

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

VALÉRIO PEREIRA ETCHARTE

INTEGRAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE COM A REDE MÓVEL
CELULAR TERRESTRE (UMTS)

Niterói

2011

VALÉRIO PEREIRA ETCHARTE

INTEGRAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE COM A REDE MÓVEL
CELULAR TERRESTRE (UMTS)

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Comunicações. Linha de Pesquisa: Sistemas de Comunicações Móveis.

Orientador: Prof. Dr. EDUARDO RODRIGUES VALE

Niterói

2011

VALÉRIO PEREIRA ETCHARTE

INTEGRAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE COM A REDE MÓVEL
CELULAR TERRESTRE (UMTS)

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Comunicações. Linha de Pesquisa: Sistemas de Comunicações Móveis.

Aprovada em 31 de agosto de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. EDUARDO RODRIGUES VALE, D.Sc. - Orientador
Universidade Federal Fluminense

Prof. LENI JOAQUIM DE MATOS, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

Prof. JULIO CESAR RODRIGUES DAL BELLO, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense

Prof. EDUARDO JAVIER ARANCIBIA VÁSQUEZ, D.Sc.
Claro-RJ

Prof. EDUARDO ESTEVES VALE, D.Sc.
Marinha do Brasil

Niterói

2011

Dedico à minha família, pelo carinho e apoio irrestritos na minha trajetória, propiciando as condições necessárias para a realização deste trabalho.

Dedico aos amigos das Diretorias de Engenharia e de Operações da *Star One*, em especial aos da Gerência de Sistemas de Controle e aos da Gerência do Centro de Controle do Segmento Espacial (CCSE), que tanto contribuíram para o êxito deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me proporcionar mais este desafio de vida, por me dar condições físicas e mentais para desenvolver este trabalho e por colocar em minha vida as pessoas que me auxiliaram em mais esta jornada.

A minha esposa Cristina, ao meu filho Pablo, a minha sogra Ana Maria, a minha cunhada Adriana, ao meu concunhado Pierre e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho.

Ao amigo Onésimo que foi meu “co-orientador”, contribuindo significativamente na elaboração deste trabalho.

Ao meu Gerente imediato, Carlos Henrique Vieira da Cunha, por ter acreditado neste projeto, não medindo esforços para obter aprovação junto à diretoria de Engenharia da *Star One*.

A *Star One*, pela valorização e investimento na formação de seus funcionários e dispensa durante os horários de expediente, sem os quais não seria possível iniciar este trabalho.

Ao meu estimado orientador, Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Vale, pela presteza em me orientar, pela dedicação, pelo conhecimento socializado, não medindo esforços, paciência e atenção necessária para atingirmos nossa meta.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	MOTIVAÇÃO	16
1.2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVO	16
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2	UMTS SATÉLITE	19
2.1	ARQUITETURA DE REDE DO S-UMTS	19
2.2	CENÁRIOS DE INTEGRAÇÃO DO S-UMTS	20
2.2.1	TRANSPARÊNCIA NO SATÉLITE	20
2.2.1.1	INTEGRAÇÃO NA INTERFACE I_{ub} (I_{ub}^*) (Cenário $BP_{NODE\ B}$)	21
2.2.1.2	INTEGRAÇÃO NA INTERFACE I_u (Cenário BP_{RNC})	22
2.2.2	SATÉLITE REGENERATIVO	22
2.2.2.1	SATÉLITE COMO NODE B (Cenário $OBP_{Node\ B}$)	23
2.2.2.2	SATÉLITE COMO RNC (Cenário OBP_{RNC})	23
2.2.2.3	GSN NO SATÉLITE (Cenário OBP_{GSN})	25
2.3	ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE INTEGRAÇÃO	25
2.4	ESCOLHA DA CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES PARA O S-UMTS	25
3	PROTOCOLOS DA INTERFACE RÁDIO DO S-UMTS	27
3.1	CAMADA FÍSICA	27
3.2	CAMADA MAC	28
3.3	CAMADA RLC	29
3.3.1	SERVIÇO DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS AM	30
3.3.2	FORMATO DA PDU AM E <i>STATUS</i> PDU	32

3.3.3	VARIÁVEIS DE ESTADO, PARÂMETROS E TEMPORIZADORES	34
3.3.4	FUNÇÃO <i>POLLING</i>	36
3.3.5	TRANSMISSÃO DE <i>STATUS</i>	37
3.4	CAMADA RRC	37
4	QUALIDADE DE SERVIÇO NO S-UMTS	39
4.1	REDES UMTS E NORMAS DE QUALIDADE DE SERVIÇO	39
4.2	REQUISITOS DE SERVIÇO DO S-UMTS	42
4.3	REQUISITOS DE QUALIDADE DE SERVIÇO DO S-UMTS	43
4.4	PARÂMETROS E MÉTRICAS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS	43
4.5	EXPECTATIVA DE DESEMPENHO PARA O USUÁRIO FINAL	44
5	PROTOCOLO RLC NO S-UMTS	48
5.1	ANÁLISE DOS PROTOCOLOS <i>GO-BACK-N</i> E ARQ DE REPETIÇÃO SELETIVA	49
5.2	PROTOCOLO <i>GO-BACK-N</i>	53
5.3	PROTOCOLO ARQ DE REPETIÇÃO SELETIVA	55
5.4	<i>OVERHEAD</i> DO PROTOCOLO	59
5.5	MODIFICAÇÕES DO RLC-AM PARA O S-UMTS	60
6	PROTOCOLO SIP NO S-UMTS	64
6.1	FUNCIONALIDADE	64
6.2	ARQUITETURA	65
6.3	REGISTRO	66
6.4	ESTABELECIMENTO DE SESSÃO BASEADA EM SIP	68
6.5	APRIMORAMENTO DO PROTOCOLO SIP	70
6.5.1	DETALHAMENTO DAS MENSAGENS SIP _{RAN}	73

6.6	ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCEITO SIP_{RAN}	75
7	SIMULAÇÃO DA TÉCNICA DE SEGMENTAÇÃO DA PDU	80
7.1	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	80
7.1.1	CÁLCULO DA BER	81
7.1.2	CÁLCULO DA FER	81
7.2	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	82
8	CONCLUSÕES	89
8.1	SUGESTÕES ADICIONAIS	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	ANEXO A – DERIVAÇÕES DO ATRASO E VAZÃO DO PROTOCOLO ARQ	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Arquitetura de Rede do S-UMTS	20
Figura 2.2	Cenário Satélite Transparente	21
Figura 2.3	Cenário Satélite Regenerativo	24
Figura 3.1	Arquitetura de Protocolo da Interface Rádio	27
Figura 3.2	Mapeamento dos Canais de Transporte em Canais Físicos no S-UMTS	28
Figura 3.3	Mapeamentos dos Canais Lógicos em Canais de Transporte na USRAN	29
Figura 3.4	Estrutura do RLC	30
Figura 3.5	Arquitetura RLC AM	31
Figura 3.6	PDU de dados AM(a) e <i>status</i> PDU(b)	33
Figura 4.1	Arquitetura de QoS do UMTS	40
Figura 5.1	Estratégia de reconhecimento <i>Stop-and-Wait</i>	49
Figura 5.2	Transmissão de dados utilizando a técnica ARQ	51
Figura 5.3	Estratégia de reconhecimento <i>Go-Back-N</i>	54
Figura 5.4	Transmissão de quadros utilizando ARQ de repetição seletiva	56
Figura 5.5	Comparando a vazão e o atraso esperado variando o tamanho do <i>buffer</i>	57
Figura 5.6	Comparando a vazão e o atraso esperado entre o SR-ARQ e o GN-ARQ	58
Figura 5.7	Comparação dos procedimentos UMTS RLC-AM	62
Figura 5.8	Exemplo de transmissões redundantes	63
Figura 6.1	Arquitetura de rede UMTS satélite-terrestre integrada com base em IP	65
Figura 6.2	Procedimento de registro	67
Figura 6.3	Estabelecimento de uma sessão SIP de um usuário móvel para um fixo	69
Figura 6.4	Sinalização NAS	71

Figura 6.5	Sinalização SIP _{RAN}	74
Figura 6.6	Procedimentos NAS + SIP e SIP _{RAN} com vários ângulos de elevação	77
Figura 7.1	Diagrama de blocos da plataforma satélite para cálculo da BER	81
Figura 7.2	BER vs. Eb/No	82
Figura 7.3	FER vs. Eb/No	83
Figura 7.4	Casos equiprováveis	84
Figura 7.5	Número médio de bits transmitidos vs. tamanho do quadro	86
Figura 7.6	Quadro <i>Ethernet</i>	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetros de QoS das classes de tráfego	42
Tabela 2	Expectativa de desempenho para o usuário final	45
Tabela 3	Intervalo das métricas de QoS de acordo com o ambiente operacional	45
Tabela 4	Mapeamento das mensagens NAS em mensagens SIP	73
Tabela 5	Comparação da sinalização padrão com o método SIP _{RAN}	76
Tabela 6	Procedimento de sessão dos métodos NAS + SIP e SIP _{RAN}	79
Tabela 7	Número médio de bits transmitidos em função do particionamento da PDU	86

LISTA DE SIGLAS

3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
ACK	<i>Acknowledgement</i>
AN	<i>Access Network</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BLER	<i>Block Error Rate</i>
BP	<i>Bent Pipe</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BS	<i>Base Station</i>
BSS	<i>Base Station System</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CN	<i>Core Network</i>
CS	<i>Circuit Switching</i>
DCCH	<i>Dedicated Control CHannel (logical channel)</i>
DCH	<i>Dedicated CHannel (transport channel)</i>
DL	<i>Downlink</i>
DTCH	<i>Dedicated Traffic CHannel</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
GBN	<i>Go-Back-N</i>
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i>
GSN	<i>GPRS Support Node</i>
GW	<i>Gateway</i>
HSS	<i>Home Subscriber Service</i>
HTTP	<i>Hypertext Markup Language</i>
I-CSCF	<i>Interrogating Call Session Control Function</i>
IE	<i>Information Element</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>ITU Telecommunication Standardization Sector</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
ME	<i>Mobile Equipment</i>
NACK	<i>Non Acknowledge</i>
NAS	<i>Non Access Stratum</i>
OBP	<i>On-Board Processing</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
P-CSCF	<i>Proxy Call Session Control Function</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
PLR	<i>Packet Loss Rate</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>

RAN	<i>Radio Access Network</i>
RASN	<i>Radio Access Supporting Node</i>
RB	<i>Radio Bearer</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RI	<i>Radio Interface</i>
RLIST	<i>Relative List</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network Subsystem</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
RSVP	<i>Resource Reservation Protocol</i>
RTD	<i>Radio Technology Dependent</i>
RTI	<i>Radio Technology Independent</i>
RTP	<i>Real Time Transport Protocol</i>
RTSP	<i>Real time Streaming Protocol</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
S-CSCF	<i>Serving Call Session Control Function</i>
SDP	<i>Session Description Protocol</i>
SDU	<i>Service Data Unit</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
S-IWU	<i>Satellite-InterWorking Units</i>
SRB	<i>Signaling Radio Bearer</i>
S-UMTS	<i>Satellite Universal Mobile Telecommunications System</i>
TB	<i>Transport Block</i>
TM	<i>Transparent Mode (RLC)</i>
TrCH	<i>Transport Channel</i>
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
T-UMTS	<i>Terrestrial Universal Mobile Telecommunications System</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Uplink</i>
UM	<i>Unacknowledged Mode (RLC)</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication Services</i>
USIM	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>
USRAN	<i>UMTS Satellite Radio Access Network</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>

RESUMO

O principal objetivo desse trabalho é apresentar um estudo de viabilidade que possibilite integrar os sistemas via satélite ao T-UMTS (*Terrestrial Universal Mobile Telecommunications System*), propiciando um aumento adicional na área de cobertura do T-UMTS. São aqui apresentadas algumas técnicas para a otimização do enlace satélite. O UMTS *Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN) é uma rede móvel de Terceira Geração, cuja finalidade é realizar uma cobertura abrangente e integrada de serviços e aplicações multimídias interativas. A oferta do *roaming* global aos usuários do UMTS é uma de suas metas primordiais. O conceito de integração do UMTS supõe o emprego de um segmento de satélite com uma RAN (*Radio Access Network*) denominada UMTS *Satellite Radio Access Network* (USRAN). Quanto ao protocolo da Interface Rádio (RI), este trabalho centra na questão da aplicabilidade dos protocolos RI T-UMTS no S-UMTS. Realiza-se, também, uma abordagem sobre as normas de qualidade de serviço no S-UMTS. No que se refere à aplicabilidade dos protocolos GBN-ARQ e SR-ARQ, foi feita uma análise comparativa dos mesmos, em termos de vazão e atraso. O *Session Initiation Protocol* (SIP) é um dos protocolos de controle de sinalização da camada de aplicação do modelo OSI mais recente e, para obter um melhor desempenho da sinalização de controle, este trabalho apresenta a integração das mensagens NAS com as mensagens do protocolo SIP. No capítulo de Simulação da Técnica de Segmentação da PDU (*Protocol Data Unit*), pretende-se provar a viabilidade de se segmentar as PDUs no enlace satélite para otimizar a vazão. Os resultados apresentados das simulações poderão ser utilizados por um projetista para especificar um Projeto de Comunicações com Sistemas Móveis via Satélite.

Palavras-chave: Sistema de Comunicação Móvel, Tecnologia 3G, Satélite, Telefonia Celular, Protocolo de Comunicação.

ABSTRACT

The main goal of this dissertation is to present a study that makes possible to integrate the satellite systems to the T-UMTS (*Terrestrial Universal Mobile Telecommunications System*), causing an additional growth of the satellite link. The UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) is a 3G mobile network, the purpose of it is to make possible a broad and integrated coverage of services and interactive multimedia applications. The global roaming offer to the UMTS user is one of their main purposes. The UMTS integration concept supposes a satellite segment application with a Radio Access Network (RAN) named UMTS Satellite Radio Access Network (USRAN). About the RI protocol, this work centers on the protocol applicability matter RI T-UMTS in the S-UMTS. An approach on standards of service quality in S-UMTS is performed. Referring to GBN-ARQ and SR-ARQ applicability protocol, an analysis was made comparing both in terms of delay and throughput. The SIP (*Session Initiation Protocol*) is one of the most recent application layer signaling control protocol of the OSI model and to optimize the control signaling, this work presents a integration of NAS messages with the SIP protocols messages. In the chapter about Simulation of the PDU (*Protocol Data Unit*) Segmentation Technique is intended to prove the feasibility of partitioning the PDUs in the satellite link in order to optimize the throughput. The presented results of simulations can be used by a designer to specify a communication project with Satellite Mobile Systems.

Keywords: Mobile Communication System, 3G Technology, Satellite, Cellular Telephony, Communication Protocol.

1 INTRODUÇÃO

O processo de convergência das tecnologias de telecomunicações evoluiu aceleradamente nos últimos anos, promovendo profundas alterações na organização do trabalho, na indústria, no comércio, na prestação de serviços, nas pesquisas, na vida particular do cidadão, na saúde e na educação. Dentre os maiores representantes desse processo, figuram os serviços multimídia, hoje presentes em dispositivos móveis e celulares.

O acesso à informação tem se tornado cada vez mais rápido e ubíquo (no sentido de que independe do dispositivo sendo utilizado ou de sua localização). Com o escopo de prover serviços em qualquer lugar, a qualquer hora, independente da localização do usuário, surge o S-UMTS (*Satellite Universal Mobile Telecommunications System*), o qual possibilita a Integração das Comunicações Via Satélite com a Rede Móvel Celular Terrestre (UMTS).

Essa nova arquitetura viabiliza *roaming* global aos usuários do T-UMTS, atendendo, assim, à demanda pelos novos serviços de telecomunicações. O componente satélite passa a desempenhar um papel complementar na rede T-UMTS ao estender não somente a cobertura do T-UMTS, mas também, a área de serviço fornecida, enquanto mantém a compatibilidade do terminal e a portabilidade do serviço com uma enorme variedade de aplicações e serviços interativos [1].

Diversos estudos têm sido conduzidos para viabilizar tal adequação, cujos principais obstáculos são o grande atraso de propagação e o comportamento do canal com relação aos erros. Cumpre ressaltar as atividades relacionadas a esses objetivos nos foros de padronização, como o ITU (*International Telecommunication Union*) e o IETF (*Internet Engineering Task Force*).

Diante do exposto, este trabalho apresenta um estudo baseado no 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) sobre as várias estratégias de otimização do enlace satélite, com o objetivo de integrar a rede T-UMTS ao componente satélite, provendo de maneira eficiente os serviços do S-UMTS ao longo de grandes áreas geográficas.

Também é demonstrada, via simulação no *software* Matlab (Módulo *Simulink*), a viabilidade de se otimizar a vazão no enlace satélite através da técnica de segmentação de PDUs.

1.1 MOTIVAÇÃO

Do final do século XX ao início do XXI foi um período em que se efetivaram, em todo mundo, as mais amplas reformas políticas no setor de telecomunicações. Um processo de liberalização e privatização, o qual envolveu países desenvolvidos e emergentes – entre eles o Brasil – foi colocado em prática, levando-se em consideração o rápido desenvolvimento e a convergência dos recursos de informática e telecomunicações.

Esse processo tornou-se perceptível em vários países, tendo sido o responsável pela reorganização de mercados, além de servir como estimulador de fusões de empresas prestadoras de diferentes serviços de telecomunicações, possibilitando o surgimento de várias tecnologias multimídias [2].

O aperfeiçoamento dos sistemas de comunicações multimídia móveis via satélite é impulsionado por dois fatores: primeiro, a necessidade de se estabelecer uma infraestrutura de multimídia em escala global e, em segundo, a de estender a área de cobertura dos serviços multimídia para a comunidade 3G móvel.

Em outras palavras, os usuários que viajam pelo mundo por meio de aeronaves, navios ou veículos terrestres poderão vir a usufruir da nova tecnologia. Em contrapartida, eles esperam que as operadoras de telecomunicações forneçam seus serviços com mais qualidade e com melhores taxas de transmissão.

Nesse contexto, os sistemas satélites podem prover tais serviços com eficiência, desempenhando um papel significativo na extensão e aperfeiçoamento do T-UMTS. Assim, no presente trabalho, pretende-se realizar um estudo investigativo acerca das características e soluções para obter-se o maior desempenho possível no enlace satélite.

1.2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

Nos últimos anos, as redes móveis vêm apresentando consideráveis avanços tecnológicos, que permitiram a evolução dessas redes. De uma tecnologia analógica com a primeira geração (1G), proporcionando apenas aplicações de voz, as redes móveis evoluíram para a tecnologia digital, com a segunda geração (2G), facultando aplicações básicas de voz e de dados.

Em virtude do sucesso das aplicações multimídia na *Internet*, surgiu a demanda por esse tipo de aplicação também nas redes móveis. Para isso, a segunda geração foi

desenvolvida com o objetivo de oferecer maior capacidade de transmissão, tornando as redes móveis um ambiente propício para o suporte a essas aplicações. Dessa evolução, surgiu a terceira geração de sistemas móvel denominada 3G.

A terceira geração alcança taxas de até 2 Mbps, contudo, diversas regiões não possuem infraestruturas terrestres, o que inviabiliza o uso desta tecnologia. Para resolver este problema, a comunidade de pesquisa vem buscando soluções para integrar as regiões que não possuem tais infraestruturas com o componente satélite.

Outras pesquisas reconheceram a necessidade de integração do T-UMTS com o componente satélite:

Zangar et al. (2006) realizaram um estudo de dimensionamento e capacidade da USRAN (UMTS *Satellite Radio Access Network*), o qual pode ser usado para controle de admissão de chamadas. Já Kueh, Tafazolli e Evans (2004) propõem um aprimoramento do protocolo RLC, através de um sistema de retransmissão baseado em um temporizador. Giambene et al. (2006) fizeram uma investigação sobre o desempenho dos diferentes esquemas de agendamento para o gerenciamento de vídeo em um enlace satélite.

Por sua vez, Albertazzi et al. (2003) analisaram o desempenho dos serviços de *broadcast* e *multicast* com diferentes parâmetros da camada física. Schultz et al. (2002) descreveram uma arquitetura de QoS para rede baseada em pacotes e mecanismos específicos definidos para o provisionamento de QoS multiserviço no S-UMTS.

Foram ainda os últimos autores, que algum tempo depois, no artigo “TCP *Performance Enhancement for UMTS Access Network*”, publicado no periódico *Future Generation Communication and Networking Symposia* (2008) , mencionados no parágrafo anterior, expuseram um método para otimizar o desempenho do TCP no UMTS. Já Lindemann, Lohmann e Thummler (2003) realizaram abordagens matemáticas para propor soluções de qualidade. De forma geral, todos esses estudos têm a mesma concepção e intenção: propor mecanismos sempre se preocupando em prover os usuários de uma maior capacidade em termos de canalização (*throughput*), confiabilidade e alta disponibilidade.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em oito capítulos. No capítulo 1, apresenta-se a motivação, a justificativa e os objetivos do tema. Já o capítulo 2 descreve a arquitetura de rede do S-UMTS e os possíveis cenários de integração.

Por sua vez, o capítulo 3 expõe os protocolos da interface rádio do S-UMTS e suas principais funcionalidades, enquanto que o capítulo 4 mostra as normas de qualidade de serviço no S-UMTS. No capítulo 5 é descrito o protocolo RLC, bem como suas modificações para uso no S-UMTS e o capítulo 6 descreve as funcionalidades, a arquitetura e o aprimoramento do protocolo SIP para uso no S-UMTS.

No capítulo 7, apresenta-se a simulação da técnica de segmentação da PDU e seus resultados. Finalmente, o capítulo 8 relata as conclusões, bem como as sugestões adicionais.

2 UMTS SATÉLITE

O UMTS *Terrestrial Radio Access Network* constitui-se na rede móvel de terceira geração que visa à realização de uma cobertura global e integrada com uma enorme variedade de aplicações e serviços interativos. Um dos seus principais objetivos é proporcionar *roaming* global aos usuários do UMTS e, por conseguinte, prover de maneira eficiente os serviços do UMTS ao longo de grandes áreas geográficas.

Nesse contexto, o componente satélite exerce um papel primordial na extensão e na melhoria do UMTS *Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN) existente, doravante chamado de UMTS *Satellite Radio Access Network* (USRAN).

2.1 ARQUITETURA DE REDE DO S-UMTS

Uma rede S-UMTS [10] consiste na interação de três domínios: *Core Network* (CN), UMTS *Satellite Radio Access Network* (USRAN) e *User Equipment* (UE). O domínio *User Equipment* (UE) é composto pelo Módulo de Identificação do Usuário UMTS e do Equipamento Móvel.

A infraestrutura de rede é composta pelos domínios AN e CN. O domínio AN (*Access Network*) provê funções de acesso à interface aérea e o CN (*Core Network*), funções relacionadas às redes fixas, tais como: comutação e roteamento.

De acordo com [10], na arquitetura S-UMTS o UE deve ser multimodo, a fim de viabilizar transmissão direta para o satélite. A funcionalidade destes domínios no S-UMTS depende do cenário de integração projetado entre os componentes terrestres e satélites. A Figura 2.1 apresenta a Arquitetura de Rede do S-UMTS.

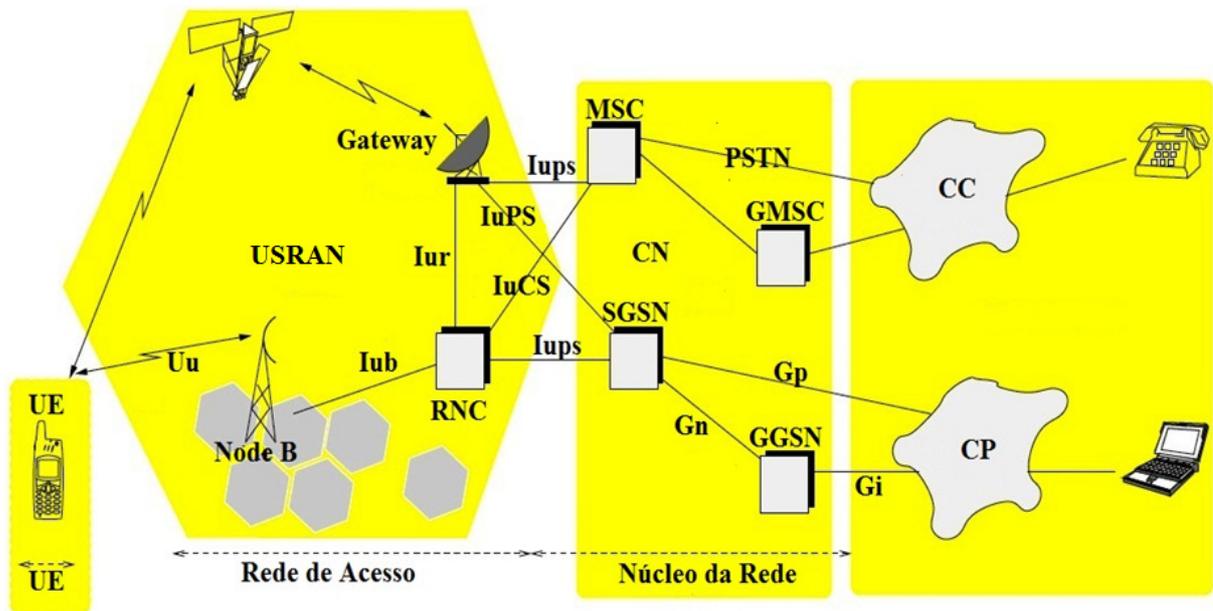


Figura 2.1: Arquitetura de Rede do S-UMTS.

2.2 CENÁRIOS DE INTEGRAÇÃO DO S-UMTS

O conceito de integração do UMTS sugere a utilização de um segmento satélite como uma RAN (*Radio Access Network*) chamada *UMTS Satellite Radio Access Network* (US-RAN). Nesse conceito, a infraestrutura terrestre pode ser utilizada com pequenas adaptações ou modificações [10], porém, ainda não foi definido um cenário de integração. Várias pesquisas para se chegar a um sistema ótimo foram realizadas de acordo com vários pontos de referência, como, por exemplo, o tipo de tecnologia de acesso (Direto/Indireto), o tipo de órbita (*GEO-Síncrona/Não GEO-Síncrona*) e o grau de processamento *On-Board* (*Regenerativo/Bent Pipe*).

2.2.1 TRANSPARÊNCIA NO SATÉLITE

No presente cenário, todos os protocolos do CN e da RAN são implementados no segmento terrestre. O satélite faz o papel de repetidor e amplificador de sinais de RF. Como consequência, nenhum chaveamento *on-board* ou alto grau de roteamento é possível em tal contexto. Todas as conexões dos terminais interligados via satélite são roteadas pelo

segmento terrestre. Dois cenários podem ser destacados em termos de interface entre o componente satélite e o CN terrestre, como será descrito em seguida.

