

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO**

**MARCELO HELY DA SILVA OLIVEIRA**

**ALTERNATIVAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE  
REDES TCP/IP SOBRE INTERFACES AÉREAS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

**ELIZABETH SUELI SPECIALSKI**

Florianópolis, Fevereiro de 2002.

# **ALTERNATIVAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE REDES TCP/IP SOBRE INTERFACES AÉREAS**

**MARCELO HELY DA SILVA OLIVEIRA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, Área de Concentração : Sistemas de Computação e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

---

Fernando Ostuni Gauthier, Dr.

Banca Examinadora

---

Elizabeth Sueli Specialski, Dra.

---

Carlos Renato Francês, Dr.

---

Luiz Fernando Jacintho Maia, Dr.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo oferecer um suporte teórico para a tomada de decisão de implementações de redes TCP/IP sobre interfaces aéreas, mais especificamente o CDMA que é utilizada pela tecnologia WLL.

O texto mostra o tráfego de pacotes IPv4 sobre WLL, mostrando o mapeamento da pilha sobre a tecnologia de rádio, e as razões de suas limitações, além de mostrar as implicações e provocar discussões sobre implementação da tecnologia TCP/IP em sistemas de comunicações móveis, abordando principalmente a independência do TCP/IP em relação a infra-estrutura de rede e o que está mudando com as novas tecnologias de rádio transmissão e a evolução do protocolo IPv6.

## **ABSTRACT**

The main subject of this paper is to offer a theoretical support for taking a decision about the implementation of the TCP/IP networks on aerial interfaces, specifically the CDMA which is used by the WLL technology.

The text shows the traffic of the IPv4 packets under WLL, showing the stack mapping over the radio technology, and the reasons of its restrictions, and also the imply and to stimulate discussions about the implementation of TCP/IP technology in mobile communication systems, focus mainly on the independence of TCP/IP related to the structure of the network, and what is changing with the new technologies of radio transmission, and the IPv6 protocol evolution.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Arquitetura Básica WLL	pag.	10
Figura 2.2 – Caracterização da Rede WLL	pag.	11
Figura 2.3 – Estação Terminal de Assinante	pag.	12
Figura 2.4 – Estação Rádio Base	pag.	14
Figura 2.5 – Antena Externa	pag.	15
Figura 2.6 – Sistema Celular	pag.	18
Figura 2.7 – Células	pag.	19
Figura 2.8 – Reuso da Frequência	pag.	20
Figura 3.1 – Encapsulamento e desencapsulamento da Informação	pag.	24
Figura 3.2 – FDMA	pag.	26
Figura 3.3 – TDMA	pag.	27
Figura 3.4 – CDMA	pag.	30
Figura 3.5 – Terminais por tecnologia no Brasil	pag.	32
Figura 3.6 – Tamanhos dos quadros para Rate Set 1	pag.	35
Figura 3.7 – Tamanhos dos quadros para Rate Set 2	pag.	36
Figura 3.8 – Opção 1 para Multiplexação	pag.	36
Figura 3.9 – Opção 2 para Multiplexação	pag.	37
Figura 3.10 – Pilha de protocolos IS-95A que é utilizada pelo WLL	pag.	37
Figura 3.11 – Arquitetura da pilha de protocolos	pag.	38
Figura 3.12 – Fluxo de dados originados de uma estação móvel	pag.	43
Figura 3.13 – Fluxo de dados utilizando a pilha simples	pag.	45
Figura 3.14 – Fluxo de dados utilizando a pilha dupla	pag.	47
Figura 4.1 – A divisão da conexão TCP em duas conexões	pag.	52
Figura 4.2 – Roteamento no IP Móvel	pag.	59
Figura 4.3 – Encapsulamento no campo de carga útil	pag.	60

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 - Apresentação .....	8
1.2 - Motivação.....	9
1.3 – Objetivos .....	12
1.4 – Estrutura do Trabalho .....	13
<b>CAPÍTULO II – CONCEITOS E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA WIRELESS LOCAL LOOP .....</b>	<b>14</b>
2.1 Conceito.....	14
2.2 Arquitetura Básica .....	15
2.3 Componentes do Sistema .....	16
2.3.1 Estação Terminal de Assinante (ETA) ou Terminal Fixo sem fio (Rádio) .....	17
2.3.2 Central de Comutação e Controle (CCC) .....	18
2.3.3 Estação Rádio Base (ERB).....	18
2.3.4 Antena Externa.....	19
2.4 Operação do Sistema WLL.....	20
2.5 Faixas de Frequência.....	20
2.6 Custos .....	21
2.7 Mobilidade Restrita.....	21
2.8. Sistemas Celulares.....	22
<b>CAPÍTULO III – COMO OS PACOTES IPV4 TRAFEGAM NO WLL .....</b>	<b>28</b>
3.1 Modelo de Referência TCP/IP.....	28
3.2 Interfaces Aéreas .....	30
3.3 CDMA – Code Division Multiple Access .....	31
3.4 Codificação da voz – PCM.....	38
3.5 Formato do quadro .....	40
3.6 Pilha de Protocolos .....	42
3.6.1. Camada de Transporte.....	43
3.6.2. Camada de Rede.....	44

3.7 Fluxo de Transmissão de Dados .....	47
---	----

**CAPÍTULO IV – ALTERNATIVAS PARA O TCP/IP SOBRE INTERFACES  
AÉREAS ..... 55**

4.1 Modificações no modelo TCP/IP .....	55
---	----

**CAPÍTULO V – CONCLUSÃO..... 71**

5.1 Considerações finais .....	71
--------------------------------	----

# CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

## 1.1 - Apresentação

Define-se rede de acesso como um conjunto de equipamentos e materiais que permitem a interligação de um grupo de usuários a uma central de comutação de um Sistema de Telecomunicações. As primeiras redes telefônicas concebidas eram ponto-a-ponto, cada telefone só podia ser ligado para um outro único telefone.

Com o crescimento populacional e a grande demanda reprimida de assinantes, buscaram-se alternativas para atender às metas de universalização (instalação de telefones em lugares remotos) e as metas de competição (melhores serviços e menores preços).

Tradicionalmente as redes de acesso têm sido construídas com cabos metálicos. As redes de acesso sem fio, também denominadas de WLL (*Wireless Local Loop*) apresentam-se como uma alternativa para o acesso.

Na tecnologia cabeada instala-se toda a infra-estrutura prevista para a capacidade planejada do sistema. Isto deixa as operadoras em apuros no momento da expansão da rede. Essa falta de flexibilidade é responsável pela escassez de linhas telefônicas na rede em um local que se desenvolveu rapidamente e a ociosidade de cabos em partes da cidade que pararam de crescer. Existem outras desvantagens apresentadas pela rede convencional, tais como : altos custos de manutenção, dificuldade de gerenciamento e baixa confiabilidade.

Este estudo teve sua origem no desenvolvimento da infra-estrutura do sistema telefônico convencional que enfrenta sempre um gargalo: o loop local. A evolução da tecnologia sem fio, originalmente destinada ao serviço móvel, mostrou-se como solução para este problema.

É importante salientar que a idéia da comunicação sem fio não é simplesmente substituir o par de cobre, mas sim ter mais possibilidades dentro das alternativas possíveis.

## **1.2 - Motivação**

As redes de acesso sem fio têm crescido de forma vertiginosa e se tornam uma alternativa viável para os serviços de telecomunicações.

Segundo SINGH 2000[1] os acessos sem fio aos serviços de telecomunicações irão ultrapassar os acessos fixos nos próximos dez anos. Além disso, é importante notar que o acesso sem fio alcançou um avanço no mercado em apenas duas décadas, enquanto os serviços convencionais levaram cerca de cem anos.[2]

A mola propulsora desse avanço foi a Internet com a sua popularização e com adequação dos serviços a essa realidade.

Atualmente, as pessoas necessitam não somente dos serviços de voz e fax, mas também e-mail, áudio, imagens e multimídia, acessíveis com qualidade, surgindo o conceito de informação sob demanda.

Os serviços oferecidos até então terão o diferencial de poderem ser acessados em movimento e de qualquer parte do mundo.

O desenvolvimento da telefonia móvel celular estimulou a compreensão da propagação de rádio-freqüências nos espaços urbanos. Desenvolveram-se equipamentos terminais fixos de assinantes (ETA) com antenas e transceptores semelhantes aos terminais móveis. Essa aplicação se utiliza de loop de assinante via enlace de rádio.

Um sistema de rádio, com recursos dinamicamente alocados ou realocados, pode ser moldado de acordo com as necessidades do momento. Com relativa facilidade, a Operadora pode expandir, ou reduzir o tamanho do sistema de acordo com a demanda do tráfego.

Um sistema WLL provê maior flexibilidade e reusabilidade ao sistema telefônico, tendo como característica essencial, uma demanda crescente de serviços.

A rede de telefonia fixa sem fio tem seu funcionamento básico através das ondas de rádio. O acesso é feito através da interligação da central telefônica, via fibra ótica, aos sistemas de Estação Rádio Base, que fazem a conexão com a residência ou prédio do assinante. Com o WLL o usuário não fica sujeito a flutuações de sinal, e obtém uma ótima qualidade na chamada, sem perceber a diferença de um telefone fixo comum. Partindo desse pressuposto, é natural que assinantes WLL possam utilizar este recurso para o acesso à rede Internet, a exemplo da telefonia fixa convencional. Para isto é necessário que se faça um mapeamento da pilha TCP/IP (*Transmission Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*) sobre esta tecnologia.

A Internet é basicamente uma rede de pacotes. As mensagens são particionadas em pacotes e cada um contém os campos de endereço de destino, endereço de origem e a posição do pacote que acompanha a mensagem original. Dessa forma, o destinatário pode remontar a mensagem original ao receber todos os pacotes, mesmo que cheguem fora de ordem. Como os computadores não estão ligados fisicamente, os roteadores espalhados pelo caminho analisam os pacotes e procuram a rota para que eles cheguem ao destino.

Na camada de aplicação do TCP/IP, existe o programa aplicativo que precisa se comunicar com um programa aplicativo do servidor *web* para solicitar uma página que está armazenada no mesmo. A interação entre as duas máquinas deve seguir uma regra, então é acionado um protocolo que atua neste nível que é chamado HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*). Deve-se observar um detalhe muito importante: programas aplicativos só se comunicam com programas aplicativos, ou seja, o navegador (*browser*) tem a tarefa de solicitar páginas e figuras, ele não sabe como fazer a conexão. Portanto, o protocolo de aplicação que está no nível mais alto da pilha, invoca aos protocolos das camadas mais baixas que façam contato com a outra máquina e repassem a sua solicitação.

A camada de aplicação comunica-se com a camada de transporte através de uma porta. Por exemplo, o protocolo HTTP utiliza sempre a porta 80, o protocolo SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) que também atua no nível de aplicação utiliza sempre a

porta 25 e o FTP (*File Transfer Protocol*) as portas 20 para a transmissão dos dados e 21 para transmissão de informações de controle.[3]

Na camada de transporte, atua o TCP, que para atender a solicitação da camada superior acrescenta cabeçalhos às mensagens que ele recebe. Pode-se dizer que cabeçalhos são estruturas que transportam informações do protocolo para permitir a comunicação entre entidades pares (de mesmo nível).

O TCP recebe a solicitação do HTTP, divide-a em segmentos e acrescenta os cabeçalhos em cada um dos segmentos.

O próximo nível a receber os segmentos é a camada Internet, onde está localizado o IP. O IP, por sua vez, acrescenta cabeçalhos aos segmentos TCP, que neste nível já são chamados de datagramas. Um datagrama IP é uma fração da solicitação HTTP, encapsulada pelo TCP, acrescida de novos cabeçalhos. Estes já contêm informações sobre a rota.

O último nível, também chamado de camada de Interface de Rede, recebe os datagramas e coloca-os dentro do bloco de transmissão, ou *Frames*. Mais um cabeçalho é acrescentado ao datagrama que segue pelo meio de transmissão até o destino, onde ocorre o processo inverso, também chamado de desencapsular.

É importante observar a quantidade de cabeçalhos que são acrescentados ao datagrama, que não geram tanto problemas para as redes com fio, mas em redes sem fio, *header*, sobre *header*, sobre *header* (*overhead*), começa a ter alguma relevância, pois se torna um tanto “pesada”.

### **1.3 – Objetivos**

O principal objetivo da pesquisa é oferecer um suporte teórico para uma tomada de decisão (escolher entre vários caminhos alternativos que levam a determinado resultado) sobre a implementação de redes “TCP/IP over Air”. Ao longo do trabalho são abordadas outras questões que provocam bastante discussão, tais como : se o microcomputador for substituído por um celular, ETA ou *handset* com modem, por exemplo, como aconteceria o tráfego de pacotes ? Quem converte os pacotes que trafegam no meio guiado para o não guiado ? O TCP/IP pode ser usado em grande escala em redes celulares atuais ? O TCP/IP é totalmente independente da infra-estrutura de rede ? Com a implementação da tecnologia 1xRTT (*Radio Transmission Technology*) e a evolução do protocolo IPv6, quais são as mudanças ?

Este estudo também tem como objetivo abordar a tecnologia WLL como solução para o problema do sistema telefônico convencional que apresenta sempre um gargalo: o loop local ou a última milha. Apesar de hoje em dia os troncos de longa distância serem em sua maioria digitais, os loops locais ainda são analógicos e provavelmente permanecerão assim, pelo menos por mais uma ou duas décadas, devido ao alto custo para convertê-los.[4]

O motivo é simples: qualquer operadora retira sua renda da conta média e, na maioria dos assinantes, esses valores são pequenos não dando condições de pagar os investimentos. Segundo Tanenbaum, [4], “o comprimento de todos os loops locais existentes no mundo inteiro esticados de uma extremidade a outra, equivale mil vezes a distância da Terra à Lua e de volta à Terra”.

## **1.4 – Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. O capítulo I mostra em que área está situada a pesquisa, as motivações e o objetivo principal da pesquisa . O capítulo II descreve os conceitos e princípios de funcionamento da tecnologia Wireless Local Loop, identificando suas características, os componentes do sistema, e os sistemas celulares que estão disponíveis no mercado. O capítulo III descreve como os pacotes IPv4 trafegam sobre o WLL, no capítulo IV é apresentado um estudo de redes TCP/IP trafegando sobre as interfaces aéreas e no capítulo V , são apresentadas as conclusões e os encaminhamentos encontrados no desenvolvimento deste trabalho. Encerrando-se este trabalho com o capítulo VI que contém as referências bibliográficas.

## CAPÍTULO II – CONCEITOS E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DA TECNOLOGIA WIRELESS LOCAL LOOP

*“ O acesso através de cabos metálicos é como um gato, muito, muito longo.  
Você puxa o seu rabo em Nova York e a cabeça começa a miar em Los Angeles.  
O acesso sem fio, através de ondas de rádio é semelhante.  
Só que não tem o gato no meio.”*

Pensamento atribuído a Albert Einstein explicando a seus alunos a diferença entre o telégrafo e as comunicações por ondas de rádio. [5]

### 2.1 Conceito

Neste capítulo, apresenta-se mais especificamente os conceitos, a arquitetura básica, o funcionamento da tecnologia WLL e dos sistemas celulares.

De acordo com o site novomilenio ([www.novomilenio.com.br](http://www.novomilenio.com.br)) tem-se um conceito mais amplo sobre WLL, que diz : [6]

“ Tecnologia de acesso telefônico fixo sem fio, através de estações radio base (ERBs), que enviam e recebem os sinais para uma estação terminal do assinante (ETA), de forma semelhante à do telefone celular, com a diferença de que o aparelho é fixo no endereço do usuário. A distância entre as ERBs e o terminal do assinante WLL não deve superar 10 Km. As novas operadoras de telefonia estão adotando essa tecnologia em lugar de criarem novas redes de cabos telefônicos. No Brasil, foi definida a frequência de 1,9 GHz para a WLL (o celular opera em 800 MHz). Para a fonia normal, o usuário não notará diferença entre o WLL e o sistema de cabo telefônico de cobre comum. Para a Internet, o desempenho do WLL inicialmente equivale no máximo ao de uma linha comum em 14,4 Kbps.

Já no site da Vésper ([www.vesper.com.br](http://www.vesper.com.br)), empresa espelho que explora o WLL no Brasil, tem-se o seguinte conceito :[7]

“ O WLL é uma tecnologia de telefone fixo sem fio, que utiliza ondas de rádio em vez de cabos. Para acessá-lo, interliga-se à central telefônica via fibra ótica aos Sistemas de estação rádio base, que fazem a conexão com sua casa. Esse é um sistema de radiofrequência totalmente digital.”

