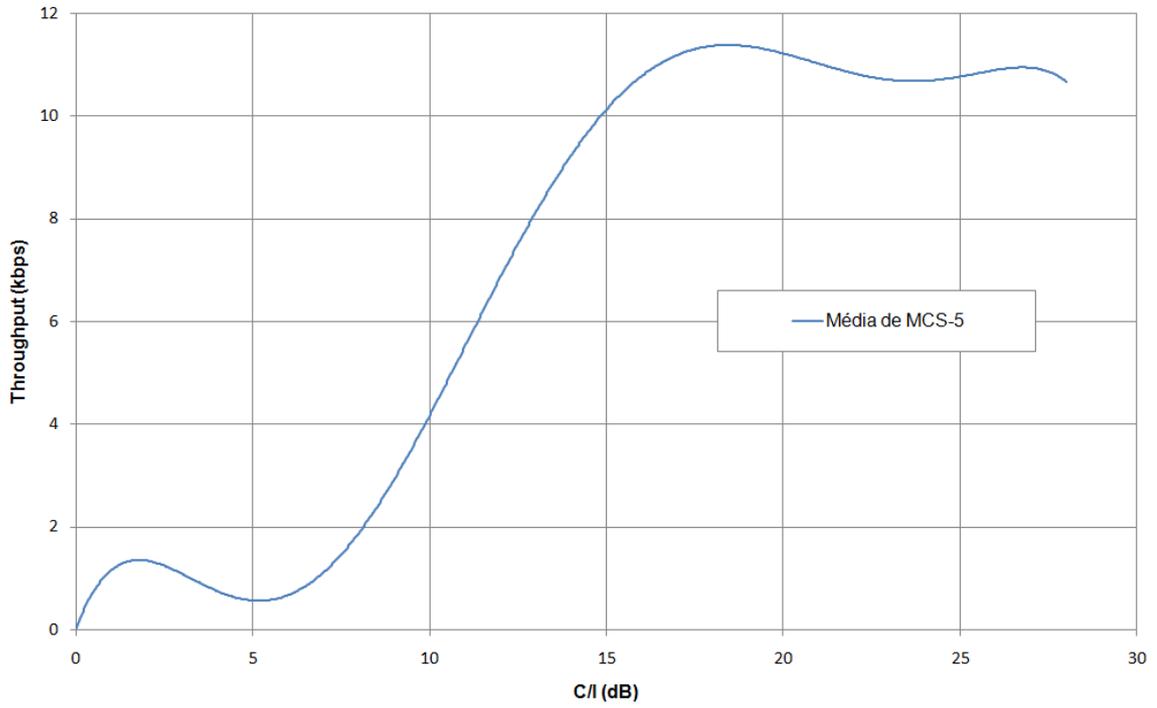


Figura 4.9: Resultado em campo para MCS-5, ambiente TU50

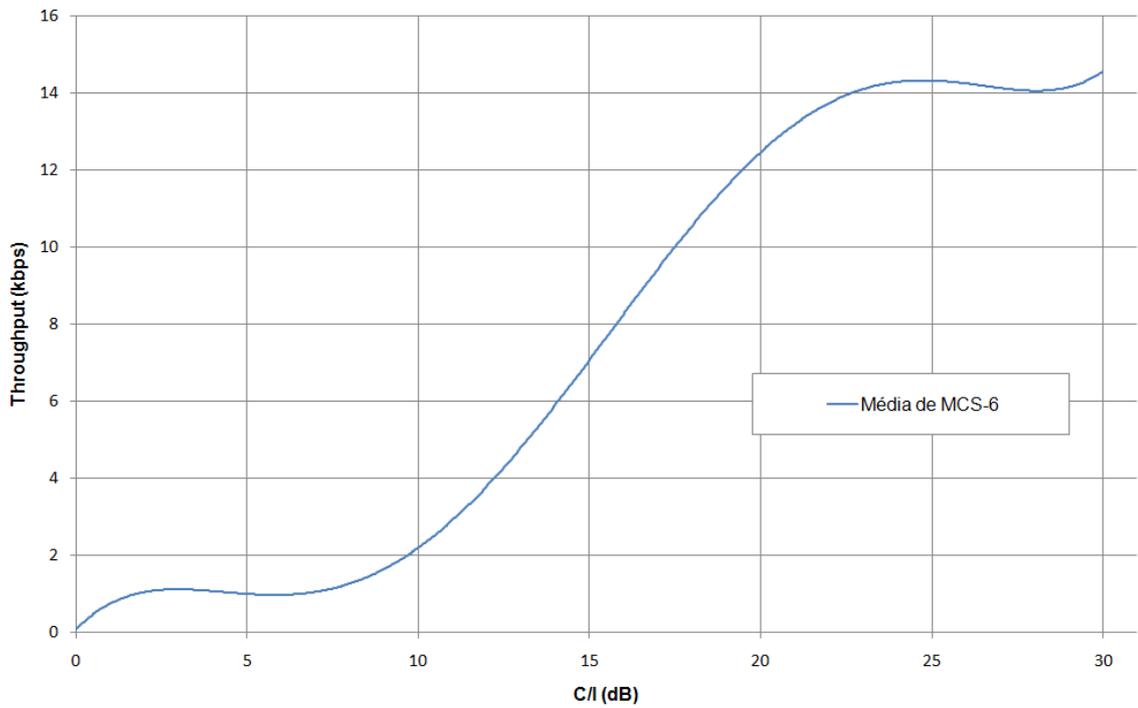


Figura 4.10: Resultado em campo para MCS-6, ambiente TU50

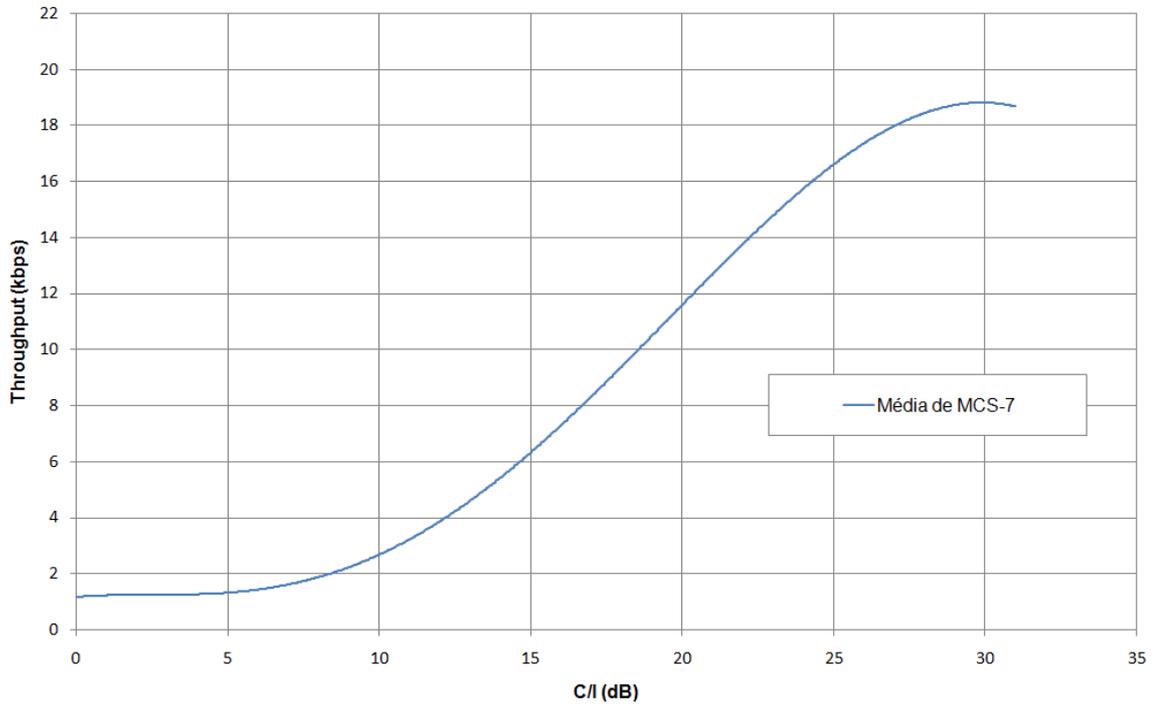


Figura 4.11: Resultado em campo para MCS-7, ambiente TU50

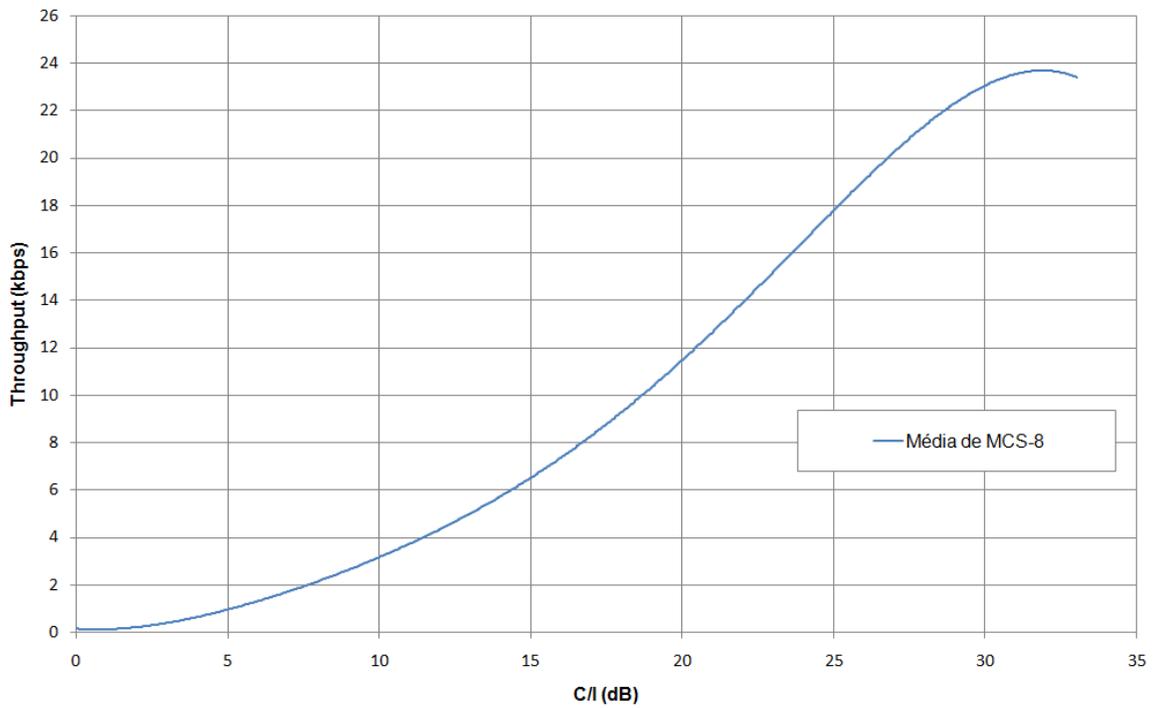


Figura 4.12: Resultado em campo para MCS-8, ambiente TU50

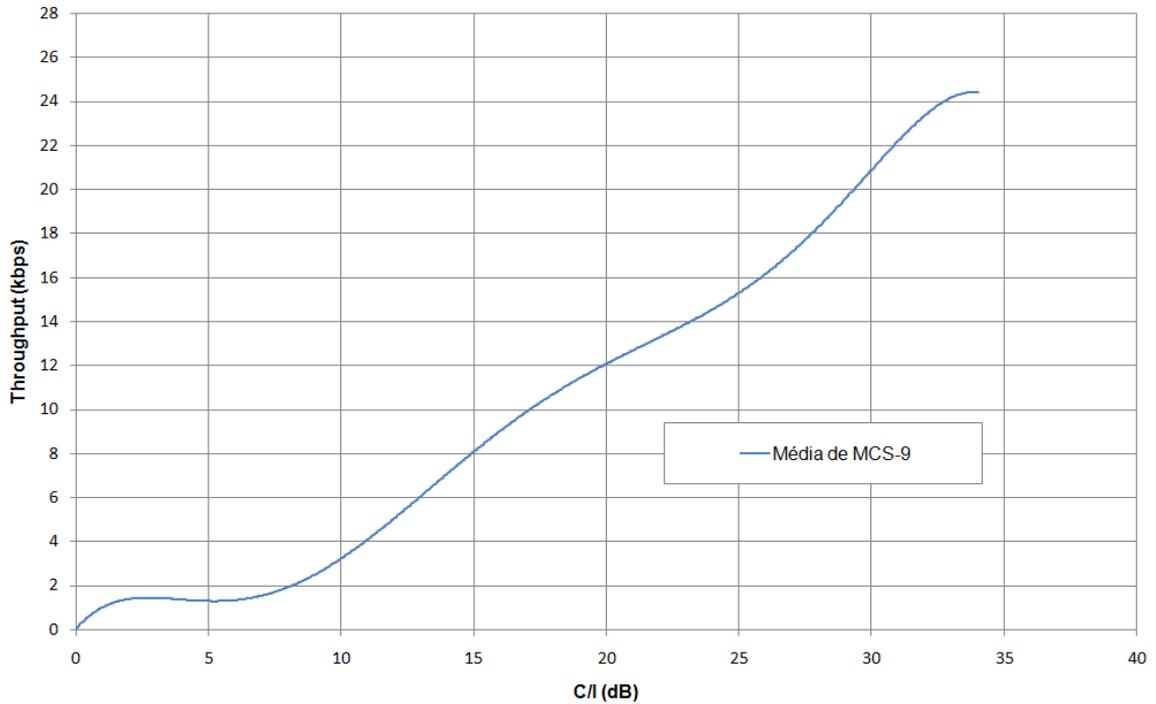


Figura 4.13: Resultado em campo para MCS-9, ambiente TU50

Nas Figuras 4.5 a 4.13 pode-se verificar, experimentalmente, que cada esquema de codificação apresenta um valor de saturação de *throughput*, para o ambiente TU50, que foi o valor máximo que cada esquema de codificação possuiu de capacidade para transferir de dados, ainda que o valor de C/I aumentasse. Com base nessa observação, obtém-se a Tabela 4.3, que mostra os valores máximos de *throughput*, dos testes de campo, para cada esquema de codificação, à velocidade de 50 Km/h. Esses resultados podem ser comparados com os valores teóricos/simulados para o ambiente TU50, da Tabela 4.1.