2.2.1.1 INTEGRAÇÃO NA INTERFACE I_{ub} (I_{ub^*}) (Cenário $BP_{Node B}$)

Neste cenário, o *gateway* exerce a função de um Node B, interligando-se ao *Radio Network Controller* (RNC) terrestre via interface I_{ub} . A parte superior da Figura 2.2 retrata, esquematicamente, a arquitetura da rede aludida.

A fim de prover uma interface I_{ub} compatível com as especificações do 3GPP para o RNC padrão, os GWs possuem o *Satellite-InterWorking Units* (S-IWU), cuja finalidade é gerenciar todos os procedimentos específicos do satélite [11], como o gerenciamento de mobilidade inter/intra satélite e os procedimentos de controle de potência. Porém, como o *gateway* não possui as funcionalidades de um RNC no cenário $BP_{Node B}$, a função *Inter Working* (IW) deve ser implementada no RNC terrestre.

O RNC equipado com o S-IWU é chamado de RNC* e a interface I_{ub} entre o RNC* e o GW de I_{ub^*} . Do ponto de vista do componente satélite, esse cenário tem a vantagem da integração do componente satélite no UMTS terrestre com uma pequena modificação do GW existente, já que a maior parte das funcionalidades IW são executadas no RNC* terrestre. A desvantagem desse cenário, é que os procedimentos específicos do componente satélite são controlados pelo componente terrestre RNC*.

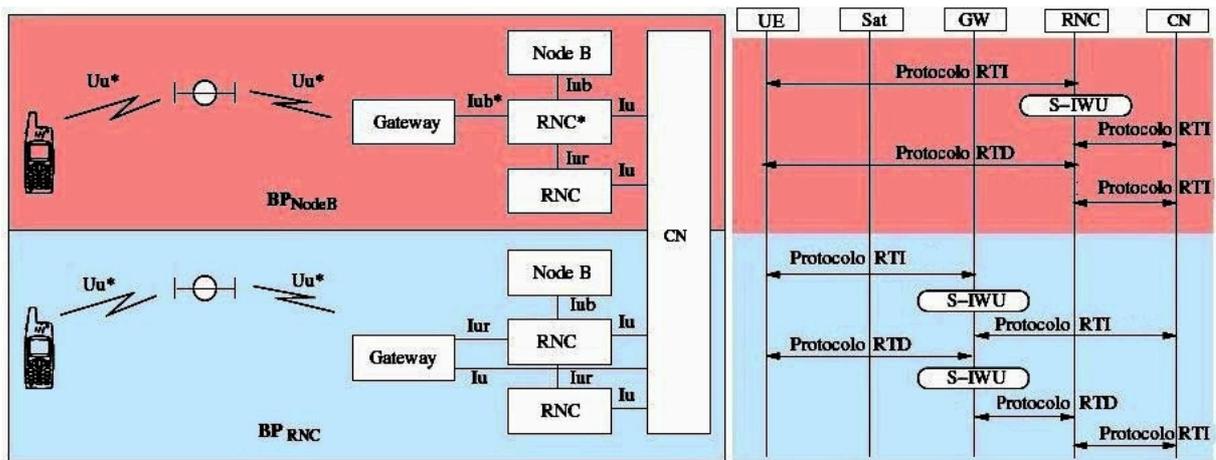


Figura 2.2: Cenário Satélite Transparente.

2.2.1.2 INTEGRAÇÃO NA INTERFACE I_u (Cenário BP_{RNC})

Nesse cenário [12], de acordo com a parte inferior da Figura 2.2, o segmento satélite é conectado diretamente ao CN do UMTS por meio de uma interface I_u padrão, como se fosse uma USRAN, ou seja, o GW satélite é estendido com a funcionalidade S-IWU do UMTS *Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN).

Ao contrário do cenário $BP_{Node\ B}$, os procedimentos específicos do satélite para o protocolo RTD (*Radio Technology Dependent*) são controlados diretamente pelo GW satélite. Ademais, já que o GW converte os sinais do protocolo RTI (*Radio Technology Independent*) para o formato padrão e os encaminha para o CN do UMTS, não há necessidade de extensão funcional do componente terrestre.

No gerenciamento de mobilidade inter-segmento, pode-se usar as interfaces I_{ur} entre o GW e os RNCs terrestres, onde o intervalo de sinalização na interface I_{ur} pode ser diferente de acordo com o tipo da interface satélite, contudo, a especificação da interface I_u para o T-UMTS pode ser usada sem qualquer alteração no S-UMTS, em virtude da utilização do GPRS *Support Node* (GSN). A vantagem desse cenário é a facilidade de integração do componente satélite com o T-UMTS.

2.2.2 SATÉLITE REGENERATIVO

Os satélites regenerativos são, primariamente, caracterizados pela demodulação de sinais de telecomunicação *on-board*, entretanto, as demais funções dos nós de rede do UMTS, ou seja, a funcionalidade Node B, as funções RNS e até mesmo as funções do CN, podem ser implementadas *on-board* criando, assim, o chamado processamento *on-board* [10].

A Figura 2.3 apresenta uma visão geral de alguns cenários de satélite regenerativo (Processamento *on-board*). Note-se que a coexistência entre os componentes satélites *Bent-Pipe* (BP) e o Processamento *on-board* (OBP) também é considerável. Conseqüentemente, a interface entre ambos os tipos de sistemas, em particular a interface entre o GW (tipo OBP) e o RNC * (tipo BP) do sistema satélite é representada pela interface I_{ur} .

2.2.2.1 SATÉLITE COMO NODE B (Cenário $OBP_{Node\ B}$)

Neste cenário, as funcionalidades RNC e Node B são implementadas separadamente nos satélites e no GW, respectivamente [12]. O S-IWU localiza-se no GW (parte superior da Figura 2.3). Como os satélites, neste cenário, possuem as funções de um Node B, as interfaces entre os satélites e o GW são representadas pela interface I_{ub^*} .

A configuração $OBP_{Node\ B}$ implementa um chaveamento inteligente entre os *spots* do mesmo satélite e uma utilização eficiente dos canais físicos devido a um controle de potência otimizado. Em função do elevado RTT do satélite, o controle de potência é um dos problemas críticos do sistema de comunicação via satélite.

Neste contexto, a complexidade do sistema está localizada no segmento terrestre, o que facilita o *handover* entre as redes satélite e terrestre. Visando a reduzir o atraso de propagação na camada enlace de dados e permitir um controle de potência eficiente, torna-se necessário um *upgrade* adicional do processamento *on-board* do satélite.

2.2.2.2 SATÉLITE COMO RNC (Cenário OBP_{RNC})

Neste cenário [12], as funções RNC estão *on-board*. Os Satélites e os GWs são conectados pelas interfaces I_{ur^*} , que fornecem procedimentos específicos como *roaming* e *handover*. A parte central da Figura 2.3 apresenta uma visão geral das interfaces consideradas neste cenário.

Observa-se que a coexistência entre os tipos de satélite OBP_{RNC} e $OBP_{Node\ B}$ é bem relevante. Neste caso, a conexão entre ambos os tipos de satélite é realizada por meio do GW satélite via interface I_{ur^*} . Tal cenário (OBP_{RNC}) oferece vantagens adicionais ao cenário $OBP_{Node\ B}$ em termos de processamento eficiente do protocolo da camada enlace de dados e controle de potência *outer loop*.

A função RNC nos satélites reduz o tempo de propagação do tráfego de sinalização nos enlaces entre o equipamento do usuário (UE) e o GW, devido ao fato de que os satélites podem processar os sinais de controle e dados antes de encaminhá-los ao GW ou aos UEs. Esse efeito aumenta o desempenho do *Radio Link Control Acknowledged Mode* (RLC-AM), que faz a correção de erros por meio da retransmissão da Unidade de Dados de Protocolo.

Como o *status* de transmissão pode ser enviado diretamente pelo satélite, o tempo de espera do emissor para recebê-lo é reduzido e, em consequência, há uma redução do atraso de transmissão na camada de enlace de dados. No cenário OBP_{RNC} , o controle de potência *outer loop* é realizado diretamente pelo RRC, baseando-se nas condições da interface rádio, tornando-o mais eficaz do que no cenário $OBP_{Node B}$.

Em relação ao aspecto de gerenciamento de mobilidade, o cenário OBP_{RNC} oferece uma vantagem adicional sobre o cenário $OBP_{Node B}$. Nele, os satélites implementam o protocolo da camada de rede, interligando-se via interface I_{ur}^* , viabilizando o gerenciamento de mobilidade inter-node B (Satélite), sem a necessidade de se passar por um GW, contudo, o cenário OBP_{RNC} não permite a comunicação *single hop* (conexão entre dois terminais ligados por canais de satélite) entre os UEs via satélite, pois o *GPRS Support Node* (GSN) está localizado em terra e todo o tráfego, obrigatoriamente, tem que ser roteado por ele. Visando a viabilizar a comunicação *single hop* entre os UEs via satélite, apresenta-se o cenário OBP_{GSN} na próxima seção.

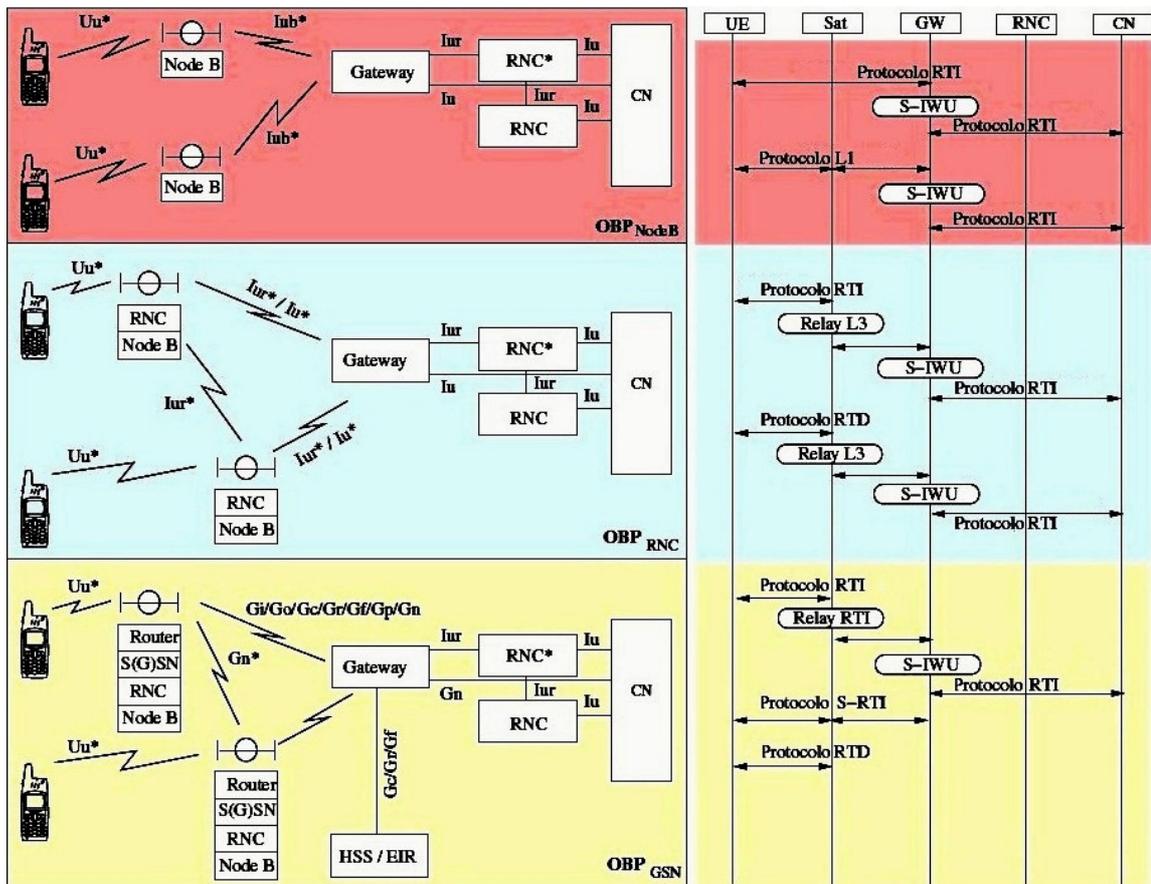


Figura 2.3: Cenário Satélite Regenerativo.

2.2.2.3 GSN NO SATÉLITE (Cenário OBP_{GSN})

Nesta abordagem, conforme a parte inferior da Figura 2.3, o *core network* está localizado no segmento espacial permitindo comunicação *single hop*, ou seja, a conexão entre dois terminais ligados por canais de satélite não precisa ser roteada através de um segmento terrestre. Uma solução, tal como o cenário OBP_{GSN} , seria desejável para alavancar a evolução dos satélites de processamento *on-board*. Embora este cenário ofereça vários benefícios para os usuários de um sistema satélite, a complexidade do sistema é substancialmente maior em comparação com os cenários mencionados anteriormente.

As interfaces G_o , G_i , G_p , G_n , G_c , G_r , G_f , I_{uPS} e I_{uT} devem receber suporte do GW. Com relação ao aspecto do gerenciamento de mobilidade do segmento, isto é, o gerenciamento de mobilidade entre os componentes satélite e terrestre, o processo de autenticação e endereçamento deve ser realizado ainda pelo segmento terrestre, em particular pelo CN do UMTS, para o gerenciamento centralizado dos segmentos de rádio.

2.3 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE INTEGRAÇÃO

Em relação às considerações anteriores, a análise dos cenários de integração indica diferentes benefícios e requisitos técnicos [13], dependendo do nível da capacidade de processamento *on-board* do satélite. Com o escopo de avaliar os cenários de integração com foco no aspecto do protocolo AN, os cenários BP_{RNC} e OBP_{RNC} foram selecionados como modelos de referência. Tal escolha se justifica pelo seguinte fato: o cenário BP_{RNC} representa o esforço mínimo para adaptação dos atuais padrões UMTS terrestres e, por isso, viabiliza a convergência com as redes UMTS terrestres. O cenário OBP_{RNC} mantém as vantagens do cenário BP_{RNC} e melhora o desempenho do sistema do componente de satélite, especialmente em termos de protocolo da camada enlace de dados e controle de potência.

2.4 ESCOLHA DA CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES PARA O S-UMTS

Diferentes constelações e órbitas podem ser previstas para a exploração de serviços S-UMTS [13]. Nenhuma constelação universal ótima existe, de fato, devido à variedade de pró

e contras das constelações de satélites discutidas. Abaixo, as características de dois exemplos de órbitas, GEO (*Geostationary*) e LEO (*Low Earth Orbits*), foram comparadas em termos de área operacional.

Os satélites GEO-síncronos orbitam a Terra em altitudes de 36.000 km, resultando em indesejáveis atrasos de propagação para um sistema de comunicações. O atraso de propagação entre duas estações terrestres, comunicando-se por meio de um satélite GEO, é de 500 ms, aproximadamente. Para a classe conversacional definida pelo 3GPP, esse atraso não é aceitável e, portanto, o uso de um componente de satélite GEO para tal tipo de aplicação é impraticável [13].

O desempenho de protocolos com um mecanismo de controle de congestionamento baseado em *time-out* e *acknowledgement* (transferência RLC-AM ou *Transmission Control Protocol*) está diretamente relacionado ao produto atraso-largura de banda. Um longo atraso de propagação causa uma degradação significativa do desempenho do tráfego, quando as aplicações requerem tais protocolos. Todavia, apesar do longo atraso de propagação, o uso de satélites GEO no S-UMTS [13] é interessante devido a sua ampla área de cobertura e sua disponibilidade de alta taxa de transferência de dados na direção *downlink*.

Os satélites posicionados na órbita terrestre baixa (LEOs) orbitam a altitudes entre 700 e 2000 km. Eles têm potencial para oferecer relevantes resultados nos futuros sistemas de comunicação global [13], já que seu atraso de propagação do sinal é bem menor e requerem menos energia dos terminais terrestres.

Os sistemas LEO empregam células de cobertura menores, permitindo a reusabilidade de frequência. A grande desvantagem do LEO em comparação ao GEO é que um satélite LEO se move com alta velocidade ao redor da Terra: por exemplo, com uma velocidade de 8 km/s em relação ao solo, o movimento do satélite pode aumentar o número típico de *handovers* durante uma chamada, aumentando a quantidade de controle e/ou o tráfego de reserva [13].

3 PROTOCOLOS DA INTERFACE RÁDIO DO S-UMTS

A arquitetura de protocolo RI apresentada está alinhada com a padronização ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), visando à compatibilidade do componente de satélite com as redes terrestres.

Esta seção apresenta uma abordagem da atual especificação do protocolo RI, especialmente a camada física do S-UMTS e a camada superior do UMTS, focando na aplicabilidade dos protocolos RI T-UMTS no S-UMTS [13].

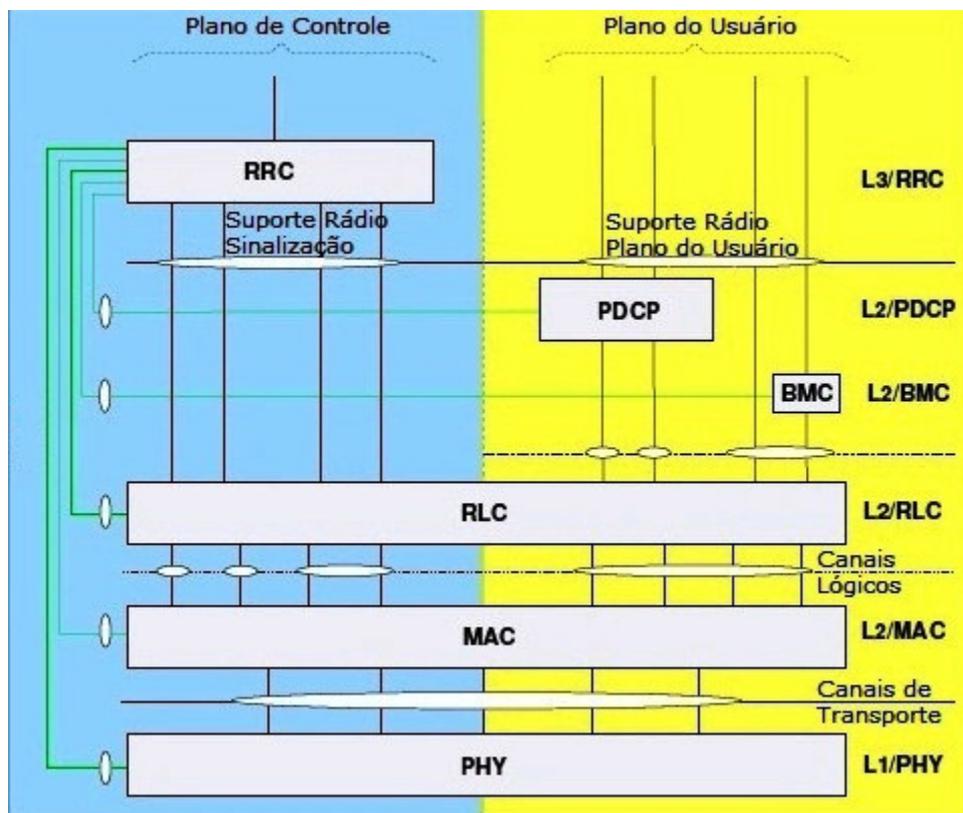


Figura 3.1: Arquitetura de Protocolo da Interface Rádio.

3.1 CAMADA FÍSICA

A Camada Física (geralmente abreviada para PHY, PL ou L1) é a camada mais inferior do Modelo de Referência de Interconexão de Sistemas Abertos (OSI). Ela provê suporte a todas as funções exigidas para a transmissão do fluxo de bits no meio físico. A camada física

do S-UMTS foi totalmente especificada em [14], [15] e [16], tendo como base o padrão do 3GPP para o T-UMTS.

A funcionalidade básica da camada física do S-UMTS é a mesma especificada para o T-UMTS [13]. O ETSI adaptou o protocolo de camada física T-UMTS e realizou diversas mudanças com relação às estruturas e parâmetros dos canais físicos. A Figura 3.2 apresenta o mapeamento dos canais de transporte em canais físicos no S-UMTS.

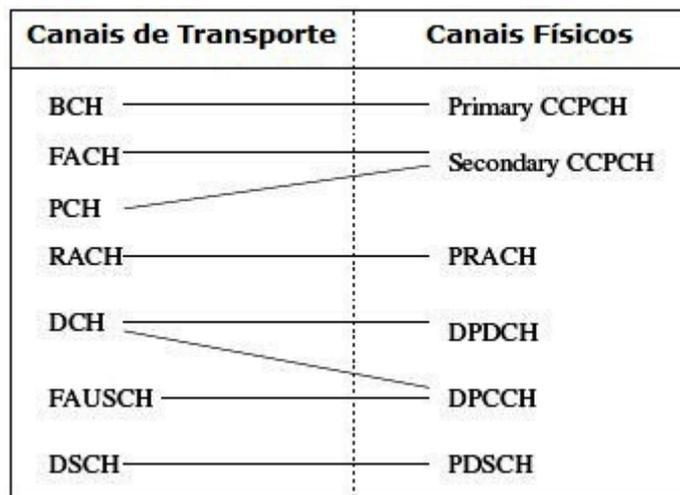


Figura 3.2: Mapeamento dos Canais de Transporte em Canais Físicos no S-UMTS.

3.2 CAMADA MAC

O protocolo da camada MAC, especificado em [17], fornece, principalmente, as seguintes funcionalidades: multiplexação e demultiplexação da unidade básica de transporte de informação (*Transport Block*), mapeamento entre os canais lógicos e os canais de transporte, medição de volume de tráfego e seleção do *Transform Format* (TF) mais apropriado para cada canal de transporte.

Todas as funcionalidades da camada MAC, definidas para o T-UMTS, podem ser reutilizadas no S-UMTS. A camada MAC mapeia os canais lógicos – usados pela camada RLC e fornecidos pela camada MAC – nos canais de transporte da camada física. A Figura 3.3 ilustra todos os possíveis mapeamentos dos canais lógicos nos canais de transporte na USRAN.

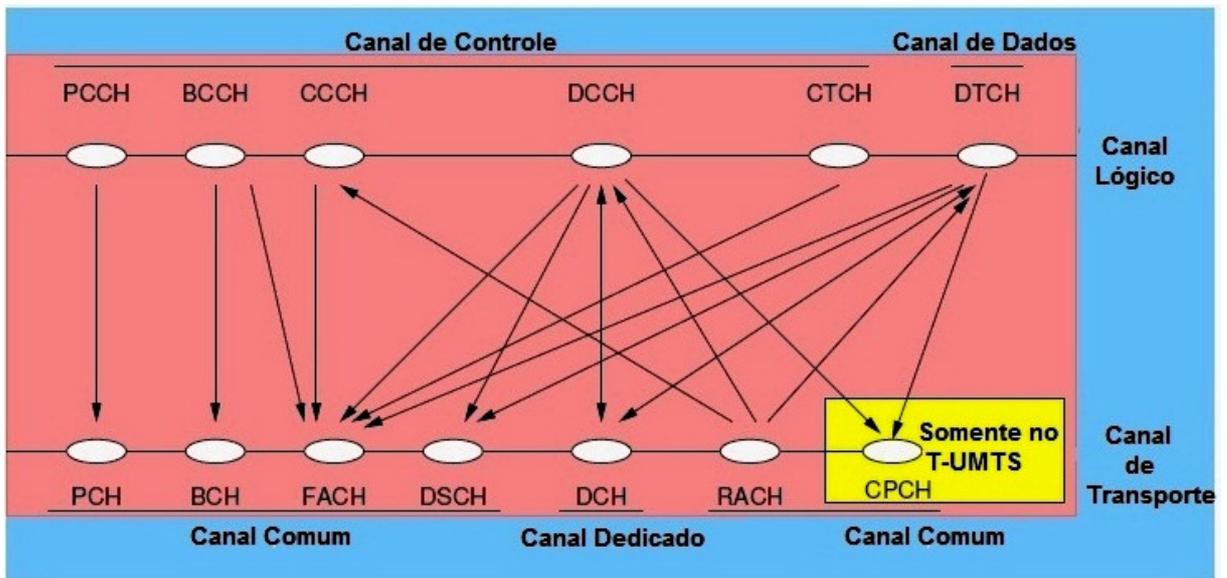


Figura 3.3: Mapeamentos dos Canais Lógicos em Canais de Transporte na USRAN.

3.3 CAMADA RLC

O RLC é um protocolo da camada de enlace de dados para o *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) [18], o qual está localizado entre a camada MAC e os níveis superiores da pilha de protocolos do UMTS.

O RLC fornece *buffering*, segmentação/remontagem e correção de erro através do protocolo de Solicitação de Repetição Automática, tanto para os dados do usuário, quanto para os dados de controle.

Em relação aos serviços prestados aos níveis superiores, o RLC pode ser configurado de três formas distintas: *Transparent Mode* (TM), *Unacknowledged Mode* (UM) e *Acknowledged Mode* (AM), que são determinados pelo RRC antes da transmissão de dados. Sua estrutura é mostrada na Figura 3.4. A escolha de um determinado modo de transferência RLC é geralmente realizada de acordo com o tipo de serviço desejado, ou seja, se o serviço é sensível ao atraso ou sensível ao erro. Os modos TM e UM especificados pelo 3GPP podem ser adaptados para o S-UMTS sem qualquer modificação.

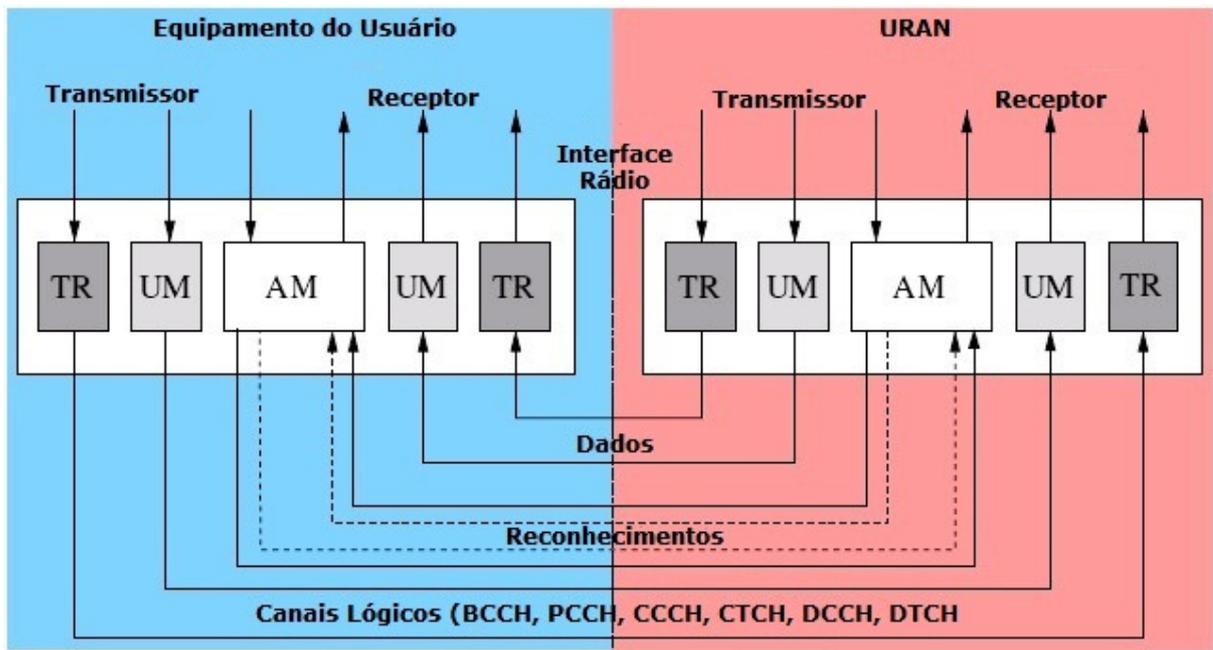


Figura 3.4: Estrutura do RLC.