## 2.2 Arquitetura Básica

O sistema WLL é baseado na comunicação ponto – multiponto . No centro tem-se as estações rádio-base espalhadas pela cidade, semelhantes às utilizadas pela telefonia celular, que se comunicam com as várias estações terminais por radiofrequência. As estações – base estão interconectadas a uma central localizada em um edifício, que faz a interface entre o WLL e os outros sistemas de comunicação.

Na residência do assinante, o terminal fixo (ETA) se comunica com as ERBs do sistema. Pode-se interligar vários ETAs a uma só ERB e várias ERBs podem ser interligadas a uma central de comutação e controle via fibra óptica ou mesmo por microondas. Através da central o sistema acessa a rede fixa.



Fig. 2.1 Arquitetura Básica WLL [8]

## 2.3 Componentes do Sistema

Segundo REZENDE [9], “o sistema WLL apresenta uma configuração bastante flexível. Esta flexibilidade está associada às diferentes formas de implementação, que podem residir na topologia básica, na frequência de rádio, na modulação, no protocolo de comunicação e no padrão tecnológico.”

Ainda em [9], observa-se que, para ter este entendimento, é preciso identificar quais são os equipamentos que compõem o sistema WLL. É importante ressaltar que diferentes fabricantes apresentam diferentes denominações para equipamentos que possuem a mesma funcionalidade.

Esses componentes são descritos a seguir e ilustrados na figura 2.2 :

- ETA;
- CCC;
- ERBs;
- e em alguns casos a Antena Externa.

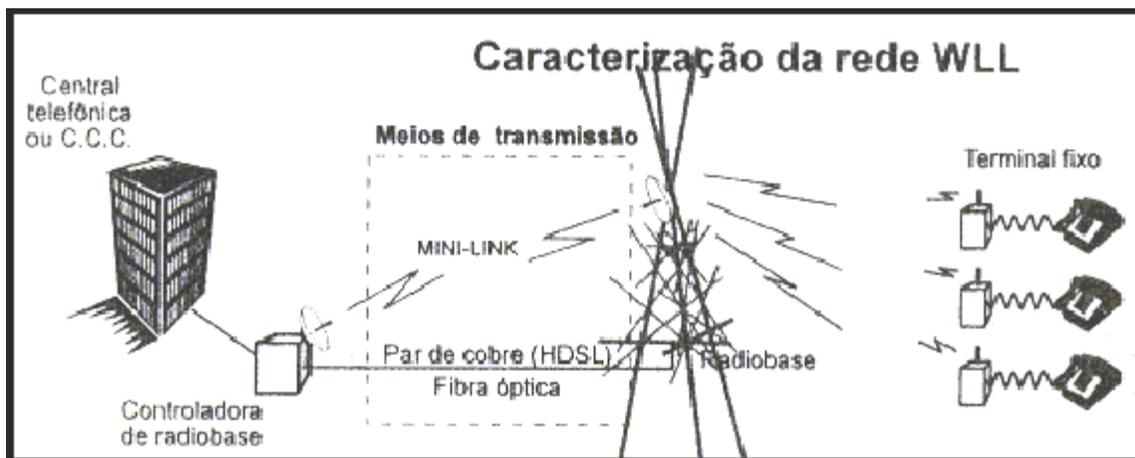


Fig. 2.2 Caracterização da Rede WLL. [8]

### ***2.3.1 Estação Terminal de Assinante (ETA) ou Terminal Fixo sem fio (Rádio)***

A Estação Terminal de Assinante é o nome que se dá ao receptor dos sinais de rádio, que se acopla a um aparelho telefônico comum, ao fax, ao computador, à secretária eletrônica e até às cabines telefônicas. Esse equipamento capta frequências de até 1,975 GHz pela pequena antena embutida. O terminal fixo fornece ao usuário um canal telefônico através do qual é possível receber e fazer chamadas para qualquer assinante integrado aos sistemas nacional e internacional de telecomunicações.

Com dimensões compactas e peso reduzido, o equipamento é montado em uma caixa metálica compacta à prova de respingo e pode ser instalado em qualquer parede interna ou externa. Outras denominações para a estação terminal de assinante é SU – *Subscriber Unit*, ou NIU – *Network Interface Unit*.

O rádio pode ser instalado com antena interna tipo monopolo ou antena externa yagi, quando as condições de propagação não forem favoráveis. A figura 2.3 ilustra uma Estação Terminal de Assinante.



Fig.2.3 Estação Terminal de Assinante. [8]

### ***2.3.2 Central de Comutação e Controle (CCC)***

É responsável por todas as funções de comutação relacionadas ao processamento de chamadas. A central de comutação faz a ponte entre a rede pública de telecomunicações (RTPC) e as ERBs. A comunicação entre elas pode ser realizada por feixes de 2 Mbits utilizando cabos de par trançado (suportado por modem HDSL - *High bit-rate Digital Subscriber Line*), fibra ótica ou link de microondas.

### ***2.3.3 Estação Rádio Base (ERB)***

Estabelece a comunicação com o equipamento instalado na casa do assinante através de uma interface aérea utilizando um canal de rádio, geralmente com protocolo aberto. Apesar de robusta – cheia de *chips*, circuitos e componentes de radiofrequência (RF) -, a estação rádio base é pequena, do tamanho de uma geladeira. A ela é acoplada uma antena, que envia e recebe sinais das casas dos assinantes. As estações rádio base são semelhantes às utilizadas pela telefonia celular. A figura 2.4 ilustra uma Estação Rádio Base.

O sistema de irradiação é como uma porta para o sistema de comunicação, cujo projeto pode exercer um importante papel na capacidade global do sistema em transmissão e recepção, pois a potência de saída do transmissor é regulamentada pela FCC (*Federal Communications Commission*) e a sensibilidade é limitada pelo ruído local produzido pelo homem.

Quando a potência é limitada apenas pelo ruído, as antenas podem ser usadas para ajustar a área de cobertura e atender as necessidades de um dado sistema.

Na escolha da estação – base mais eficiente, é importante calcular primeiro a área a ser coberta e então calcular as perdas de propagação entre a estação - base e a extremidade da área de cobertura. Essas áreas devem estar mostradas em um mapa com os possíveis casos de interferências também assinalados.

A antena mais usada em estação rádio base é a omni-direcional, onde a atenuação em todas as direções é a mesma e são capazes de transmitir sinais em todas as direções simultaneamente.



Fig. 2.4 Estação Rádio Base [8]

#### ***2.3.4 Antena Externa***

Para comunicação em alta frequência (de 3,4 a 3,7 GHz), é necessário adicionar uma antena externa, interligada ao receptor e ao aparelho telefônico. A instalação é mais complexa – supõe a passagem de fios - mas esse sistema permite maior velocidade no tráfego de dados. Pouco usada em todo o mundo e com espaço de sobra para serviços digitais, como transmissão de fax ou acesso à Internet. A figura 2.5 ilustra uma Antena Externa.

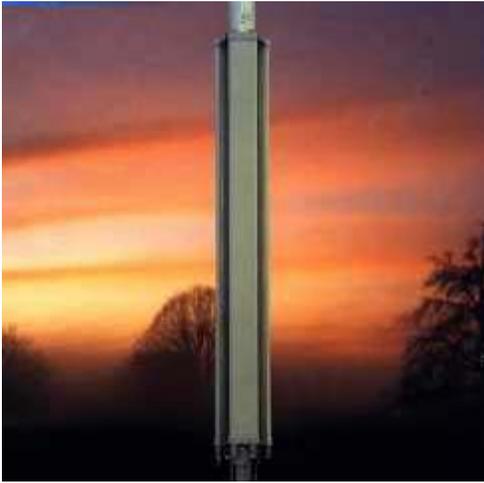


Fig. 2.5 Antena Externa [8]

## **2.4 Operação do Sistema WLL**

O funcionamento do aparelho telefônico conectado ao rádio é semelhante a um telefone conectado a uma linha telefônica convencional. Retirado o fone do gancho, o transceptor gera o tom de linha e depois de discado o número desejado pelo assinante, o rádio inicia a troca de informações com a ERB e a ligação é completada.

## **2.5 Faixas de Frequência**

A Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações - liberou faixas de frequência e determinou normas para seu uso em diversas técnicas de acesso. Foi estabelecido que, em cidades com mais de 50 mil habitantes, somente as empresas espelho poderão explorar o WLL com exclusividade até o ano 2000 – em cidades menores, o uso já está liberado para as *incumbents*. Além disso, estas só poderão instalar o WLL, nos locais com mais de 50 mil habitantes, onde as espelhos não estiverem atuando.

A partir de 2005, termina o duopólio entre espelhos e concessionárias e inicia-se a livre competição.

A maioria dos fornecedores de produtos e soluções para WLL atuam na faixa dos serviços de comunicações pessoais (PCS) que vai de 1,85 Ghz a 1,99 Ghz o que gera muitas controvérsias e discussões entre os fabricantes e os órgãos de padronização.

## **2.6 Custos**

Em áreas densamente povoadas (mais de 1000 assinantes por quilômetro), o custo de se adicionar um assinante ao sistema, utilizando WLL, é de 10% menor em relação ao cabo. Já em áreas rurais, o custo do Loop Local chega a ser três vezes menor.

Inicialmente, segundo a Vésper ([www.vesper.com.br](http://www.vesper.com.br)), as estações terminais de acesso, tinham um custo médio variando entre R\$ 800 e R\$ 1000, o qual foi absorvido pelas operadoras como custo de implantação da rede, barateando o acesso ao terminal, que hoje está em torno de R\$ 100,00. Como o WLL não foi implantado em larga escala nos países desenvolvidos, o barateamento dos equipamentos fica comprometido. Espera-se que a fabricação dos terminais no Brasil venha a reduzir os custos do sistema.

## **2.7 Mobilidade Restrita**

Antes da privatização do sistema Telebrás, a idéia seria não trabalhar com mobilidade restrita. É que sistemas WLL permitem que o assinante se mova dentro de sua área de cobertura. Alguns sistemas têm até terminais portáteis. O WLL seria fixo e de responsabilidade da operadora da rede fixa. Nos últimos meses, uma consulta pública feita pela Anatel, para estimular o acesso sem fio na competição da telefonia local fixa prevê a concessão de mobilidade restrita ao acesso sem fio. Essa proposta favorece as empresas de telefonia fixa. Um mesmo aparelho poderia ser usado tanto na telefonia fixa quanto móvel pagando tarifas diferenciadas para cada um dos serviços. A restrição fica por conta do raio de alcance do terminal, que deveria se limitar a uma única estação rádio base. No que diz respeito à área de cobertura, os sistemas sem fio caracterizam-se pela pequena cobertura ( $\pm 3$  km), e os sistemas móveis celulares são de média cobertura ( $\pm 30$  km).[10]

## **2.8. Sistemas Celulares**

Os sistemas celulares predominam atualmente na área de comunicação móvel. Surgiram no final da década de 70 como um serviço de luxo. Os equipamentos tinham aplicabilidade específica, como automóveis, devido à baixa durabilidade das baterias. Os primeiros sistemas tinham, capacidade limitada e o número de usuários alocados a cada estação é bastante reduzido.

Os sistemas foram evoluindo rapidamente sempre buscando o atendimento de um maior número de usuários e a elevação de sua capacidade de transmissão, tornando-se a primeira alternativa para comunicação de dados sem fio e, portanto uma opção para a computação móvel.

A evolução tecnológica, acompanhada de uma demanda explosiva, marca o surgimento da terceira geração de sistemas, com grandes investimentos em pesquisa, projeto e instalação. Essa geração terá de lidar com a comunicação de voz e dados simultaneamente, e buscando sempre uma maior capacidade. O conceito de capacidade de um sistema passa a ser visto sob uma nova ótica, considerando a comunicação de dados, e um novo paradigma : tráfego por rajadas, ocupação de múltiplos canais por enlace, etc.

O funcionamento dos sistemas celulares baseia-se na rápida diminuição da potência do sinal de rádio, à medida que se propaga.

A estrutura do sistema celular se dá a partir da companhia telefônica que opera uma rede de transmissores e receptores chamada de sites. Os sites estão normalmente localizados num raio de poucos quilômetros, usualmente em torres de 30, 40, 50 ou até 90 metros de altura.

Cada site pode suportar dúzias de usuários de cada vez, e os sites são cuidadosamente colocados, assim cada site sobrepõe a área de cobertura do site vizinho. A

área de cobertura fornecida por cada site é chamada de *cell* (célula). A figura 2.6 ilustra o Sistema Celular.

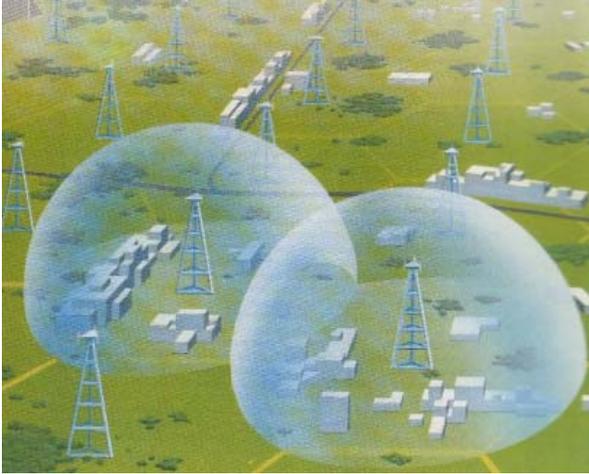


Fig. 2.6 Sistema Celular. [11]

As células são divididas como áreas de serviço individuais, onde cada uma delas possui um grupo de canais designados de acordo com o espectro disponível. Cada célula tem a sua estação base, permitindo assim o uso de transmissores de baixa potência.

A primeira impressão, quando se fala em célula, é que sua estrutura é circular, porque em condições ideais de propagação e utilizando uma antena que propaga em várias direções, a zona de cobertura é uniforme. Porém, quando existem muitas células, o modelo de irradiação circular tem alguns problemas, como por exemplo, as áreas de sombra, as lacunas e sobreposições. Então, essas células são representadas por hexágonos, porque suas formas possibilitam ser colocadas lado a lado.

Então, para se montar um sistema de telefonia fixa sem fio, subdivide-se uma área geográfica em células hexagonais, cada uma dispendo de uma estação de rádio e antenas direcionais para supervisão e controle das rádio-freqüências e interligação com o sistema telefônico convencional. Todas as transmissões envolvem um canal de transmissão e outro de recepção.

O tamanho da célula hexagonal é definido através da potência dos transmissores do telefone e pela atenuação do sinal, sendo que este pode ser escutado na sua célula e nas duas células vizinhas.

Cada célula tem um grupo específico de rádio-freqüência. Sabendo que tem um número limitado de rádio-freqüência disponível para comunicação, elas são utilizadas mais de uma vez, sendo que as células vizinhas têm grupos diferentes de rádio-freqüência para que não exista interferência entre elas.

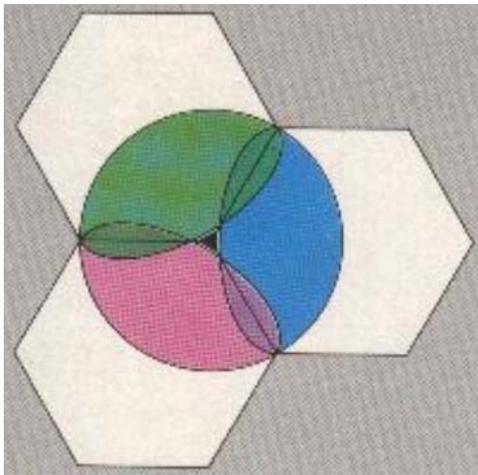


Fig.2.7 Células. [11]

Embora idealmente deva ser centralizada, a antena da estação da célula pode precisar ser instalada em outro lugar para reduzir a interferência quando as células são pequenas e estão muito juntas. Neste exemplo, uma antena num dos cantos cobre partes de três células. Ela é direcional – designada de modo a enviar um diferente grupo de canais (cores) a cada uma das três células. A figura 2.7 ilustra as Células.

Para a garantia de qualidade de sinal e nível de ruído aceitável, são instaladas de três a quatro antenas direcionais em cada célula, dividindo-as em setores. A passagem de um setor para outro, dentro da mesma célula, fica a cargo dos equipamentos de controle internos à célula. E quando a movimentação é de uma célula para outra o procedimento é diferente. Ao verificar a apresentação de um nível mínimo de recepção do sinal da célula de

origem, o terminal de controle comuta o telefone para uma rádio-freqüência disponível em uma célula vizinha. A rádio-freqüência utilizada na célula de origem é deslocada e torna-se disponível para outra alocação. Muitos sistemas celulares esperam em torno de 100 milisegundos após a liberação da rádio-freqüência de origem, antes de alocar nova rádio-freqüência na célula vizinha. Este atraso não interfere na comunicação de voz, mas traz problemas na transmissão de dados.