Na Tabela 4.4 verificam-se os valores de desvio médio padrão para as medidas coletadas em campo, para cada MCS, com relação à curva média de *throughput versus C/I* mostradas nas Figuras 4.5 a 4.13.

Com a configuração com a adaptação de enlace habilitada, para os testes de campo, temos na Figura 4.14 o comportamento médio do nível de C/I (dB) com relação à distância radial, em metros, do ponto de melhor condição para o ponto de pior potência de recepção (borda da célula, antes do *handover*). Pode-se dizer, por inferência, que a qualidade do nível de sinal é inversamente proporcional à distância, o que tornará possível verificar nos testes em

movimento, à velocidade constante de 50 Km/h, a adaptação de enlace, na forma que será proposta; e que o tempo de transmissão e o *throughput* em cada MCS acontecerá de acordo com as condições e qualidades intrínsecas de cada esquema para transmitir dados, durante esse tempo de transmissão.

Tabela 4.3: Taxa de transmissão por esquema de codificação – TU50 (medido em campo)

Esquema de Codificação	Taxa de transmissão (kbps) – Tabela 4.1	Taxa de transmissão (kbps) – Resultado de Campo (x2)
MCS-1	8,5	8,4
MCS-2	10,2	10,8
MCS-3	15,7	14,4
MCS-4	17,4	17,0
MCS-5	23,4	22,2
MCS-6	29,3	28,1
MCS-7	45,0	37,8
MCS-8	52,1	47,7
MCS-9	55,5	48,6

Tabela 4.4: Desvio médio padrão por esquema de codificação – TU50 (medido em campo)

Esquema de Codificação	Quantidade de Pontos Medidos	Desvio Padrão Médio (dB)
MCS-1	25.000	0,8002
MCS-2	25.000	0,7604
MCS-3	25.000	0,8755
MCS-4	25.000	0,5659
MCS-5	25.000	0,9724
MCS-6	25.000	0,9742
MCS-7	25.000	0,831
MCS-8	25.000	0,8448
MCS-9	25.000	0,9688

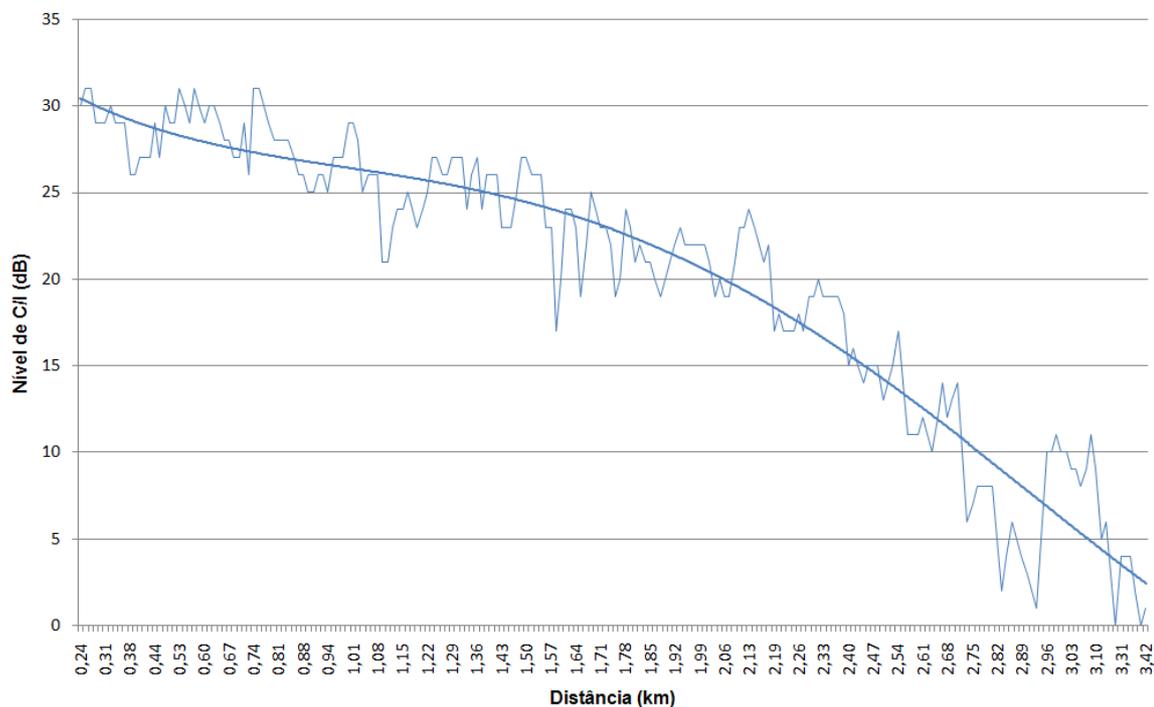


Figura 4.14: Relação C/I (dB) *versus* distância em km (resultado de campo)

Para o mesmo conjunto de testes com a adaptação de enlace (LA) habilitada, o comportamento médio da BLER com relação ao nível de C/I é mostrado na Figura 4.15. Esse é um resultado interessante, pois tipifica a curva de BLER *versus* C/I na configuração de adaptação de enlace.

Os dados obtidos com a adaptação de enlace habilitada são mostrados no gráfico da Figura 4.16, à velocidade constante de 50 Km/h, na banda de frequência de 1.800 MHz, para a relação de *throughput versus* qualidade do sinal C/I.

A Figura 4.16 mostra o gráfico das contribuições de cada MCS na configuração de adaptação de enlace, obtida dos testes em campo. Nesse gráfico, em que todos os MCS estão disponíveis para decisão do sistema para utilizar na adaptação de enlace, já se sugere uma transição entre MCS, buscando maximizar o *throughput* para um dado valor de C/I, da mesma forma que mostrado na Figura 4.3.