3.3.1 SERVIÇO DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS AM

O serviço de transferência de dados AM transmite às PDUs das camadas mais altas, com garantia de entrega à entidade *peer* RLC (destinatário) por meio do protocolo ARQ. A Figura 3.5 apresenta as funcionalidades de uma entidade RLC AM, sendo que as partes mais relevantes do modelo são os *buffers* de transmissão/retransmissão e a unidade de controle do RLC.

O *Buffer* de retransmissão é usado para armazenar toda a PDU RLC AM até que elas sejam reconhecidas pela entidade *peer* RLC (destinatário). Em caso de reconhecimento negativo, a unidade de controle ordena a retransmissão das PDUs que apresentaram erro, às quais são copiadas do *Buffer* de retransmissão de volta para o *Buffer* de transmissão. Assim, é possível usar um mecanismo de ARQ, de modo a garantir a entrega correta das PDUs. O RLC usa dois tipos de PDU: PDU de dados e PDU de controle. As PDUs de dados são utilizadas para transportar o *payload*, ao passo que as de controle transportam informação de protocolo [18].

A operação do modo AM é realizada do seguinte modo: os pacotes são segmentados em PDUs de tamanho fixo, sendo enviados ao *peer* RLC (destinatário) durante o período em que a janela de transmissão é inferior ao tamanho máximo da janela. A entidade *peer* RLC reagrupa as PDUs e as disponibiliza ao nível acima. O receptor envia, então, um relatório

(*Status Report*) contendo o *bitmap acknowledgement* de cada número de sequência recebido com sucesso. Tal relatório pode ser enviado periodicamente ou como resposta a um pedido específico.

Existem quatro tipos diferentes de PDUs de controle [18]: *Status Report*, *Piggy-Backed Status Report*, *Reset* e *Reset Acknowledgement*. A PDU de controle *Reset* e a de controle de *Reset Acknowledgement* são usadas em situações de erro não recuperáveis para reconfigurar toda a conexão a um estado definido.

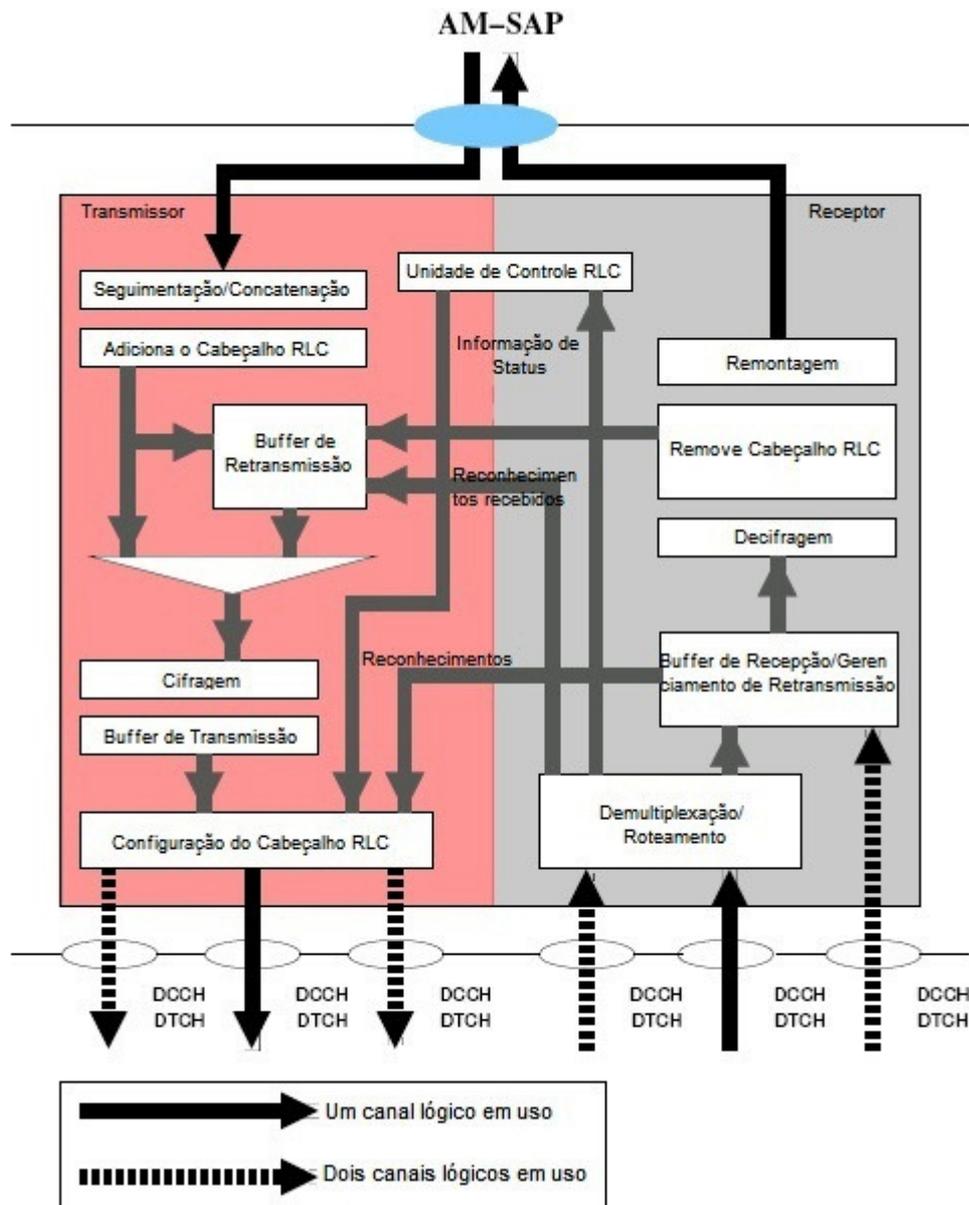


Figura 3.5: Arquitetura RLC AM.

3.3.2 FORMATO DA PDU AM E *STATUS* PDU

A PDU de dados AM, apresentada na Figura 3.6(a), transfere dados do usuário e informação adicional de *status*. Um relatório de *status* pode ser requisitado inserindo-se o *status* “P” no bit de *Poll*. A PDU de *status*, descrita na Figura 3.6(b), provê meios para transferência de informação de controle entre as entidades de recepção e transmissão. Podem existir informações de *status*, tanto do receptor como do transmissor, incluídas na mesma PDU de *status*. De acordo com [18], os bits e as combinações desses nas PDUs têm o seguinte significado:

- O campo chamado D/C indica se a PDU é de dados ou de controle;
- O campo denominado tipo de PDU indica o tipo de PDU de controle;
- O bit *polling* (P) é usado para requisitar um relatório de *status* da entidade coligada;
- Os bits HE e E indicam a extensão do cabeçalho dentro da PDU;
- O número de sequência indica o número da PDU transmitida e depende da variável VT(S);
- O campo indicador de comprimento (LI) indica o fim de uma SDU dentro do *payload*;
- O bloco de dados representa as SDUs da RLC ou segmentos dela;
- O preenchimento (*Padding*) completa as PDUs que não são totalmente utilizadas de modo que as PDUs tenham comprimentos iguais;

Uma PDU de *status* adicional aumenta a eficiência do protocolo, pois as mensagens de *status* são transferidas sem a utilização de recursos adicionais, utilizando-se dos espaços com preenchimentos. A estrutura de uma PDU de *status* adicional (*Piggyback*) é quase a mesma de uma PDU de *status*.

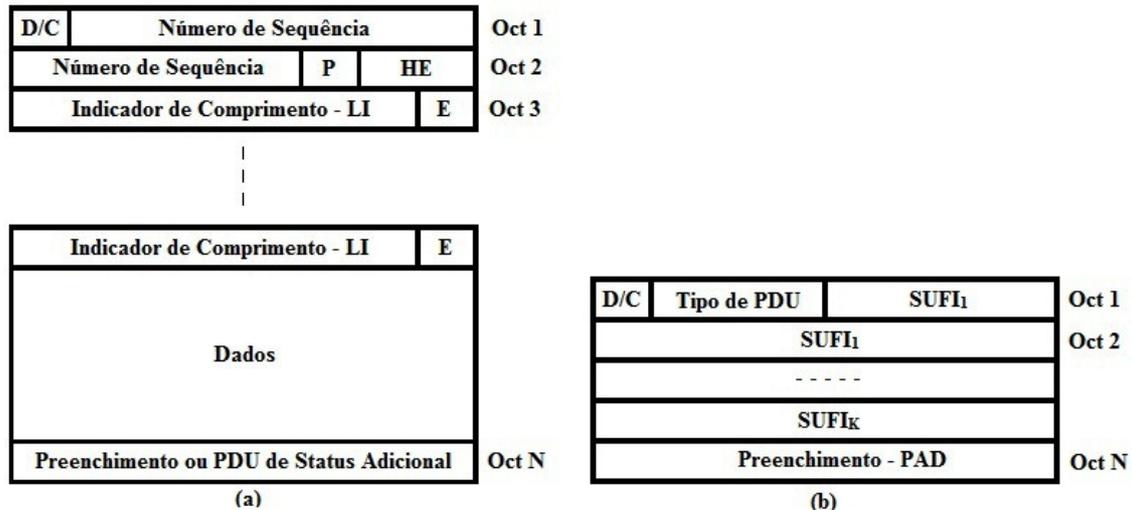


Figura 3.6: PDU de dados AM(a) e *status* PDU(b).

De acordo com a especificação do *status* PDU [18], diversos tipos de reconhecimento ARQ são possíveis com o uso de diferentes *SUper-Fields* (SUFIs). Dentre os principais, destacam-se: o SUFI de Reconhecimento, o SUFI de Lista, o SUFI de Lista Relativo e o SUFI *Bitmap*. Segue uma breve descrição destes SUFIs:

- *No more data* SUFI (*NO_MORE*) – este campo é a fronteira entre os SUFIs e a parte de preenchimento na PDU de *status*. Ele é usado como o último SUFI;
- *Acknowledgment* SUFI (*ACK*) – este campo reconhece a recepção correta de todas as PDUs com números de sequência menores que o parâmetro LSN (*last sequence number*) dentro do SUFI;
- *Window Size* SUFI (*WINDOW*) – este campo ajusta o tamanho da janela de transmissão da entidade coligada. O novo valor deve estar dentro de um determinado intervalo definido pelo RRC;
- *List* SUFI (*LIST*) – este campo se destina a enviar reconhecimentos negativos. Consiste de uma lista que contém valores sempre emparelhados, os quais indicam o número de sequência de uma PDU não recebida corretamente e o número de PDUs perdidas sucessivamente;
- *Bitmap* SUFI (*BITMAP*) – este campo também é utilizado para fazer reconhecimentos negativos. A diferença é que as PDUs perdidas são indicadas por um bit dentro de um campo de *bitmap*;

- *Relative list* SUFI (RLIST) – este campo é um terceiro método para reconhecimentos negativos. Aqui, as PDUs perdidas são indicadas por um método de endereçamento relativo;
- *More Receiving Windows* SUFI (MRW) – este campo força o lado receptor a mover a sua janela de recepção. Aplica-se às PDUs que não podem ser transmitidas várias vezes e também indica o número das SDUs descartadas;
- *More Receiving Window Acknowledgment* SUFI (MRW_ACK) – reconhece a recepção de um SUFI MRW;

3.3.3 VARIÁVEIS DE ESTADO, PARÂMETROS E TEMPORIZADORES

A subcamada RLC e a funcionalidade do protocolo dependem muito das variáveis de estado [18]. Existe um conjunto de variáveis atribuídas, tanto do lado do receptor quanto do lado do transmissor e, quando comparadas, há uma ambiguidade devido à estrutura cíclica. Para evitar tal fato, deve ser definida uma base. Para comparações das variáveis de transmissão, $VT(A)$ deve ser a base e para comparações das variáveis de recepção, $VT(R)$ deve ser a base.

As seguintes variáveis são responsáveis pelas funcionalidades do lado de transmissão:

- $VT(S)$ – a variável de estado de envio armazena o número de sequência da PDU que está aguardando pela próxima transmissão. Esta variável é atualizada após a transmissão da PDU;
- $VT(A)$ – a variável de estado de reconhecimento armazena o número de sequência da primeira PDU que ainda não foi reconhecida. Este valor representa o limite inferior da janela de transmissão;
- $VT(DAT)$ – esta variável serve como um contador de transmissão de cada PDU, sendo que cada PDU possui um contador;
- $VT(MS)$ – denota o número de sequência da primeira PDU cuja transmissão não é permitida, onde $VT(MS) = VT(A) + VT(WS)$. Este valor define o limite superior da janela de transmissão;
- $VT(PU)$ – esta variável conta o número de PDUs transmitidas;
- $VT(SDU)$ – esta variável conta o número de SDUs transmitidas;

- VT(WS) – a variável de estado de tamanho da janela de transmissão contém o tamanho da janela de transmissão;

As seguintes variáveis de estado são responsáveis pela funcionalidade do lado de recepção:

- VR(R) – a variável de estado de recepção contém o número de sequência da próxima PDU a ser recebida;
- VR(MR) – a variável de estado de recepção máxima aceitável contém a primeira PDU cuja recepção não é permitida. As PDUs com números de sequência maiores que VR(MR) devem ser descartadas. Este valor define o limite superior da janela de recepção;

Abaixo, são sumarizados os parâmetros que controlam o comportamento do protocolo RLC [18]. Tais parâmetros são ajustados pelo RRC:

- *MaxDat* – este valor indica o número máximo de retransmissões de uma PDU. Ele é um limite superior do contador VT(DAT) e, quando o valor de VT(DAT) alcança o MaxDat, o lado transmissor indica um *reset* do RLC;
- *Poll_PDU* – este parâmetro determina a frequência com a qual o transmissor deve fazer um *poll*. Se VT(PDU) alcançar este valor, o bit de *poll* é selecionado e o VT(PDU) é reiniciado. Tal valor representa o limite superior da variável VT(PDU);
- *Poll_SDU* – este parâmetro também serve para ativar a função de *polling*. A cada vez que a variável VT(SDU) atinge este valor, um *poll* é transmitido para a entidade coligada;
- *Poll_Window* – este parâmetro indica uma posição relativa dentro da janela de transmissão, além do ponto em que o transmissor deve fazer o *poll* da entidade coligada, isto é, se o número de sequência real está próximo ao limite superior da janela de transmissão, dispara-se um *poll*. Na verdade, um *poll* é disparado se $J \geq Poll_Window$;
- *Configured_Tx_Window_Size* – este valor especifica o tamanho da janela de transmissão máxima permitida. A janela de transmissão é, inicialmente, ajustada para tal valor, mas pode ser mudada pela entidade transmissora;
- *Configured_Rx_Window_Size* – este valor especifica o tamanho da janela de recepção. A janela é ajustada para este valor e só pode ser mudada pelo RRC. Normalmente, o

tamanho da janela de recepção e o tamanho da janela de transmissão são ajustados para o mesmo valor;

Além das variáveis e parâmetros já mencionados, um conjunto de temporizadores influencia a funcionalidade e o desempenho do protocolo RLC [18]. Todos os valores de finalização destes temporizadores são sinalizados pelo RRC. Os seguintes temporizadores são possíveis:

- *Timer_Poll_Prohibit* – este temporizador é usado para proibir a transmissão de *polls* consecutivos dentro de um certo período. O temporizador é iniciado a cada vez que uma PDU contendo um bit de *poll* é transmitida. O próximo *poll* é adiado até que este tempo expire. Quando isto acontece, só um *poll* deve ser transmitido, mesmo que vários *polls* sejam ativados durante o tempo de proibição;
- *Timer_Poll_Periodic* – este temporizador garante um *polling* periodicamente. Se não há nenhuma PDU para transmissão e todas as PDUs já foram reconhecidas, o temporizador deve ser reiniciado sem que se faça um *polling* para a entidade coligada;
- *Timer_Status_Prohibit* – este temporizador proíbe o lado receptor de enviar relatórios de *status* consecutivos dentro de um certo período contendo qualquer um dos SUFIs *LIST*, *BITMAP*, *RLIST* ou *ACK*. O temporizador é iniciado toda vez que uma mensagem de *status* é transmitida. Nenhuma mensagem adicional de *status*, contendo os SUFIs mencionados, pode ser transmitida até que o tempo expire;
- *Timer_Status_Periodic* – este temporizador transmite relatório de *status* periodicamente.
- *Timer_Discard* – no transmissor, este temporizador é iniciado com a recepção de uma SDU de camada mais alta. Um temporizador pertence a cada SDU e se a SDU não tiver sido reconhecida quando o tempo expirar, ela é descartada e um SUFI MRW é enviado para a entidade coligada;

3.3.4 FUNÇÃO *POLLING*

O transmissor das PDUs AM pode solicitar um relatório de *status* ao receptor utilizando o bit de *poll*, localizado no cabeçalho PDU. Há várias maneiras para se ajustar o bit de *poll*. O RRC controla os procedimentos que devem ser utilizados, sendo que os seguintes procedimentos são possíveis [18]:

- Última PDU no *buffer* – o emissor dispara um *poll* quando a última PDU no *buffer* de transmissão é enviada;
- Última PDU no *buffer* de retransmissão – o emissor dispara um *poll* quando a última PDU no *buffer* de retransmissão é enviada;
- Baseado em tempo – este procedimento produz *polls* periodicamente;
- Baseado em janela – o emissor dispara um *poll* quando alcança um limiar para o limite superior da janela de transmissão. Este mecanismo é feito pelo parâmetro *Poll_Window*;
- Cada *Poll_PDU* – o emissor dispara um *poll* para cada PDU *Poll_PDU*. Tanto as PDUs novas e retransmitidas são contadas;
- Cada *Poll_SDU* – o emissor dispara um *poll* a cada SDU *Poll_SDU*;

3.3.5 TRANSMISSÃO DE *STATUS*

O receptor envia relatórios de *status* para o emissor, a fim de informá-lo sobre as PDUs recebidas e não recebidas. Existem vários procedimentos para se enviar um relatório de *status* [18], sendo que o RRC é o responsável por controlar quais procedimentos devem ser utilizados.

Os seguintes procedimentos são possíveis:

- Requisição de *poll* – a cada vez que o bit de *poll* do cabeçalho de uma PDU é marcado, um relatório de *status* deve ser enviado;
- Detecção de PDUs perdidas – se o receptor detecta uma ou mais PDUs perdidas, ele deve enviar um relatório de *status* para o emissor;
- Transferência de *status* baseada em tempo – este procedimento produz relatório de *status* periodicamente;

3.4 CAMADA RRC

A camada de protocolo RRC do UMTS controla a sinalização no plano de controle da camada 3 entre o UE e a UTRAN. Como apresentado na Figura 3.1, o RRC gerencia todos os canais lógicos que transportam informações de controle. Adicionalmente, o RRC está interligado a todas as entidades da UTRAN, provendo um grande número de sinalizações,

como, por exemplo: estabelecimento, reconfiguração e liberação dos *Radio Bearers* (RBs). A seguir estão listadas as principais funcionalidades RRC [19]:

- Estabelecer e manter uma “conexão RRC” com o UE (primeira conexão de sinalização do UE);
- Efetuar *broadcast* de mensagens provenientes do CN (*Core Network*) para os UEs;
- Estabelecer e reconfigurar (a pedido dos níveis mais altos) os *Radios Bearers* para o UE;
- Efetuar controle de garantia de oferta de QoS para os RBs ativados;
- Realizar o Controle de Admissão através das medidas efetuadas pelos níveis inferiores;

4 QUALIDADE DE SERVIÇO NO S-UMTS

A expansão do número de usuários das redes móveis combinado com o elevado crescimento da demanda da *Internet*, o surgimento de diversas aplicações multimídia e a escassez de recursos, principalmente os da interface aérea, são fatores que dificultam o fornecimento do suporte de QoS (*Quality of Service*) de um determinado serviço.

Um sistema multimídia fornece os serviços de voz, dados e vídeo, conseqüentemente, os usuários apresentam diferentes requisitos em termos de largura de banda, máximo retardo de transferência de dados, variação máxima de retardo, vazão, tolerância a atraso, taxa de erro de bit, entre outros. O sistema deve processar todos esses requisitos, calcular a alocação dos recursos necessários para a conexão e estimar o impacto dessa alocação nas conexões existentes (Controle de Admissão).

Na RAN (*Radio Access Network*) é necessária uma tecnologia de transporte para interconectar os elementos de rede, tais como a BS (*Base Station*) e os RNCs. Os diversos requisitos de QoS das aplicações, por exemplo, a informação de tempo real ou não, combinados com os requisitos impostos pelas funções avançadas de controle de rádio, por exemplo, o *soft handover* e o controle de potência, requerem que as tecnologias de transporte forneçam QoS diferenciadas para múltiplas classes de tráfego [20].

O objetivo principal deste capítulo é dar uma visão geral sobre as normas, os serviços e os requisitos de QoS do S-UMTS, considerando-se a classificação das classes de QoS, o mapeamento dos atributos de serviço para os parâmetros de RAN e o desempenho esperado [21].

4.1 REDES UMTS E NORMAS DE QUALIDADE DE SERVIÇO

A arquitetura de rede do UMTS está dividida em duas partes principais [22], que são:

- *Core Network*;
- UMTS *Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN);

O *Core Network* é responsável por prover acesso à *Internet* e a UTRAN corresponde à interface aérea da rede. Cada BS (*Base Station*) possui uma área de cobertura (célula). As aplicações são requisitadas para a BS da sua própria célula. O RNS (*Radio Network Subsystems*) gerencia os recursos das suas respectivas BSs e o RNC (*Radio Network*

Controller) é responsável por questões de *handover* (quando um UE se afasta da área de cobertura da BS que o está atendendo e passa a ser respondido pela BS da sua nova área).

Antes de iniciar a abordagem sobre as Normas de Qualidade de Serviço (QoS) para as redes UMTS, é importante compreender a definição desse conceito.

A qualidade de serviço é definida em [21] como a habilidade configurada numa rede, que visa garantir e manter certos níveis de desempenho para cada aplicação, de acordo com a demanda particular de cada usuário. As especificações de QoS para redes UMTS estão definidas em [23].

Nas redes móveis, o provisionamento de QoS leva em conta a mobilidade do usuário, o tipo de aplicação requisitada, os canais que não são confiáveis e os que estão sujeitos a ruídos e interferências. Os aspectos de potência entre o usuário e a BS também são levados em consideração.

A Figura 4.1 apresenta a Arquitetura de QoS do UMTS especificada pelo 3GPP [24], na qual cada camada fornece seus serviços à camada imediatamente superior. Uma das principais funções da gerência de QoS é o controle de admissão e capacidade, que mantém e distribui de forma controlada os recursos disponíveis na rede.

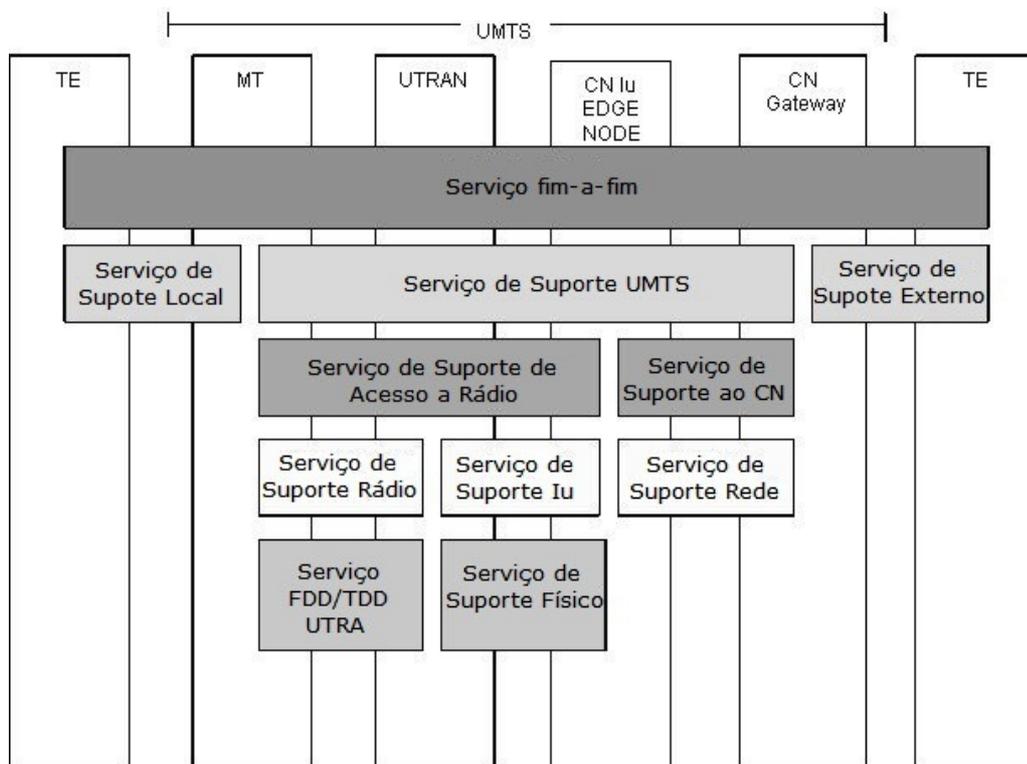


Figura 4.1: Arquitetura de QoS do UMTS.