A idéia básica do conceito celular é o reuso da freqüência, em que o mesmo subconjunto de canais pode ser utilizado em diferentes áreas geográficas suficientemente distantes umas das outras, de forma que a interferência co-canal (canal de mesmo número) esteja dentro de limites toleráveis. A figura 2.8 ilustra o Reuso da Freqüência.

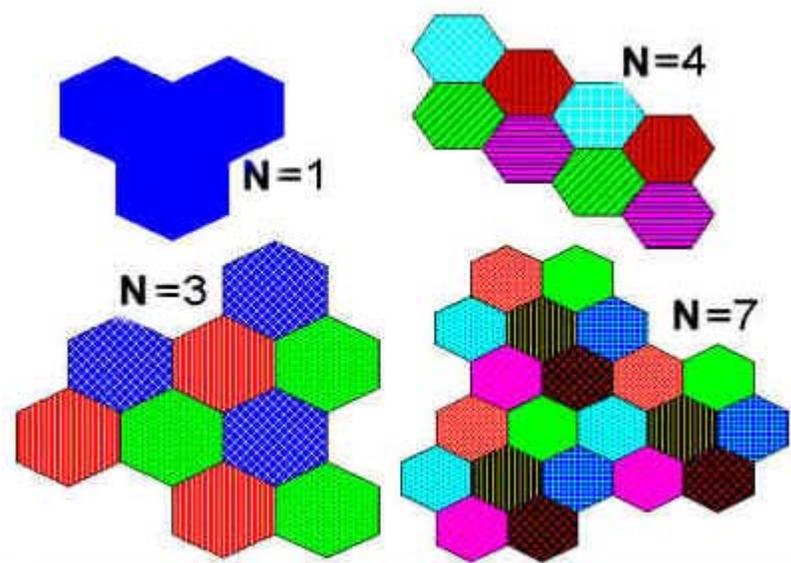


Fig.2.8 - Reuso da Freqüência [8]

Em uma área em que o número de usuários cresceu a ponto de o sistema se tornar sobrecarregado, a força é reduzida e as células são divididas em células menores para permitir uma maior reutilização da freqüência. Além disso, células menores significam menor necessidade de energia, o que possibilita a existência de dispositivos menores e mais baratos.

O conjunto de todos os canais disponíveis no sistema é alocado a um grupo de células, que constitui o cluster. Os clusters podem acomodar apenas alguns padrões de células como 1,3,4,7,9,12,13,..., sendo os mais comuns 4 e 7. O padrão 1 é designado ao CDMA, o 3 ao FDMA e o 7 ao TDMA.

Os níveis de interferência são calculados conhecendo-se o layout do sistema, as distâncias entre as células e potências das estações base.

À medida que a estação móvel se distancia da estação base, o seu sinal fica cada vez menor até chegar a uma distância que deve ser trocado o canal de sua célula para a célula vizinha. Esse processo é chamado *handoff* (ou *handover*), e é automático, e é bem sucedido se a célula vizinha tem canais livres disponíveis; se isso não ocorrer, a conexão será perdida.

É importante também citar a evolução dos sistemas celulares e as suas gerações que se seguem :

- 1ª Geração (Sistemas Analógicos), tem-se os seguintes padrões: [12]
  - O primeiro padrão desenvolvido pela *Bell Labs*: AMPS (*Advanced Mobile Phone System*);
  - No Japão: MCS (*Mobile Communication System*);
  - Nos países nórdicos: NMT (*Nordiska mobil Telefongruppen*), com frequência de 450 a 900 Mhz;
  - No Reino Unido: TACS (*Total Access Communication System*), com frequência de 900 Mhz;
  - Na Alemanha: C 450.
  
- 2ª Geração (Sistemas Digitais), tem-se os seguintes padrões:
  - Na Europa: GSM (*Global Mobile System*);
  - No EUA, no Japão e na Europa: TDMA (*Time Division Multiple Access*);
  - No EUA: CDMA (*Code Division Multiple Access*).

➤ 3ª Geração (3G)

Entende-se por terceira geração os sistemas que visam uma integração, em nível mundial, das comunicações pessoais. Nesse patamar, sob responsabilidade de um grupo de estudo da UTI-R, encontra-se em desenvolvimento o conceito de FPLMTS (*Future Public Mobile Telecommunications Systems* - Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicações Móveis). Os FPLMTS visam unificar os diversos sistemas. Posteriormente a sigla FPLMTS foi modificada para IMT-2000 pela facilidade de pronúncia (*International Mobile Telecommunications*) nome que é mantido até hoje. O IMT-2000 é a concepção elaborada pela ITU (*International Telecommunication Union*) de um conjunto de soluções tecnológicas que permitirão a implementação das comunicações sem fio de Terceira Geração (3G). A Terceira Geração é utilizada também, para referenciar o grupo de estudo que trata de sua implementação quanto para designar o padrão a ser seguido no estabelecimento concreto da tecnologia 3G. [13]

Viu-se no texto deste capítulo uma apresentação da tecnologia WLL, e os seus principais componentes, além de serem mostrados os sistemas celulares e as suas características que influenciam no tráfego de dados. No próximo item, será abordado as interfaces aéreas que possibilitam o tráfego de pacotes IP sobre a rede WLL e que utiliza a tecnologia CDMA IS-95A.

# CAPÍTULO III – COMO OS PACOTES IPv4 TRAFEGAM NO WLL

## 3.1 Modelo de Referência TCP/IP

Inicialmente desenvolvido em 1976, por Vinton Cerf, vice-presidente da MCI *WorldCom*, e criador do padrão TCP/IP, o IPv4 deu início a algumas das evoluções tecnológicas mais importantes da história, sobretudo na Internet. Este foi o protocolo que evoluiu com a Internet no últimos 25 anos.

Quando se transfere informação entre dois computadores na rede mundial (de *host* a *host*) – por exemplo, uma mensagem de correio eletrônico ou um arquivo com outros tipos de dados -, ela não trafega de uma só vez, mas sim fracionada em pequenos pacotes, com isso, as linhas de comunicação não ficam bloqueadas quando um equipamento efetua uma transmissão de grande volume. Os pacotes de um e outro *host* da rede são transmitidos por uma mesma linha, intercalados uns aos outros. Por um cabo de conexão da rede viajam simultaneamente pacotes de dados de diferentes computadores e com destinos totalmente distintos. Para que não aconteçam erros e todos os pacotes cheguem a seus destinos e, uma vez neles, possam ordenar-se corretamente, existe o protocolo de transmissão TCP/IP.

Vejamus um exemplo bem didático, sobre o encapsulamento da informação, inclusão de cabeçalhos e desencapsulamento na recepção, conforme a Figura 3.1. No exemplo, a informação (carta), deve ser entregue corretamente ao receptor. No nível mais alto (aplicação), é inserido o cabeçalho endereço “END”, que controla o endereço e assegura a entrega no endereço correto. O próximo nível (transporte) inclui mais um cabeçalho que seria a cidade “CID”, que assegura a entrega na cidade correta. No nível 2 (rede), temos a inclusão do cabeçalho Estado “EST”, que assegura a entrega no Estado correto, e no nível mais baixo que seria o nível físico, a informação (carta) com todos os seus cabeçalhos (END, CID e EST) são transferidos ao meio de transmissão (Correios). Vale observar, que todos os cabeçalhos incluídos na transmissão serão retirados na recepção.

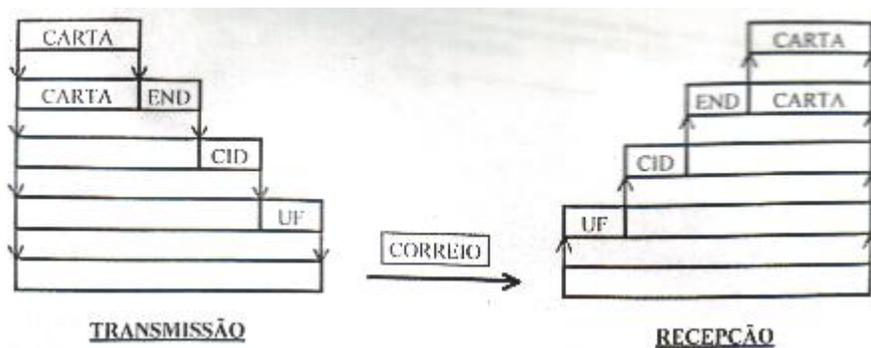


Figura 3.1 – Encapsulamento e desencapsulamento da informação.

Uma das grandes vantagens do TCP/IP em relação a outros protocolos existentes é que ele foi criado pensando em redes grandes e de longa distância, onde pode haver vários caminhos para o dado atingir o computador receptor.

Outro fator que tornou o TCP/IP popular é que ele possui arquitetura aberta e completamente independente de equipamentos e sistemas operacionais. O sucesso e a popularidade do TCP/IP se deve ao fato de ele ter sido o primeiro protocolo a atingir a importante meta de comunicação de dados com abrangência mundial, transformando-o em protocolo universal.

Pode-se citar mais algumas características importantes, tais como : não existe definição de protocolos para o nível físico, possibilitando sua implementação sobre uma grande variedade de protocolos já existentes, tais como: *Ethernet*, *Token Ring*, *Wireless* e *X.25*; o esquema de endereçamento do TCP/IP permite designar univocamente qualquer máquina, mesmo em redes globais como a Internet; o TCP/IP inclui protocolos do nível de aplicação que atendem muito bem à demanda de serviços imposta pelos usuários.

O TCP/IP é, na realidade, um conjunto de protocolos. Os mais conhecidos dão o nome desse conjunto : TCP (*Transmission Control Protocol*) descrito na RFC 793 (*Requests For Comments*) e IP (*Internet Protocol*), descrito na RFC 791, que operam nas camadas de transporte e Internet, respectivamente.

TCP / IP  
└───┬───┘ └───┬───┘  
Controle de Controle de pacotes  
Transmissão de dados

### **3.2 Interfaces Aéreas**

Pode-se dizer que interface aérea é o modo como o terminal do usuário se comunica com a ERB por meio de ondas de rádio. Também pode ser chamado de sistema de sinalização que é a linguagem ou protocolo com que se comunicam os diferentes componentes da rede, ou seja, terminais, estações radiobase e centrais de comutação. Como várias estações compartilham o mesmo meio de transmissão, é necessário utilizar um método para disciplinar este compartilhamento. Os principais métodos existentes no mercado são o AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), GSM (*Global System for Mobile communications*) e o CDMA (*Code Division Multiple Access*). Outros estão em uso, tais como o DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*), mas daremos mais evidência ao CDMA, pois é a tecnologia que está sendo utilizada pelas redes de acesso que usam WLL. [12]

Em LOUREIRO [14] viu-se que a comparação entre eles pode levar em conta vários parâmetros, tais como: número máximo de canais, fator de reuso, número de usuários por canal, eficiência espectral (medida pelo número máximo de canais por célula por MHz), interferência, segurança e processamento de *handoff*. A evolução tecnológica e a capacidade de comunicação de dados são também importantes para a expansão do sistema.

No WLL, o protocolo pelo qual o terminal do usuário troca informações com a ERB, equivale à interface aérea.

### 3.3 CDMA – Code Division Multiple Access

O acesso à interface de rádio pode ser feito com três técnicas distintas: FDMA, TDMA e CDMA, ou a combinação entre elas.

No FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), a faixa de transmissão é dividida em um determinado número de canais, que são atribuídos aos usuários através de um processo de consignação por demanda, ou seja, em uma ERB o usuário pode utilizar qualquer um dos canais que esteja desocupado no instante considerado. Essa técnica somente se aplica aos sistemas analógicos.

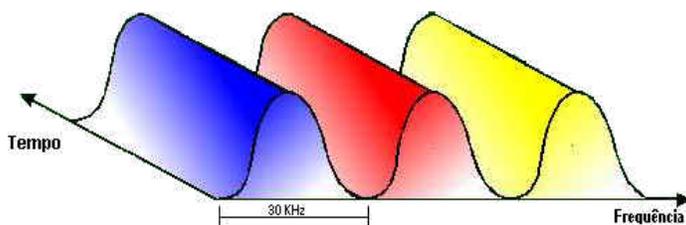


Fig. 3.2 - FDMA [8].

No TDMA (*Time Division Multiple Access*), cada usuário dispõe de toda a faixa de frequência durante um determinado período de tempo denominado *slot* (janela).

No Estados Unidos foi implantado um padrão TDMA com frequência de 30 KHz da portadora, que é chamado por D-AMPS (*Digital AMPS*). Esse padrão utiliza um TDMA com 3 usuários por portadora. O quadro tem duração de 20 ms, correspondendo cada janela a 6,67 ms. Esse sistema permite obter um ganho de 3,5 a 6 vezes maior do que a capacidade do AMPS analógico.

A tecnologia TDMA foi primeiramente especificado como um padrão no EIA/TIA (*Electronic Industries Association / Telecommunications Industry Association/Interim Standard 54*) IS-54 que não é completamente digital, em 1991. O IS-136, é uma nova versão do IS-54 totalmente digital, e é o padrão dos EUA para TDMA. O objetivo é

explorar a tecnologia SST (*Spread Spectrum Technology*), mais especificamente a técnica de *frequency hopping*, abandonando o FDM. No atual estágio o *handoff* ainda é um problema, mas em sua versão final este deverá ser menos severo. Nesta evolução vários serviços têm sido embutidos como a comutação de pacotes. No entanto, a comunicação de dados ainda é limitada e com baixas taxas de transmissão.

A conexão pode ser associada a uma estação móvel ou uma base fixa.

Uma vantagem do TDMA é a habilidade de introduzir microcélulas úteis em uma fração progressiva de tempo. Novas microcélulas são necessárias por causa do congestionamento na maioria das grandes cidades.

As tecnologias de propagação do espectro podem sofrer com a interferência entre usuários que estão com a mesma frequência de banda e transmitindo ao mesmo tempo, e a tecnologia TDMA (que não é de propagação de espectro), a qual separa usuários por tempo, não terá a experiência de interferência de outras transmissões simultâneas.

A tecnologia TDMA é a melhor, em relação ao custo por utilizar equipamentos do sistema analógico que já estão implantados.

Uma das desvantagens do TDMA é que cada usuário tem um *slot* de tempo pré-definido. Entretanto, usuários mudando de uma célula para outra, não possuem ainda um slot de tempo pré-definido, e com isso, se todos os slots da célula estiverem ocupados a ligação será desconectada.

Outro problema com o TDMA é a distorção de múltiplos caminhos, ou seja, um canal saindo de uma antena pode percorrer vários caminhos, se um caminho passa, por exemplo, por muitos prédios, antes de chegar ao seu destino, poderá sofrer interferência. Para a diminuir a interferência, é colocado um limite de tempo no sistema.

Em contraste com a tecnologia CDMA, o TDMA está em operação comercial provendo uma plataforma digital de crescimento futuro. TDMA como um método de acesso já é um padrão bem estabelecido pelo mundo, comercializado com os sistemas GSM, PDC e D-AMPS.

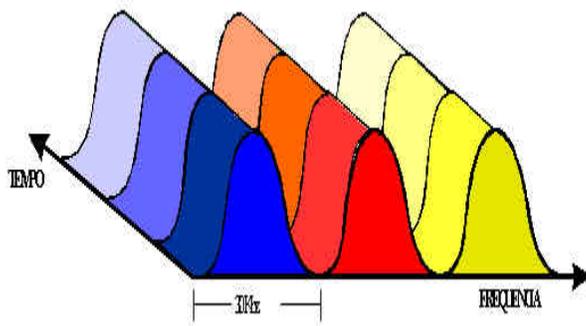


Fig. 3.3 TDMA [8].

O GSM, também conhecido como *Group Spécial Mobile*, é um sistema baseado na tecnologia TDMA, especificado pela *European Commission em 1987*, visando um sistema de uso geral nos países europeus, capaz de substituir os diversos sistemas analógicos existentes. É um sistema digital, mais indicado para a comunicação de dados, mas o *handoff* ainda com interrupções, compromete a qualidade de serviço com a perda de informação. No entanto, serviços de correio eletrônico, FTP e acesso a computador já podem ser realizados via computadores pessoais conectados a terminal GSM com a interface PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*).

Criado por militares americanos especialmente para a comunicação entre aviões de caça e para o radiocontrole de mísseis teleguiados, a tecnologia de espalhamento espectral, manteve-se restrita a aplicações militares durante muito tempo, aproveitando suas características de privacidade (difícil interceptação), para vencer os efeitos de forte interferência internacional (*jamming*) e esconder o sinal transmitido de espões. Além de ser utilizada para cálculos de posição e velocidade.