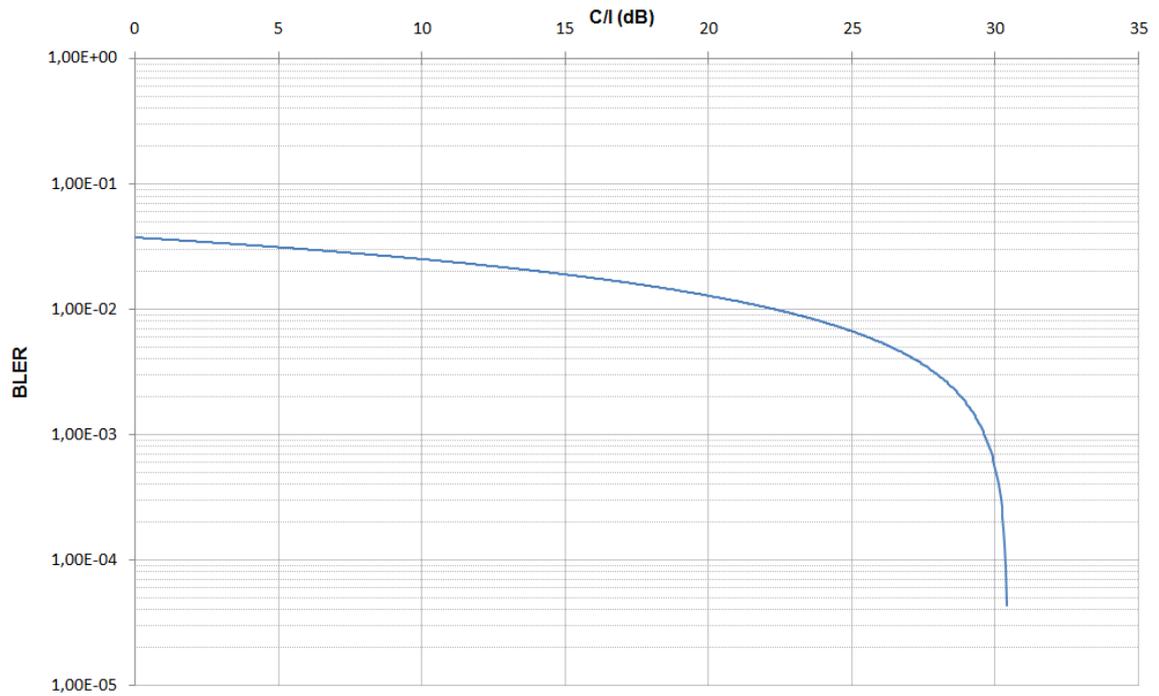


Figura 4.15: Relação BLER versus C/I (dB) medida em campo – LA – TU50

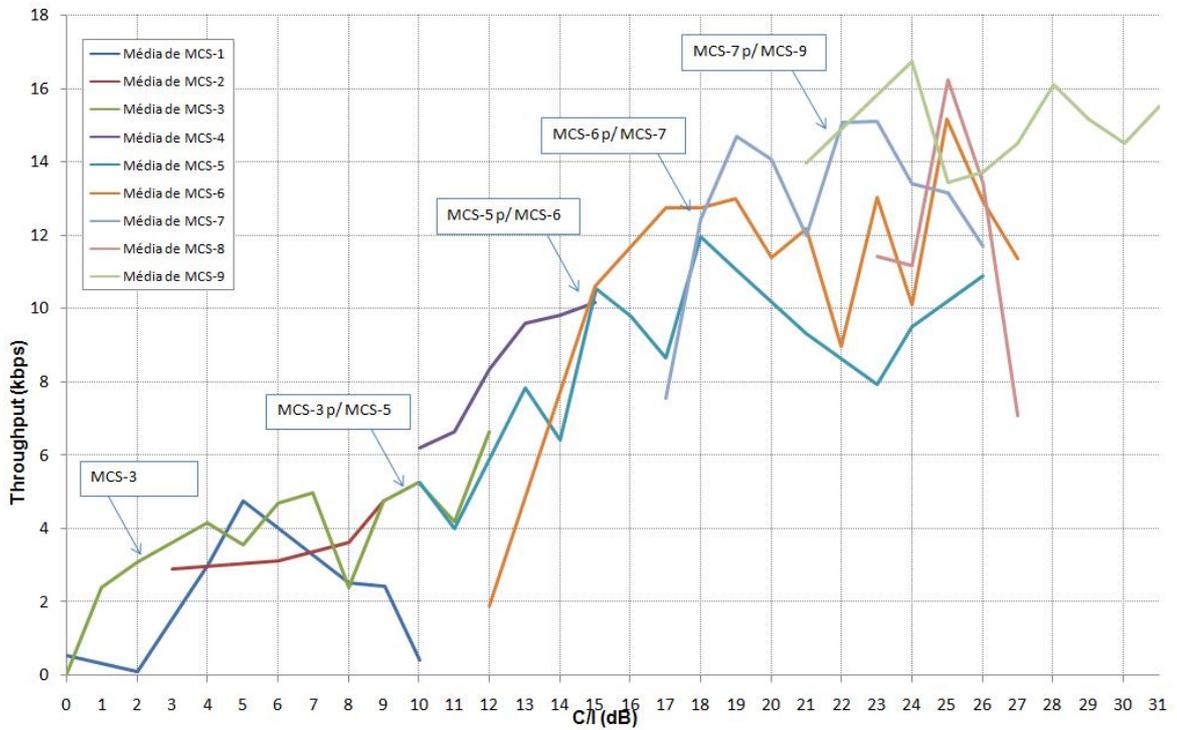


Figura 4.16: Curva de LA do EDGE, obtida em campo, ambiente TU50, 1.800 MHz

Assim, seguindo-se essa sugestão, os MCS e as respectivas faixas experimentais de C/I, para a adaptação de enlace, ambiente TU50, são mostrados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Esquemas de codificação proposto para TU50 e limiares de decisão

Nível de C/I (dB)	Esquema de Codificação
$C/I \leq 10$	MCS-3
$10 < C/I \leq 15$	MCS-5
$15 < C/I \leq 18$	MCS-6
$18 < C/I \leq 22$	MCS-7
$C/I > 22$	MCS-9

A seguir, são apresentados os resultados dos dados colhidos pelo trabalho de investigação em campo do desempenho da adaptação de enlace *versus* as condições de qualidade do sinal com o objetivo de criar uma proposta de política de adaptação do enlace.

Análise 1: Sobre as faixas de C/I, quais os MCS que transmitem numa maior faixa.

Separando-se as faixas de operação de C/I para cada MCS, observa-se na Figura 4.17 que os MCS 3, 6 e 9 surgem como “candidatos” a participarem da política de adaptação de enlace, pois são os MCS que cobrem as maiores faixas de C/I, mantendo uma continuidade. Uma forma de se verificar esse fato é analisando os valores inferiores a partir dos quais cada MCS para a realizar transmissão de dados. A partir do valor 0 (zero) dB, o MCS de maior desempenho é o MCS-3, com faixa de operação até 12 (doze) dB. O próximo valor mínimo é de 12 (doze) dB, cujo MCS de maior desempenho é o MCS-6, com faixa de operação até 27 (vinte e sete) dB. A partir de 27 (vinte e sete) dB, o único MCS que apresenta transmissão de dados é o MCS-9.