O 3GPP [23] definiu, também, quatro classes de tráfego para representar os diversos tipos de aplicações oferecidas pela Tecnologia 3G. Assim, cada aplicação é classificada como pertencente a uma dessas classes e tratada na rede de acordo com suas características particulares. As classes de tráfego são as seguintes:

- Classe Conversacional: representa as aplicações de voz para as quais devem ser mantidos valores baixos de atraso, de *jitter* e de perda de pacotes. O principal perfil de tráfego deste esquema é a telefonia, ou seja, o tráfego de voz propriamente dito. Sendo assim, com o desenvolvimento da *Internet* e da multimídia, novas aplicações estão se enquadrando nessa classe como, por exemplo, o serviço de voz sobre IP e as ferramentas de videoconferência;
- Classe Interativa: representa as aplicações caracterizadas pela interação entre cliente e servidor com padrão pedido-resposta sem controle de largura de banda, como, por exemplo, as aplicações *Web* e *Telnet*. Esta classe pode ter três níveis de precedência, ou seja, as classes denominadas de interativa 1 (maior precedência), interativa 2 (média precedência) e interativa 3 (baixa precedência). Como exemplo, pode ser citado o *E-commerce* e o tráfego *WEB* interativo;
- Classe *Streaming*: representa as aplicações de fluxo contínuo de áudio e de vídeo que requerem largura de banda controlada e limitações de atraso. Nesta classe, uma porção da variação do atraso é tolerável devido ao *buffer* do nível de aplicação. Tal variação do atraso fim a fim deve ser limitada para preservar a variação de tempo entre os pontos de origem e destino da informação;
- Classe *Background*: representa as aplicações de mais baixa prioridade, que são transmitidas usando o melhor esforço (*Best Effort*), como por exemplo, a transferência de arquivos e *e-mail*. Esta classe tem a menor prioridade para escoamento de tráfego quando comparada às demais classes supracitadas;

A Tabela 1 apresenta os Parâmetros de QoS das classes de tráfego e seus valores esperados [24]. A classe conversacional deve obter menor atraso, baixo *jitter* e menor perda de pacotes, enquanto a classe *streaming* tolera maiores atrasos, *jitter* e perda de pacotes do que a classe conversacional. Isso porque aplicações do tipo *streaming* utilizam técnicas de recuperação de perda de pacotes.

Tabela 1: Parâmetros de QoS das classes de tráfego

Classe	Atraso (ms)	Jitter (ms)	Vazão	Perdas
Conversacional	< 150	< 75	-	-
Interativa	< 250	-	-	Tolerante (Baixa)
<i>Streaming</i>	-	-	Alta	Tolerante
<i>Background</i>	-	-	Baixa	Tolerante

Fonte: 3GPP

4.2 REQUISITOS DE SERVIÇO DO S-UMTS

Com a vantagem de se combinar a grande largura de banda com uma ampla cobertura geográfica, o componente satélite desempenha um papel complementar na rede UMTS ao estender não somente a cobertura do T-UMTS, mas também, a área de serviço fornecida enquanto mantém a compatibilidade do terminal e a portabilidade do serviço [2].

No Serviço de extensão geográfica, o UMTS *Satellite Radio Access Network* (USRAN) é usado para expandir a área de cobertura geográfica para os serviços do UMTS [25], viabilizando uma maior interação das redes satélite com as redes terrestres.

No Serviço de Extensão Funcional, a USRAN é usada para fornecer serviços que estendem a funcionalidade dos serviços do UMTS, especialmente aumentando a capacidade e as taxas de transferência. Esses serviços podem ser usados para complementar os serviços fornecidos, tanto pela USRAN quanto pela UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Essa categoria inclui os serviços de *multicast* e *broadcast*, que não são providos, eficientemente, pelo T-UMTS. Essa abordagem implica em um nível máximo de integração e cooperação com o T-UMTS, viabilizando consideráveis vantagens para os usuários finais por meio de serviços inovadores a baixo custo [2]. Com respeito ao investimento de infraestrutura compartilhada, tem-se as seguintes extensões de serviço:

- Acesso à *Internet*;
- TV interativa;
- *Broadcast* de TV/videoconferência;
- Coleta de informações por satélite;
- Sistema de Posicionamento Global;

- Localização de veículos para gerenciamento da frota (EUTELTRACS);
- Monitoramento das condições climáticas (SARSAT);
- Sistemas de busca (Orbcom);
- Serviços de emergência para operações de resgate (ARGOS);

4.3 REQUISITOS DE QUALIDADE DE SERVIÇO DO S-UMTS

Os serviços de rede são considerados fim a fim numa rede UMTS, quando há uma chamada de um Equipamento Terminal (TE) para outro. Um serviço fim a fim deve ser implementado segundo a necessidade do usuário, que informará se a qualidade de serviço está satisfazendo às suas necessidades. Para fornecer qualidade de serviço da origem para o destino do serviço é necessário estabelecer um *Bearer Service* com características e funcionalidades definidas. Um *Bearer Service* possui todos os atributos para habilitar o fornecimento de uma QoS contratada.

De acordo com o 3GPP [24], a aplicação do usuário deverá ser especificada com seus requisitos de tráfego para a rede, por meio de solicitação de um *Bearer Service* com um conjunto de valores para o tipo de tráfego, características do tráfego, atraso máximo de transferência, variação do atraso e taxa de erro de bit. A rede deve ser capaz de satisfazer estes requisitos sem desperdiçar os recursos de rádio.

4.4 PARÂMETROS E MÉTRICAS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS

As métricas de QoS são usadas para caracterizar e descrever o comportamento da rede no que diz respeito a sua utilização e desempenho. Ademais, podem ser definidas por um número específico de parâmetros que deverão ser cumpridos para a implementação da rede, principalmente quando envolverem o tráfego de informações através de redes mais amplas.

Um destes parâmetros abrange a possibilidade de medição dos serviços disponíveis na rede. A existência de uma boa infraestrutura de medição é sempre importante, principalmente durante o período inicial de implementação de novos serviços. Por intermédio de ferramentas de medição e métricas de QoS bem definidas, pode-se monitorar o desempenho garantido na alocação de recursos da rede. Quatro métricas distintas de QoS estão definidas no 3GPP [26], que são:

- Prioridade de serviço: indica a prioridade relativa de manutenção do serviço. Existem três níveis de prioridade: alta, normal e baixa;
- Confiabilidade: indica as características de transmissão que são requisitadas por uma aplicação. A classe de confiabilidade define a probabilidade de perda, duplicação e entrega fora de ordem ou erros das SDUs;
- *Delay*: quantidade finita de tempo gasto por um pacote para alcançar o ponto de recepção, após ser transmitido a partir de uma origem definida. É a soma de todos os intervalos de tempo, fixos e variáveis, gastos desde a origem até o destino. Inclui tempo de processamento, propagação, enfileiramento e armazenamento (*Buferização*);
- Vazão: indica a taxa na qual as solicitações são atendidas pelo sistema. A vazão é definida por meio de dois parâmetros negociáveis: taxa máxima de bits e taxa média de bits. Não há nenhuma garantia para a taxa máxima de bits. A taxa máxima de bits é alcançada apenas se houver recursos disponíveis. A taxa média de bits é, portanto, a única métrica para a garantia da vazão da conexão. Deve ser possível para a rede renegociar os parâmetros de vazão a qualquer momento durante uma sessão;

Além disso, o mecanismo de QoS pode ser analisado por meio de uma agregação de métricas de desempenho de sistemas, como apresentado a seguir:

- Perda de pacotes: pode acontecer devido a um roteador congestionado ou *switches* com filas em *overflow*;
- Latência: também conhecida como *delay*. Especifica o tempo gasto para transmissão dos dados da fonte para o destino;
- *Jitter*: é definido como a diferença no atraso fim a fim entre os pacotes. Por exemplo, se um pacote gasta 100 ms para atravessar a rede da origem até o destino e o pacote seguinte utiliza 125 ms para fazer o mesmo percurso, o *jitter* calculado é de 25 ms. No caso de voz, a existência de *jitter* afeta negativamente a qualidade da voz do receptor [21];

4.5 EXPECTATIVA DE DESEMPENHO PARA O USUÁRIO FINAL

As Tabelas 2 e 3 resumem a expectativa de desempenho para o usuário final em cada classe de QoS, definida pelo 3GPP [24], e o intervalo das métricas de QoS, de acordo com o ambiente operacional, respectivamente.

Tabela 2: Expectativa de desempenho para o usuário final

Classes de Tráfego	Mídia	Aplicação	Taxa de Transferência [kbps]	Atraso fim a fim	Informação Perdida
Conversacional	Áudio	Telefonia	4 – 25	< 150 ms preferido < 400 ms limite	< 3% FER
	Dados	<i>Telnet</i>	< 8	< 250 ms	0
Interativa	Áudio	Mensagem de voz	4 – 13	< 1 s para reprodução < 2 s para gravação	< 3% FER
	Dados	<i>E-mail</i>	-	< 4 s	0
Streaming	Áudio	Música	5 – 128	< 10 s	< 1% FER
	Dados	Vídeo	20 – 384	< 10 s	< 2% FER

Fonte: 3GPP

Tabela 3: Intervalo das métricas de QoS de acordo com o ambiente operacional

	Tempo Real (Atraso Constante)	Tempo não Real (Atraso Variável)
	BER / Atraso Máximo de Transferência - T_d [ms]	BER / Atraso Máximo de Transferência - T_d [ms]
Satélite	BER = $10^{-3} - 10^{-7}$ $T_d < 400$	BER = $10^{-5} - 10^{-8}$ $T_d > 1200$
Outros Ambientes	BER = $10^{-3} - 10^{-7}$ $20 < T_d < 300$	BER = $10^{-5} - 10^{-8}$ $T_d \geq 150$

Fonte: 3GPP

Observa-se, nas Tabelas 2 e 3, que as restrições de atraso para os serviços de tempo real na classe conversacional são críticos. Considerando que o atraso de propagação de uma constelação GEO é de, aproximadamente, 240 ms, torna-se necessário o uso de um algoritmo

de QoS para gerenciar eficientemente os recursos de rede. Nas demais classes, os valores não são tão críticos, o que resulta em uma maior flexibilidade para os algoritmos de QoS.

Dentre as desvantagens causadas pelo enlace satélite com relação ao QoS suportado pelo S-UMTS tem-se: o atraso de propagação devido à distância percorrida pelo sinal e a alta BER causada pelo ruído e pelas condições atmosféricas em relação à portadora altamente atenuada, portanto, as quatro classes de tráfego especificadas para o T-UMTS pelo 3GPP [23] podem ser aplicadas ao S-UMTS, porém, alguns aspectos adicionais das classes de tráfego quanto às condições específicas do enlace satélite precisam ser discutidos:

- **Conversacional:** no enlace satélite, a qualidade de serviço é afetada em termos de tempo de propagação pelo tipo de constelação de satélite utilizado. Como exemplo, o atraso fim a fim para uma aplicação VoIP por meio de um enlace de satélite GEO será maior que 480 ms, o que excede o tempo máximo permitido de 400 ms, especificado pela ITU- T. A utilização de uma constelação LEO no lugar de uma GEO, portanto, pode ser empregada para tráfego conversacional entre dois UEs, por meio de um enlace satélite. Por outro lado, a constelação GEO ainda pode ser útil para o tráfego conversacional se os enlaces satélites forem utilizados como substitutos dos cabos em redes fixas para UEs nas localidades remotas;
- **Streaming:** como o requisito fundamental da classe de *streaming* é preservar a relação de tempo entre as aplicações de comunicação, e os enlaces satélite introduzem um comportamento bem constante do atraso de transmissão, as aplicações de *streaming* parecem ser bem adequadas como serviços nos enlaces satélites. Além disso, devido à larga área de cobertura dos satélites, a aplicação de *streaming*, baseada em um serviço de *broadcast*, é capaz de ser provida muito bem por um enlace satélite. Por exemplo, UEs distribuídos em uma grande área podem ser servidos através de satélites por meio de um servidor de mídia na *Internet*;
- **Interativa:** uma aplicação interessante pertencente a essa classe é o serviço baseado em localização, o qual se fundamenta no conhecimento de informações na localidade terminal. Explorando a cobertura global dos satélites, a informação de localização pode ser inserida pelo usuário ou detectada pela rede utilizando-se métodos de posicionamento;
- **Background:** Tráfegos de *background* não têm a necessidade de serem transmitidos em tempo real, ou seja, o atraso de propagação aceitável pode ser de até alguns segundos,

porém, esta classe requer uma transmissão livre de erros. Os enlaces satélite podem prover esta classe de QoS para conectar partes remotas, sem utilizar a infraestrutura de rede terrestre. De acordo com a característica *one-way* desse tipo de aplicação, ela seria uma das mais adequadas para uma rede satélite.

5 PROTOCOLO RLC NO S-UMTS

A técnica de retransmissão é utilizada para corrigir erros de transmissão de dados por meio de um mecanismo de reconhecimento disparado pelo receptor [27]. Este último informa o *status* da transmissão por meio de reconhecimentos positivos (ACK) ou reconhecimentos negativos (NACK), que são enviados ao emissor. Os reconhecimentos indicam se os últimos dados transmitidos foram entregues com sucesso ou não, viabilizando a transferência confiável dos dados.

No UMTS, um *status* PDU (*Protocol Data Unit*) é utilizado para informar o *status* de uma transmissão para o emissor [28]. Este *status* é enviado quando um erro de transmissão de uma PDU é detectado pelo receptor, isto é, uma unidade de dados foi entregue fora de ordem ou não foi recebida dentro de um determinado período. O *status* PDU também é empregado para transportar a informação de controle dentro do campo de preenchimento da unidade de dados. Usando as informações incluídas no *status* PDU, a entidade *Radio Link Control Acknowledged Mode* (RL-AM) do lado emissor retransmite somente as PDUs que foram indicadas como perdidas pelo receptor. Assim, as retransmissões têm prioridade sobre as novas transmissões e, além disso, há um mecanismo de interrogação definido no UMTS que permite ao emissor checar o *status* do receptor. Quando uma interrogação é recebida pelo receptor, o mesmo tem que informar ao emissor imediatamente, sobre o *status* de transmissão por meio de um *status* PDU.

Os protocolos de enlace utilizados em canais com alta taxa de erros de bits implementam – com o uso de técnicas de codificação de canal – mecanismos ARQ para garantir a entrega dos quadros. Basicamente, tais mecanismos são subdivididos em: *Go-Back-N* (GBN), repetição seletiva (*Selective Repeat-SR*) e *Stop-and-Wait*. Como nenhum mecanismo ARQ especial é especificado para o protocolo RLC no UMTS, é possível utilizar algoritmos extremamente flexíveis e livremente configuráveis.

Dentre os protocolos ARQ propostos para o ambiente satélite destacam-se o *Go-Back-N ARQ* (GBN-ARQ) e o *Selective Repeat ARQ* (SR-ARQ) [29]. Na estratégia *Stop-and-Wait*, ilustrada na Figura 5.1, a fonte mantém gravadas todas as PDUs enviadas e estabelece que somente seja transmitida uma nova PDU após o reconhecimento positivo (ACK). A cada transmissão, a fonte inicia um temporizador para estabelecer um tempo máximo de espera da mensagem de reconhecimento (*Timeout*). Caso esse tempo seja transcorrido sem que a PDU

seja reconhecida, a fonte interpreta esse evento como uma perda e imediatamente retransmite a PDU supostamente perdida. Na Figura 5.1, mostra-se que para este mecanismo de controle de erro, o canal permanece ocioso na maior parte do tempo, pois somente ocorre transmissão em uma única direção. Por conta disso, esta estratégia é ineficiente na utilização do canal, principalmente no enlace satélite, o que determina a necessidade do emprego de elevados valores de *timeout* para evitar a retransmissão de pacotes recebidos com sucesso [29].

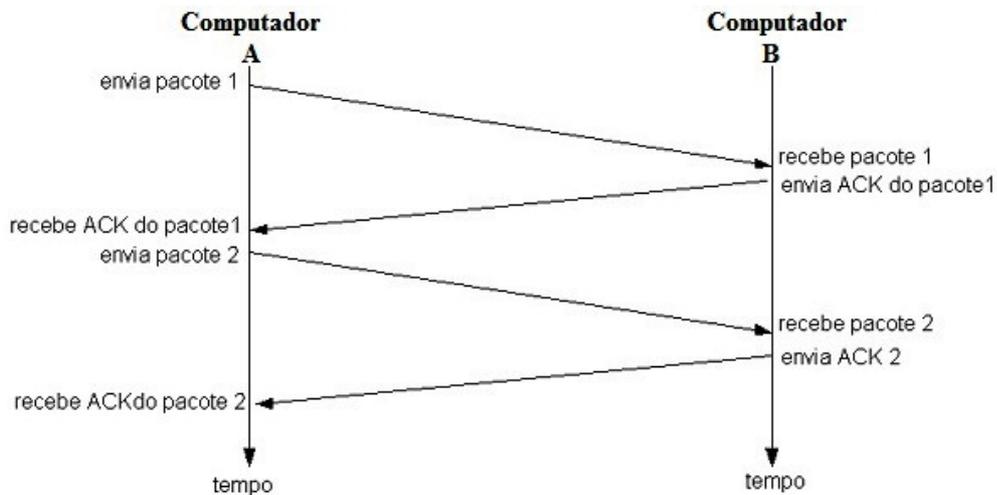


Figura 5.1: Estratégia de reconhecimento *Stop-and-Wait*.

Neste capítulo, a aplicabilidade de ambos os protocolos GN-ARQ e SR-ARQ no S-UMTS é comparativamente analisada em termos de vazão e atraso, levando-se em consideração as diferentes capacidades de processamento *on-board* do satélite [10], ou seja, *Bent-Pipe* (BP) ou *On-Board* (OBP).

5.1 ANÁLISE DOS PROTOCOLOS *GO-BACK-N* E ARQ DE REPETIÇÃO SELETIVA

Uma PDU RLC é mapeada dentro de um *Transport Block* na camada MAC (*Medium Access Control*) [30] e só pode ser disponibilizada se a camada MAC possuir capacidade disponível em um Canal de Transporte (*Transport Channel*). Além disso, o tempo de espera para que uma PDU RLC seja disponibilizada depende da estratégia de disponibilidade implementada na camada MAC. A transmissão de dados na camada MAC do UMTS [31] é baseada no Intervalo de Tempo de Transmissão (*Transmission Time Interval*), no qual um

número pré-definido de TBs tem a sua transmissão permitida. O número máximo de TBs com permissão de transmissão dentro de uma TTI corresponde à capacidade máxima de um TrCH. Dependendo da estratégia de disponibilidade da camada MAC, as PDUs RLC podem ser disponibilizadas utilizando o máximo da capacidade de um TrCH ou, individualmente, para cada TTI. A estratégia anterior é chamada de *Exhaustive Round Robin*, enquanto que a seguinte é chamada de *Non Exhaustive Round Robin* [32].

Esta seção tem, como escopo, apresentar uma análise do desempenho de uma operação ARQ para um único enlace de comunicação, conseqüentemente, utiliza o processo de serviço *Exhaustive Round Robin* na camada MAC. Desta forma, a capacidade disponível de um TrCH pode ser totalmente utilizada para disponibilizar as PDUs, e o tempo de espera de uma PDU em um *buffer* RLC pode ser considerado como mínimo. Assim, o tempo mínimo de espera de uma PDU RLC para ser disponibilizada pela camada MAC corresponde a uma TTI. A seguir, são apresentados os parâmetros básicos utilizados na análise de desempenho do protocolo ARQ no S-UMTS:

O atraso especificado como T_{RT} é definido como o tempo, desde o fim da transmissão de uma PDU até o final do processamento do *acknowledgment* recebido [33]. Tal atraso pode ser definido do seguinte modo:

$$T_{RT} = 2 \cdot T_{pp} + T_{Pc_data} + T_{t_ack} + T_{pc_ack}, \quad (5.1)$$

onde,

T_{RT} - é o tempo de ida e volta (RTT);

T_{pp} - especifica o atraso de propagação do sinal;

T_{t_data} e T_{t_ack} - especificam o tempo de transmissão de uma PDU de dados e de uma PDU de *Acknowledgment*, respectivamente.

T_{t_ack} - é insignificante em torno do pequeno tamanho relativo dos dados ACK/NACK, ou seja, $T_{t_ack} \approx 0$.

T_{Pc_data} e T_{pc_ack} - especificam o tempo de processamento para os dados recebidos e a PDU de *Acknowledgment*, respectivamente, incluindo-se o tempo de espera de uma PDU na fila RLC.

Além destes, os seguintes parâmetros são utilizados na análise:

n_{data} e n_{ack} - especificam o comprimento da PDU em bits para os dados transmitidos e o *Acknowledgment*, respectivamente;

N_{PDU} - especifica o número de PDUs transmitidas dentro de um TTI;

R_{TrCH} - especifica o taxa de bit do canal de transporte provido pela camada MAC. As PDUs são transmitidas dentro da taxa R_{TrCH} em bit/s. Assume-se a mesma taxa de transmissão para *Uplink* (UL) e *Downlink* (DL);

A Figura 5.2 apresenta o intervalo de tempo para transmissão de dados, utilizando-se uma técnica ARQ.

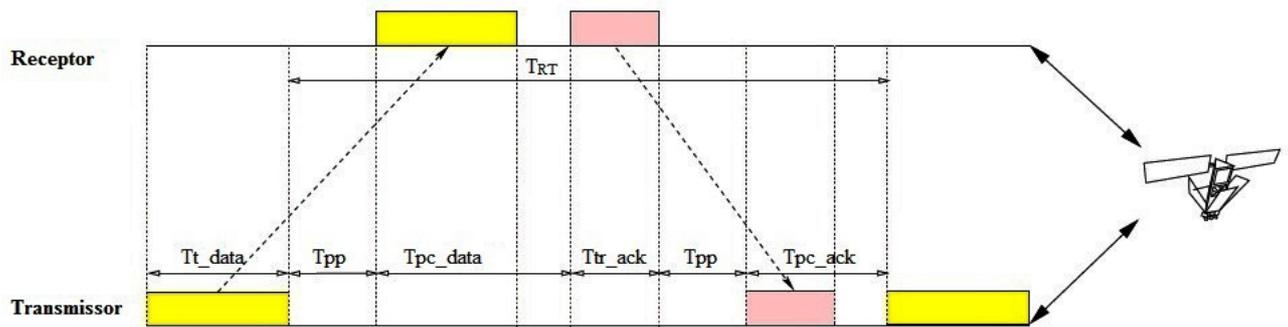


Figura 5.2: Transmissão de dados utilizando a técnica ARQ.

A transmissão de uma PDU de dados é considerada como reconhecida quando a entidade *peer* RLC (emissor) recebe um *Acknowledgement* da PDU de uma entidade *peer* RLC (destinatário) de comunicação [30]. Como o processo de transmissão no UMTS trabalha baseando-se na TTI, os tempos de processamento T_{pc_data} e T_{pc_ack} são apresentados como $p \cdot TTI$ que inclui todo o tempo de processamento nas camadas PHY, MAC e RLC. A constante p depende do projeto do sistema. De uma maneira similar, o atraso de propagação T_{pp} pode ser definido como:

$$T_{pp} \approx k \cdot TTI \quad (5.2)$$

$$T_{pc} = p \cdot TTI \approx T_{pc_data} \approx T_{t_ack}, \quad (5.3)$$

onde k é especificado como um número inteiro dependente da distância entre o terminal do usuário (UE) e o satélite (d), a velocidade da luz (c) e TTI,

$$2 \cdot k = \frac{2 \cdot d}{c \cdot TTI} \quad (5.4)$$

O termo 2 representa o tempo de propagação de ida e volta ao satélite pelo emissor, sendo aplicável apenas para o satélite do tipo *bent-pipe* [10]. Para um satélite de processamento *on-board* [10], esse termo é 1. Consequentemente, T_{RT} é:

$$T_{RT} = TTI (2k + 2p). \quad (5.5)$$

Além disso, a taxa de transmissão RTrCH, fornecida pela camada MAC, depende do formato de transporte (TF) escolhido, que inclui o número de TBs, N_{TB} , o tamanho de um TB e n , transmitidos dentro de um TTI. A taxa de transmissão RTrCH é dada por:

$$R_{TrCH} = \frac{N_{TB} \cdot n}{TTI} = \frac{N_u \cdot n}{T_{RT}}, \quad (5.6)$$

N_u é o número total de TBs transmitidos dentro de um T_{RT} , isto é, $N_u = N_{TB} \cdot T_{RT} / TTI$. Presumindo-se que não haja multiplexação de canais lógicos na camada MAC, nem segmentação e remontagem na camada RLC, toda a taxa de transmissão de um TrCH é usada para transmitir as PDUs RLC, isto é, $N_{PDU} = N_{TB}$. O tempo de transmissão depende, portanto, da taxa de transmissão do canal de transporte designado e da propriedade do TF selecionado, ou seja, n e N_{TB} e, posteriormente, o T_{RT} e N_u :

$$T_t = \frac{n}{R_{TrCH}} = \frac{TTI}{N_{RDU}} = \frac{T_{RT}}{N_u}. \quad (5.7)$$

Supondo-se que haja uma chegada intensa de pacotes, o número máximo de PDUs transmitidas dentro de um T_{RT} , isto é, N_{u_max} , é de:

$$N_{u_max} = \frac{T_{RT} \cdot R_{TrCH}}{n}. \quad (5.8)$$

Na seção seguinte, as técnicas GN-ARQ e SR-ARQ são comparadas em termos de vazão e atraso.

Com a finalidade de melhorar a apresentação deste capítulo, as principais fórmulas estão abreviadas. Um maior nível de detalhamento é apresentado no Apêndice A.

5.2 PROTOCOLO *GO-BACK-N*

Nesta abordagem, o emissor transmite as PDUs continuamente, sem esperar por um ACK, até que o tamanho total da janela seja alcançado [29]. Quando o emissor recebe um NACK, obrigatoriamente deve retransmitir a PDU com erro e todas as outras PDUs subsequentes. Assim, o emissor deve estar equipado com um *buffer* de tamanho $N + 1$ para armazenar todas as PDUs ainda não reconhecidas, enquanto o receptor requer somente um *buffer* de tamanho 1 para checar os números de sequência das PDUs.

O processo de reconhecimento é acumulativo, ou seja, o ACK informa à fonte o número do próximo segmento (*Sequence Number*) a ser recebido, aqui denotado por n , indicando que todos os segmentos com numeração igual ou inferior a $n - 1$ foram recebidos corretamente. Na Figura 5.3 é apresentado o princípio de funcionamento do protocolo *Go-Back-N* para uma janela de transmissão de tamanho 5 quando o pacote 2 é perdido.

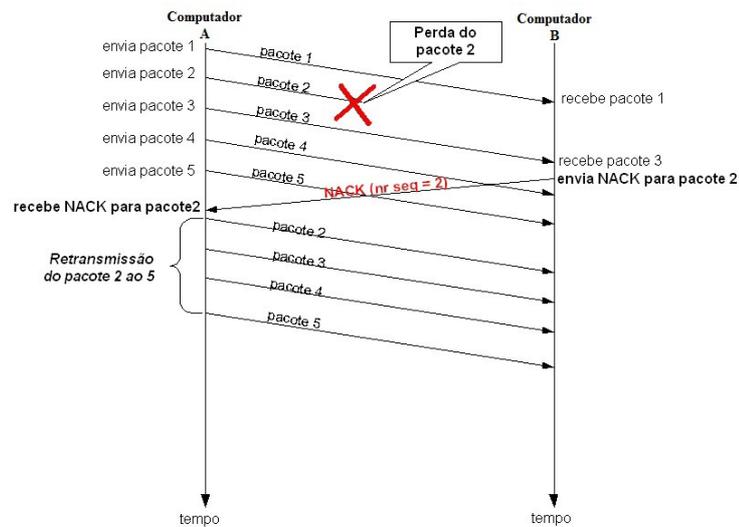


Figura 5.3: Estratégia de reconhecimento *Go-Back-N*.