Segundo [4], o CDMA é completamente diferente de todas as outras técnicas de alocação, porque permite que cada estação transmita em todo o espectro de frequência continuamente. Várias transmissões simultâneas são separadas através do uso de resultados da teoria de codificação. Consideremos a teoria do “coquetel”, apresentada em [4]. Em uma sala grande, vários pares estão conversando. O TDM representa quando todas as pessoas estão no meio da sala, mas falam de forma alternada, primeiro uma depois a outra. O FDM representa quando o grupo de pessoas está separado em blocos, cada um mantendo uma conversa ao mesmo tempo, mas ainda de forma independente das outras. O CDMA representa quando todas as pessoas estão no meio da sala falando ao mesmo tempo, mas cada par em um idioma diferente. A dupla que fala francês só se comunica neste idioma, rejeitando tudo o mais como ruído. Portanto, a chave para o CDMA consiste em conseguir extrair o sinal desejado ao rejeitar tudo o mais como ruído aleatório.

No Acesso múltiplo por Divisão de Código, todas as ERBs e todos os terminais de assinantes transmitem e recebem informações usando a mesma faixa de frequências ao mesmo tempo. Como diferenciar um do outro ? A cada assinante é atribuído um código digital exclusivo. Para decodificar a mensagem desse assinante, misturada com a de todos os outros, só mesmo conhecendo o seu código.

Esse código digital exclusivo é também chamado de seqüências ortogonais (*Walsh Codes*). Para a geração destes códigos, utiliza-se linhas codificadas localizadas em uma matriz quadrada especial. Os códigos ortogonais são gerados iniciando com um 0, e repetindo o 0 horizontalmente e verticalmente, e então invertendo o 0 diagonalmente. Este processo é repetido com o bloco recentemente criado até que os códigos desejados com os comprimentos apropriados sejam gerados. O CDMA EIA/TIA/IS-95 utiliza 64 *Walsh Codes*, para espalhamento espectral no canal direto e modulação ortogonal no canal reverso. [15]

O canal direto (*forward*) corresponde à comunicação da ERB para ETA, enquanto que o canal reverso (*reverse*) corresponde à comunicação da ETA para a ERB.

Os códigos Walsh são usados no canal direto para separar os usuários, ou seja, em qualquer setor, cada canal de código direto é atribuído a um código Walsh distinto eliminando as interferências, já que informações distintas poderão trafegar ao mesmo tempo no sistema, via um único canal de radio-freqüência. No enlace reverso, as 64 seqüências *Walsh* são usadas como modulador ortogonal.[15]

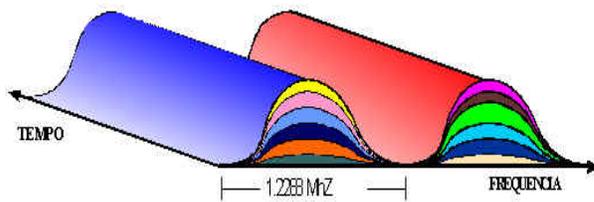


Fig. 3.4 CDMA [8]

Em sistemas móveis celulares, essa técnica de acesso da versão CDMA tem base na alta rejeição a sinais interferentes, como as interferências inerentes ao sistema (co-canal e canal adjacente), e como as interferências externas.

O CDMA tem avançado em sua aceitação internacional entre outros sistemas de telefonia porque melhora tudo que é prejudicial das outras tecnologias: causa menor interferência, está imune a ruídos, transmite com baixa potência e dispensa o planejamento de freqüências, dado que todas as antenas transmitem nas mesmas freqüências, ao mesmo tempo.

O uso do CDMA para aplicações civis de telefonia móvel celular é novo, porém isso foi proposto teoricamente no final da década de 40, mas aplicação prática no mercado civil em sistemas móveis celulares só foi acontecer em 1989, quando os militares liberaram a tecnologia CDMA para aplicações comerciais.

A tecnologia CDMA foi lançada pela empresa americana *Qualcomm Incorporated* que apresentou ao CTIA (*Cellular Telecommunications and Internet Association*) os resultados de algumas de suas primeiras provas de campo do CDMA e depois incorporada

pelas empresas GTE, *Americatech*, *Sprint*, *Airtouch*, *USWest* e *Nynex*. Alguns sistemas já estão em operação nos EUA, Coréia do Sul, Hong Kong e Brasil. Em julho de 1993, o EIA/TIA aprovou o padrão CDMA IS-95, como o padrão *wideband spread spectrum digital cellular system* de alta capacidade, modo dual que permite inclusive a operação no modo analógico AMPS e digital (CDMA). Trata-se de uma tecnologia complexa e de custo ainda mais elevado. Esses dois fatores são fundamentais para os críticos da tecnologia. [12]

A banda de 25 MHz no sistema CDMA é dividida em 10 canais duplex de 1,25 MHz. Cada canal pode transmitir simultaneamente 64 canais digitais com taxas básicas de 9,6 Kbps ou 14,4 Kbps, diferenciados por códigos ortogonais e taxa de espalhamento de 1,228 Mbps. O uso de códigos e do espalhamento garante uma alta segurança e sigilo para o sistema, independente da criptografia. Dos 64 canais 55 são para a telefonia, 7 para mensagens ou *paging* e 2 para controle. O controle da potência de transmissão é de fundamental importância para minimizar as interferências. A redução do ruído é possível explorando os intervalos de silêncio em uma conversação com a redução das taxas de transmissão, também pelo uso de antenas setorizadas. A redução de potência também permite elevar a capacidade do sistema tornando-o mais elástico, ao invés de bloquear quando atinge seu limite máximo.

O fator de reuso no sistema CDMA é igual a 1. Isto porque todo o espectro de frequência é usado por todas as células. Esta característica garante um *handoff* menos severo, com a soma dos sinais oriundos das estações bases. Isto pode ser visto como um método de diversidade. À medida que o usuário muda de célula, ele libera o código da célula antiga e mantém o da nova. Essa característica é fundamental para os serviços de comunicação de dados, no entanto, o *handoff* menos severo pode ser visto como uma perda de frequência na medida em que o mesmo usuário está conectado a mais de uma estação.

Algumas características do CDMA para aplicações móveis :

- É compatível com o sistema AMPS;
- Requer poucas células;

- Inovações tecnológicas para superar a capacidade de problemas com sistemas e equipamentos analógicos.
- A especificação IS-95 é mais complicado tecnicamente, requerendo muitos software de desenvolvimento e *debugging*.
- Aumento de capacidade de 8 a 10 vezes mais do que a tecnologia AMPS, e 4 a 5 vezes mais do que o GSM;
- Provê qualidade na chamada, com melhor qualidade de voz e mais consistente se comparado com o Sistema AMPS. Essa superioridade justifica em parte, o elevado custo de implementação desta tecnologia, e uma maior capacidade com um número menor de ERBs. O desvanecimento decorrente dos sinais que passam por múltiplos percursos também é muito bem controlado por diversidades no espaço, frequência e tempo, elevando a qualidade do serviço.
- Alta Privacidade;
- *Bandwidth* por demanda;

O CDMA é um esquema inteligente que evita problema de sincronização e alocação de canal, é completamente descentralizado e dinâmico, além de ser o grande concorrente ao padrão TDMA, presente no GSM. Um longo debate tem sido travado em torno desses padrões, com uma tendência ao CDMA, conforme pode ser visualizado na figura 3.5, que está sendo rapidamente introduzido para a comunicação móvel sem fio. O GSM, no entanto, continua sendo um sistema mais barato que o CDMA na fase de implantação pelo custo das ERBs e terminais de baixo custo, além de encontrarmos poucos engenheiros e técnicos, que compreendem o CDMA, o que geralmente mantém reduzidas as chances de sua utilização, mesmo quando ele é o melhor método para uma determinada aplicação.

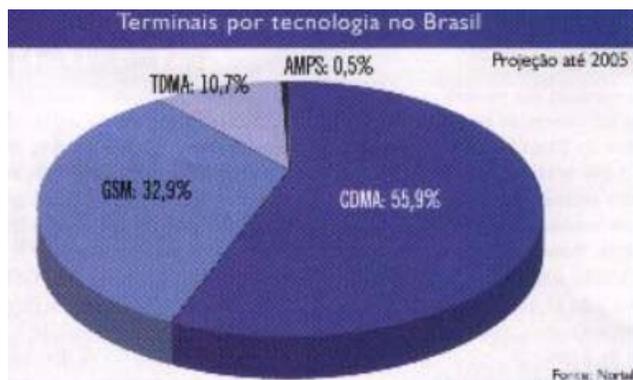


Fig. 3.5 Terminais por tecnologia no Brasil rede. [16].

### **3.4 Codificação da voz – PCM**

Quase todas as máquinas de WLL são digitais, computadorizadas. Por isso, antes da transmissão, transformam o sinal analógico de voz num sinal digital em série, isto é, um sinal em que apenas dois estados se alternam - os bits.

Existem muitas formas de representar os bits : zero ou um, uma ou outra frequência, mudança de fase ou ausência de mudança, 5 volts ou 0 volt, etc.

A técnica mais comum de digitalização de voz é conhecida como PCM (*Pulse Code Modulation*), ou modulação por associação de códigos a pulsos, empregada na produção de CDs musicais, por exemplo.

Essa técnica recolhe amostras do sinal analógico e de acordo com a sua amplitude representa em bits 0 e 1. A PCM se dá em três estágios : o 1º é a amostragem da amplitude do sinal analógico a intervalos muito curtos ou discretos; o 2º é a quantização ou atribuição de valores decimais às amostras da amplitude; 3º os valores de tensão são convertidos, ou codificados, em números binários para transmissão.

Uma conversa telefônica, convertida por PCM, resulta numa torrente de bits que se sucedem ao ritmo de 64 Kbps. Esse sinal de 64K é de boa qualidade, muitas vezes melhor que o sinal analógico transmitido por fios de cobre. É bom ressaltar, como chegamos ao sinal de 64Kbps. Segundo SOUSA [17] o codec (codificador/decodificador), faz 8000 amostragens por segundo (125  $\mu$ s / amostragem), pois o teorema de *Nyquist* diz que isso é suficiente para capturar todas as informações da largura de banda do canal telefônico de 4Khz. Para assegurar-se de que a fala permaneça inteligível convém tomar uma grande quantidade de amostras. A taxa de amostragem deve ser duas vezes maior que a da mais alta frequência significativa a ser transmitida. A fala que se perde entre amostras conhecida

como o intervalo de *Nyquist* passa despercebida quando o sinal é decodificado na extremidade receptora.

De acordo com [17], cada amostra é representada digitalmente por 8 bits. Portanto, a amostra ideal seria :  $A = 2 \times F \rightarrow 2 \times 4000 \rightarrow 8000$  amostras por segundo.

Assim, temos  $8000 \times 8 = 64000$  bps de taxa de transferência de dados, ou 64 Kbps, necessários para transmitir a voz por redes de dados digitalizados.

Quanto mais bits por segundo, maior a faixa de frequências necessária para a transmissão. Como o espectro é caro, a indústria vem tentando reduzir o ritmo dos conversores analógicos-digitais. Para isso, usam todo o poder dos processadores de sinais digitais (DSP, chips capazes de realizar milhões de cálculos por segundo) para comprimir o sinal de voz em ritmos de até 5,6 Kbps. Quanto maior a compressão, menor a qualidade da voz transmitida, resultando em voz metálica, uma distorção causada pela perda de algumas frequências que compõem o sinal telefônico de voz.

A compressão utilizada em sistemas CDMA IS-95, de 13 Kbps, é considerada pelos usuários de boa qualidade devido à engenhosidade do algoritmo de codificação. O principal problema a ser vencido é reduzir o ritmo, sem que o processamento provoque atrasos – os de mais de 0,4 segundos são proibidos pela UIT porque causam uma desagradável sensação de que a linha caiu.

Pode-se afirmar, que codificadores PCM (64 Kbps) produzem sinais de boa qualidade, com atraso desprezível. A qualidade de voz, em codificadores para ritmos mais lentos, varia muito conforme o algoritmo de compressão e a técnica de amostragem. Quanto menor o ritmo, contudo, mais o assinante percebe a diferença.

### 3.5 Formato do quadro

O formato dos quadros é definido pelo RLP (*Radio Link Protocol*), para envio de pacotes de dados sobre o CDMA IS-95A, conforme descrito na especificação TIA/EIA/IS-707A e TIA/EIA/IS-99 . [18]

O CDMA pode empregar duas diferentes taxas de codificação dos sinais de voz. O *Rate Set 1* que permite uma taxa máxima de transmissão de 9600 bps com quadros de 24, 48, 96, e 192 bits e o *Rate Set 2* que permite uma taxa máxima de transmissão de 14.400 bps com quadros de 36, 72, 144 e 288 bits, conforme as figuras abaixo 3.6 e 3.7, respectivamente. [15]

Os dados são formatados em quadros de 20 mseg, e os quadros completados com os bits de CRC para detecção de erros e com 1 byte de “0” (zeros) extras para zerar o codificador que é usado para a correção de erros. [15]

O CRC provê um alto nível de detecção de erros, no entanto, existe uma desvantagem em relação a esta capacidade de detecção de erros, são os bits de *overhead*. Esses bits de *overhead* são anexados ao fluxo de dados antes da transmissão. Portanto, um quadro do canal de tráfego transmitindo a 14.400 bps, contém 288 bits, sendo que 12 bits são para o CRC. [15]

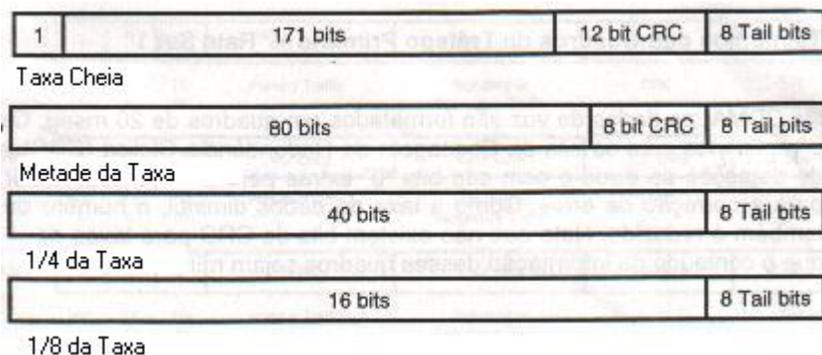


Fig.3.6 - Tamanhos dos quadros de Tráfego Primário para *Rate Set 1* [15]

1	267 bits	12 bit CRC	8 Tail bits
Taxa Cheia			
1	125 bits	10 bit CRC	8 Tail bits
Metade da Taxa			
1	55 bits	8 bit CRC	8 Tail bits
1/4 da Taxa			
1	21 bits	6 bit CRC	8 Tail bits
1/8 da Taxa			

Fig. 3.7 - Tamanhos dos quadros de Tráfego Primário para *Rate Set 2* [15]

O CDMA disponibiliza opções de multiplexação da sinalização ou dos dados com o sinal de voz. Quando atribuído a um canal de voz, a sinalização é multiplexada com os dados. É importante ressaltar que sobre o mesmo canal de tráfego podem seguir voz e dados, respectivamente tráfego primário e tráfego secundário.

Conforme as exigências especificadas no TIA/EIA//IS-707A, o transporte dos pacotes RLP pode ser efetuado no modo transparente e no modo não transparente. O modo transparente é aquele onde os dados do usuário não sofrem nenhuma proteção adicional pela interface, enquanto o não-transparente é implementada codificação de canal nos dados. Para que as opções de serviço suportem uma interface com a opção 1 para multiplex ou com a opção 2, os pacotes RLP não-transparentes devem ser transportados como tráfego primário, ou como tráfego secundário, já os pacotes transparentes só podem ser transportados como tráfego primário. A figura 3.8 mostra a opção 1 para multiplexação que utiliza o *Rate Set 1* para tráfego primário (voz) e o tráfego secundário (dados, imagem, fax) com taxa cheia (9600 bps) e no máximo 171 bits por quadro. [15]

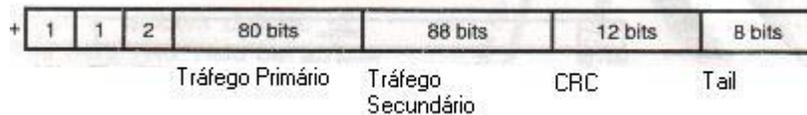


Fig. 3.8 - Opção 1 para Multiplexação [15]

A figura 3.9 mostra a opção 2 para multiplexação que utiliza o *Rate Set 2* para tráfego primário (voz) e o tráfego secundário (dados, imagem, fax) com taxa cheia (14400 bps) e no máximo 266 bits por quadro. [15]



Fig. 3.9 - Opção 2 para Multiplexação [15]

Quando se está transferindo dados, o RLP não-transparente é um protocolo baseado em NAK (*not acknowledgement*), ou seja, o receptor não tem conhecimento dos pacotes RLP de dados corretos, a sua única função é solicitar retransmissão dos pacotes não recebidos.