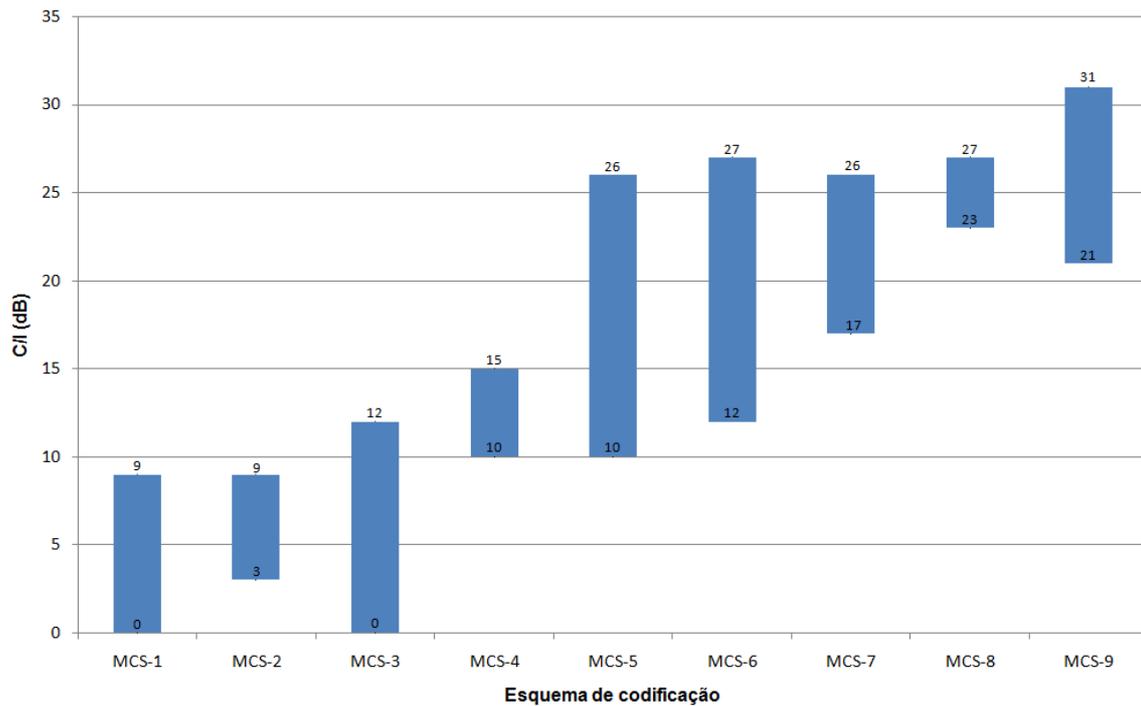


Figura 4.17: Faixas de C/I utilizadas para transmissão na configuração LA, TU 50

Ainda na Figura 4.17, pode-se observar que existem 3 (três) grandes faixas de operação de C/I, nas quais estão inseridos alguns MCS. Estas faixas estão destacadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Agrupamento de MCS por faixa de C/I

Faixa de C/I (dB)	Esquemas de Codificação
$C/I \geq 21$	MCS-9
$C/I \geq 12$	MCS-4, MCS-5, MCS-6, MCS-7 e MCS-8
$C/I > 3$	MCS-1, MCS-2 e MCS-3

Análise 2: Sobre quais MCS transmitem a maior parte dos dados, de forma percentual.

Analisando-se o percentual de bits carregados por cada MCS com relação ao total de bits transmitidos, considerando-se o total de todos os testes realizados, observa-se na Figura 4.18 que o MCS 3 (faixa de C/I de 0 a 12 dB), MCS-6 (faixa de C/I de 12 a 27 dB) e MCS-

9 (faixa de C/I acima de 21 dB) aparecem como “candidatos” a participarem da política de adaptação de enlace, pois são os MCS com maior eficácia de transporte de dados em relação a seus vizinhos.

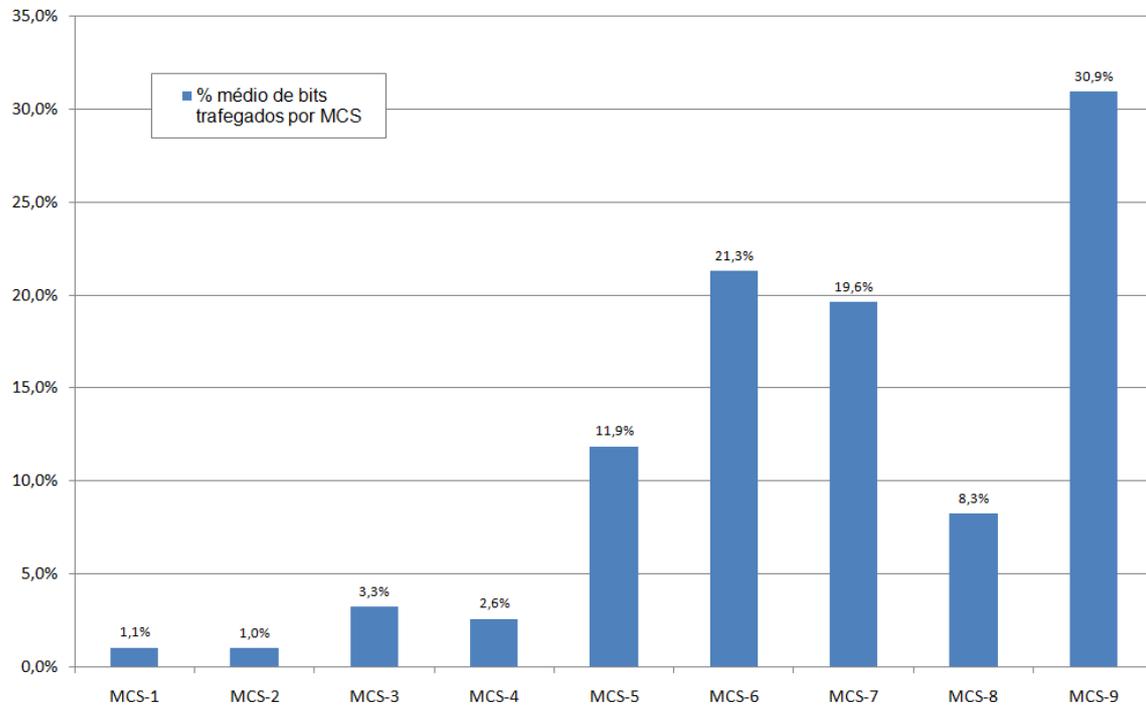


Figura 4.18: Distribuição percentual de transporte de bits por MCS

Análise 3: Sobre os bits recebidos corretamente na camada LLC, quais os MCS possuem maior eficiência, de forma percentual.

Analisando-se o percentual de bits transportados por cada MCS e que chegam corretamente na camada LLC, com relação ao total de bits carregados na camada RLC, considerando-se o total de todos os testes realizados, observa-se na Figura 4.19 que os MCS-3 e MCS-6 se destacam em relação ao quesito “eficiência de transmissão” em relação aos seus vizinhos e mais uma vez figuram como “candidatos” a participarem da política de adaptação de enlace.