A vazão para o GN-ARQ é dada por:

$$\eta_{GN-ARQ} = \frac{1 - P_B}{1 + P_B} \cdot \frac{T_{RT}}{N_u} \quad (5.9)$$

onde P_B é a taxa de erro de bloqueio (*Block Error Ratio*). A seguir, o atraso mínimo de transmissão T_{min} é dado como:

$$\begin{aligned} T_{min} &= T_p + T_{pp} + T_{pc} \\ &= TTI \cdot \left(k + p + \frac{1}{N_{TB}} \right), \end{aligned} \quad (5.10)$$

O atraso esperado é:

$$T_{GN-ARQ} = TTI \cdot \left[C_1 + (N_u + 1) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot C_2 \right] \quad (5.11)$$

onde as constantes C_1 e C_2 são apresentadas abaixo:

$$C_1 = k + p + \frac{1}{N_{TB}} \quad (5.12)$$

$$C_2 = 2k + 2p + \frac{1}{N_{TB}}. \quad (5.13)$$

5.3 PROTOCOLO ARQ DE REPETIÇÃO SELETIVA

O princípio básico do Protocolo SR-ARQ é aceitar PDUs fora de ordem, tanto quanto o *buffer* do receptor permitir, e apenas solicitar retransmissões das PDUs recebidas com erro [29]. Essa técnica exige certo nível de complexidade de *software* e *hardware*. Por exemplo, para aceitar as PDU fora de ordem, o receptor tem que armazenar o número de sequência das últimas PDUs recebidas para posterior entrega em ordem à camada superior. Além disso, o receptor deve prover espaço no *buffer* de, pelo menos, $N_u + 1$, para armazenar todas as PDUs transmitidas e perdidas. A Figura 5.4 ilustra um exemplo de transmissão de quadros posteriores (subsequentes) ao quadro que foi recebido com erro, utilizando o mecanismo ARQ de repetição seletiva.

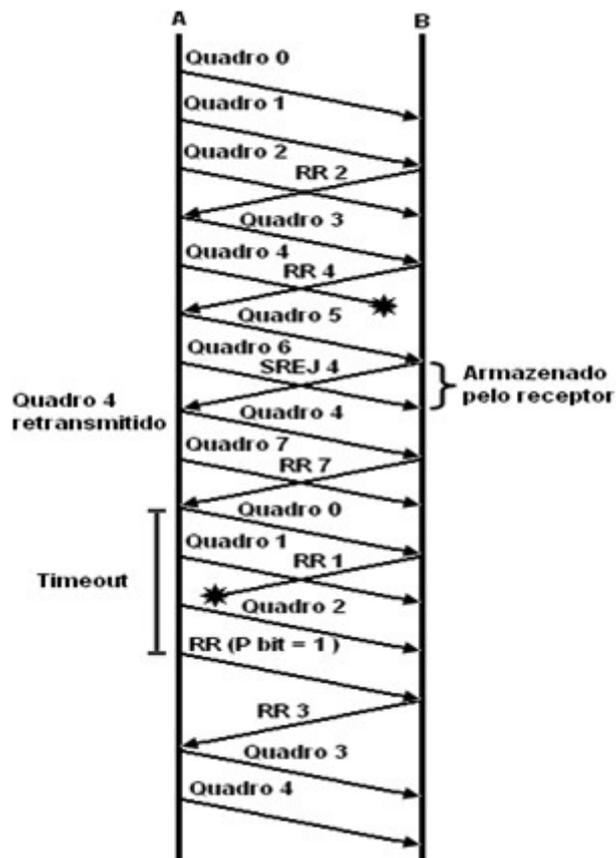


Figura 5.4: Transmissão de quadros utilizando ARQ de repetição seletiva.

Devido à capacidade limitada do *buffer*, o emissor tem que retransmitir $N_u + 1$ PDUs nos casos em que a transmissão de uma PDU tenha falhado repetidamente. Isto permite que se calcule a vazão mínima e o atraso máximo esperado, respectivamente. Presumindo-se que a PDU possa apresentar erros mais de uma vez, a vazão e o atraso pelo tamanho do *buffer* do receptor de b . $N_u + 1$ é:

$$\eta_{SR - ARQ_b} \geq \frac{1 - P_B}{1 + P_B^{b+1} N_u} \quad (5.14)$$

e o atraso esperado é:

$$T_{SR - ARQ} \geq TTI \cdot \left[C_1 + \left(1 + \frac{P_B^b}{b} \right) \cdot \frac{P_b}{1 - P_B} \cdot C_2 \right]. \quad (5.15)$$

A Figura 5.5 apresenta a taxa de transferência e o atraso sobre a taxa de erro de bits variando o tamanho do *buffer* (L) do receptor. Neste exemplo, 64 PDUs (cada uma com

tamanho de 656 bit) dentro de uma TTI (20 ms) são transmitidas num canal de 2048 Kbps. Neste cenário, percebe-se que a vazão para qualquer BER pode ser aprimorada com o aumento do tamanho do *buffer* de recepção.

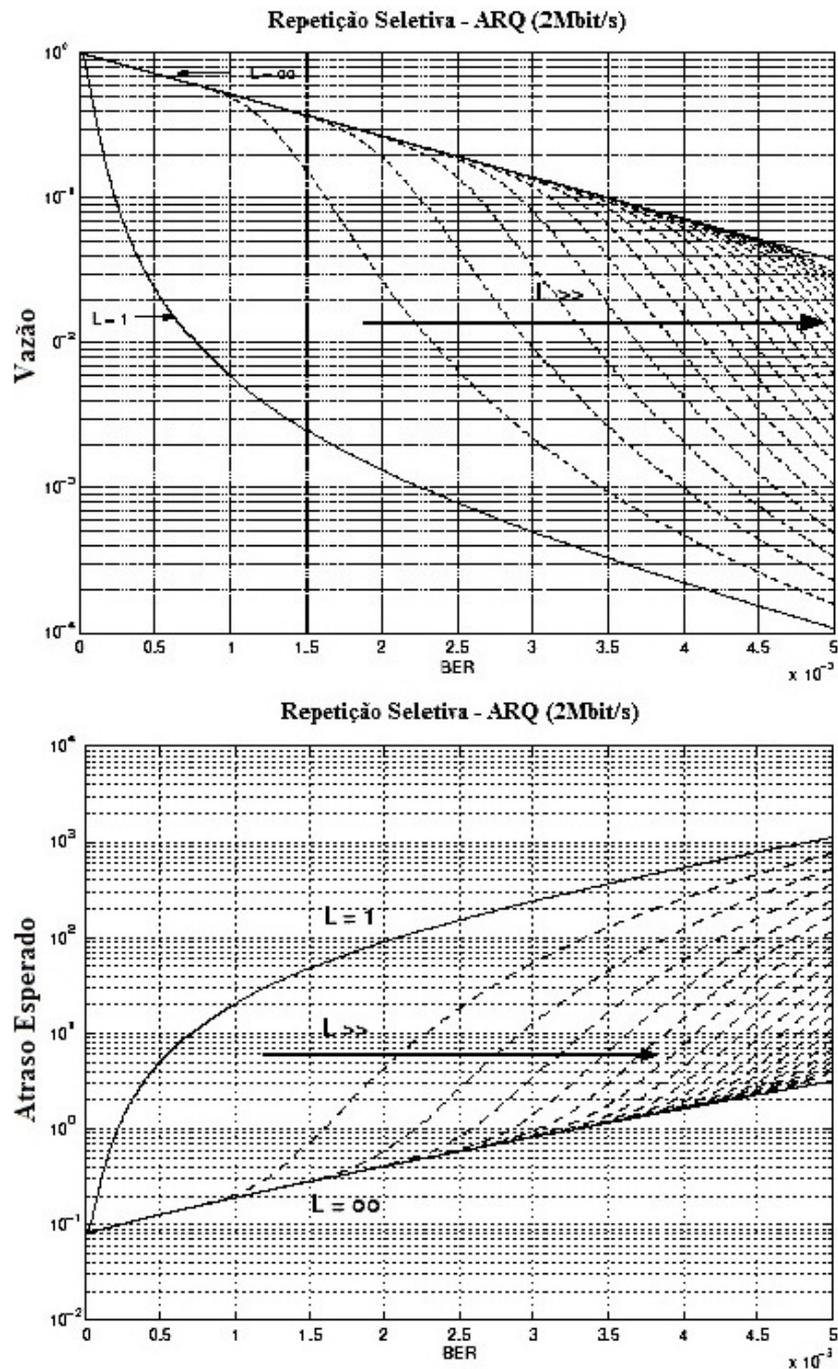


Figura 5.5: Comparando a vazão e o atraso esperado variando o tamanho do *buffer*.

A Figura 5.6 compara o SR-ARQ e o GN-ARQ para pequenos valores de BERs, isto é, entre 0 e 1×10^{-4} . No SR-ARQ foi utilizado um buffer com $L = \infty$ e $L = N_u + 1$. Como se observa, a vazão na operação SR-ARQ (denotada pelas curvas indexadas com n_1 a n_∞) é superior à vazão na operação GN-ARQ (indexado por n_{gn}). O impacto do tamanho da PDU na vazão, contudo, é maior sob a operação SR-ARQ. Com relação ao atraso esperado, a operação SR-ARQ, mesmo com um *buffer* de recepção com tamanho $1 + N_u$, é menor do que a operação GN-ARQ.

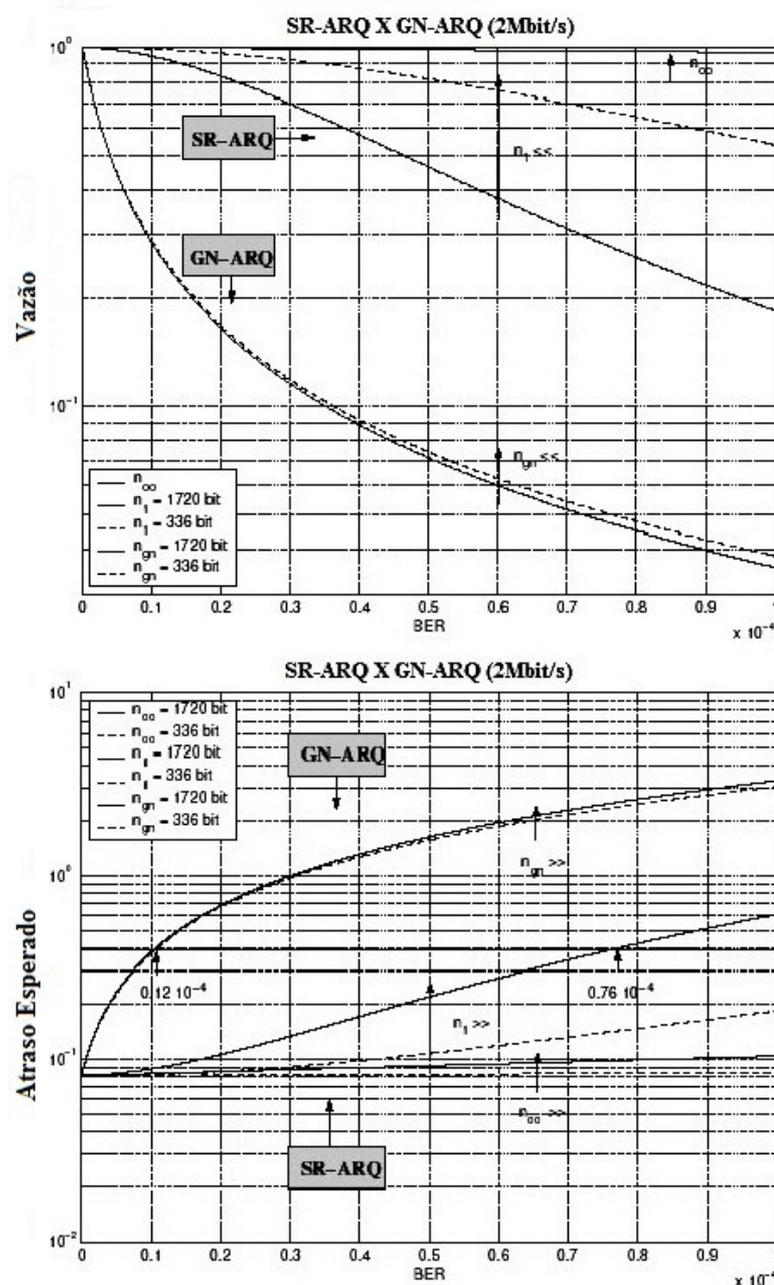


Figura 5.6: Comparando a vazão e o atraso esperado entre o SR-ARQ e o GN-ARQ.

Face ao exposto, o mecanismo ARQ-SR é mais eficiente, pois evita retransmissões desnecessárias. A desvantagem do uso do ARQ-SR é que a estação receptora deve manter armazenados os quadros recebidos fora de ordem e ter um mecanismo lógico de ordenação para os mesmos. De fato, o requisito mínimo para a obtenção de desempenho satisfatório do TCP, em presença de protocolo de enlace com ARQ, é $timeout_{TCP} > timeout_{enlace}$ [29]. A presença de ARQ-SR, portanto, causa aumento do RTT, o que pode deteriorar a vazão TCP. Por outro lado, a recuperação local dos quadros evita as perdas de pacote e o acionamento dos mecanismos usuais de controle de janelas. Dessa maneira, o ARQ-SR permite ao TCP manter janela de congestionamento com valores maiores, melhorando a vazão.

5.4 OVERHEAD DO PROTOCOLO

Nos estudos anteriores, o *overhead* do protocolo não foi considerado, o que representa o cabeçalho em cada pacote transmitido para o controle da entidade coligada (*peer*). Este *overhead* diminui a vazão da rede, isto é, quanto mais informação de controle é transmitida, menor é a vazão de dados do *payload*. O impacto do *overhead* de protocolo na vazão pode ser representado pela relação entre o comprimento do cabeçalho do protocolo (n_h) com o comprimento do *payload* (n_p), chamada de eficiência da vazão (η_{eff}), isto é,

$$\begin{aligned}\eta_{eff} &= \frac{n_p}{n_h + n_p} \cdot \eta \\ &= \frac{1}{1 + \varrho} \cdot \eta,\end{aligned}\tag{5.16}$$

onde ϱ é o *overhead* do protocolo, ou seja:

$$\varrho = \frac{n_h}{n_p}.\tag{5.17}$$

A eficiência da vazão é uma métrica de desempenho significativa para se avaliar a utilização dos recursos de rádio de um sistema [29]. No UMTS, o *overhead* de protocolo no RLC AM tem um mínimo de 2 bytes, e o comprimento de uma PDU é menor do que 624

bytes. A eficiência da vazão máxima alcançável é de, aproximadamente, 99,68%, com um *overhead* de 3,22%.

5.5 MODIFICAÇÕES DO RLC-AM PARA O S-UMTS

O RLC-AM tem, como base, o protocolo ARQ híbrido de janela deslizante com reconhecimento seletivo (SACK) e negativo (NACK). O RLC realiza a segmentação se a Unidade de Dados de Serviço (SDU) recebidos das camadas superiores for maior que o espaço disponível na unidade de dados de protocolo (PDU) dos dados no modo AM (AMD) [34], o que não é incomum para pacotes IP. Descobriu-se, entretanto que o procedimento de RLC atual não é eficiente quando os últimos segmentos da PDU, pertencentes a uma SDU, não são recebidos com sucesso pelo receptor. Uma vez que não há novas SDUs sendo transmitidas nesse tempo, um *poll* somente será ativado depois de expirado seu tempo. Com a expiração do *poll timer*, seleciona-se uma PDU que ainda não tenha sido reconhecida pela entidade receptora ou a última PDU transmitida para conduzir a solicitação de *poll request*.

Na primeira abordagem, a recuperação das PDUs faltantes pode ser um processo muito lento, como mostrado na Figura 5.7 (a). No exemplo apresentado, as duas últimas PDUs (SN = 4 e 5) de uma SDU não atingem o receptor com êxito. Nenhuma indicação de *STATUS* é acionada no receptor já que a PDU responsável pela condução da solicitação do *poll request* (SN = 5) também está faltando. Depois de expirado o *poll timer*, o emissor retransmite a solicitação de *poll request*, conduzida pela PDU com SN = 1, que é a PDU com número de sequência mais antigo não reconhecido no *buffer* de transmissão. Depois de receber essa PDU redundante com o conjunto de bits do *poll*, o receptor envia um relatório de *STATUS* para reconhecer o sucesso no recebimento das PDUs com SN = 1, 2 e 3. O receptor não relata que as PDUs com SN = 4 e 5 estão faltando, já que o receptor não sabe que elas foram enviadas primeiramente e o emissor não pôde retransmiti-las, considerando que as retransmissões das PDUs faltantes só podem ocorrer com base no relatório de *STATUS* recebido da entidade RLC-AM. Como resultado, há um impasse e, apenas após a expiração do próximo *poll timer*, o emissor retransmitirá a PDU com SN = 4, que é a PDU mais antiga não reconhecida no *buffer* de transmissão com a solicitação do *poll request*. Ressalta-se que a retransmissão do *poll* pode ser atrasada se o *poll prohibit timer* estiver ativo, já que o *poll* só pode ser transmitido quando o *poll prohibit timer* expirar. Mediante o recebimento deste

último, o receptor envia um relatório de *STATUS* reconhecendo o sucesso no recebimento da PDU com SN = 4. O processo é repetido para a PDU faltante com SN = 5.

Como pode ser visto, quanto maior for o número das últimas PDUs faltantes de uma SDU, mais tempo será necessário para recuperá-las, pois apenas uma PDU pode ser recuperada por vez. A ineficiência desta abordagem é ainda maior quando se passa por um enlace satélite com um elevado RTT. A recepção de uma SDU, portanto pode ser atrasada de forma severa se existir duas ou mais PDUs faltantes de uma SDU.

Percebe-se que a ineficiência da recuperação das PDUs faltantes vem da restrição especificada pelo 3GPP [18], onde nenhuma informação deve ser dada para PDUs AMD que ainda não tenham chegado ao receptor. Se esta restrição for eliminada, todo o processo de recuperação das PDUs faltantes pode ser acelerado. No esquema proposto em [34], chamado de *Poll-Info*, inclui-se uma informação extra na última PDU transmitida ainda a ser reconhecida com cada retransmissão da requisição do *poll request*. O receptor pode, então, detectar quais PDUs foram recebidas e quais foram perdidas, baseando-se na informação provida e reenviando-a de volta para o emissor a fim de que seja possível a recuperação da PDU faltante. Por exemplo, referindo-se à Figura 5.7 (b), o emissor adiciona uma informação extra à requisição do *poll request* que uma PDU com SN = 5 é a última PDU transmitida a ser reconhecida. O receptor, no relatório de *STATUS* enviado, informa ao emissor que as PDUs com SN = 4 e 5 foram perdidas e reconhece o recebimento de todas as PDUs até o SN = 3. Com isso, o emissor é capaz de retransmitir as PDUs faltantes simultaneamente. Conseqüentemente, a maior vantagem do esquema apresentado é que o emissor pode recuperar vários pacotes perdidos em um único *round trip time* (RTT), e esta economia de tempo é crucial quando um elevado RTT está envolvido, como no enlace satélite [34].

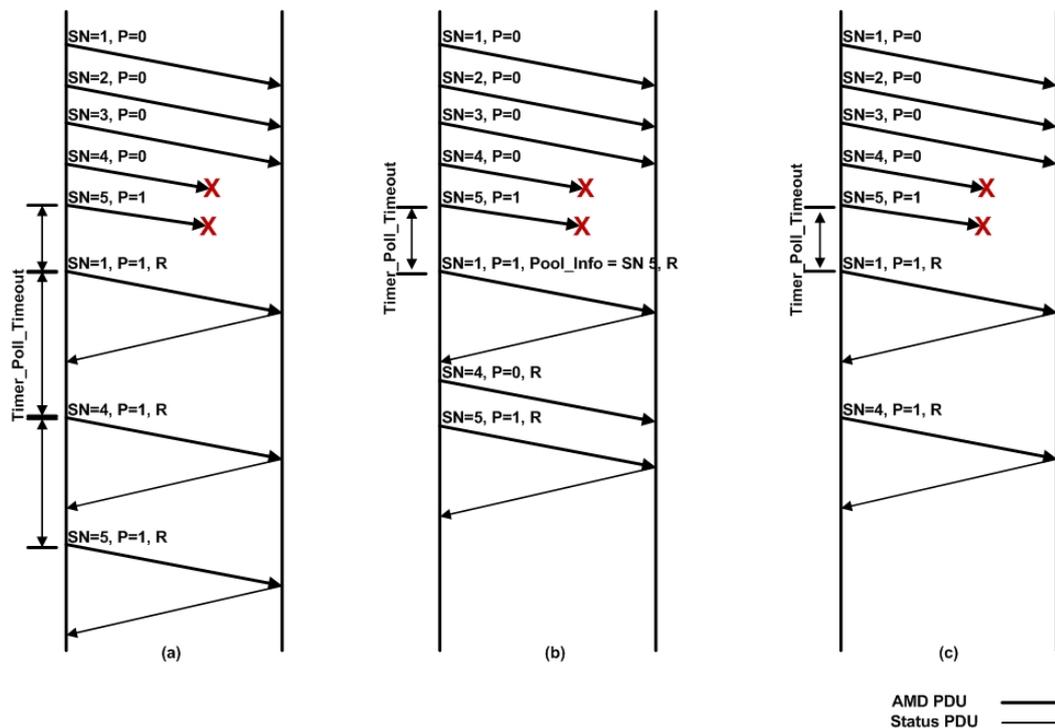


Figura 5.7: Comparação dos procedimentos UMTS RLC-AM.

Assim sendo, de acordo com a Figura 5.7 (c), pode-se discutir, também, a possibilidade de solucionar o problema da recuperação de erros longos por meio da seleção da última PDU transmitida para transmitir um *poll*. Apesar de verdadeira, esta opção tem o seu inconveniente, que é levar as retransmissões redundantes em alguns casos [34]. Um exemplo é mostrado na Figura 5.8, onde a PDU com SN = 3 está perdida e um relatório de *STATUS* é enviado para informar ao emissor sobre a PDU faltante, assumindo-se que esta retransmissão é também perdida devido às inadequadas condições do canal em consequência do *poll timer* ter expirado. De acordo com a Figura 5.8 (a), selecionando-se a última PDU transmitida, que é a PDU com SN = 5, certamente isso causará uma retransmissão duplicada porque esta PDU já foi recebida com sucesso anteriormente. Tal retransmissão redundante ocasiona desperdício de banda do canal, além de consumir bateria sem necessidade.

Como o terminal móvel é alimentado por uma bateria de energia finita, torna-se necessário economizar essa fonte de energia limitada. As retransmissões redundantes aumentam desnecessariamente a interferência em outros usuários. Em um sistema limitado à interferência, como num ambiente CDMA, isto é prejudicial e pode deteriorar a qualidade do serviço de uma maneira global.

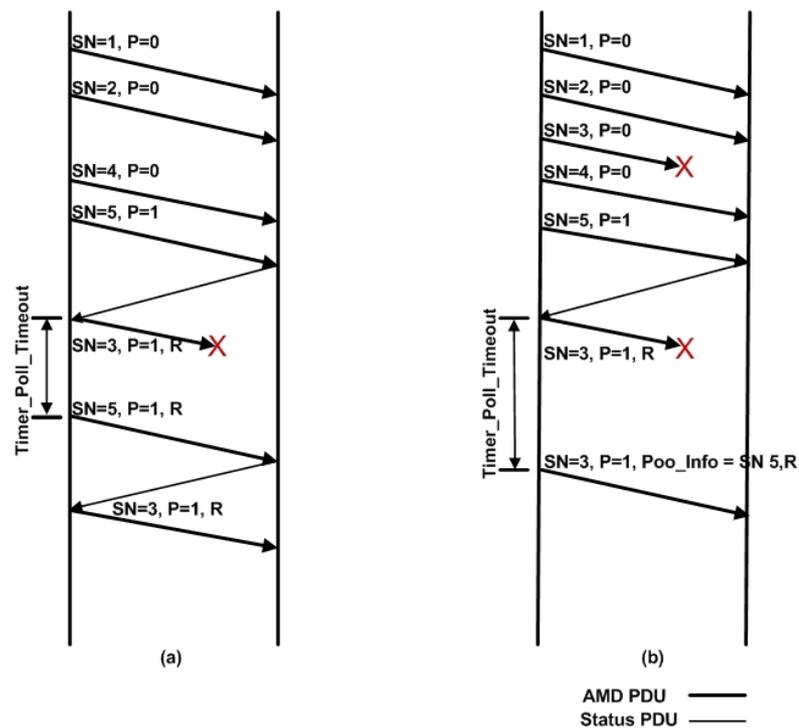


Figura 5.8: Exemplo de transmissões redundantes.

Uma maneira de resolver o problema desta retransmissão inútil, é fazer com que o emissor selecione outra PDU, ainda a ser reconhecida para a retransmissão do *poll*, apenas se a última PDU transmitida já tiver sido positivamente reconhecida anteriormente. Isto implica em desenvolver-se um mecanismo inteligente no emissor para alternar entre essas duas opções. Todavia, esta pode ser uma decisão difícil se não houver uma maneira de verificar se a última PDU transmitida anteriormente foi reconhecida positivamente, a menos que um *Bitmap* SUFI, que pode indicar PDUs faltantes e/ou recebidas, seja usado no relatório de *STATUS*.

Dadas as considerações deste capítulo, deve-se ressaltar que a escolha apropriada do protocolo ARQ, o aumento do *buffer* do receptor, o aumento da capacidade dos canais de transporte e a capacidade de processamento *on-board* do satélite são fatores relevantes para um bom desempenho do protocolo RLC AM no S-UMTS.

6 PROTOCOLO SIP NO S-UMTS

O *Session Initiation Protocol* (SIP) ou Protocolo de Iniciação de Sessão é um dos mais recentes protocolos de controle de sinalização do nível de aplicação, desenvolvido pelo *Internet Engineering Task Force* (IETF) como uma alternativa à especificação ITU-T H.323.

O principal objetivo do IETF, ao definir o protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) como um de seus padrões, foi contemplar a criação e o gerenciamento de sessões para troca de fluxos multimídia entre aplicações. O SIP atua desse modo, como um protocolo de sinalização a nível de aplicação. Ele negocia os termos e as condições de uma sessão definindo, por exemplo, os tipos de mídia e os padrões de codificação utilizados na sessão, além de auxiliar na localização dos participantes da mesma.

O SIP é um elemento que pode ser usado em conjunto com outros protocolos e componentes na construção de uma arquitetura multimídia, entretanto não dependendo de nenhum deles para o seu funcionamento.

O SIP origina-se de meados da década de 1990 e foi, primeiramente, especificado em [35], sendo selecionado pelo 3GPP como o protocolo de sinalização fim a fim para estabelecer sessões multimídia na rede UMTS baseadas em IP. Diante da integração das comunicações via satélite com a rede móvel celular terrestre (UMTS), torna-se necessário prover suporte para o estabelecimento de sessão baseada em SIP sobre o UMTS Satélite (S-UMTS), a fim de viabilizar a integração da rede terrestre/satélite com base em IP. O uso do SIP no enlace satélite necessita, contudo, de melhorias para compensar o alto *delay* de propagação deste meio. Este trabalho já se baseia na RFC 3261 [36], publicada em maio de 2002.