### 3.6 Pilha de Protocolos

A arquitetura da pilha de protocolos para sistemas sem fio capaz de prover a ligação entre uma estação móvel e o IWF ainda devem estar de acordo com as exigências especificadas pelo padrão TIA/EIA/IS-95A, e que pode ser visualizada na figura.

Aplicação
TCP
IP
PPP
RLP
IS-95

Fig. 3.10 - Pilha de protocolos TIA/EIA//IS-95A que é utilizada pelo WLL

A camada de aplicação consiste de dados assíncronos e de interfaces de aplicações da estação móvel e do IWF. A camada de transporte consiste no TCP. A camada de rede é formada pelos protocolos IP e ICMP (*Internet Control Message Protocol*) e a camada de enlace consiste em PPP (*Point-to-Point Protocol*), LCP (*Link Control Protocol*) e IPCP (*Internet Protocol Control Protocol*). [18]

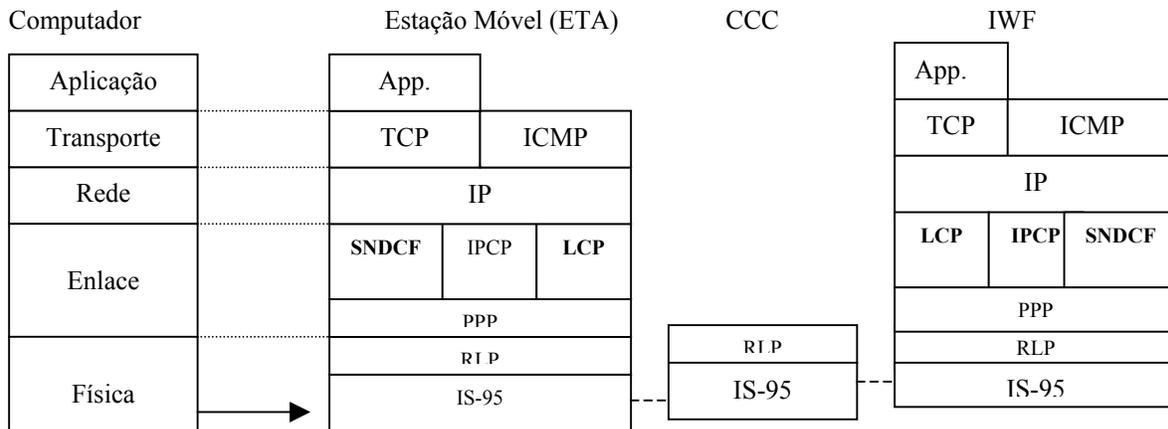


Fig.3.11 – Arquitetura da pilha de protocolos [18]

### 3.6.1. Camada de Transporte

As implementações da camada de transporte para os dados assíncronos deve atender as requisições da RFC 793, com algumas alterações, conforme especificado na TIA/EIA/IS-707-A.

O TCP deve assinalar o tamanho máximo do segmento que deve ser de 2047 octetos e o tamanho mínimo de 536 octetos (*default*). Também deve informar sobre o tamanho da janela que não pode ser menor que duas vezes o tamanho máximo do segmento nem pode ser maior que quatro vezes o tamanho máximo do segmento.[18]

Para cada conexão, o TCP deverá utilizar um número de porta diferente, da que foi utilizada na última conexão. Os números de portas utilizados devem estar entre 4096 a 65535. O número da porta da estação móvel ou ETA deve ser inicializado arbitrariamente quando ligada. [18]

O tempo máximo de vida de um segmento IP – TTL (*Time to Live*) deverá ser ajustado para 254, se não estiver previamente configurado. O valor inicial deve ser o número corrente publicado na “Internet Assigned Numbers”. O valor recente publicado seria 64, conforme RFC 1700.

Durante a sincronização inicial da conexão, o número de tentativas de retransmissão deverá ser de 5 retransmissões, após isso a conexão deve ser descartada. As estações móveis devem estar preparadas quando ocorrerem falhas na conexão TCP/IP para procederem de tal forma, assim como após a conexão estar estabelecida, o número de retransmissões não deve exceder a 100 segundos ou 10 retransmissões e após isso a conexão deve ser encerrada. [18]

### **3.6.2. Camada de Rede**

As implementações da camada de rede para os dados assíncronos devem atender às requisições da RFC 791, com algumas alterações, conforme especificado na TIA/EIA/IS-707-A.

A camada de rede da estação móvel não tem necessidade de suportar os modos de endereçamento subnet, enquanto que a camada de rede do IWF deve suportar o endereçamento subnet conforme descrito na RFC 950 e RFC 1122. Assim como, a camada de rede da estação móvel poderá assumir que está localmente conectada ao IWF.

A interface entre a camada de rede e a camada de transporte tem que atender a RFC 1122.

O IWF designa à estação móvel um endereço IP temporário durante o estabelecimento de uma chamada. Esse endereço IP têm validade para a duração da chamada e deve ser unicamente designado para a estação móvel. O IWF transfere o endereço IP temporário para a estação móvel usando o IPCP. [18]

### **3.6.3. Camada de Enlace**

Nesta camada existem 4 (quatro) protocolos que provêem um método de multiplexação para transportar os dados dos protocolos de alto nível sobre as ligações da estrutura física da rede.

A SNDCF (*Sub-Network Dependent Convergence Function*) usa a compressão de cabeçalho nos cabeçalhos das camadas de transporte e rede. As estações móveis devem suportar a compressão de cabeçalhos TCP/IP *Van Jacobson*, como descrito na RFC 1144. O IWF deve suportar a compressão de cabeçalhos TCP/IP compatível com aquele requisitado para estações móveis. As negociações de parâmetros para compressão de cabeçalhos deve ser carregado usando IPCP, como veremos mais adiante.

A sub-camada deve aceitar datagramas da camada IP, utilizar a compressão de dados como requisitado, e enviar os datagramas para a camada PPP. A subcamada deve receber os datagramas da camada IP com cabeçalhos comprimidos ou não da camada PPP, descomprimir o cabeçalho do datagrama como necessário, e passar o datagrama para a camada IP.

O PPP é utilizado na camada de enlace de dados, conforme descrito na RFC 1661 e RFC 1662, para encapsulamento e empacotamento de datagramas. O LCP (*PPP Link Control Protocol*) é usado para o estabelecimento inicial da ligação, e para negociar as capacidades opcionais de ligação.

A camada PPP aceita datagramas de cabeçalhos comprimidos na camada IP do SNDCF, e deve encapsulá-los no campo de informação do PPP. O pacote deve ser empacotado usando o protocolo de empacotamento de sincronização de octetos definido na RFC 1662, exceto se houver *inter-frames* cheios: nenhum *flag* de octetos deve ser enviado entre um *flag* de octeto que encerra um pacote PPP e um *flag* de octeto que inicia o pacote PPP subsequente. Os pacotes PPP empacotados devem ser passados para a camada RLP para transmissão.

A camada de enlace de dados deve aceitar octetos da camada RLP, e reunir os pacotes PPP originais. O processo PPP deve descartar qualquer pacote PPP recebido do FCS (*Frame Check Sequence*) e não igual ao valor computado.

O IPCP é utilizado pela camada de enlace de dados, conforme descrito na RFC 1332, para negociar endereços IP e compressão de cabeçalhos TCP/IP. A subcamada IPCP deve suportar negociações dos parâmetros do endereço IP (tipo = 3) e o protocolo de compressão IP (tipo = 2).

O IPCP deve negociar um endereço IP temporário para a estação móvel a qualquer momento que uma conexão da camada TCP está em aberto. As estações móveis devem manter o endereço IP temporário somente enquanto uma conexão da camada de transporte está aberta ou acabou de ser aberta, e deve descartar o endereço IP temporário quando a conexão da camada de transporte é fechada.

### **3.7 Fluxo de Transmissão de Dados**

No modo de transmissão por comutação de circuitos predominante nas redes atuais, é necessário o estabelecimento de uma conexão antes que os dados sejam transferidos do transmissor ao receptor.

O CSD (*Circuit Switched Data*) do TIA/EIA/IS-95A é baseado no Comitê TR45 da especificação TIA/EIA/IS-707A. O sistema atende o padrão IS-707A de opções para dados assíncronos e fax digital. Desta forma, as opções serviço # 4, 5, 12 e 13 permitem o serviço de emulação de modem para aplicações assíncronas e fax. As opções de serviço # 4 (9600 bps) e #12 (14400 bps) suportam aplicações assíncronas. Portanto, a transmissão de dados do padrão IS-95A fica limitada a 14400 bps. [18]

Essa limitação se dá basicamente pela largura de banda e pelos processos multi-percursos. As redes celulares reduzem automaticamente a largura de banda de conexão na camada de enlace, quando a estação se encontra em movimento (notebook e o celular), e em regiões congestionadas.

Os processos multi-percursos, também conhecidos como atenuação multi-percursos são uma das características do canal de rádio. A flutuação no comprimento do sinal em um receptor é devido à interferência entre duas ou mais ondas que partiram do transmissor de forma concorrente, mas que chegaram ao receptor com uma pequena diferença de tempos. Existem 2(dois) tipos de atenuação multi-percurso : baixa escala e larga escala.

A atenuação de baixa escala se dá devido aos componentes do multi-percurso que efetuam adições de sinais construtivas ou destrutivas. Ela depende de vários fatores, tais como, velocidade do telefone móvel, condição do ambiente e largura de banda. Já a atenuação de larga escala é devido à separação entre o transmissor e o receptor. Quando o assinante se distancia da ERB, o valor da potência recebida no móvel diminui gradualmente. Os fatores que contribuem para a atenuação em larga escala são : a distância, os obstáculos e a interferências. A obstrução dos sinais transmitidos causado por obstáculos ao longo do percurso cria as áreas comumente chamadas de “áreas de sombra”.

Antes de se abordar especificamente sobre o fluxo de dados, é necessário apresentar um novo componente que se agrega à estrutura do sistema, e permite a transmissão de dados. Esta entidade chamada de IWF (*Interworking Function*) é encarregada da conversão analógico-digital e vice-versa, da sincronização dos canais através de buffers elásticos, da identificação e da conversão de protocolos. A principal função do IWF é a interoperabilidade do sistema. [19]

O IWF é uma parte de um sistema complexo constituído de componentes essenciais, tais como : telefone e computador móvel, Estação Rádio-Base(ERB), Central de Comutação e Controle(CCC), *Hub Ethernet* e computador e modem, ou fax, como elementos estáticos.

Os diagramas de fluxo de dados mostrando o caminho de uma chamada móvel de dados irão contribuir para diminuir a complexidade do sistema. Exemplifica-se uma ligação ponto-a-ponto entre um computador móvel e um computador ligado a uma rede de telefonia fixa, com o computador móvel originando a chamada, na figura 3.12 [19]

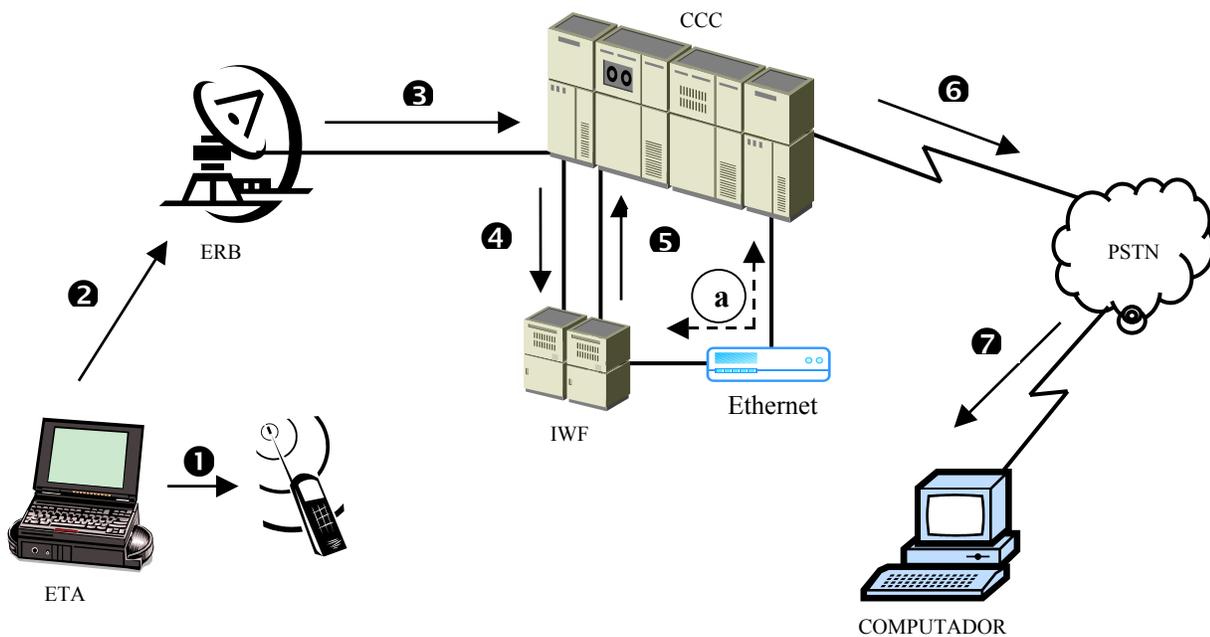


Fig. 3.12 – Fluxo de dados originados de uma estação móvel.

1. Uma aplicação rodando num computador envia um comando através de uma porta serial. A aplicação supõe que o comando será recebido e respondido por um modem analógico ligado localmente.
2. O telefone recebe o comando e determina se pretende controlar um modem. O telefone adiciona o comando como conteúdo em um pacote TCP/IP, depois encapsula em pacotes PPP e envia pela interface aérea para a ERB.
3. A ERB recebe o pacote do ar e o remete por um canal digital ISDN (*Integrated Services Digital Networks*) para CCC.
4. A CCC recebe o pacote e o repassa para o IWF por um canal digital ISDN num formato de pacote HDLC (*High level Data link Control*).

O IWF desempacota o comando dos pacotes originais PPP e TCP/IP e o envia para um de seus modems.

- a. Acontece uma troca de mensagens de sinalização de controle de chamadas entre a CCC e o IWF através da Ethernet.
5. O modem disca por um *bus packet* no IWF, e a chamada segue para fora do IWF de volta a CCC.
6. A CCC envia a chamada para a PSTN (*Public Switched Telephone Network*).
7. O modem no computador ligado a rede pública finaliza a chamada que foi iniciada pelo IWF.

Depois cabe ao IWF gerenciar as duas metades da chamada, ou seja, a metade móvel e a metade estática

As chamadas finalizadas pela estação móvel (na qual a estação móvel recebe uma chamada de um computador ligado à rede fixa) são tratadas muito similarmente as chamadas iniciadas pela estação móvel. Isto é causado porque a CCC está encarregada em ter que enviar as duas metades da chamada para o IWF.

Quando uma chamada chega na CCC através da PSTN, e é destinada a uma estação móvel, a CCC coloca a chamada no “modo de espera” e aciona a estação móvel. Quando a estação móvel responde, a chamada é entregue ao IWF como se a chamada fosse originária de um móvel. O IWF então altera o status da metade estática da chamada e a une com a metade móvel.

É importante ressaltar a presença do IWF, pois ele é o equipamento que atua como Gateway através de um de seus componentes o “CDMA Gateway NAC” (*Network Application Card*) que contém o *software* que controla e gerencia as duas metades da chamada.

Existe outro modelo de implementação utilizando o IWF.