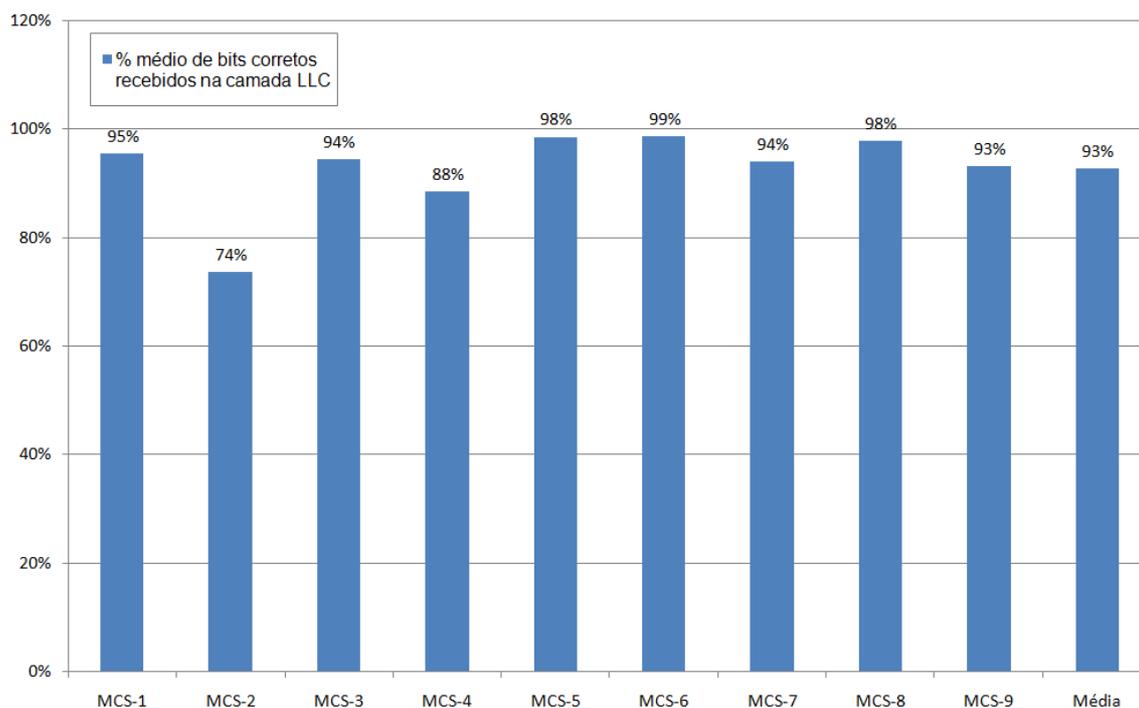


Figura 4.19: Distribuição percentual de eficiência de MCS, com relação a bits corretos na camada LLC

Nesta análise observa-se que, na mesma faixa de operação de C/I do MCS-6, os MCS-5 e MCS-8 apresentam também uma boa eficiência de transmissão de dados. A partir do conjunto das análises, essa informação será levada em consideração, quando da proposta de MCS que serão utilizados na política de adaptação de enlace.

Análise 4: Sobre o tempo relativo de transmissão, quais os MCS percentualmente perduram mais tempo transmitindo.

Analisando-se o percentual médio de tempo transmitindo em cada MCS, durante o deslocamento a velocidade constante de 50 Km/h, considerando-se o total de todos os testes realizados, observa-se na Figura 4.20 que o MCS 3 (faixa de C/I de 0 a 12 dB), MCS-6 (faixa de C/I de 12 a 27 dB) e MCS-9 (faixa de C/I acima de 21 dB) aparecem como “candidatos” a participarem da política de adaptação de enlace, pois são os MCS com maior persistência de transmissão de dados em relação a seus vizinhos.

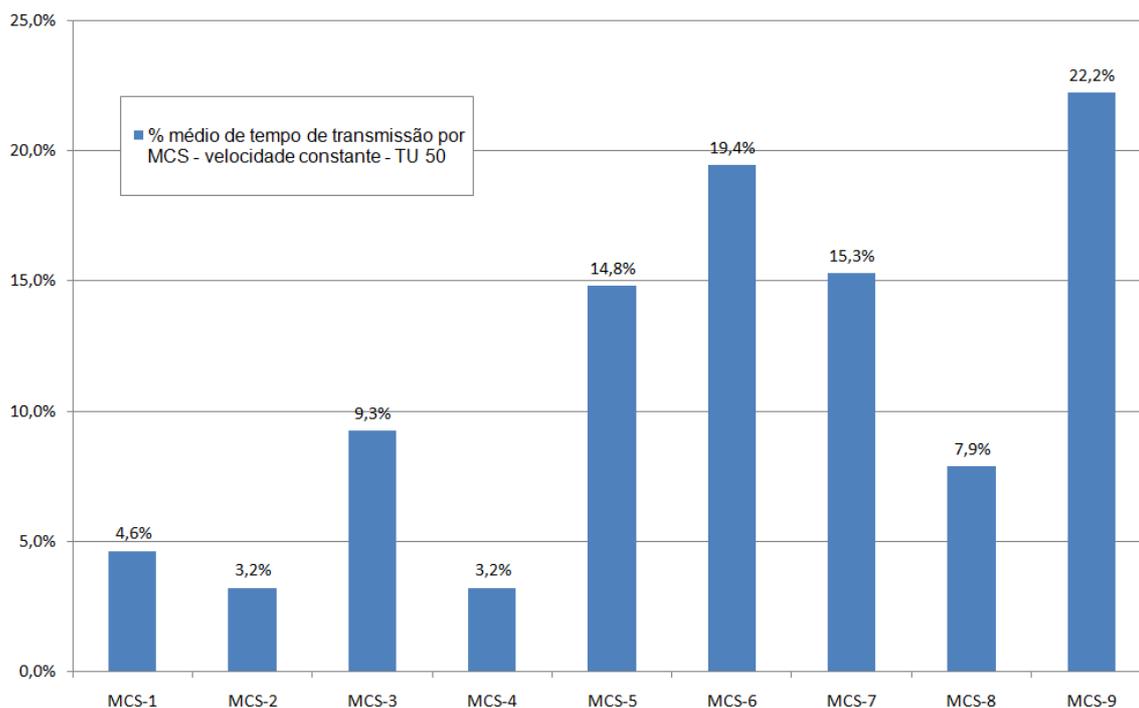


Figura 4.20: Percentual de tempo de transmissão por MCS – velocidade constante 50 Km/h

Para consolidar os resultados das análises anteriores e facilitar a visualização das características de desempenho de cada MCS quando se tem a configuração de adaptação de enlace habilitada no enlace de rádio, os dados são apresentados na Tabela 4.7:

Tabela 4.7: Resultados experimentais para EDGE na configuração LA – TU 50

Code Scheme	% médio de bits trafegados por MCS	% médio de bits corretos recebidos na camada LLC	% médio de tempo de transmissão por MCS - velocidade constante - TU 50	Faixa C/I (dB)
MCS-1	1,1%	95%	4,6%	0 - 9
MCS-2	1,0%	74%	3,2%	3 - 9
MCS-3	3,3%	94%	9,3%	0 - 12
MCS-4	2,6%	88%	3,2%	10 - 15
MCS-5	11,9%	98%	14,8%	10 - 26
MCS-6	21,3%	99%	19,4%	12 - 27
MCS-7	19,6%	94%	15,3%	17 - 26
MCS-8	8,3%	98%	7,9%	23 - 27
MCS-9	30,9%	93%	22,2%	21 - 31

Com base nesses resultados (Figuras 4.17 a 4.20 e Tabela 4.7) e levando-se em consideração a melhor contribuição de cada MCS para uma proposta de política de adaptação de enlace, têm-se então, como sugestão, a utilização dos MCS-3, MCS-6 e MCS-9 como esquemas de codificação para prover a adaptação de enlace a ser utilizada pelo EDGE.

#### 4.4 - PROPOSTA DE POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE

Tendo-se em vista as classes de QoS definidas nas recomendações do 3GPP [24], e que são necessárias nas políticas de controle de admissão de sessão, propõe-se uma política de adaptação de enlace, com o desligamento dos esquemas de codificação menos usados ou menos eficientes.