6.1 FUNCIONALIDADE

Em geral, o SIP é utilizado em conjunto com outros protocolos, também especificados pelo IETF. Por exemplo, o RTP/RTCP é usado para transportar dados em tempo real e prover informações sobre qualidade de serviço (QoS), o RTSP (*Real-time Streaming Protocol*), para controlar a entrega de fluxos de distribuição de mídia (*streaming*) e o SDP (*Session Description Protocol*), para descrever sessões multimídia.

Independentemente da necessidade de outros protocolos para viabilizar a comunicação entre os participantes de uma sessão, o SIP oferece primitivas que podem ser utilizadas para estabelecer, modificar e encerrar uma sessão.

Como exemplos de funções básicas do SIP, podem ser destacadas: a localização de um usuário, a sinalização do desejo de se comunicar e a negociação dos parâmetros necessários para estabelecimento e término da sessão [37].

6.2 ARQUITETURA

Como pode ser visto na Figura 6.1, o UE está acessando outro terminal fixo (telefone SIP), alcançável na *Internet* através de uma rede de acesso rádio-satélite UMTS (USRAN), uma rede central IP UMTS e o IMS.

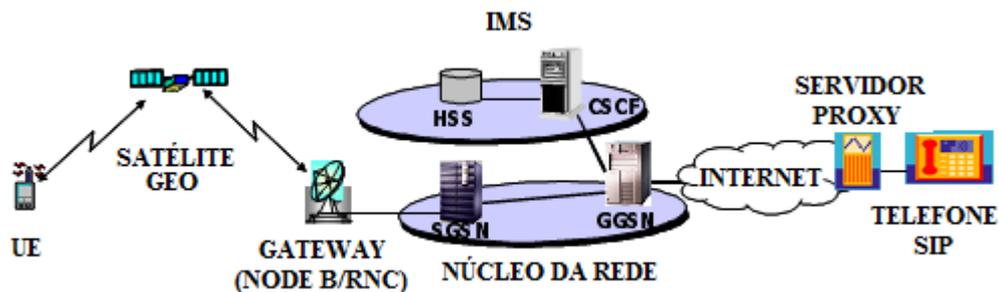


Figura 6.1: Arquitetura de rede UMTS satélite-terrestre integrada com base em IP.

A USRAN é composta pelo componente satélite e pelo *gateway* S-UMTS. Na arquitetura apresentada, o satélite é considerado como GEO (com órbita terrestre geostacionária) transparente. O *gateway* implementa a funcionalidade de um Node B e de um RNC. Nesta configuração, não há diferença em relação à arquitetura UTRAN (rede de acesso terrestre via rádio) UMTS. Tal arquitetura proporciona a possibilidade de se compartilhar a mesma rede IP central, viabilizando a compatibilidade com a rede terrestre [38]. Nesta abordagem, obtém-se uma integração contínua da rede terrestre/satélite.

A rede IP central do UMTS é composta pelo GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) e pelo SGSN (*Serving GPRS Support Node*). O GGSN é o ponto de acesso do UMTS à rede externa, enquanto que o SGSN é o nó que serve ao UE. O IMS envolve todos os elementos da

rede para o fornecimento de serviços multimídia dos quais, para simplificação, somente a função de controle de estado de chamada (CSCF) e o servidor do assinante (HSS) são apresentados e descritos nesta dissertação. O principal componente do IMS é o CSCF, que desempenha as funções de controle de sessão. Existem três tipos de CSCF, que são: CSCF *Proxy* (P-CSCF), CSCF de Serviços (S-CSCF) e CSCF Interrogativo (I-CSCF) [37].

O P-CSCF é o primeiro ponto de contato do UE dentro do IMS e está intimamente associado ao GGSN para controle e alocação de recursos. O I-CSCF é, em essência, o primeiro ponto de entrada na rede do operador para todas as conexões destinadas a um assinante daquele operador de rede, que pode esconder sua configuração, capacidade e a topologia da rede interna, do mundo exterior. Já o S-CSCF opera com os estados da sessão na rede. O HSS (*Home Subscriber Service*) é uma base de dados que possui informações referentes aos assinantes (identidade dos usuários, serviços contratados e endereços) para dar suporte às entidades de rede, às quais, na verdade, processam as chamadas/sessões.

6.3 REGISTRO

Antes que um equipamento de usuário possa iniciar ou finalizar uma sessão, é necessário, primeiramente, fazer um registro. Existem dois níveis de registro, que são: o registro no nível de portadora (GPRS), por onde o usuário obtém seu endereço IP, e o registro na camada de aplicação (registro no IMS). Este registro é feito para que o usuário possa ser localizado, para fechar as sessões e serviços, e também para que ele se autentique e, possivelmente, seja tarifado pelos recursos utilizados. A atual especificação do 3GPP diz que a autenticação deve ser feita durante o registro, ou seja, antes de fechar a sessão, para que o tempo de estabelecimento seja reduzido. Nesse caso, as chaves da sessão são criadas durante o registro.

A Figura 6.2 apresenta uma versão do Procedimento de Registro [39]. Por ter fechado uma conexão RRC e uma sequência de estabelecimento de conexão de sinalização Iu, o equipamento do usuário faz o registro no nível de portadora, enviando um GPRS *Attach*. A conexão RRC é um procedimento básico para se estabelecer uma conexão entre o equipamento do usuário e a rede de acesso via rádio, enquanto que a conexão de sinalização Iu tem a função de enviar mensagens NAS (*Non-Access Stratum*) entre o equipamento do usuário e o SGSN.

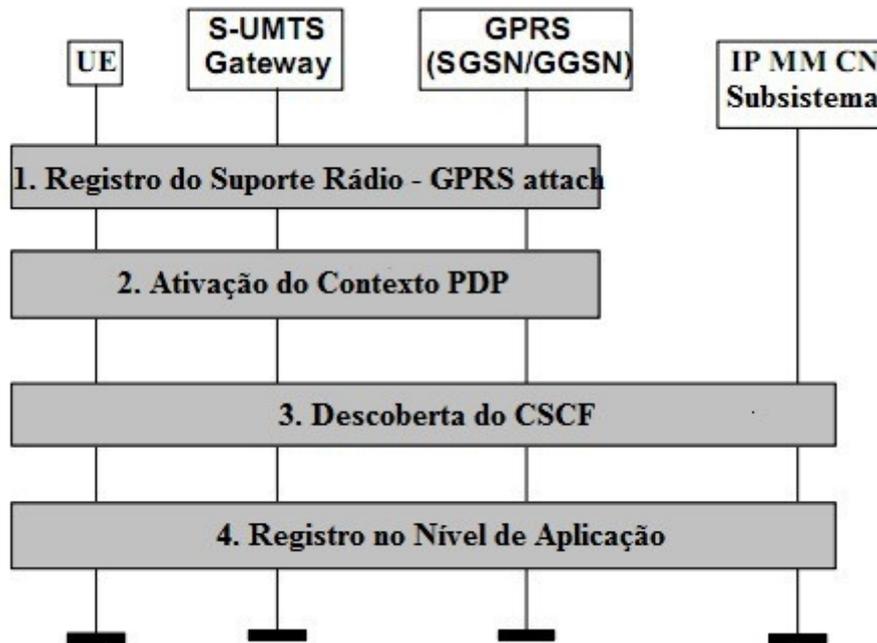


Figura 6.2: Procedimento de Registro.

Após registrar-se com a rede IP central, o equipamento do usuário ativa um procedimento PDP (*Packet Data Protocol*) *Context*, procedimento utilizado para estabelecer um caminho IP entre o equipamento do usuário e a rede, bem como para indicar o perfil de QoS desejado. Assim sendo, o usuário faz o procedimento de descoberta do P-CSCF usando um dos seguintes mecanismos: o endereço P-CSCF é transferido dentro da sinalização de ativação do PDP *Context* para o equipamento do usuário, ou utiliza-se os serviços de DHCP ou DNS para obter o endereço P-CSCF. Finalmente, o equipamento do usuário faz o registro no nível de aplicação, enviando um SIP *REGISTER* (incluindo o endereço IP obtido na ativação do PDP *Context*) para o P-CSCF descoberto. O P-CSCF encaminha o registro para a rede nativa do equipamento do usuário, pela qual um S-CSCF é atribuído. Com o sucesso no registro, o S-CSCF informa o HSS que armazena o nome S-CSCF para aquele ponto.

6.4 ESTABELECIMENTO DE SESSÃO BASEADA EM SIP

A figura 6.3 descreve os fluxos de sinalização de estabelecimento de sessão originada de um usuário móvel para um usuário fixo pela *Internet*. A sequência de estabelecimento de sessão mostrada aqui está sem o I-CSCF, provendo independência de configuração [37]. É assumido que o equipamento do usuário está localizado dentro da área de serviço da operadora de rede da qual o mesmo é assinante, e que este equipamento já tenha estabelecido uma conexão RRC, além de ter feito o registro tanto na rede GPRS como na rede IMS. Assume-se que um PDP *Context* primário foi ativado e é usado para transportar a sinalização IMS relacionada.

Como pode ser visto na Figura 6.3, o estabelecimento de sessão pode se tornar mais complexo se envolver uma grande troca de sinalizações englobando, não só mensagens relacionadas ao SIP (por exemplo, INVITE, PRACK, 180 RINGING), mas também RSVP [40] (por exemplo, PATH e RESV) e procedimentos específicos do UMTS (por exemplo, estabelecimento da portadora de rádio e Requisição de Modificação do PDP *Context*).

O estabelecimento da sessão SIP abrange, basicamente, quatro fases distintas, que são: o convite de sessão, a reserva de recursos, a oferta de sessão e a conexão de sessão. A fase de convite de sessão (passos 1 a 5) começa com o terminal transmissor enviando um SIP *INVITE* para o terminal receptor da chamada, ao mesmo tempo em que terminal transmissor recebe uma resposta 100 *TRYING* dos servidores SIP, como uma indicação de que a rede está em processo de roteamento do convite para o terminal receptor.

Em seguida, vem a fase de reserva (passos 6 a 48), onde os recursos necessários são reservados para que os primeiros anúncios possam ser realizados. A fase de reserva de recursos é a parte mais complexa do estabelecimento de sessão. É utilizada para negociar a qualidade de serviço (QoS) no UMTS. Uma vez que os recursos apropriados à rede e às portadoras de rádio de acesso estejam estabelecidos, tem-se início a fase de oferta de sessão (passos 49 a 57) com o terminal receptor sendo alertado para a chamada entrante, e o terminal transmissor sendo informado pela resposta provisional 180 *RINGING*. Finalmente, a sessão é estabelecida quando o terminal receptor responde, e uma resposta final 200 OK é enviada, onde o terminal transmissor faz a confirmação ao mandar uma mensagem ACK.

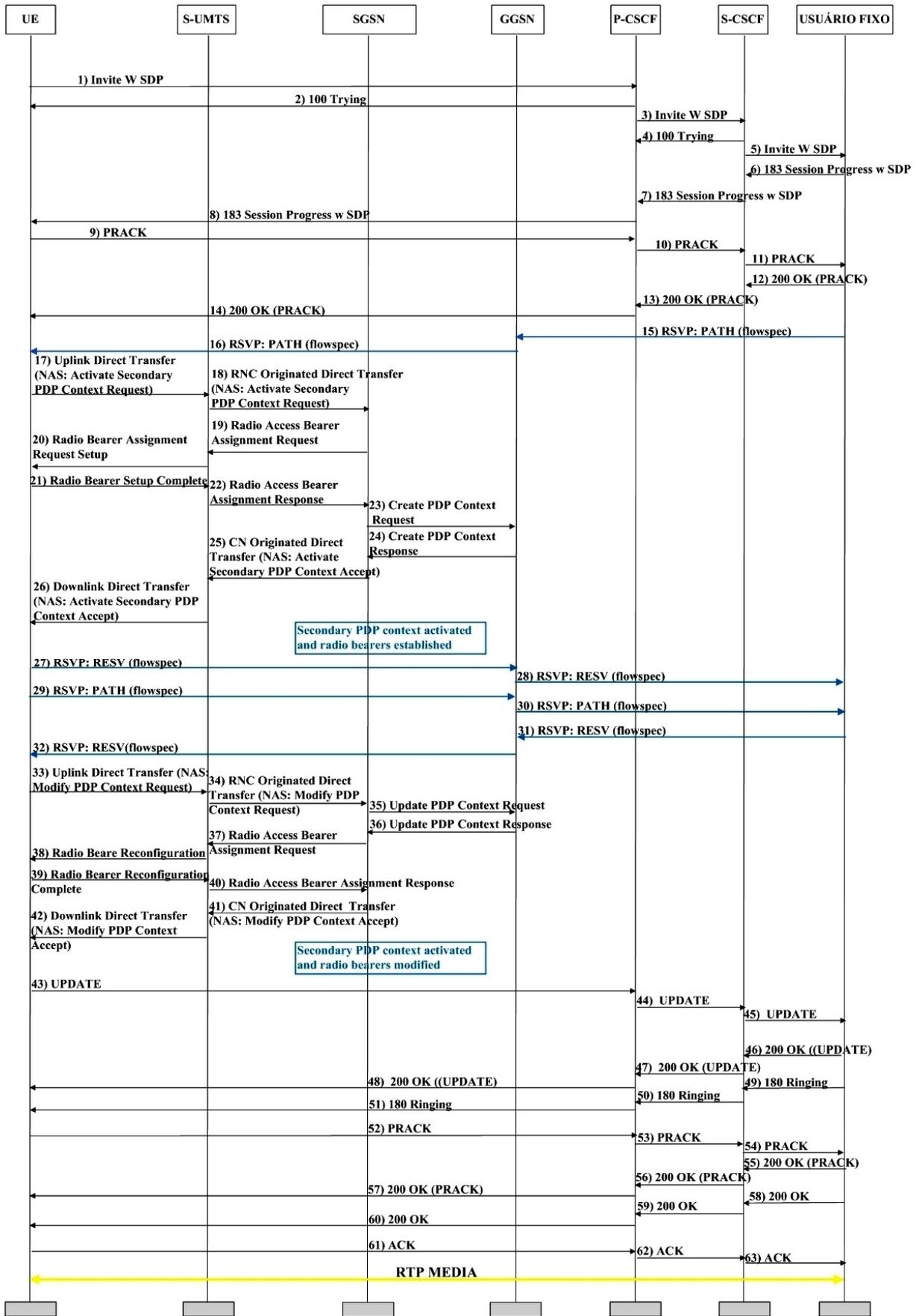


Figura 6.3: Estabelecimento de uma sessão SIP de um usuário móvel para um fixo.

6.5 APRIMORAMENTO DO PROTOCOLO SIP

Existem vários processos-chave envolvidos que precedem uma sessão IMS (IP *Multimedia Subsystem*). Após transitar do modo de espera (*Idle*) para o modo conectado, o UE estabelece um canal de sinalização RRC para o envio da mensagem NAS (*Non Access Stratum*), via plano de controle. Estes processos de sinalização têm como escopo preparar as portadoras de rádio para a troca de sinais de controle (*Signalling Radio Bearer*) e dados do usuário (*Radio Bearer*) entre o terminal móvel (MT) e a RAN (*Radio Access Network*). Os processos de sinalização de controle SIP são realizados pela interface Iu do Plano do Usuário (Iu-UP).

A UTRAN (*UMTS Radio Access Network*) considera as mensagens de controle SIP como dados do usuário. Assim, a fim de completar um procedimento de controle de sessão para uma aplicação baseada em IP, é necessária uma grande quantidade de mensagens de sinalização de controle entre o MT e a USRAN.

Considerando o elevado retardo de propagação do sinal do componente satélite no S-UMTS, a duração do procedimento de controle de sessão na maneira convencional torna-se muito longa, fazendo com que a adoção do método padrão de controle de sessão dificilmente atenda aos requisitos de Qualidade de Serviço especificados pelo 3GPP. Como exemplo, cerca de 40 mensagens NAS e SIP entre dois MTs são requeridas para o estabelecimento da sessão de uma chamada VoIP. A Figura 6.4 apresenta o processo de sinalização de controle NAS para os procedimentos de requisição e ativação de um PDP (*Packet Data Protocol*) *Context*.

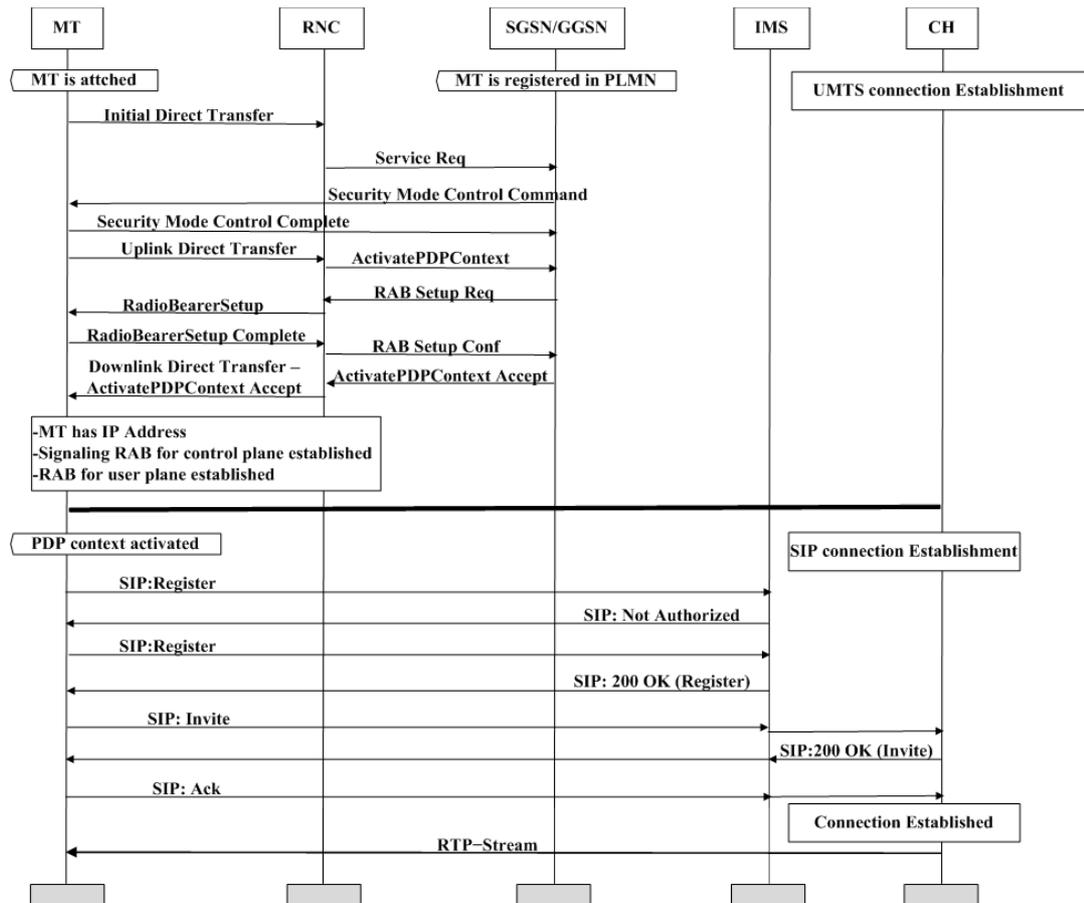


Figura 6.4: Sinalização NAS.

A sinalização de controle na interface aérea requer um alto nível de confiabilidade para se evitar erro, portanto, deve-se implantar um mecanismo de temporização no RRC ou um ARQ no RLC AM para as mensagens NAS e SIP.

Dadas as considerações anteriores, o tempo necessário para completar o procedimento de controle de sessão, utilizando o método convencional, seria inviável para satisfazer os requisitos funcionais do S-UMTS. Sendo assim, torna-se necessário otimizar o procedimento de conexão visando atender à demanda do S-UMTS, com total qualidade de serviço.

Em [41], tal consideração foi feita em termos de melhoria do SIP com parâmetros NAS, denotado como SIP_{RAN} . Nesta proposta, os parâmetros de controle das mensagens NAS, trocados entre o MT e o núcleo da rede (CN), antes da sinalização de controle SIP, são integrados com as mensagens SIP_{RAN} , a fim de reduzir o total de sinalização de controle.

O SIP foi desenvolvido independentemente do UMTS e, conseqüentemente, há várias transmissões redundantes servindo ao mesmo propósito como, por exemplo, a identificação de usuários e a negociação dos parâmetros de QoS (*Quality of Service*). Indubitavelmente, em vez de sucessivas sinalizações de controle NAS e SIP, apenas a sinalização SIP é necessária

no SIP_{RAN}. Agrupando-se as mensagens SIP com os parâmetros de controle NAS, a seguinte assertiva pode, por exemplo, ser feita: a mensagem *Attach Request* é capaz de ser integralmente substituída pela mensagem SIP *Register*, enquanto as mensagens SIP *Notify* e *Unauthorized* devem ser estendidas com os parâmetros de autenticação, criptografia e com os parâmetros para o procedimento de segurança para cobrir completamente o procedimento NAS *Attach*. Semelhantemente, os procedimentos de requisição e de ativação de um PDP *Context* podem ser substituídos por uma mensagem SIP *Register*. Uma mensagem SIP 200 OK tem a capacidade de incluir os parâmetros da mensagem PDP *Context Activation Accept*.

Contudo, para manter a cobertura de toda a área funcional pelo procedimento de controle NAS, padronizado de acordo com o 3GPP, IEs (*Information Elements*) adicionais necessitam ser definidos no cabeçalho das mensagens SIP_{RAN}, de modo que o MT e o SGSN possam distinguir entre as mensagens IP nativas, para fins de sinalização de controle SIP convencional, e as IP não-nativas, para sinalização de controle NAS. Uma vez que o SGSN padrão não possui tal função, certo nível de extensão funcional do SGSN é necessário para o conceito SIP_{RAN} aludido. Este *upgrade* funcional pode ser evitado por meio da introdução do RASN (*Radio Access Supporting Node*) no CN. O RASN foi proposto, recentemente, para substituir o SGSN convencional. Caso o RASN seja implementado no CN do UMTS, o conceito SIP_{RAN} proposto pode ser implementado sem quaisquer modificações no CN [41].

A Tabela 4 apresenta algumas sugestões de integração das mensagens NAS com as mensagens SIP [41].

Tabela 4: Mapeamento das mensagens NAS em mensagens SIP

Mensagens 3GPP SM/MM	Possíveis Mensagens SIP
GPRS Attach procedure	
Attach Request	Register
Attach Accept	200 OK
Attach Complete	INFO (related to TMSI procedure ou ACK)
Attach Reject	401 Unauthorized
PDP Activation procedure	
PDP Context Activation	Register
Service Request	Register
PDP Context Activation Accept	200 OK
P-TMSI reallocation	
P-TMSI Reallocation command	SIP-Notify
P-TMSI Reallocation	200 OK
T-URS reallocation	
Authentication and Ciphering	
Authentication and Ciphering Request	SIP-NOTIFY/401 Unauthorized
Authentication and Ciphering Response	SIP Register
Authentication and Ciphering Reject	Response codes to Register
Authentication and Ciphering Failure	Response codes to Register
GPRS Detach	
Detach Request (uplink)	Register, exp. Time = 0
Detach Accept	200 OK
Detach Request (downlink)	Register, exp. Time = 0 (network initiated de-registration)
Detach Accept	200 OK
Routing Area Update	
Routing Area Update Request	Register, e.g. contact field incl. RAI
Routing Area Update Accept	200 OK
Routing Area Update Complete	INFO or ACK
Routing Area Update Reject	Response codes to Register
SIP Registration procedure	
SIP De-registration procedure	
Register procedure	

Fonte: 3GPP

6.5.1 DETALHAMENTO DAS MENSAGENS SIP_{RAN}

A Figura 6.5 ilustra o processo de troca de mensagens necessárias ao registro do MT no CN para estabelecer uma sessão VoIP utilizando o SIP_{RAN}. Note-se que apenas as mensagens modificadas pelo SIP_{RAN} são mostradas na Figura 6.5, ou seja, a sinalização RRC não é apresentada porque não foi modificada. As respostas *ringing* e *trying* também não foram apresentadas porque não atendem ao mesmo propósito das mensagens SIP convencionais e serão enviadas do mesmo modo, tanto no conceito SIP convencional quanto no SIP_{RAN}.

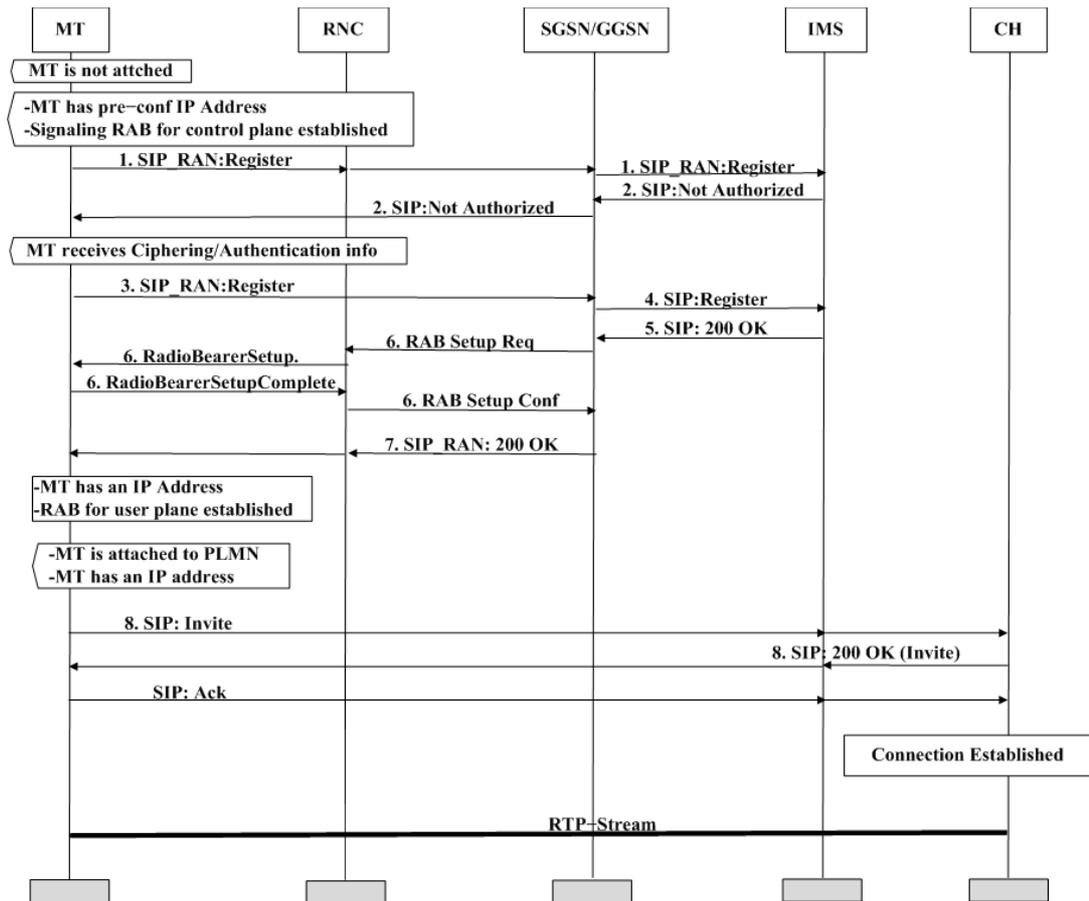


Figura 6.5: Sinalização SIP_{RAN}.