O SS QNC (*Single Stack Quick Net Connet*) adere-se ao modelo CDMA como descrito no TIA/EIA/IS-99 para conectar um estação móvel diretamente a Internet sem conectar com a PSTN, utilizando o tunelamento PPTP (*Point-to-Point Tunneling Protocol*). Esta característica do IWF evita o uso de recursos da rede fixa, tornando a conexão totalmente digital e de fim-para-fim. Pode-se visualizar o seu funcionamento conforme a figura 3.13.[19]

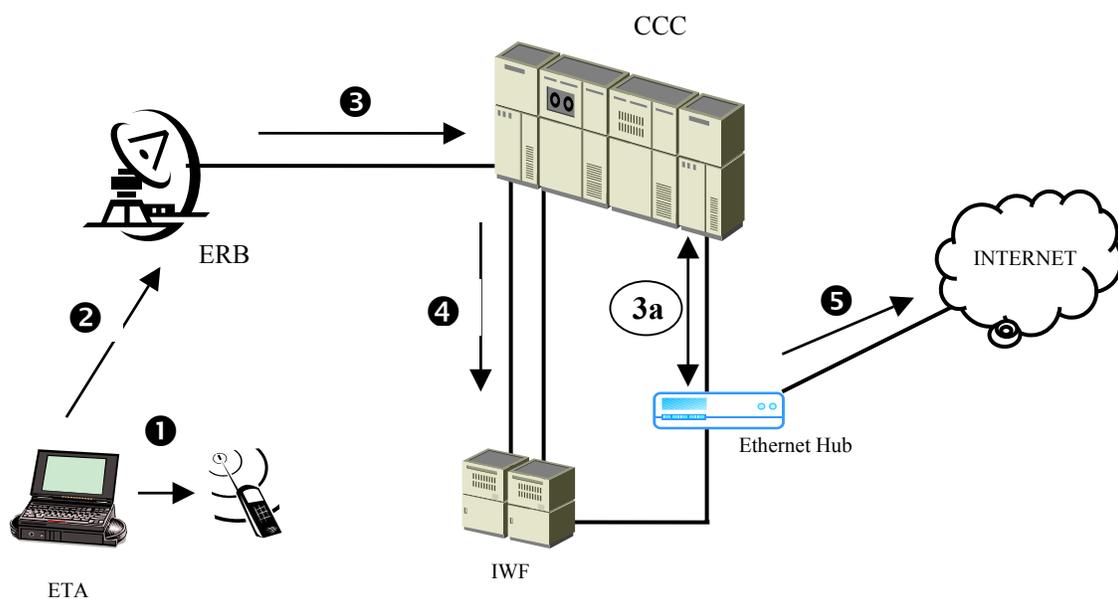


Fig. 3.13 - Fluxo de dados em uma transmissão utilizando a pilha simples

1. A conexão de rede discada na estação móvel envia comandos pela interface serial para o telefone e coloca-o no “modo QNC”.
2. O telefone estabelece uma ligação no ar com uma ERB usando o EIA/TIA/IS-95 inicializador de mensagens móveis.
3. A ERB passa estas mensagens por um canal digital ISDN para a CCC.
  - a. Ocorre uma troca de sinais de controle de chamada entre a CCC e o IWF pela *Ethernet*.
4. A CCC estabelece uma conexão com o IWF e uma mensagem de conexão é enviada de volta para o computador.

Uma pilha PPP é então criada no computador e inicia-se o processo de negociação e autenticação com o IWF pela ligação aérea. Assim que estiver validado, o computador pode começar a enviar pacotes de dados pelo telefone através da rede de acordo com os padrões TIA/EIA/IS-99 e o TIA/EIA/IS 707A.

5. O IWF compara o endereço de destino contido no pacote com o endereço de rede que ele contém no seu conjunto de registros, e repassa o pacote para o destino apropriado através da *Ethernet*.

As conexões L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*) e PPTP são protocolos da camada de enlace e fornecem conexões a usuários remotos para suas redes corporativas utilizando o acesso discado. O tunelamento funciona como um túnel virtual entre transmissor e o receptor e é onde por onde os dados trafegam. O processo funciona da seguinte forma : o usuário de origem encapsula os pacotes originados de outros protocolos em pacotes IP para serem enviados pela Internet. O usuário de destino ao receber, desencapsula retirando o cabeçalho IP.

A grande diferença entre o PPTP e o L2TP, é que o segundo não depende da criação de um tunelamento sobre o IP, sendo capaz de trabalhar em outros meios, como FRAME RELAY e ATM.

O DS (*Double Stack*) QNC usa estes protocolos para construir um “túnel” seguro entre uma estação móvel e uma rede remota. Esta característica é similar ao SS QNC, porque permite o acesso direto à Internet sem passar pela PSTN. O DS QNC implementa duas pilhas de protocolos para a transmissão de dados utilizando L2TP ou um túnel PPTP, permitindo com isso transações mais seguras pela Internet. A primeira pilha usando TCP/IP/PPP é implementada entre a ETA e o IWF de acordo com as especificações de serviço 4 e 12 e atendendo ao padrão IS-707A. A segunda pilha utilizando IP/PPP, é implementada entre a estação móvel e servidor que está localizado no lado oposto da conexão. O tráfego desta segunda pilha será transferido através da primeira pilha TCP, criando assim uma Rede Privada Virtual VPN (*Virtual Private Network*) entre o computador móvel e o servidor. O esquema desta implementação pode ser visualizado conforme a figura 3.14.

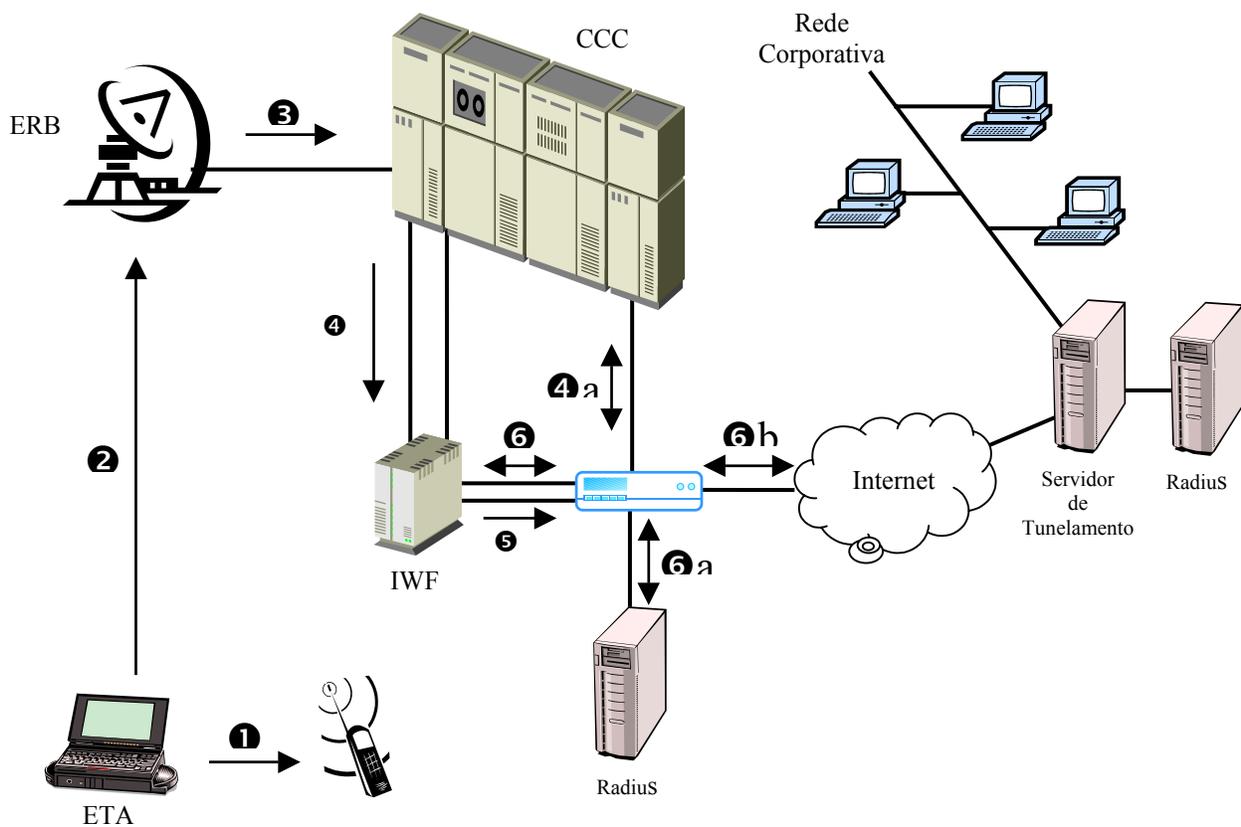


Fig. 3.14 - Fluxo de dados em uma transmissão utilizando a pilha dupla

Os itens 1,2 e 3 são similares ao diagrama anterior.[19]

4. A CCC estabelece um *Frame Relay SVC (Switched Virtual Circuit)* com o IWF e uma mensagem de conexão é enviada de volta para o computador.

Uma pilha PPP é então criada entre o telefone e o IWF, de acordo com os padrões TIA/EIA/IS-99 e TIA/EIA/IS-707A. O IWF então recebe o DNIS (*dialed number identification service*) do número de telefone discado pelo usuário.

5. O *Gateway CDMA* compara os dígitos DNIS àqueles configurados no índice dos serviços QNC dos seus registros.

O índice de serviços QNC pode ser configurado a ter até 100 números de telefone. Ele mapea cada um desses números para um tipo de serviço, e um primário e secundário HiPer ARC (*Access Router Card*) para rotear os dados.

Para as conexões L2TP e PPTP, os tipos de serviço são *twoStackQncL2tpTunneling* e *twoStackQncPptpTunneling*, respectivamente.

Os dados são então roteados para o HiPer ARC correspondente ao número de telefone através de conexão Ethernet.

6. O HiPer ARC recebe os dados e os repassa para o servidor RADIUS (*Remote Access Dial-In User Protocol*) como um L2TP ou uma requisição de chamada PPTP.

a. O servidor RADIUS valida a requisição baseado nos dígitos DNIS e retorna o endereço IP de um servidor específico. Para conexões L2TP, este é um servidor de rede L2TP (*Layer Network Server*), e para conexões PPTP, este é um servidor de rede PPTP (*Point Network Server*).

b. O HiPer ARC contacta o servidor através da Internet e solicita uma conexão. Uma conexão é então negociada entre o IWF e o servidor.

Assim que uma conexão é feita, uma segunda pilha PPP é criada entre a estação móvel e o servidor depois que um login e

senha do usuário é validado por outro servidor RADIUS. O tráfego desta pilha é então transportado pela primeira pilha, sendo criada uma VPN entre os dois.

Demonstrou-se neste capítulo a transmissão de pacotes de dados através das redes comutadas por circuitos utilizando a interface aérea CDMA IS-95A e o porquê das suas limitações de velocidade, que se deve basicamente a largura de banda e aos processos multi-percursos. Também foi abordado o empacotamento das mensagens realizados pelo TCP/IP, bem como, o formato dos quadros do RLP, as pilhas de protocolos e as suas camadas e os fluxos de transmissão que pode ser por pilha simples ou dupla utilizando VPN. Viu-se que os pacotes IP podem trafegar sobre o WLL, mas somente com a adoção de um novo hardware que trabalha em conjunto com a CCC, que seria o IWF, que funciona como gateway que converte os pacotes do enlace com fio, para as redes sem fio. Dessa forma, observa-se no próximo capítulo, as modificações que deverão acontecer no TCP/IP para se adequar as redes aéreas, bem como a evolução da tecnologia de rádio transmissão para a comutação por pacotes e tarifação por volumes de dados(redes IP) e com serviço e aplicações relevantes.

# CAPÍTULO IV – ALTERNATIVAS PARA O TCP/IP SOBRE INTERFACES AÉREAS

## 4.1 Modificações no modelo TCP/IP

Este capítulo aborda os problemas do TCP/IP como um protocolo de orientação em ambientes móveis, e possíveis alternativas com os seus mecanismos, juntamente com algumas vantagens e desvantagens.

De acordo com COMER[20] “ grande parte do sucesso dos protocolos TCP/IP está na capacidade de acomodação de quase todas as tecnologias básicas de comunicação.” Uma das vantagens dos protocolos TCP/IP está na grande variedade de tecnologias de redes físicas nas quais eles podem ser utilizados.

Ainda em [20], viu-se que um dos serviços oferecidos pelo TCP/IP é a independência em relação as tecnologias de rede, onde observou-se que ele é independente do hardware de qualquer fornecedor específico. A Internet inclui diversas tecnologias de rede, desde as redes locais até as projetadas para cobrir grandes distâncias. A pilha de protocolos TCP/IP define a unidade de transmissão de dados denominada de datagrama, e especifica como transmitir datagramas em rede específica.

Os protocolos TCP/IP foram projetados para as redes de computadores com terminais fixos, tipicamente CSMA/CD (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection*). Para ele trabalhar em redes celulares com interfaces aéreas múltiplas (CDMA, TDMA, GSM) irá necessitar de adaptações.

A possibilidade de acessar informações e serviços em qualquer lugar vislumbra formas diferenciadas de acesso à Internet através de telefones celulares, PDAs (*Personal Digital Assistants*) e *laptops*. Entretanto, a Internet não foi concebida para lidar com as características inerentes ao ambiente onde vários usuários movimentam-se conectados à rede através de um enlace sem fio com baixa largura de banda.[21] Essa demanda crescente expõe alguns problemas complexos na estrutura, principalmente na camada de enlace, na

atribuição de endereços, roteamento, autenticação e performance, inclusive na RFC 1144 “*Compressing TCP/IP Headers for Low-Speed Serial Links*”, é descrito um método para compressão de cabeçalhos dos datagramas TCP/IP para melhorar a performance sobre links seriais de baixa velocidade.

Na teoria, conforme [4], os protocolos de transporte deveriam ser independentes da tecnologia da camada de rede em que se baseiam. O TCP, não deveria se preocupar com o fato de o IP estar transferindo datagramas através de fibra ou rádio. No entanto, na prática, isso é importante, pois as implementações em sua maioria foram muito otimizadas com base em suposições que são verdadeiras para as redes com fio mas que falham nas redes sem fio. Ignorar as propriedades da transmissão sem fio pode levar a uma implementação TCP que é logicamente correta mas que tem um desempenho desastroso.

Pesquisas dentro de um ambiente de provedor de serviços mostraram que entre 60% a 80% de todos os pacotes que trafegam na Internet são Web TCP. Presumindo-se que tráfegos similares podem estar presentes em rede de enlace sem fio, é proposto um desafio aos provedores de serviço já que o TCP/IP foi projetado, assumindo-se que as perdas de pacotes são causadas pelo congestionamento na rede e não por perdas em *links* sem fio móveis.[22]

O protocolo TCP assume que o meio de transmissão é confiável e perdas de pacotes são causadas por congestionamentos. Retransmitir o pacote perdido e continuar com uma taxa de envio cheia, é no mínimo desastroso, podendo aumentar o congestionamento. Consequentemente, quando um temporizador expira, o TCP diminui o ritmo e começa a transmitir mais lentamente. Sendo um protocolo adaptativo à rede, inicia-se os mecanismos de prevenção de congestionamento, que incluem redução na carga da rede, diminuindo o congestionamento, e aumento da retransmissão de timeout. Todas as outras conexões que apresentem o mesmo congestionamento, utilizam o mesmo procedimento, e solucionam de forma paliativa o problema. Essa cooperação entre as conexões para controlar o congestionamento é uma das principais razões para a Internet funcionar de maneira estável atualmente.

O mecanismo utilizado pelo TCP após a detecção do congestionamento chama-se saída lenta. O transmissor calcula uma janela de congestionamento para o receptor. O tamanho da saída da janela de congestionamento é um segmento, e funciona da seguinte forma: o remetente envia um pacote e aguarda a confirmação. Quando a confirmação chegar o transmissor incrementa a janela de congestionamento e envia dois pacotes, após a confirmação de recebimento, o transmissor dobra o valor da janela de transmissão depois da chegada da confirmação. Este mecanismo de crescimento exponencial da janela de congestionamento pode ser desastroso quando os valores estiverem muito grandes. Por este motivo deve haver uma contenção no crescimento exponencial, e no limite do congestionamento o crescimento deve se tornar linear, até que seja detectado um novo congestionamento e o transmissor ajuste a janela de congestionamento para um segmento até que se possa iniciar novamente o crescimento exponencial.

Na comunicação sem fio, os pacotes são perdidos geralmente por erros e perdas no canal de comunicação. A melhor estratégia para lidar com os pacotes perdidos é enviá-los novamente o mais rápido possível. Diminuir o ritmo nesse caso tornará a situação ainda pior. O motivo pelo qual isto ocorre é a utilização do mecanismo de saída lenta sobre suposições erradas. Portanto, o mecanismo de saída lenta que é muito utilizado para redes fixas degrada a performance do TCP quando utilizado em ambientes móveis.

Em uma rede com fio, quando um pacote é perdido o transmissor deve diminuir o ritmo. Quando isso ocorre em uma rede sem fio, o transmissor deve aumentar ainda mais o ritmo. Se o transmissor não souber em que tipo de rede está trabalhando, será difícil tomar a decisão correta. Logo, a estratégia usada no protocolo TCP não é mais válida e deve ser revista. Deve-se, no entanto, perceber que não se pode modificar completamente o protocolo apenas para suportar usuários móveis, pois, a quantidade de redes que utilizam TCP é muito grande e não suportaria modificações drásticas em sua estrutura que já está consolidada. Sabe-se que alterações são necessárias, mas não se pode esquecer a compatibilidade com o TCP.