Dado os experimentos realizados em campo, pode-se propor que na configuração de adaptação de enlace, apenas alguns MCS sejam utilizados, buscando-se assim uma maior eficiência na utilização dos esquemas de codificação e reduzindo-se a necessidade de processamento dos rádios para escolher MCS. Nessa política proposta, os demais esquemas de codificação (MCS-1, MCS-2, MCS-4, MCS-5, MCS-7 e MCS-8) devem ser desabilitados do sistema de rádio da BTS. Assim, os MCS e as respectivas faixas de C/I propostos para existirem no EDGE com a configuração LA habilitada são mostrados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Esquemas de codificação propostos para existirem na política de LA EDGE

Nível de C/I (dB)	Esquema de Codificação
$C/I \leq 10$	MCS-3
$C/I > 10$	MCS-6
$C/I > 21$	MCS-9

Portanto, as famílias de MCS B e C devem ser desabilitadas e somente a família de MCS A participará da política de adaptação de enlace.

Estendendo-se essa política para a rede IMS, de forma a criar um paralelo entre as necessidades QoS e o desempenho da rede GERAN, propõe-se adequar as classes de serviço definidas pelo 3GPP com a capacidade de transporte de dados de cada esquema de codificação do EDGE, conforme a Tabela 4.9.

Tabela 4.9: MCS mínimo para atender as classes de serviço de dados

Classe de serviço	MCS mínimo requerido
<i>Background</i>	MCS-3
<i>Interactive</i>	MCS-6
<i>Streaming</i>	MCS-6
<i>Conversational</i>	MCS-9

#### 4.5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo realizamos a comparação dos resultados dos modelos matemáticos e de simulações com os dados medidos em campo. Verificou-se que os resultados das simulações de fato caracterizam o sistema EDGE, pois os resultados dos testes experimentais apresentaram valores máximos de *throughput versus C/I* na mesma ordem de grandeza dos valores teóricos/simulados.

Com relação à configuração de adaptação de enlace, no ambiente móvel considerado, foi possível construir a curva de BLER *versus C/I*, a partir dos dados experimentais. Também foi possível realizar uma análise sobre os dados coletados, no que diz respeito ao desempenho e contribuição de cada MCS dentro da configuração LA. A partir dessas análises, constatou-se que alguns MCS têm pouca contribuição no desempenho do enlace EDGE, permitindo-nos propor uma política de adaptação de enlace apenas com os MCS que tenham melhor performance, para que os recursos gastos nas decisões dos rádios sejam otimizados.

Dessa forma, propõe-se que, para uma operadora móvel, com rede de acesso GERAN a 1.800 MHz, sejam configurados, para o enlace de rádio EDGE, apenas os MCS 3, 6 e 9.

## **5 – CONCLUSÃO**

### **5.1 - REDES 3G**

Originalmente pensadas para o tráfego de voz, as redes de telefonia celular contam agora com serviços projetados para o tráfego de dados. A terceira geração de redes móveis é caracterizada pelo suporte a serviços multimídia e o aumento da capacidade de transporte de dados, com ênfase em serviços comutados por pacotes.

As tecnologias de comutação por pacotes GPRS e EDGE emergiram como soluções eficientes no GSM como caminho de evolução para o 3G. Nas redes GSM, o GPRS implementa a comutação de pacotes na interface aérea do sistema. Desse modo, o usuário transmite informações no canal quando necessário, liberando-o na ausência de tráfego. O GPRS propicia também uma maior taxa de transmissão, habilitando uma série de novas aplicações. No intuito de prover maiores taxas de transmissão, o EDGE implementa outro esquema de modulação mais eficiente, o 8-PSK. O aumento das taxas de dados suportadas pelo EDGE, em combinação com a adaptação de enlace, que traz melhorias substanciais ao seu desempenho, incentivou seu uso com uma solução eventual para os serviços de terceira geração.

O ITU, através do IMT-2000, padronizou os requisitos para que um sistema celular seja considerado como de terceira geração. Por propiciar taxas de transmissão dentro dos padrões do IMT-2000, o EDGE é considerado como sendo um padrão com capacidade de transmissão de terceira geração. A interface GERAN tem seus padrões mantidos pelo 3GPP.

O IMS foi definido pelo 3GPP como a arquitetura de rede responsável por possibilitar o acesso das redes de terceira geração aos serviços multimídia existentes no mundo IP (Internet). Para possibilitar o acesso a esses serviços, realizando o controle de sessão, o 3GPP definiu como protocolo padrão o SIP, por já possuir as características para criar, modificar e terminar sessões multimídia. No caminho de evolução das redes e dos serviços, o acesso de terminais móveis 3G/IMS à rede de pacotes, a ser utilizada pelas operadoras de

rede num primeiro momento, pode ser a rede GSM/EDGE, através de interface de rádio GERAN.

## 5.2- POLÍTICA DE ADAPTAÇÃO DE ENLACE

Esse trabalho apresentou os resultados em campo, em um sistema móvel GSM/EDGE, com o objetivo de avaliar os resultados de simulações sobre a configuração de adaptação de enlace do EDGE. Foi verificado que os resultados experimentais trazem um refinamento dos estudos de [22] e [23], mostrando que cada MCS utilizado na adaptação de enlace possui uma eficiência diferente. Com base nessa característica, propôs-se uma política de adaptação de enlace que, garantindo a continuidade do nível de C/I, utilizando apenas os MCS com melhor desempenho, melhorando-se, assim, o *throughput* e o consumo de recursos de processamento de rádio, já que as escolhas para cada nível de C/I são reduzidas.

## 5.3- APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

No caminho de evolução das redes e dos serviços, o acesso de terminais móveis 3G/IMS à rede de pacotes a ser utilizado pelas operadoras de rede, num primeiro momento, pode ser a rede GSM/EDGE, através de interface de rádio GERAN.

Para atuais serviços disponíveis na Internet, o acesso móvel a transferência de dados já é possível com a rede comutada por pacotes provida pelo EDGE. Se considerarmos os terminais EDGE de média capacidade (baixo custo), utilizando quatro *time slots*, é possível alcançar taxas próximas a 200 kbps, em boas condições de sinal e a uma velocidade razoável de deslocamento relativo (50 Km/h). Essa taxa de 200 kbps é uma taxa doméstica utilizada em sistemas fixo, como o ADSL, e que atendem as atuais demandas de serviço sobre a Internet, como o serviço de mensagens instantâneas, que podem utilizar tanto texto, como voz e até voz e vídeo ao vivo.

Dado que o EDGE é considerado pelo ITU como sendo um padrão com capacidade de transmissão de terceira geração, é esperado que ele possa prover, além dos atuais serviços, os serviços 3G, como por exemplo a vídeo chamada e vídeo conferência

Com a política de adaptação de enlace agregada ao controle de sessão do IMS, é possível para as operadoras montar um modelo de negócios onde os planos podem ser baseados não apenas no volume de tráfego ou no tempo de conexão, mas também na velocidade da transferência de dados ou na qualidade provida.

Além disso, o custo dos terminais 2,5G (GSM/EDGE) são bem menores que os custos dos novos terminais 3G, o que pode se tornar um empecilho para que os serviços 3G se popularizem. Dessa forma, as operadoras podem, com a utilização das atuais redes GSM/EDGE, lançar muitos dos novos serviços de terceira geração (por exemplo, a vídeo chamada), porém sem terem que investir em novos equipamentos. Com isso, podem atualizar suas redes para o padrão 3G/UMTS somente nos grandes centros, onde os interesses de tráfego são maiores e deixar as áreas mais afastadas e as cidades menores com o atual GERAN, porém, provendo serviços de terceira geração.