A seguir, é detalhado o processo de sinalização SIP_{RAN}:

1. O MT envia uma mensagem de Registro SIP_{RAN} para efetuar o registro tanto no SGSN quanto no IMS;
2. O MT recebe a informação requerida para a autenticação, bem como a cifragem do procedimento *Attach* via SIP_{RAN};
3. Usando as informações recebidas, o MT envia uma mensagem de Registro SIP_{RAN} com os parâmetros PDP (parâmetros de QoS e o endereço do PDP para o SGSN);
4. Encapsulando os parâmetros não-IP, o SGSN (ou RASN) encaminha a mensagem de Registro em um formato SIP padrão para o IMS;
5. Se a autorização do MT for obtida com sucesso pelo IMS, este confirma a solicitação de registro do MT com um SIP 200 OK;

6. Após o recebimento dessa confirmação, o SGSN (RASN) ativa o procedimento de *setup* do RAB (*Radio Access Bearer*);
7. Se o procedimento de *setup* do RAB for finalizado com sucesso, o SGSN confirma o *Attach*, assim como as solicitações do MT para ativação do contexto PDP por meio de uma mensagem SIP_{RAN} 200 OK. Neste instante, o MT ganha um endereço IP e um RB (*Radio Bearer*) para a aplicação desejada;
8. Os processos restantes são os mesmos da sinalização SIP convencional;

A integração da informação de controle NAS às mensagens SIP foi proposta para reduzir o número total de sinalização de controle para o procedimento de CC (*Call Control*) [41]. O método SIP_{RAN} mencionado reduz, efetivamente, a duração dos processos de controle, se comparado ao método de sinalização convencional NAS e SIP, em especial no S-UMTS, onde o atraso da propagação de sinal é muito longo.

A sinalização de controle SIP_{RAN} proposta é uma alternativa extremamente viável para o método convencional de sinalização de controle NAS e SIP. Esta proposta possui outra vantagem sobre o método convencional, onde apenas um SRB (*Signalling Radio Bearer*) é necessário para todo o processo de sinalização de controle facilitando, assim, o gerenciamento do RB (*Radio Bearer*) [41].

6.6 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONCEITO SIP_{RAN}

Nesta seção, a duração do procedimento de estabelecimento de sessão usando o SIP_{RAN} é comparada ao método convencional (sinalização NAS e sinalização SIP). O método SIP_{RAN} proposto sobre o plano de controle foi desenvolvido para reduzir o número total de sinalizações por meio da integração da informação de controle NAS com as mensagens SIP [41].

A Tabela 5 apresenta as possíveis estimativas de aplicação da sinalização de controle via interface aérea para ambos os conceitos, onde os tamanhos das mensagens NAS foram obtidos do 3GPP [42], e os das mensagens SIP de [43]. Para evidenciar a vantagem da utilização do SIP_{RAN}, a soma dos tamanhos das mensagens foi ajustada para o mesmo valor do método NAS + SIP (Método Convencional), embora o tamanho total das mensagens do SIP_{RAN} possa, de fato, ser menor que o tamanho das mensagens do método convencional.

Tabela 5: Comparação da sinalização padrão com o método SIP_{RAN}

Registro e Início de Sessão	UMTS Padrão	Tamanho (Byte)	SIP _{RAN}	Tamanho (Byte)
	Attach Request	60	Register	400
	Authentication and Ciphering Request	33	Unauthorized	844
	Authentication and Ciphering Response	32	Register	400
	Security Mode Command	43	-	-
	Security Mode Complete	6	-	-
	Attach Accept	80	200 OK	402
	Service Request	19	-	-
	Attach Complete	12	-	-
	Activate PDP	230	-	-
	RB Setup	17	RB Setup	17
	RB Complete	10	RB Complete	10
	Activate PDP Accept	190	-	-
Móvel para Chamada VoIP	RAN/IMS Padrão	Tamanho (Byte)	SIP _{RAN}	Tamanho (Byte)
	Register	400	-	-
	Unauthorized	200	-	-
	Register	400	-	-
	200 OK	200	-	-
	Invite	400	Invite	844
	200 OK	200	200 OK	402
	ACK	250	ACK	250
Tamanho médio das Mensagens		2782		2782

Fonte: 3GPP

Na análise realizada para comparar o conceito SIP_{RAN} e o método convencional NAS + SIP, a duração do estabelecimento de sessão para ambos os métodos foi medida por meio da variação do ângulo de elevação de 10° até 70° na altitude de 36000 km (Satélite GEO). Com a finalidade de se ajustar os parâmetros RLC ARQ, o valor do *pool timer* foi ajustado levando-se em conta o tempo do RTT, no qual um *pool* e um *status prohibit timer* foram ajustados para evitar o envio em excesso de *polling request*. Visando evitar *overflow* no *buffer*, o número máximo de retransmissões foi ajustado para 40. A Portadora de Sinalização de Rádio (SRB) para o NAS e para o SIP_{RAN}, bem como a Portadora de Rádio (RB) para o SIP foram transmitidas pelo Canal de Controle Dedicado (DCCH) e pelo Canal de Tráfego Dedicado (DTCH), respectivamente. Estes canais lógicos foram mapeados em um Canal Dedicado (DCH) com uma largura de banda máxima de 27,2 Kbps, que é a maior Portadora de Sinalização de Rádio para a transmissão de mensagens pelo plano de controle. Ademais, para

apresentar um cenário mais realista, foi implementado um tempo mínimo de processamento de 0,001 s em cada camada de protocolo AN (RLC, MAC e PHY).

A Figura 6.6 apresenta o gráfico da duração do procedimento de estabelecimento de sessão, usando o método NAS + SIP. Inicialmente, foi observado o aumento da duração do procedimento de estabelecimento de sessão por meio da redução do ângulo de elevação. Isso aconteceu por duas razões: o aumento do atraso de propagação e o aumento da probabilidade de bloqueio de caminho por meio da redução do ângulo de elevação. A distância entre um satélite e uma estação terrena aumenta quando o ângulo de elevação diminui e, em consequência, o atraso de propagação do sinal aumenta. Nas simulações, o atraso de propagação do sinal num ângulo de elevação do satélite de 10° foi, aproximadamente, 30 ms maior do que aquele com um ângulo de elevação de 70° . Além disso, devido ao maior atraso de propagação, o atraso de ida e volta se torna maior para um ângulo de elevação menor. Em decorrência disso, a duração do procedimento de estabelecimento de sessão foi maior para um ângulo de elevação menor devido à utilização do protocolo ARQ [43].

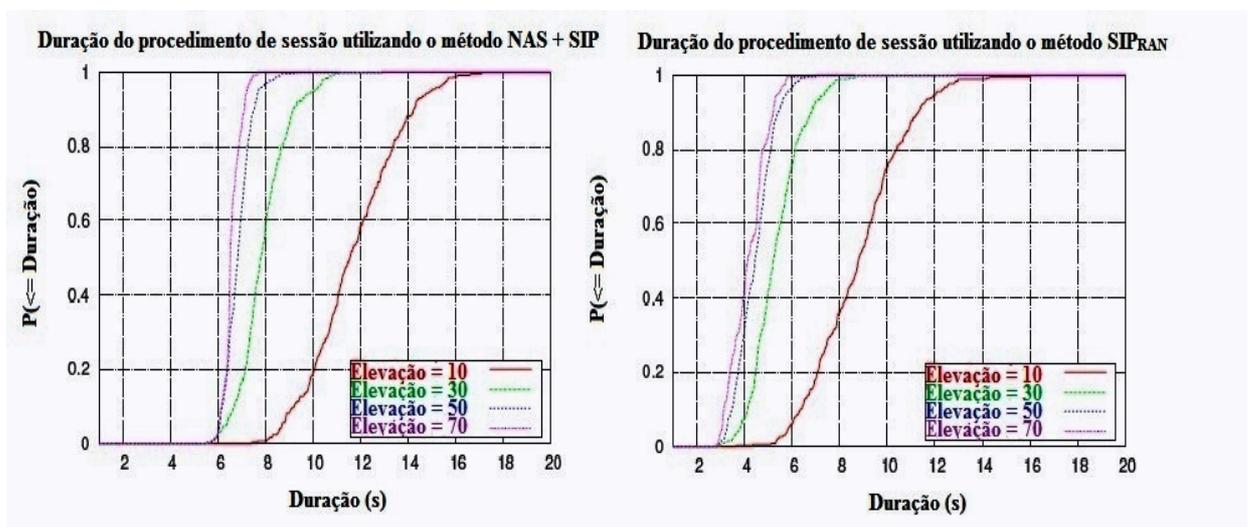


Figura 6.6: Procedimentos NAS + SIP e SIP_{RAN} com vários ângulos de elevação.

Outra razão para uma maior duração do estabelecimento de sessão com um ângulo de elevação menor foi a maior probabilidade de bloqueio de caminho. Esta probabilidade aumenta com a diminuição do ângulo de elevação por causa de uma obstrução mais frequente do caminho da Linha de Visada [43]. Dessa forma, ocorreram várias perdas de sinais de controle ao se utilizar um ângulo de elevação menor, onde os sinais perdidos foram

reconhecidos após a finalização do *timeout* pré-definido e retransmitidos pelo emissor. Este procedimento se repete até que uma transmissão com sucesso seja confirmada. Por isso, quanto maior a probabilidade de bloqueio, maior é o tempo de espera do emissor para a confirmação do sinal transmitido.

Comparando-se o SIP_{RAN} proposto com o NAS + SIP, foi observado que o método SIP_{RAN} necessitou de menos tempo para completar o procedimento de estabelecimento de sessão, ainda que o comprimento total das mensagens transmitidas fosse igual para ambos os métodos [43]. Uma das razões principais para isso foi que o número total de sinalizações verificado no método SIP_{RAN} foi bem menor do que aquele apresentado no NAS + SIP e, conseqüentemente, o *overhead* de protocolo sobre todo o processamento foi reduzido no método SIP_{RAN}. Além disso, no SIP_{RAN}, a largura de banda em questão estava sendo usada em sua totalidade, ao passo que somente um quarto da largura de banda total foi utilizado para transmitir a mensagem *security mode complete* pela sinalização NAS [43].

Outro parâmetro que causou diferença na duração entre os dois métodos foi o RTT (Tempo de ida e volta ao Satélite) CN, uma vez que as informações dos usuários foram recebidas empregando-se uma quantidade reduzida de mensagens de sinalização. O total de RTT CN foi consideravelmente reduzido pelo método SIP_{RAN}.

As variações de cada gráfico, segundo a Figura 6.6, mostram o impacto do ângulo de elevação do satélite no desempenho da sinalização durante o procedimento de estabelecimento de sessão. Tendo o pequeno ângulo de elevação causado maior probabilidade de bloqueio de caminho, os gráficos para o ângulo de elevação de 10°, em ambos os casos na Figura 6.6, apresentam os maiores valores de variação. É mostrado também que as variações gerais num ângulo de elevação mais alto pelo SIP_{RAN} foram levemente maiores do que o convencional. Isso pode ser explicado pelo tamanho das mensagens SIP_{RAN} que aprimoraram as mensagens SIP convencionais com os parâmetros NAS. Devido ao maior tamanho, as mensagens SIP_{RAN} tiveram de ser fragmentadas pelo emissor e remontadas pelo receptor, causando o atraso na entrega da SDU (Unidade de Dados de Serviço).

A Tabela 6 apresenta os resultados das medições da duração do estabelecimento de sessão através de ambos os métodos, na constelação GEO [43].

Tabela 6: Procedimento de sessão dos métodos NAS + SIP e SIP_{RAN}

Método	Constelação	Elevação [*]	Média [s]	Variação [s]
NAS + SIP	GEO (36000 km)	10	11,73	4,10
NAS + SIP	GEO (36000 km)	30	7,94	1,07
NAS + SIP	GEO (36000 km)	50	6,88	0,29
NAS + SIP	GEO (36000 km)	70	6,60	0,12
SIP _{RAN}	GEO (36000 km)	10	8,83	3,66
SIP _{RAN}	GEO (36000 km)	30	5,36	1,10
SIP _{RAN}	GEO (36000 km)	50	4,47	0,58
SIP _{RAN}	GEO (36000 km)	70	4,20	0,57

Fonte: 3GPP/POLLACK, C et al

Dadas tais considerações, observa-se que o SIP_{RAN} é um protocolo de extrema importância no S-UMTS para reduzir a duração do estabelecimento de sessão. Foi comprovado nesta seção que a integração de mensagens NAS com as mensagens SIP é viável e, por conta disso, os parâmetros comuns de ambas as sinalizações podem ser integrados à mensagem SIP [41]. Esse método pode reduzir o volume total de transferência de dados entre o terminal do usuário e o CN, permitindo um controle de sessão mais rápido, assim como a otimização dos recursos de rádio [41].

7 SIMULAÇÃO DA TÉCNICA DE SEGMENTAÇÃO DA PDU

Como visto, na transmissão de dados em um enlace existem, pelo menos, três componentes causadores de latência: retardo de propagação, retardo de transmissão e retardo da fila dos roteadores [27]. No ambiente satélite, o peso maior é atribuído ao retardo causado pela propagação. Em conexões que utilizam enlace de satélite GEO, o retardo de subida e de descida, tipicamente da ordem de 250 ms, é prejudicial ao desempenho do protocolo.

Diante de um enlace ruidoso, as retransmissões tornam-se frequentes. Em um sistema configurado para enviar PDUs grandes, o desvanecimento ou a interferência podem causar a falha de toda PDU. Mas, em um sistema configurado para fracionar uma PDU grande em várias PDUs menores, apenas uma pequena percentagem de pacotes pequenos são afetados, podendo-se, através de retransmissão [45], recompor-se a PDU.

Diante do exposto, pretende-se através de simulações no módulo *Simulink* do Matlab [46] evidenciar que, no enlace satélite, é mais viável fragmentar as PDUs em tamanhos menores em vez de se transmitir toda a PDU de uma só vez. Por exemplo, se um quadro de 1000 bits tem uma probabilidade média de erro de 0,01 (1 quadro errado em cada 100 enviados), o que seria mais conveniente para maximizar a vazão no enlace via satélite? Enviar quadros de 1000 bits sucessivamente ou segmentá-los em quadros menores (por exemplo: 5 quadros de 200 bits cada um)?

7.1 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Esta seção tem por objetivo apresentar o diagrama em blocos da plataforma desenvolvida no MATLAB (Módulo *Simulink*) para cálculo da taxa de erro de bits (BER) e cálculo da taxa de erro de quadros (FER) e está dividida em dois passos:

- 1- Cálculo da BER;
- 2- Cálculo da FER;

7.1.1 CÁLCULO DA BER

O diagrama em blocos da plataforma satélite desenvolvido no *simulink* para cálculo da BER está representado na Figura 7.1. A operação de simulação a partir desta plataforma foi executada 10 vezes, já que foram considerados no bloco Canal Satélite 10 valores de Eb/No, de 1 a 10 dB e 4 valores de tamanho de quadros: 100, 200, 500 e 1000 bits.

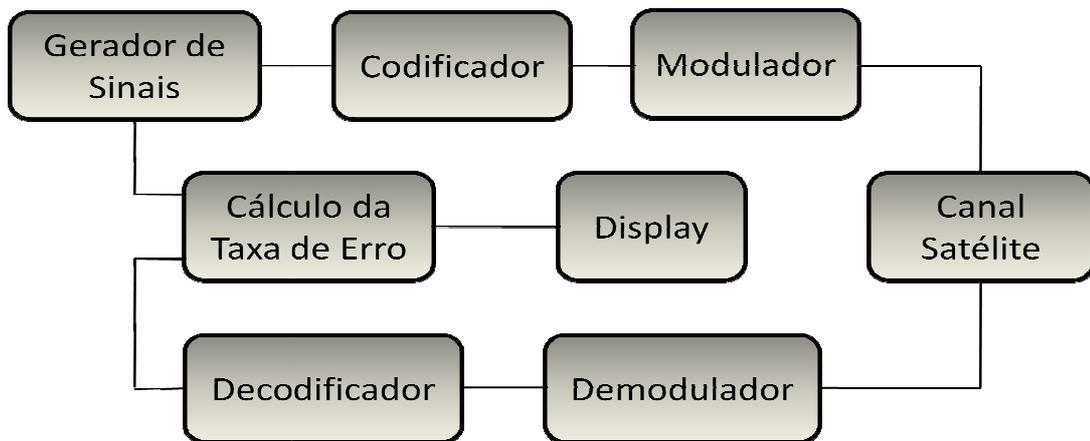


Figura 7.1: Diagrama de blocos da plataforma satélite para cálculo da BER.

7.1.2 CÁLCULO DA FER

Dada a taxa de erro de bit (BER), é possível determinar a proporção de quadros que possuem algum erro. Para cálculo da FER, foi desenvolvido no MATLAB um algoritmo que tem como base a expressão abaixo [47]:

$$FER = 1 - (1 - BER)^n \quad (7.1)$$

onde:

FER = Taxa de erro de quadro;

BER = Taxa de erro de bit;

n = Número de bits do quadro;

7.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A Figura 7.2 apresenta as curvas e os valores das taxas de erro de bit (BER) em função do E_b/N_0 , obtidos a partir das simulações realizadas na plataforma apresentada na Figura 7.1. Os resultados gerados nesta plataforma serão utilizados como dados de entrada no cálculo da Taxa de erro de quadro (FER).

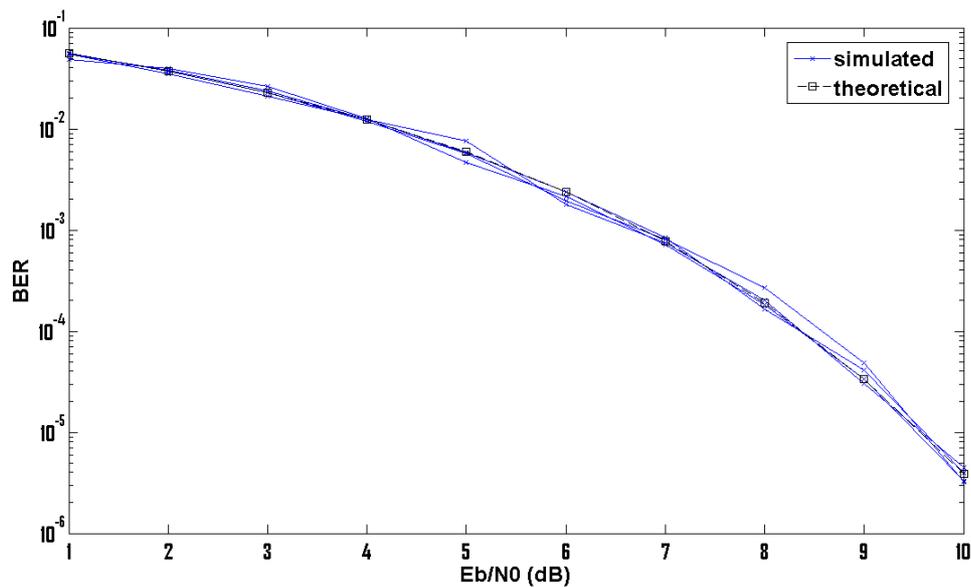


Figura 7.2: BER vs. E_b/N_0 .

O gráfico apresentado na Figura 7.3 (FER vs. E_b/N_0) foi gerado pelo algoritmo em Matlab, tendo como base a expressão 7.1, mencionada na seção 7.1.2, onde se variou o E_b/N_0 de 1 a 10 dB. Os valores de BER utilizados nesta simulação para cálculo da FER foram gerados pela plataforma satélite apresentada no diagrama de blocos da Figura 7.1.

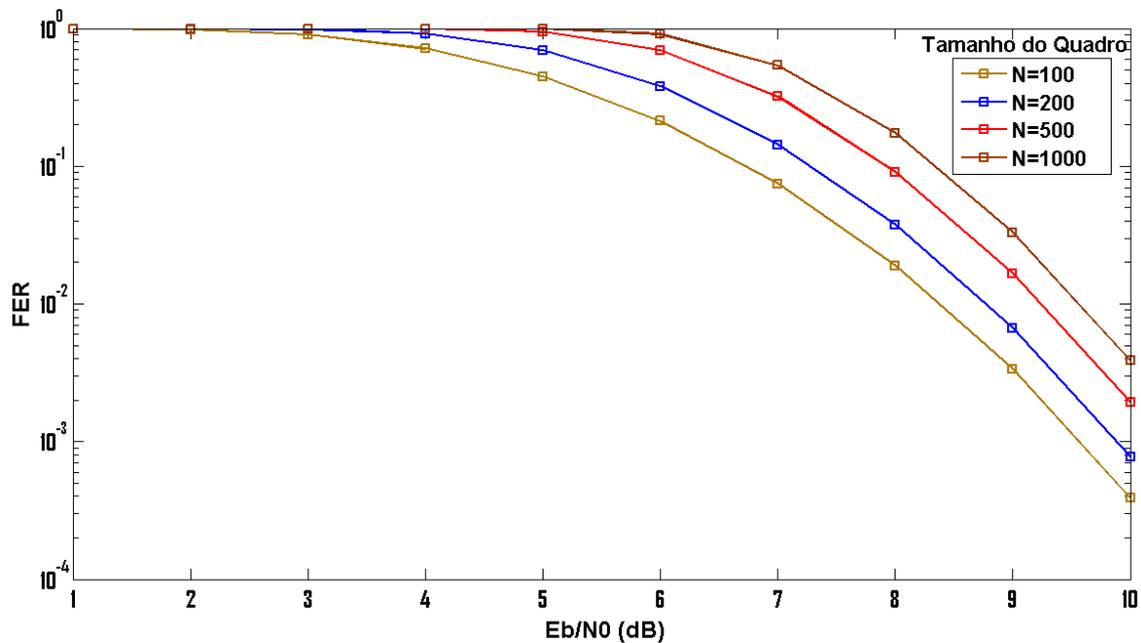


Figura 7.3: FER vs. Eb/No.

Constatou-se também que, quanto menor for o tamanho do quadro, menor será a probabilidade de erro.

Diante do exposto, o que seria mais viável para maximizar a vazão no enlace satélite? Enviar uma PDU de 1000 bits ou cinco quadros de 200 bits, assumindo um valor fixo para Eb/No, por exemplo, de 6 dB?

Aplicando-se a expressão para cálculo da FER [47] nos cinco quadros de 200 bits e comparando-a ao valor da FER da PDU de 1000 bits, tem-se que:

$$FER = 1 - (1 - 0,3801)^5, \quad (7.2)$$

onde 0,3801 corresponde ao valor da FER do quadro de 200 e cinco, ao número de quadros em que a PDU foi fragmentada. Ao resolver a expressão acima, obtém-se o valor 0,9085, que é o mesmo valor da FER do quadro de 1000 bits, considerando-se um Eb/No de 6 dB.

Face ao exposto anteriormente, os resultados das probabilidades são iguais, porém os efeitos respectivos não o são. Considerando-se o seguinte: ao ser recebido um quadro de 1000 bits com erro, na condição de ocorrência de um erro de bit, perde-se todo o quadro, ou seja, ele terá que ser retransmitido em sua totalidade. Agora, se um dos quadros de 200 bits for

recebido com erro, tem-se o recebimento de quatro quadros corretos, o que gera a necessidade de repetição de apenas um quadro.

Abaixo, são apresentadas cinco possibilidades possíveis para o envio dos cinco quadros de 200 bits:

- 1) transferir cinco quadros com erro;
- 2) transferir um quadro correto e quatro quadros com erro;
- 3) transferir dois quadros corretos e três quadros com erro;
- 4) transferir três quadros corretos e dois quadros com erro;
- 5) transferir quatro quadros corretos e um quadro com erro;

A Figura 7.4 representa, graficamente, as cinco possibilidades mencionadas acima.

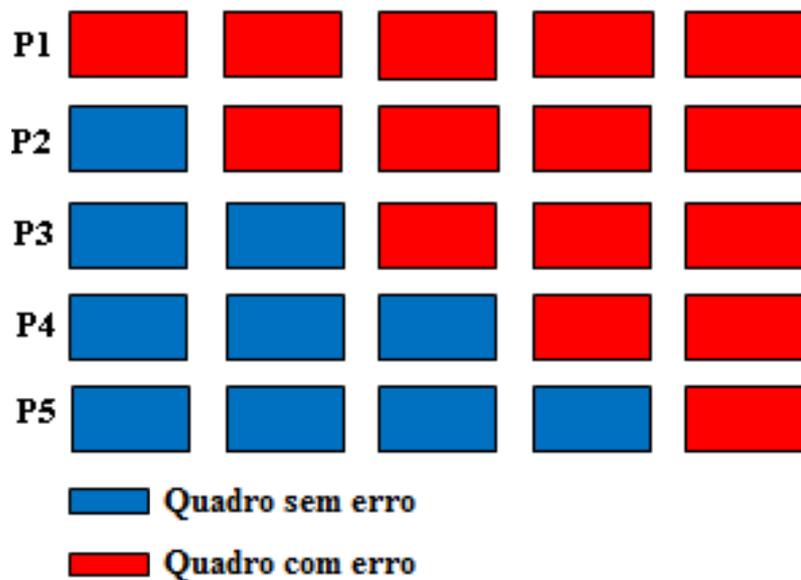


Figura 7.4: Casos equiprováveis.

Se existe cinco possibilidades que podem ocorrer, a probabilidade de acontecer cada evento acima é de $1/5$. Somando-se a probabilidade dos casos equiprováveis (Figura 7.4) com a possibilidade de enviar cinco quadros de 200 bits corretos ($1000 \times 1 -$), tem-se que:

$$BT = 0 \times P_e \times 1/5 + 200 \times P_e \times 1/5 + 400 \times P_e \times 1/5 + 600 \times P_e \times 1/5 + 800 \times P_e \times 1/5$$

$$BT = P_e [0 + 200 + 400 + 600 + 800] \times 1/5$$

$$BT = 400 P_e$$

$$BT = 1000 \times (1 - P_e) + P_e \times 400$$

$$BT = 1000 \times 0,0915 + 0,9085 \times 400$$

$$BT = 454 \text{ bits}$$

onde:

$P = 1/\text{número de quadros da partição da PDU};$

$P_e = \text{Probabilidade de erro do quadro};$

$BT = \text{Número médio de bits transmitidos};$

Com base nos cálculos realizados anteriormente, pode-se afirmar que na transmissão de uma PDU de 1000 bits particionada em cinco quadros de 200 bits, caso ocorra algum erro consegue-se, ainda, transmitir uma média de 454 bits, ao passo que em uma transmissão de uma PDU de 1000 bits, caso ocorra algum erro, perde-se todo quadro, ou seja, não se transmite nada.