Em [4] vê-se duas soluções propostas o TCP Indireto e modificações na camada de rede com a inclusão de um espião (*Snooping TCP*).

A solução proposta em [23] seria o TCP indireto, que consiste na divisão da conexão. A primeira conexão vai do transmissor a ERB e a conexão seguinte vai da ERB até a estação móvel. A ERB transfere os pacotes entre as conexões em ambas direções, conforme a figura 4.1. Nesta abordagem a ERB é vista como a estação móvel pelo transmissor, e como transmissor pela estação móvel.

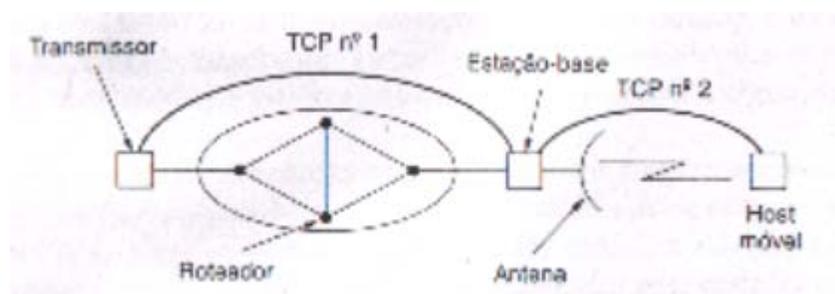


Fig. 4.1 - A divisão de uma conexão TCP em duas conexões. [4]

A vantagem desse processo é que os timeouts da primeira conexão podem fazer com que o emissor diminua o ritmo, por ser um meio guiado, enquanto que na segunda eles fazem com que o ritmo da transmissão aumente. Esse processo apresenta uma desvantagem que seria a violação da essência do TCP/IP, porque cada parte da conexão é considerada um conexão TCP e a ERB confirma cada pacote de forma usual agindo como um *proxy*. O problema é que, quando o transmissor recebe uma confirmação, não significa que o pacote chegou ao receptor, mas sim à ERB. Esta é a principal desvantagem deste mecanismo, pois se a ERB que particiona o TCP vier a ter algum problema, perde-se a semântica fim-a-fim do TCP.

O TCP Indireto não exige nenhuma mudança no protocolo TCP das máquinas da rede fixa, todas as alterações são efetuadas entre a ERB e o transmissor. Devido o particionamento entre duas conexões as perdas de pacotes não se propagam dentro da rede fixa. Além destas vantagens, o isolamento do link sem fio apresenta-se como a maior vantagem desta abordagem. Pode-se dizer que novos mecanismos sempre causam algum

receio quando aplicados em redes como a Internet, porque não se sabe como a rede vai reagir, mas com o TCP Indireto, diferentes alternativas podem ser testadas, sem comprometer a estabilidade, pois, é feito apenas entre a ERB e a estação móvel.

O *Snooping TCP* visto em [24] deixa a conexão totalmente intacta e mantém a semântica do TCP/IP. Neste mecanismo acontece a inclusão de um espião que observa e armazena não só os pacotes TCP que seguem para a estação móvel quanto as confirmações enviadas por ela.

A principal função desta alternativa é de armazenar dados próximos à estação móvel para se ter uma retransmissão rápida em caso de perda de pacotes. Quando um pacote segue para a estação móvel, mas não se vê uma confirmação retornar antes do seu *timer* expirar, o espião retransmite novamente o pacote sem informar ao transmissor o que está fazendo. Uma outra ação do espião se dá quando a estação móvel gera duplicações de confirmações, o que significa que a estação móvel perdeu algum pacote. Essas duplicações de confirmações são descartadas para evitar que o transmissor os considere como sinal de congestionamento. Vale lembrar que esta solução faz pequenas alterações no código da camada de rede da ERB.

O problema dessa abordagem se dá quando o enlace sem fio perder muitos pacotes e o transmissor sofrer um *timeout* enquanto aguardar por uma confirmação e acionar o algoritmo de controle de congestionamento. No TCP indireto isso jamais aconteceria, devido se ter duas conexões. O mecanismo visto em [24] apresenta também uma solução para os pacotes perdidos e que foram transmitidos pela estação móvel. Quando a ERB atina-se para um intervalo nos números de seqüência, ela pede uma retransmissão seletiva dos *bytes* perdidos usando a opção TCP. Desta forma, o enlace sem fio se torna mais confiável em ambas as direções, sem que o transmissor saiba e sem alterar a essência do TCP/IP.

Viu-se nesta abordagem que o espião “bisbilhota”, os dados, as confirmações, e utiliza a retransmissão local, apresentando como vantagem a transparência da conexão fim-

a-fim sem a perda da semântica do TCP. As desvantagens são mostradas quando esquemas de criptografia são aplicados entre o transmissor e a estação móvel de forma fim-a-fim, ficando a observação prejudicada, além da retransmissão dos dados a partir do espião não funcionar devido esquemas de segurança se prevenirem de ataques de reenvio.

Dentre as alternativas apresentadas para que a camada de rede suporte a mobilidade, a que vê-se neste momento e a que mais se encaixa como solução para a comunicação de dados em ambientes móveis é o IP Móvel.

O IP Móvel fornece o suporte móvel ao protocolo IP da camada de rede da Internet e têm como função suportar a mobilidade de estações móveis sem comprometer a eficiência da rede e não modificar as aplicações ou protocolos ainda em uso.

O protocolo IP móvel permite que um computador móvel tenha dois números IPs : um associado a sua estação origem (*home address*) que é fixo e o outro associado a cada ponto de acesso (*care-of-address*) ou endereço de tratamento. O *home address* pode ser usado para identificar conexões TCP e, por essa razão, é utilizado por todos os usuários e aplicações para se comunicarem com a estação móvel. Quando o computador não está conectado a seu endereço fixo deve existir um mecanismo para receber e enviar todos os pacotes endereçados ao cliente móvel no seu ponto de acesso à rede dado pelo *care-of-address*. Esta tarefa é executada por um agente chamado de *home agent*. [14]

Sempre que a estação móvel se muda para outra localização, registra o seu novo *care-of-address* no seu *home agent*. Para entregar um pacote a uma estação móvel da sua rede local, o *home agent* envia o pacote da sua rede local para o *care-of-address*. Esta entrega requer que o pacote seja modificado para que o *care-of-address* apareça como o endereço IP de destino. Este processo é chamado de redirecionamento. Quando o pacote chega ao *care-of-address*, a transformação inversa é efetuada colocando como endereço de destinatário o *home address* do cliente para que o pacote, uma vez mais, apareça com o endereço local como endereço IP destino. Quando o pacote chega a estação móvel, endereçado ao endereço local, é processado corretamente pelo TCP ou aplicação que o

receba da camada IP da estação móvel. O processo de transformação inversa ou reversa, é executada por um agente chamado de *foreign agent*. [14]

No processo de redireção executado pelo *home agent* o pacote gerado com o novo endereço de destinatário encapsula o pacote recebido pelo *home address*. Desta forma, o endereço de destino original (*home address*) não tem nenhum efeito no roteamento do novo pacote entre o *home agent* e o *care-of-address*. Esse processo, é conhecido como tunelamento.

Para a entrega correta do pacote o IP Móvel aciona três mecanismos: identificação do *care-of-address*, registro do *care-of-address* e estabelecimento de um túnel até o *care-of-address*.

Segundo [21] o IP móvel define duas entidades para prover o suporte à mobilidade: um *home agent* (HA) e um *foreign agent* (FA). O HA é atribuído estaticamente à estação móvel (*MS – Mobile Station*) e baseia-se no endereço *IP home* permanente da estação móvel. O FA é atribuído à estação móvel, baseando-se na localização atual da MS. O FA tem associado consigo um endereço IP chamado de *care-of-address* (CA). Pacotes destinados para a MS são interceptados pelo HA, encapsulados e tunelizados para o FA usando o CA. O FA desencapsula os pacotes e encaminha-os diretamente para a MS. Portanto, o FA é a entidade IP mais próxima da MS.

A figura 4.2 apresenta os elementos envolvidos na operação do IP móvel, ilustrando o roteamento de segmentos de um *host IP*, destinados a uma estação móvel que moveu-se e não se encontra na sua HN (*Home Network*). Supõe-se que a estação móvel já tenha feito o registro com a FN (*Foreign Network*), obtido um CA e tenha enviado este CA para seu HA. No passo 1, o *host IP* fixo envia o pacote da forma usual para a HN da estação móvel. O HA intercepta este pacote e, sabendo que a estação móvel não está mais presente em sua HN, encapsula e envia tal pacote para o CA cedido à estação móvel pela FN (passo 2). Isto é feito colocando um novo cabeçalho na frente do velho cabeçalho IP mostrando o CA como novo destino e o HA como fonte do pacote encapsulado, conforme a figura 4.3.

O FA remove o cabeçalho adicional e repassa o pacote original com o *Host IP* como origem e a estação móvel como destino à estação móvel. É importante salientar que para a estação móvel a mobilidade não está visível, e como se ela recebesse o pacote como os mesmos endereços de transmissor e receptor como se tudo tivesse ocorrido na HN. Quando a estação móvel envia um pacote (passo 4), utiliza seu próprio endereço IP da HN no campo de fonte do cabeçalho IP e no campo de destino, o endereço do *host IP*. O roteador (no qual o FA está presente) age normalmente e encaminha o pacote da mesma forma que faria com qualquer outra estação pertencente a FN.

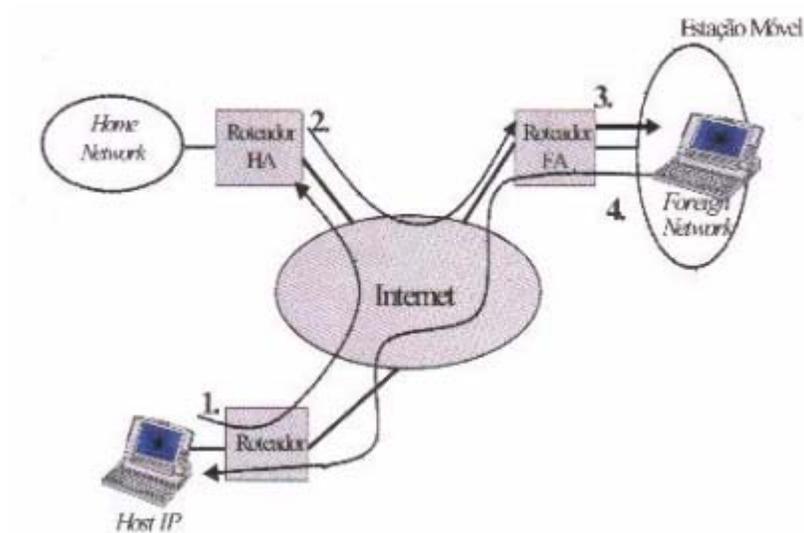


Fig. 4.2 Roteamento no IP móvel. [21].

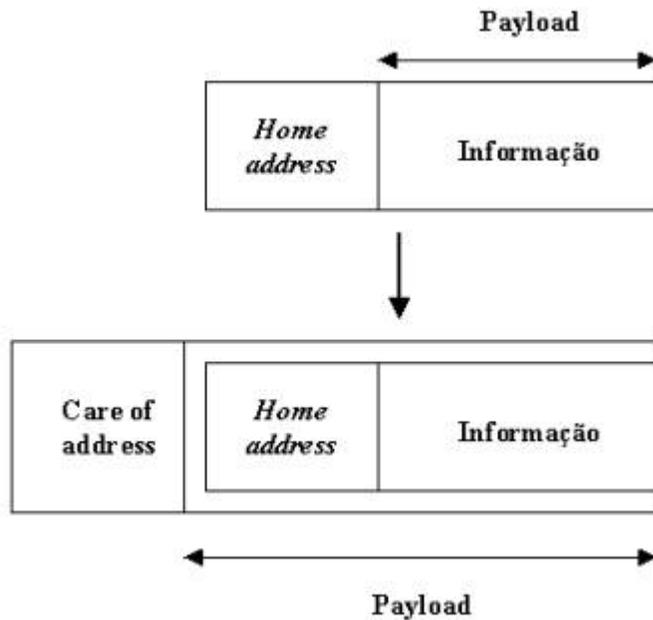


Fig. 4.3. Encapsulamento no campo de carga útil.

O processo de identificar o *care-of-address* no IP móvel é baseado no protocolo de *Router Advertisement* [14]. O IP móvel não modifica esse protocolo mas acrescenta funcionalidades associadas à mobilidade. Desta forma, uma divulgação de roteador pode conter informações sobre roteadores *default* e informações sobre *care-of-address*.

Como os agentes são localizados ? *Home agents* e *Foreign agents* transmitem periodicamente divulgações, que são anúncios que contém *care-of-addresses*. Por exemplo, uma mensagem a cada segundo ou poucos segundos. O estação móvel pode solicitar explicitamente um *care-of-address*, se não quiser esperar por uma divulgação. Neste caso, um *home agent* ou *foreign agent* ao receber um pedido envia prontamente a resposta. *Home agents* passam a ser conhecidos através de mensagem de divulgação de agente, mesmo que eles não estejam associados ao *care-of-address*.

De uma forma genérica, uma mensagem de divulgação de agente tem a finalidade de permitir a identificação de agentes de mobilidade, listar os *care-of-addresses* disponíveis, informar a estação móvel sobre funcionalidades oferecidas pelos *foreign agents* como técnicas de encapsulamento, permitir a estação móvel determinar o número da

rede e o *status* de seu enlace para a Internet, e informar a estação móvel se o agente é um *home agent* ou *foreign agent* ou ambos e, conseqüentemente, saber se está no seu *home address* ou não.

Em resumo, cada agente deve transmitir periodicamente seu endereço e o tipo de serviço que pretende fornecer (interno, externo ou ambos). Quando uma estação móvel chegar a algum lugar ele só precisará ouvir essas transmissões, chamadas de anúncios (*advertisements*). Como alternativa, a estação móvel pode transmitir um pacote anunciando a sua chegada dizendo: “Existe algum agente externo por aí ?” e esperar que o agente externo local responda.

Normalmente uma área é uma LAN ou células sem fio. Cada área possui um ou mais agentes externos, que controlam todos os usuários móveis que visitam a área. Além disso cada área possui um agente interno, que controla os usuários cuja as bases estejam na área mais que no momento estão visitando outra área.

Quando um novo usuário entra em uma área, conectando-se a ela, ou simplesmente percorrendo a célula, seu computador deve se registrar com o agente externo dessa área. O principal propósito desse registro é informar o *home agent* da localização atual para o correto repasse de pacotes.

A estação móvel é registrado com o agente externo, fornecendo seu endereço fixo, o endereço atual de camada de enlace de dados e algumas informações de segurança. O *care-of-address* deve ser enviado para o *home agent* do usuário assim que for obtido. O processo de registro executado pelo IP móvel começa quando a estação móvel, possivelmente através do *foreign agent*, envia uma requisição para o seu *home agent* com o *care-of-address*. O *home agent* da estação móvel, ao receber a requisição, examina as informações de segurança, que contém um timbre de hora, para provar que foi gerado há alguns segundos, aprova o pedido, atualiza a tabela de roteamento e envia uma resposta para o computador móvel.

Existem alguns problemas nesta fase de registro, por exemplo, o que deve ser feito em relação aos usuários móveis mal-educados que vão embora sem se despedir. O ideal é que quando um usuário sair de uma área, seja divulgado para permitir o cancelamento do registro, mas muitos usuários desligam os seus computadores abruptamente quando terminam de usá-los. A solução seria tornar o registro válido somente durante um intervalo de tempo fixo. Se não for renovado periodicamente, o registro sofrerá um *timeout*, permitindo que o agente externo esvazie suas tabelas. Este é considerado um grave problema, pois mudanças de endereços IP, enquanto uma conexão TCP estiver aberta significa a interrupção da conexão. Pode-se identificar uma conexão pela tupla : fonte de endereços IP, fonte de portas, endereços IP de destino e porta de destino. Dificilmente, uma conexão TCP suporta uma troca de endereço inesperada.

Outro aspecto a ser considerado é a segurança. Quando um agente interno obtém uma mensagem que o solicita a encaminhar todos os pacotes de X para algum endereço IP, o melhor é que ela não obedeça, a menos que ele esteja convencido de que X seja a origem desta solicitação, e não alguém fingindo. Os protocolos de autenticação criptográfica são usados com essa finalidade.