#### **5.4- SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como proposta para trabalhos futuros, cabe sugerir as seguintes oportunidades:

- Estudo de novas propostas de adaptação de enlace:  
Estudos comparativos com outras velocidades e frequências de operação devem ser realizadas para expandir a política proposta nesse trabalho para outras condições de análise.
- Estudo de impacto da adaptação de enlace no QoS fim a fim:  
Estudos de campo e de simulação para avaliar o impacto da disponibilidade de banda e *throughput* da rede de acesso, dado o MCS utilizado, no *core* da rede de comutação por pacotes (SGSN/GGSN), com relação ao QoS necessário aos tipos de sessão previsto no 3GPP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TS 22.228. 3GPP. Service requirements for the Internet Protocol (IP) multimedia core network subsystem (IMS); Stage 1. TS 22.228, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), March 2005.
- [2] Camarillo, Gonzalo. The 3G IP multimedia subsystem (IMS): merging the Internet and the cellular worlds / Gonzalo Camarillo, Miguel A. Garcia-Martin.-2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- [3] TS 23.002. 3GPP. Network architecture. TS 23.002, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), June 2005.
- [4] TS 23.228. 3GPP. IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2. TS 23.228. 3rd Generation Partnership Project (3GPP), June 2005
- [5] J. Rosenberg and H. Schulzrinne. Session Initiation Protocol (SIP): Locating SIP Servers. RFC 3263, Internet Engineering Task Force, June 2002.
- [6] TS 29.198. 3GPP. Open Service Access (OSA) Application Programming Interface (API); Part1: Overview. TS 29.198-01, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), January 2005.
- [7] TS 29.278. 3GPP. Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic (CAMEL); CAMEL Application Part (CAP) specification for IP Multimedia Subsystem (IMS). TS 29.278, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), April, 2005.
- [8] Miikka Poikselka, Georg Mayer, Hisham Khartabil and Aki Niemi. The IMS IP Multimedia Concepts and Services in the Mobile Domain. - 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [9] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler. SIP: Session Initiation Protocol. RFC 3261, Internet Engineering Task Force, June 2002.

- [10] M. Handley and V. Jacobson. SDP: Session Description Protocol. RFC 2327, Internet Engineering Task Force, April 1998.
- [11] J. Rosenberg and H. Schulzrinne. An Offer/Answer Model with Session Description Protocol (SDP). RFC 3264, Internet Engineering Task Force, June 2002.
- [12] TS 23.060. 3GPP. General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2. TS 23.060, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), June 2005.
- [13] <http://www.3gpp.org>. Acessado em: 27 de novembro 2007.
- [14] Eriksson, M. et al. The GSM/EDGE radio access network - GERAN, System overview and performance evaluation. IEEE Vehicular Technology Conference, May 2000.
- [15] 3GPP TS 43.064 - Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network, Overall description of the GPRS radio interface. [S.l.]: 3GPP, 2000.
- [16] 3GPP TS 45.003 - Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network, Channel coding. [S.l.]: 3GPP, 2000.
- [17] 3GPP TS 05.08 - Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network, Radio subsystem link control. [S.l.]: 3GPP, 2001.
- [18] 3GPP TS 45.050 - Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network, Background for Radio Frequency (RF) requirements. [S.l.]: 3GPP, 2002.
- [19] 3GPP TS 05.05 - Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network, Radio transmission and reception. [S.l.]: 3GPP, 2003.
- [20] 3GPP TS 29.207. Policy control over Gs interface. TS 29.207, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), June 2005.
- [21] 3GPP TS 29.208. End-to-end Quality of Service (QoS) signaling flows. TS 29.208, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), June 2005.
- [22] Queiroz, H. M. O. de, Simulação e Análise de Tráfego na Interface Aérea do Sistema EDGE em Ambientes de Radio Móvel, Dissertação (Master Degree), Universidade Federal de Goiás, 2003.

- [23] Nader, G. Radio Link Performance of Third Generation (3G) Technologies For Wireless Networks, Dissertação (Master Degree), Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.
- [24] 3GPP TS 23.107. Quality of Service (QoS) - Concept and Architecture. TS 23.107 v420 R4, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Oct 2005.
- [25] Bettstetter, C.; Vögel, H.; Eberspächer, J. GSM phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture, protocols, and air interface. IEEE Communications Surveys, v. 2, n. 3, p. 2-14, 3rd trimester, 1999
- [26] Furuskär, A. Can 3G services be offered in existing spectrum? Dissertação (Technical Licentiate), Royal Institute of Tecnology, Suécia, 2001.
- [27] Schramm, P.; AL et. Radio interface performance of EDGE, A proposal for enhanced data rates in existing digital cellular systems. IEEE ICUPC, 1998.
- [28] Furuskär, A. et al. System performance of EDGE, a proposal for enhanced data rates in existing digital cellular systems. IEEE Vehicular Technology Conference, 1998.
- [29] Furuskär, A. et al. Edge: Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution. IEEE Personal Communications Magazine, v. 6, n. 3, p. 56-66, June 1999.
- [30] Nanda, S.; Balachandran, K.; Kumar, S. Adaptation techniques in wireless packet data services. IEEE Communications Magazine, p. 54-64, January 2000.
- [31] Technical document - SMG2 EDGE 274/99 9rev (2), ETSI SMG2 EDGE Working Session, France, August, 1999. Documento disponível em: <http://www.etsi.org>.
- [32] <http://www.gsmworld.com/about/history.shtml> - Acessado em: 27 de novembro 2007.
- [33] ITU-T. REC-G.711-198811. Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. Recommendation G.711, International Telecommunication Union, November 1990.
- [34] P. Calhoun, J. Loughney, E. Guttman, G. Zorn, and J. Arkko. Diameter Base Protocol. RFC 3588, Internet Engineering Task Force, September 2003.
- [35] P. Faltstrom. E.164 number and DNS. RFC 2916, Internet Engineering Task Force, September 2000.

- [36] ITU-T. Gateway control protocol: Version 2. Recommendation H.248, International Telecommunication Union, May 2002.
- [37] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550, Internet Engineering Task Force, July 2003.
- [38] J. Klensin. Simple Mail Transfer Protocol. RFC 2821, Internet Engineering Task Force, April 2001.
- [39] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach, and T. Berners-Lee. Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1. RFC 2616, Internet Engineering Task Force, June 1999.
- [40] ITU-T. Video codec for audiovisual services at p x 64 kbit/s. Recommendation H.261, International Telecommunication Union, March 1993.
- [41] N. Freed and N. Borenstein. Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) Part One: Format of Internet Message Bodies. RFC 2045, Internet Engineering Task Force, November 1996.
- [42] J. Postel. Transmission Control Protocol. RFC 0793, Internet Engineering Task Force, September 1981.
- [43] J. Postel. User Datagram Protocol. RFC 0768, Internet Engineering Task Force, August 1980.
- [44] Software EdgeMonitor fornecido pela Empresa Hexagon Metrology Technologies - São Paulo – Brasil.
- [45] Nokia Corporate – Aparelho celular GSM/GPRS/EDGE modelo 6020
- [46] *Garmin LTD* – Aparelho GPS modelo GPS18 Deluxe