Na Tabela 7, apresenta-se o número médio de bits transmitidos para uma PDU de 1000 bits particionada de três formas: 10 quadros de 100 bits, 5 quadros de 200 bits e 2 quadros de 500 bits, além de um Eb/No variando de 6 a 10 dB. Neste cálculo, foi utilizada a mesma expressão para cálculo do número médio de bits transmitidos (BT) citada anteriormente. Variou-se a possibilidade de ocorrer cada evento, de acordo com o particionamento da PDU.

Tabela 7: Número médio de bits transmitidos em função do particionamento da PDU

E_b/N_0	FER_{100}	$(FER_{100})^{10}$	P	BT
6	0,2127	0,9085	1/10	500
7	0,07439	0,5383	1/10	703
8	0,01891	0,1738	1/10	904
9	0,003357	0,0331	1/10	981
10	0,0003871	0,0039	1/10	997

E_b/N_0	FER_{200}	$(FER_{200})^5$	P	BT
6	0,3801	0,9085	1/5	454
7	0,1432	0,5383	1/5	677
8	0,03747	0,1738	1/5	895
9	0,006703	0,0331	1/5	980
10	0,0007741	0,0039	1/5	997

E_b/N_0	FER_{500}	$(FER_{500})^2$	P	BT
6	0,6975	0,9085	1/2	318
7	0,3206	0,5383	1/2	596
8	0,09105	0,1738	1/2	869
9	0,01667	0,0331	1/2	975
10	0,001934	0,0039	1/2	997

Com o objetivo de melhorar a compreensão da Tabela 7, a Figura 7.5 apresenta, graficamente, a PDU de 1000 bits segmentada em 10 quadros de 100 bits, 5 quadros de 200 bits e 2 quadros de 500 bits para um E_b/N_0 , variando de 6 a 10 dB. A probabilidade de erro do quadros (Pe) é dada em função do E_b/N_0 .

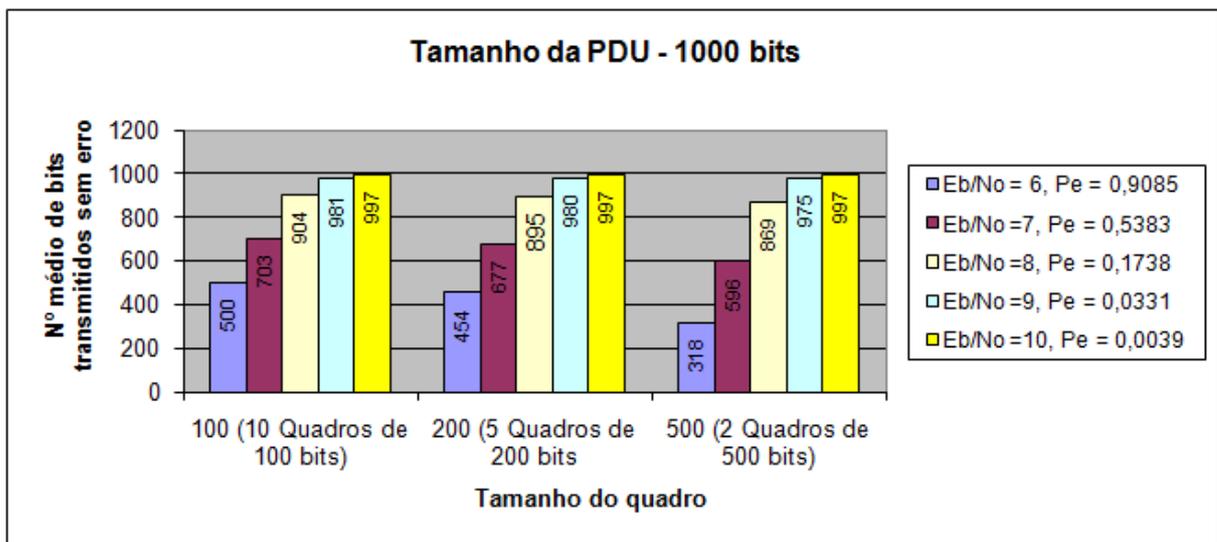


Figura 7.5: Número médio de bits transmitidos vs. tamanho do quadro.

A fim de apresentar um caso real, a Figura 7.6 apresenta os resultados da simulação de um Quadro *Ethernet* [29] (1500 Bytes), padrão muito utilizado atualmente nas comunicações de rede.

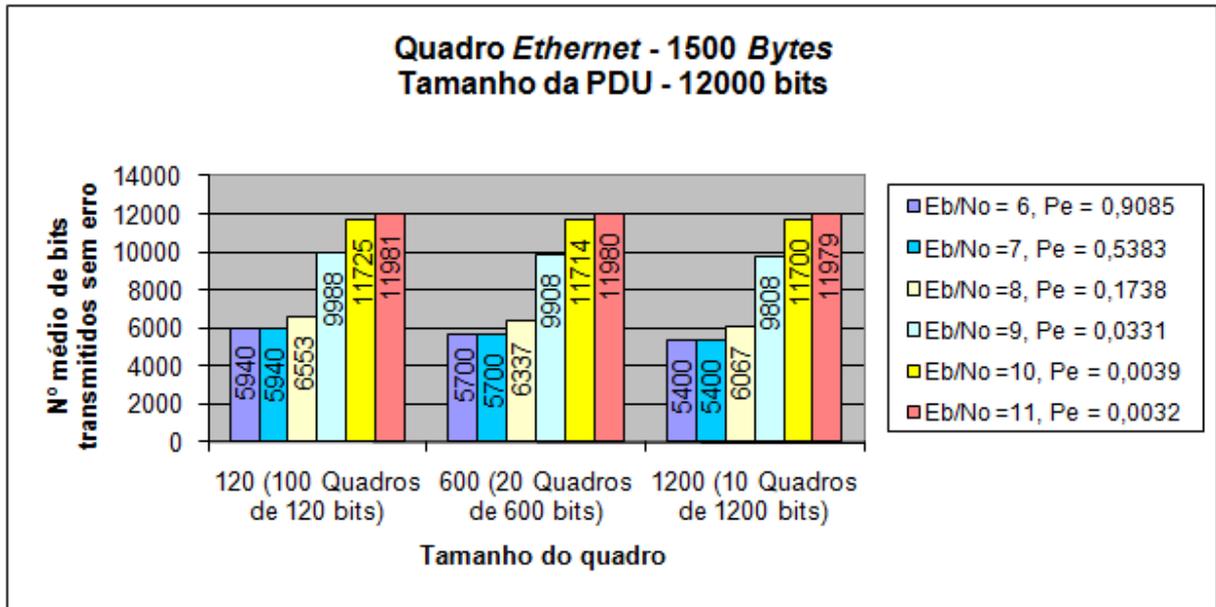


Figura 7.6: Quadro *Ethernet*.

Face ao exposto, chega-se à conclusão de que, considerando-se um E_b/N_0 entre 6 e 9 dB, para maximizar a vazão no enlace satélite, o desenvolvedor de um Projeto de Comunicações com Sistemas Celulares via Satélite, utilizando uma PDU de 1000 bits, deverá fragmentá-la em 10 quadros de 100 bits, sendo a opção com o E_b/N_0 igual a 10 dB a de maior vazão possível.

Pode-se concluir, também, que para E_b/N_0 maior que 10 dB, o valor da vazão fica praticamente constante, portanto, se os resultados fossem plotados na forma gráfica, a curva resultante apresentar-se-ia como uma reta horizontal. Sendo assim, conclui-se que, para um E_b/N_0 igual a 10 dB, seria indiferente transmitir 10 quadros de 100 bits, 5 quadros de 200 bits, 2 quadros de 500 bits ou 1 quadro de 1000 bits.

Considerando-se todos os valores de E_b/N_0 utilizados na PDU de 1000 bits (6 a 10 dB), chega-se à conclusão de que o E_b/N_0 igual a 10 é o E_b/N_0 ótimo, pois, com ele consegue-se a vazão máxima. Vale ressaltar, observando-se a Figura 7.6 que, no cenário de uma PDU com tamanho de um quadro *Ethernet*, o E_b/N_0 ótimo é igual a 11.

No caso de não se dispor de níveis elevados de potência de transmissão, deve-se trabalhar com valores inferiores de E_b/N_0 . Nestas situações, as Figuras 7.5 e 7.6 mostram

que, em qualquer caso, um maior particionamento das PDUs conduz a níveis mais elevados de vazão. Tem-se, assim, um compromisso: se por um lado as transmissões de quadros menores conduzem a níveis mais elevados de vazão, por outro lado, a transmissão de uma quantidade maior de quadros por PDU pode ter um efeito negativo, pois aumenta-se, por exemplo, a quantidade de bits em cabeçalhos, os quais não contribuem para um acréscimo da vazão em termos de transmissão de informação. Adicionalmente, aumenta-se o processamento, pois serão enviados mais quadros por PDU.

Dadas as considerações acima, em um enlace cuja taxa de erro seja alta, é mais viável transmitir quadros menores do que quadros maiores, pois, se houver perda, perde-se todo quadro.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho teve por finalidade prestar uma contribuição para um melhor entendimento sobre o processo de integração do satélite à rede terrestre do UMTS.

Mostrou-se que é viável integrar o componente satélite com a infraestrutura terrestre do T-UMTS, a fim de estabelecer uma rede multimídia em escala global e aumentar a área de cobertura dos serviços multimídia para a comunidade 3G móvel.

Motivado pelas recomendações do 3GPP, realizou-se um estudo investigativo sobre as características e soluções para otimizar a vazão no enlace satélite.

Quanto aos cenários de integração, sua investigação aponta para diversos benefícios e requisitos técnicos, o que pode variar de acordo com o nível de capacidade de processamento *on-board* do satélite. Já no que se refere à escolha da constelação de satélites para o S-UMTS, os LEOs (*Low Earth Orbits*) orbitam a altitudes entre 700 e 2000 km, o que lhes confere potencial para obter resultados significativos nos futuros sistemas de comunicação global, uma vez que seu atraso de propagação do sinal é bem menor.

Conforme o 3GPP, a arquitetura de protocolo da Interface Rádio (RI) é igual a do T-UMTS, sendo que a arquitetura de protocolo RI aqui apresentada, está alinhada à padronização ETSI, com o propósito de compatibilizar o componente de satélite com as redes terrestres.

Tomando-se por base o padrão T-UMTS, a camada física do S-UMTS foi inteiramente especificada pelo ETSI. Sua funcionalidade básica equivale a do T-UMTS, sendo que o ETSI adaptou o protocolo de camada física do T-UMTS e fez várias mudanças no que concerne às estruturas e aos parâmetros dos canais físicos.

Ressalta-se, ainda, que todas as funcionalidades da camada MAC especificadas para o T-UMTS são passíveis de serem suportadas pelo S-UMTS.

No que concerne à camada RLC, os modos TM, UM e AM, da forma que estão especificados pelo 3GPP, podem ser adaptados no S-UMTS sem nenhuma alteração.

É relevante ressaltar que uma PDU de *status* adicional aumenta a eficácia do protocolo, porque as mensagens de *status* são transferidas sem a necessidade de emprego de meios adicionais.

Em relação aos requisitos de serviço do S-UMTS, vale lembrar ainda que a Rede UMTS de Acesso Rádio Satélite é empregada para ampliar a cobertura do T-UMTS e, também, a área de serviço concedida, enquanto mantém a compatibilidade do terminal e a

portabilidade do serviço. O principal resultado desta convergência é uma maior interação das redes satélites com as redes terrestres.

No que se refere ao QoS suportado pelo S-UMTS, tem-se que, o mecanismo ARQ-SR é mais eficaz, pois evita retransmissões desnecessárias. A desvantagem, porém, reside no fato de que a estação receptora precisa manter armazenados os quadros recebidos desordenadamente, além da necessidade de possuir um mecanismo lógico de ordenação. As classes de tráfego especificadas para o T-UMTS podem ser aplicadas ao S-UMTS.

Assim, a escolha apropriada do protocolo ARQ, o aumento do *buffer* do receptor, o aumento da capacidade dos canais de transporte e a capacidade de processamento *on-board* do satélite são fatores relevantes para um bom desempenho do protocolo RLC no S-UMTS.

O SIP_{RAN} é um protocolo de extrema importância no S-UMTS para diminuir a duração do estabelecimento de sessão. Comprovou-se ainda que a integração das mensagens NAS e SIP é viável e, assim, os parâmetros comuns de ambas as sinalizações são passíveis de serem integrados à mensagem SIP. Tal integração reduz o volume total de transferência de dados entre o terminal do usuário e o CN, permitindo, ainda, um controle de sessão mais rápido, bem como a otimização dos recursos de rádio.

Constatou-se também que, se, por um lado, quanto maior for o E_b/N_0 , menor será a FER, de outro lado, quanto menor o tamanho do quadro, menor será a probabilidade de erro. Diante dos resultados apresentados no Capítulo 7, chegou-se à conclusão de que os resultados de probabilidades são iguais, mas os efeitos respectivos não o são.

A probabilidade de erro do quadro fica reduzida, na medida em que o E_b/N_0 cresce, por isso, considerando-se um E_b/N_0 entre 6 e 9 dB, a fim de maximizar a vazão no enlace satélite, o idealizador de um projeto de comunicações com sistemas celulares via satélite, que utilize uma PDU com tamanho de 1000 bits, deverá segmentá-la em 10 quadros de 100 bits, conforme os resultados apresentados na Figura 7.5. Sabendo-se disso, pode-se dizer que, a partir de um E_b/N_0 equivalente a 10 dB, o valor da vazão fica quase constante e, para um E_b/N_0 igual a 10 dB, seria indiferente transmitir 10 quadros de 100, 5 quadros de 200, 2 quadros de 500 ou 1 quadro de 1000.

Levando-se em consideração todos os valores de E_b/N_0 , utilizados na simulação com uma PDU de 1000 bits (6 a 10 dB), é possível concluir-se que o E_b/N_0 equivalente a 10 é o E_b/N_0 ótimo, pois com ele a vazão máxima é alcançada, entretanto, deve ser ressaltado que, em um enlace com uma alta taxa de erro, a transmissão de quadros menores é mais viável do que a de quadros maiores, pois, do contrário, em caso de alguma perda, perde-se todo quadro.

Além de citar várias estratégias de otimização do enlace satélite, presentes na literatura, este trabalho contribuiu, através de simulação no Matlab, para elucidar que diante de um enlace com elevadas taxas de erro, torna-se mais vantajoso segmentar as PDUs em quadros menores para atingir a vazão máxima no enlace satélite.

Os resultados das simulações apresentados poderão ser utilizados por um projetista para especificar um projeto de comunicações com sistemas móveis via satélite.

8.1 SUGESTÕES ADICIONAIS

Para continuidade deste trabalho, sugere-se analisar o desempenho das aplicações de VoIP, WEB e vídeo, a fim de verificar se os parâmetros de QoS (*delay, jitter e throughput*) estão de acordo com as especificações do 3GPP [26] para as classes de tempo real, interativa e *streaming* no S-UMTS.

Pode-se também, implementar a simulação considerando exatamente o cenário e as condições apresentadas neste trabalho em um cenário real (testes de campo), a fim de comparar os resultados simulados com os resultados obtidos nos testes de campo .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Satellite component of UMTS/IMT-2000: General aspects and principles. In: **ETSI TR 101 865**, v. 2.1, p. 2002-09.
- [2] PHILIPOPOULOS, S.; PANAGIOTARAKIS; YANELLI-CORALLI, A. The role of S-UMTS in future 3G markets In: **IST- 2000-25030 SATIN project, SUMTS, P-specific requirement deliverable**, n. 2, April 2002.
- [3] ZANGAR, N. et al. USRAN Capacity Study and Dimensioning. In: **Information and Communication Technologies**, 2006.
- [4] KUEH, V.Y.H.; TAFAZOLLI, R.; EVANS, B. Enhancing the radio link protocol for VoIP session establishment signalling over satellite-UMTS. In: **Vehicular Technology Conference**, 2004.
- [5] GIAMBENE, G. et al. Video Traffic Management in HSDPA via GEO Satellite. In: **Satellite and Space Communications**, 2006.
- [6] ALBERTAZZI, G. et al. Performance of turbo coding for satellite UMTS multimedia broadcast multicast services In: **Communication Technology Proceedings**, 2003.
- [7] SCHULTZ, D et al. A QoS concept for packet oriented SUMTS services. In: **Proceedings of the 1st Mobile Summit**, Thessaloniki, Greece, 2002.
- [8] SCHULTZ, D et al. TCP Performance Enhancement for UMTS Access Network. In: **Future Generation Communication and Networking Symposia**, 2008.
- [9] LINDEMANN, C.; LOHMANN, M.; THUMMLER, A. A unified approach for improving QoS and provider revenue in 3g mobile networks. In: **Mobile Networks and Applications**, v. 8, p.209-221. Hingham. MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [10] WU, J. et al. A GEO satellite mobile telecommunications system architecture design based on UMTS/S-UMTS. In: **Wireless Communications & Signal Processing**, 2009.
- [11] PRISCOLI, D.; PANDOLFI, A. INSURED approach to S-UMTS. In: **EU's Initiatives in Satellite Communications – Mobile** (Digest No: 1997/087), 1997.
- [12] ZANGAR, N. et al. UMTS Integration with Satellite Component Design, Protocol Architecture and Performance Analysis. In: **Electronics, Circuits and Systems**, 2005.
- [13] ESA “S-UMTS final report”. In: **Alcatel Space Industries**, M.G. Françon, 2000.
- [14] ETSI101.851-1. Satellite Component of UMTS/IMT 2000, Part 1: Physical channels and mapping of transport channels into physical channels. In: **Technical Report**, ETSI, v.1.1.1, p. 2; 15; 19; 55, 2000.

- [15] ETSI101.851-2. Satellite Component of UMTS/IMT 2000, Part 2: Multiplexing and channel coding. In: **Technical Report**, ETSI, p.15, 2000.
- [16] ETSI101.851-3. Satellite Component of UMTS/IMT 2000, Part 3: Spreading and modulation. In: **Technical Report**, ETSI, p. 2; 11; 15; 16; 44, 2000.
- [17] 3GPP TS 25.321. Medium Access Control (MAC) Protocol Specification. In: **Technical Report.**, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, 2001.
- [18] 3GPP TS 25.322. Radio Link Control (RLC) Protocol Specification. In: **Technical Report.**, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, 2001.
- [19] 3GPP TSG Radio Access Networks, RRC Protocol Specification. Release 5. In: **3G TS 25.331**, December, 2002.
- [20] DIXIT, S.; GUO, Y.; ANTONIOU, Z. Resource management and quality of service in third generation wireless networks. In: **Communications Magazine**, IEEE, 2001.
- [21] SOARES, L.F.G.; SOUZA, F.G.L.; COLCHER, S. **VoIP: Voz sobre IP**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
- [22] 3rd GPP Technical Specification Group Services and Systems Aspects: Network Architecture. Release 4. In: **3GPP TS 23.002**, v.4.8.0, p. 2003-06.
- [23]. Quality of Service (QoS) Concept and Architecture. Release 6. In: **3GPP TS 23.107**, 2006.
- [24] Services and Service Capabilities. Release 1999. In: **3GPP. TS 25.105**, 2001.
- [25] FAN, L.; SHERIFF, R.E.; GARDINER, J.G. Satellite-UMTS service provision using IP-based technology. In: **Vehicular Technology Conference Proceedings**, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st.
- [26] General Packet Radio Service (GPRS): Service description. In: **3GPP. TS 22.060**, 2001.
- [27] KUROSE, J.K.; ROSS, K.W. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Nova Abordagem top-down**. São Paulo: Addison Wesley, 2006.
- [28] HUA, X. et al. Performance analysis on the radio link control protocol of UMTS system. In: **Vehicular Technology Conference**, 2002.
- [29] TANENBAUM, A.S. **Redes de computadores**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- [30] CHEN et al. Simulation analysis of RLC for packet data services in UMTS systems. In: **IEEE Wireless Communications and Networking Conference**, 2003.

[31] Sammanee, T. Kamolpiwong, S. Chuawong, S. A design framework of virtual hardware for 3rd generation medium access control protocol. In: **Communication Systems, 2002. ICCS 2002. The 8th International Conference on**, 2003.

[32] PETERSON, Larry L.; DAVIE, B. S. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem de Sistemas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

[33] XIAO, X. et al. Simulation analysis of RLC timers in UMTS systems. In: **Simulation Conference**, 2002.

[34] KUEH, V.Y.H.; TAFAZOLLI, R.; EVANS, B. RLC Protocol Enhancement for SIP-Based Session Establishment over Satellite-UMTS. In: **Personal, Indoor and Mobile Radio Communications**, 2004.

[35] IETF, RFC 2543. In: **SIP: Session Initiation Protocol**, March, 1999.

[36] IETF, RFC 3261. In: **SIP: Session Initiation Protocol**, May, 2002.

[37] 3GPP TSG CN. Signalling flows for the IP multimedia call control based on SIP and SDP. Release 5. In: **3G TS 24.228**, December, 2002.

[38] KUEH, V.Y.H.; TAFAZOLLI, R.; EVANS, B.G. SIP-based Session Establishment over an Integrated Satellite-Terrestrial 3G Network. In: **IEE Seminar on IP over Satellite - The Next Generation: MPLS, VPN and DRM Delivered Services**, Savoy Place, London, June 2003.

[39] 3GPP TSG and SA. Architectural Requirements. Release 5. In: **3G TS 23.221**, December, 2002.

[40] BRADEN et al. Resource Reservation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification. Request for Comments 2205. In: **IETF**, September, 1997.

[41] POLLACK, C et al. A SIP based concept for NAS signaling in combination with an all-IP core network architecture. In: **IST Mobilesummit**, 2004.

[42] 3GPP. Mobile radio interface Layer 3 specification. In: **3GPP. TS 24.008**, 2002.

[43] SAILOR (**Satellite Integrated UMTS Emulator-IST-2001-37266**).

[44] 3GPP. Delay budget within the access stratum. In: **TR 25.853**, 2001.

[45] LAIHO, J.; WACKER, A.; NOVOSAD, T. **Radio Network Planning and Optimization for UMTS**. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.

[46] GILAT, A. **MATLAB com aplicações em Engenharia**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

[47] SIMON FRASER UNIVERSITY (SFU). **Frame error rate**. Disponível em: < <http://www.cs.sfu.ca/CC/371/jregan/samplequizzes/quiz3sol.pdf>. > Acesso em 20 jan. 2011.

ANEXO A – DERIVAÇÕES DO ATRASO E VAZÃO DO PROTOCOLO ARQ

A1 GO-BACK-N ARQ

Refere-se ao T_{min} da equação (5.10) e constantes C_1 e C_2 da equação (5.12), o atraso esperado é:

$$\begin{aligned}
 T_{GN-ARQ} &= T_{min} + (N_u + 1) \cdot [P_B \cdot (T_{RT} + T_t) + P_B^2 \cdot (T_{RT} + T_t) + \dots] \\
 &= T_{min} + (N_u + 1) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} (T_{RT} + T_t) \\
 &= T_{min} + TTI \cdot (N_u + 1) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot \left(2k + 2p + \frac{1}{N_{TB}}\right) \\
 &= TTI \cdot \left[C_1 + (N_u + 1) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot C_2\right]
 \end{aligned} \tag{A.1}$$

A2 SELECTIVE-REPEAT ARQ

Assumindo que o receptor possui um *buffer* infinito. A vazão é dada por:

$$\eta_{SR-ARQ\infty} = 1 - P_B \tag{A.2}$$

O tamanho da janela do receptor corresponde ao tamanho do *buffer* do receptor. Por exemplo, o tamanho da janela do receptor (W_r) é menor ou igual ao tamanho do *buffer* do receptor (L_r). Uma vez que apenas as PDUs com erros têm que ser retransmitidas, o atraso esperado é:

$$\begin{aligned}
 T_{SR-ARQ\infty} &= T_{min} + \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot (T_{RT} + T_t) \\
 &= T_{min} + TTI \cdot (N_u + 1) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot \left(2k + 2p + \frac{1}{N_{PDU}}\right) \\
 &= TTI \cdot \left[C_1 + \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot C_2\right]
 \end{aligned} \tag{A.3}$$

Na realidade o *buffer* do receptor tem capacidade finita. O mesmo deve ter a janela com tamanho mínimo $Wr = Nu + 1$ para armazenar os pacotes recebidos sem erro. O tamanho da janela do emissor corresponde no máximo ao número de pacotes transmitidos, mas ainda não reconhecido. Por exemplo, $Ws = Nu_max$, para alcançar a vazão máxima da PDU.

Assumindo que a PDU apresentou erro mais de duas vezes, a vazão e o atraso são:

$$\begin{aligned} \eta_{SR-ARQ_1} &\geq \frac{1 - P_B}{1 + (P_B^2(1 - P_B) + P_B^3(1 - P_B) + \dots)N_U} \\ &\geq \frac{1 - P_B}{1 + P_B^2 N_U} \end{aligned} \quad (A.4)$$

$$T_{SR-ARQ_1} \geq T_{min} + \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot (T_{RT} + T_t) + N_U \cdot T_2, \quad (A.5)$$

com

$$\begin{aligned} T_2 &= P_B^2 (1 - P_B)(T_{RT} + T_t) + P_B^3 (1 - P_B)(2T_{RT} + T_t) + \dots \\ &= \frac{P_B^2}{1 - P_B} \cdot (T_{RT} + T_t), \end{aligned} \quad (A.6)$$

onde o índice 1 significa o tamanho mínimo do *buffer*. Observe que o *buffer* L tem o mesmo tamanho da janela (Ws) do receptor. Tendo como base as equações A.5 e A.6, o atraso esperado em uma operação ARQ com o *buffer* do receptor limitado é:

$$\begin{aligned} T_{SR-ARQ_1} &\geq T_{min} + TTI \cdot (1 + N_u \cdot P_B) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot (2k + 2p + \frac{1}{N_{PDU}}) \\ &\geq TTI \cdot \left[C_1 + (1 + N_u \cdot P_B) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot C_2 \right]. \end{aligned} \quad (A.7)$$

se o *buffer* do receptor for $b = Nu + 1$ (*buffer* maior), ou seja, $b.T_{ri}$ o atraso esperado é:

$$\begin{aligned}
 ARQ_b &= T_{min} + TTI \cdot \left(1 + \frac{N_u \cdot P_B^b}{b}\right) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot \left(2k + 2p + \frac{1}{N_{TB}}\right) \\
 &= TTI \cdot \left[C_1 + \left(1 + \frac{P_B^b}{b}\right) \cdot \frac{P_B}{1 - P_B} \cdot C_2 \right].
 \end{aligned} \tag{A.8}$$