Os pedidos de registro contêm parâmetros e *flags* que caracterizam o túnel que o *home agent* irá usar para enviar os pacotes para o *care-of-address*. Quando um *home agent* aceita uma requisição, é feita uma associação entre o *home address* e o *care-of-address* que é mantida até que termine o tempo de vida do registro (*registration lifetime*).

Além da identificação e registro têm-se o mecanismo de tunelamento. O tunelamento , nada mais é do que um estabelecimento de um tubo virtual entre a entrada e a saída do túnel para o envio de pacotes de dados. Os pacotes que entram no túnel são repassados e deixam o túnel sem serem alterados. É importante ressaltar, que esse mecanismos utilizam o encapsulamento. Pode-se definir o encapsulamento como o mecanismo que adquire um pacote consistindo de um cabeçalho e dados e colocando-o na parte de dados de um novo pacote. Desta forma o túnel é considerado pelo pacote original como um simples salto, pois permite que a estação móvel atue como se estivesse plugado

na rede local. A operação inversa é chamada de desencapsulamento. Encapsular e desencapsular são operações realizadas quando um pacote é transferido de uma camada de protocolo superior para uma camada inferior ou vice-versa. O mecanismo de encapsulamento padrão, que deve ser utilizado por todos os agentes que estejam utilizando o IP Móvel é o IP dentro de IP (IP-in-IP), conforme descrito acima.[21]

Observou-se que a cooperação dos mecanismos fornecem a funcionalidade ao IP Móvel, mas problemas existem e devem ser otimizados. Percebeu-se que mesmo que as estações móveis estejam a poucos metros de distância e queiram trocar dados, os pacotes tem de viajar até a sua rede local para poder ser roteado para a estação móvel. Esse comportamento de um IP Móvel assimétrico é chamado de roteamento triangular.[14] Com o IP Móvel não otimizado, todos os pacotes que vão para a estação móvel devem passar pelo *home agent*. Isto pode causar um *overhead* desnecessário para a rede entre o *Host IP* e o *home agent*, mas também entre o *home agent* e o *care-of-address*, dependendo da localização atual da estação móvel. Além do aumento da latência, quando o *home agent* e a estação móvel estejam separados por grandes distâncias.

Uma alternativa de otimizar a rota é informar ao *Host IP* a localização atual da estação móvel. O *Host IP* pode aprender a localização pelo *caching* em um *binding* (home address, care-of-address e registration lifetime) que faz parte da tabela de roteamento para o *Host IP*. Porém essa otimização para prevenir roteamento triangular causa vários problemas de segurança.

Uma questão a ser observada é a tentativa de fazer com que o IP Móvel possa trabalhar com os mecanismos de segurança usados atualmente na Internet. Os Firewalls, por exemplo, causam dificuldades porque estão configurados para bloquear pacotes que provenham de computadores internos, principalmente aquelas originárias da estação móvel, que levam o *home address* da estação móvel, sendo bloqueados pelo Firewall.

Sendo um protocolo que utiliza esquemas de tunelamento em ambientes onde a largura de banda é limitada, ocasiona o aumento do *overhead* devido aos grandes

endereços. Além de sofrer a competição de outros protocolos de tunelamento e que são baseados PPP que são: PPTP e o L2TP que oferecem como vantagem é a portabilidade para computadores móveis, conforme observado no item 3.7 deste trabalho.

O IP móvel cria a percepção que a estação móvel está sempre conectada a sua rede de origem, pois foi desenvolvido para tentar minimizar o problema do roteamento IP, permitindo que o nó móvel tenha dois endereços. Observa-se que por ser um protocolo que está em fase de consolidação, existem vários pontos positivos e que nos fazem acreditar que esta seria a melhor solução apesar de algumas desvantagens citadas anteriormente.

Um exemplo prático de que modificações no TCP/IP deram resultado está na empresa japonesa NTT DoCoMo que criou o “wireless-profiled TCP/IP”. As adaptações realizadas para oferecer o “*high-speed i-Mode*” (*interactive Mode*) em 3G/WCDMA visam oferecer alta performance de transmissão de dados e estão na fronteira entre a camada TCP/IP e a camada de enlace e física. As modificações representam na verdade, um endurecimento nos parâmetros de tamanho de janela (*window-size*), de retransmissão de dados (*data-resend function*) e tamanho de dados (*data-size*). Pode-se perceber que estas modificações são normais para permitir a ligação com a camada inferior. A semântica do TCP/IP permaneceu intacta no *high-speed i Mode* da empresa japonesa. O exemplo dado apenas reforça a opinião de que o TCP/IP realmente, necessita de adaptações para funcionar em um sistema de comunicações móveis.

Outra abordagem defendida por fortes opiniões técnicas é que o TCP/IP é independente do meio físico de transmissão, e que o problema da ineficiência de transmissão dos dados está nas camadas de enlace e física. Um enlace de comunicação sem fio apresenta como características : largura de banda menor, confiabilidade baixa e alta taxa de erro.

As redes celulares necessitam de adaptações para conviver com transmissão de dados por pacotes. Atualmente devido a digitalização das redes ocorreu a convergência das redes de telecomunicações com as redes de dados.

Para as redes de voz, as redes digitais foram projetadas para garantir latência mínima e taxas de erros a  $10^{-3}$ . Para as redes de dados, as redes digitais devem garantir maior latência com taxa de erros de  $10^{-6}$ . Desta forma, na estação móvel e no *gateway*, têm-se pilha dupla de protocolos onde estão as adaptações *datacom/telecom*, mas somente nos níveis 1 e 2, estabelecendo uma conexão PPP para as camadas superiores, ou seja, os níveis superiores, Rede, Transporte e Aplicação são transparentes para a rede de dados. Modificações nas camadas inferiores (e não no TCP/IP) são necessárias para “enganar” os temporizadores do TCP/IP, quando os componentes da camada física e enlace forem lentas ou ruidosas demais.

A latência descreve o atraso de uma transmissão, desde a sua entrada até o momento em que percorre a rede e logo depois chega até o destino. Os ambientes com excesso de ruído são propensos a induzir latência. Uma baixa latência significa pequenos atrasos e uma latência elevada, grandes atrasos. A latência é um fenômeno que se dá em todas as redes, computadores e dispositivos pelos quais as transmissões devem passar e todos os gargalos com os quais as transmissões se deparam. Pode-se definir a latência de acesso como sendo aquela que ocorre no aparelho telefônico ou entre ele e a ERB. E a que ocorre a partir da ERB para a rede como latência de rede. Uma baixa latência é essencial para transmissões em tempo real e vídeo ao vivo. Porém, mais importante são os atrasos devido à sobrecarga da largura de banda e no núcleo da rede.[25]

Os sinais de voz estão menos expostos aos erros de transmissão ou taxas de erros de bits elevadas – BER (*bits error rate*) que os sinais de dados. O motivo dessa exposição é em função da capacidade do cérebro humano de reconstruir as partes perdidas das conversações. Dessa forma, o cérebro infere as informações a partir do contexto da conversa e reconstitui o dado. Assim, mesmo com ruído ou interrupções, as pessoas conseguem se comunicar. A transmissão de dados não consegue reconstruir os sinais de dados e caso o conteúdo seja perdido, ele só poderá ser recuperado através dos códigos de correção de erros ou da retransmissão. A utilização de rotinas CRC em ambientes de comunicações móveis acrescenta mais cabeçalhos as transmissões, reduzindo a taxa real de

dados, ou seja, quanto maior o número de erros, maior será a correção de erros e menor será o conteúdo de dados.[25]

Quando se fala em acréscimos de cabeçalhos e o que eles acarretam, deve-se citar o exemplo do WAP (*Wireless Application Protocol*). Na tecnologia WAP não se utiliza o TCP/IP devido a sobrecarga de processamento no equipamento e desperdício de banda de transmissão com cabeçalhos TCP/IP. O WAP Forum sabendo da limitação dos equipamentos não quis implementar a pilha TCP/IP, redefinindo a pilha e fundindo algumas camadas e eliminando alguns cabeçalhos, compilando o conteúdo, reduzindo desta forma o tamanho das páginas HTML. A arquitetura WAP foi inspirada na Internet para que possa se agregar a ela com o menor esforço possível. O objetivo do WAP basicamente é ligar um servidor de aplicação a um dispositivo sem fio.

Outro motivo, talvez político, pela não utilização do TCP/IP com WAP, se dá pelo fato de o WAP Forum ser formado por europeus que sempre defenderam padrões, tais como o GSM. Enquanto os americanos sempre defenderam o TCP/IP. Por isto, o WAP Forum adotou o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) para a primeira versão do WAP, mas na nova versão WAP 2.0 NG, com significativas mudanças, inclusive se espelhando na arquitetura Internet.

Entende-se que o TCP/IP necessita de modificações para trabalhar em redes celulares, e também que a limitação está na tecnologia da interface aérea devido a imaturidade da tecnologia e pela ausência de aplicações e serviços relevantes. Acredita-se que com a implementação da tecnologia 3G e neste caso a migração da tecnologia CDMA IS-95 para CDMA 1xRTT (*Radio Transmission Technology*), onde 1 corresponde a função da taxa de espalhamento e o número de portadoras utilizadas, e a evolução do protocolo IPv6, muitos fatores que limitam as transmissões em banda larga no ambiente do mundo real, possam ser minimizados ou até eliminados. Esses fatores impedem de forma consistente, que altas taxas de dados anunciadas sejam atingidas.

A versão 6 do IP deverá solucionar o crítico problema da escassez de endereços IP presente na versão 4. Além de solucionar este problema, o IP *Next Generation* está ligado diretamente com as operadoras de serviços de comunicações sem fio ou móveis.

O IP é a plataforma para que as operadoras migrem das tradicionais arquiteturas de redes de transmissão de dados por comutação de circuitos para as redes que operem com a transmissão de pacotes.

O lançamento antecipado dos novos serviços de transmissão de dados com a tecnologia *wireless* foi identificado como uma força motriz essencial do IPv6, e isso se reflete no fato de que as principais organizações – *Mobile Wireless Internet Forum (MWIF)* [www.mwif.org](http://www.mwif.org), a *3G Partnership Project (3GPP)* [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org) e o UMTS de [www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org) - selecionaram o IPv6 como a base para os futuros serviços de IP.

Um dos recursos essenciais do IPv6 é a melhoria da mobilidade.

Com o avanço da transição para o IPv6, o seu sucesso definitivo dependerá da capacidade do setor de integrá-lo à atual infra-estrutura do IPv4 sem interromper a prestação dos serviços. Acredita-se que à medida que ocorrer a transição, ambos os protocolos precisarão coexistir por um período indefinido de tempo.

As técnicas de encapsulamento estão sendo desenvolvidas para uso em ambientes nos quais as redes que operam com o IPv6 devam comunicar-se por meio de uma rede IPv4. Nesta técnica, o tráfego em IPv6 será encapsulado em pacotes IPv4.

Segundo [21] na última década duas tecnologias, a Internet e as comunicações móveis, vêm convergindo para a definição de um novo paradigma, a Internet Móvel. A Internet Móvel combina a explosão do uso da Internet com a flexibilidade proporcionada pela mobilidade dos usuários de estações móveis, mas este conceito dependerá da evolução e maturidade das tecnologias de rádio, bem como da consolidação do conceito de IP móvel.

# CAPÍTULO V – CONCLUSÃO

## 5.1 Considerações finais

A rede convencional tem se mostrado, ao longo dos anos, uma atividade de difícil gerenciamento de prazos, custos e qualidade.

Viu-se neste trabalho que a tecnologia WLL é uma alternativa para a expansão dos serviços de telefonia fixa, contribuindo com as operadoras para o atendimento das metas de universalização e competição. A vantagem da tecnologia sem fio manifesta-se de duas formas : menores custos fixos e menor necessidade de manutenção nas instalações internas, além da facilidade apresentada por terminais *plug-and-play*, que representam velocidade de instalação e geração rápida de receitas. Pode-se dizer, então, que a rede de cabos não é mais o mal necessário.

Para o acesso à Internet viu-se que a tecnologia WLL, que utiliza a interface aérea CDMA IS-95A, funciona mas de forma ainda ineficiente, com baixas taxas de dados devido às limitações apresentadas. O componente de rádio apresenta 3 (três) características: a largura do canal de rádio-frequência, a alocação do espectro e a taxa de dados. A ITU não define os padrões de Terceira Geração (3G) em termos de largura de canal ou alocação do espectro, mas sim em relação à taxa de dados. Ainda segundo a ITU, a interface 3G será capaz de aceitar taxas de dados iguais ou superiores a 144 Kbps. Essas taxas de dados ainda não foram ofertadas comercialmente, devido aos custos e às limitações dos ambientes de rádio-frequência no mundo real. As mesmas são viáveis em redes de testes ideais, onde existe um grupo de usuários, atuando em um espectro dedicado, com mínima interferência de outras redes ou de condições geográficas inconvenientes. Entretanto, na realidade, será necessário transmitir os sinais, sob condições imperfeitas, tais como, ruído, condições geográficas intransponíveis, cobertura incompleta e congestionamento de estações. Percebe-se que as experiências efetuadas funcionam teoricamente, mas que as expectativas são limitadas.

Com o advento da tecnologia CDMA 1xRTT que irá trabalhar com velocidade estimada de 144 Kbps e comutação por pacotes, vai permitir ao usuário que assim que ele

ligar o aparelho celular e já esteja na área de cobertura, ele seja automaticamente plugado. É o que se chama de “*always-on connection*” conexão permanente das estações com a Internet e tarifação por volume de dados. O grande diferencial não está nas altas taxas de dados, porque a NTT DoCoMo oferece o i-Mode com acesso a 9.6 Kbps, mas sim na comutação por pacotes que permite um acesso por IP imediato e de baixo custo a Internet, além da quantidade de aplicações e serviços disponíveis. Vale ressaltar que, o i-Mode é uma plataforma de acesso à Internet móvel com suporte a imagens coloridas, downloads de sons (*ring tones*) e papéis de paredes animados.

Os serviços permitirão que os usuários disponham de um conteúdo mais variado, desde o comércio eletrônico, passando por informações pessoais e de negócios, incluindo-se aí, multimídia sob demanda, vídeo full-motion, modelos lógicos para serviços de localização, VoIPoW (*Voice over IP over Wireless*), entre outros, com um detalhe muito importante, tudo isto podendo ser realizado em movimento.

As dificuldades encontradas no desenvolvimento deste material se referem à complexidade da tecnologias. Por se tratar de tecnologias recentes que necessitam de amadurecimento e especificações que ainda estão em fase de revisão.

Quando foram abordados os objetivos do trabalho foram levantadas algumas questões que provocam discussões, tais como: se o computador fixo fosse substituído, por um celular, ETA ou *handset*, como aconteceria o tráfego de pacotes ? A resposta é: utilizando o padrão IS-707 com as opções de serviço #4 (9600) e #12 (14400), com pilhas SS e DS QNC. Um outro ponto importante é: quem converte os pacotes do meio guiado para o não guiado ? A resposta é: o IWF que atua como *gateway* através de um de seus componentes “CDMA Gateway NAC”. Outro ponto é: com a implementação da tecnologia 1xRTT e a evolução do protocolo IPv6, quais são as mudanças ? A resposta é: melhoria na velocidade que passaria para 144Kbps, tarifação por volume de dados, aplicações e serviços relevantes.

O principal objetivo da pesquisa foi oferecer um suporte teórico para uma tomada de decisão (escolher entre vários caminhos alternativos que levam a determinado resultado)

sobre a implementação de redes TCP/IP em ambientes móveis. Ao longo do trabalho foram abordadas alternativas para permitir que a camada de rede suporte a mobilidade. Viu-se que o TCP Indireto divide a conexão em TCP em duas conexões e apresenta isolamento do *link* sem fio, havendo entretanto, a perda da semântica do TCP proporcionando um aumento da latência quando a estação móvel muda de endereço. Já no *Snooping* TCP ocorre a inclusão de um espião que “bisbilhota” os dados e as confirmações e executa a retransmissão local, apresentando a transparência para a conexão fim-a-fim, mas encontra dificuldades em sistemas criptografados, e muitos aplicativos se utilizam deste mecanismo, colocando sob suspeita a utilização desta alternativa.

O que se percebe é que as alternativas são eficientes para certas aplicações, sendo problemáticas em outras. Dessa forma pode-se combinar os acessos, já que eles não são necessariamente exclusivos, como por exemplo, a retransmissão seletiva, que retransmite apenas os pacotes perdidos, conforme a RFC 2018 no qual o TCP pode solicitar uma retransmissão seletiva, onde o receptor reconhece os pacotes simples e não grandes seqüências de pacotes, dando condições ao transmissor de saber qual o pacote é necessário e transmiti-lo, reduzindo as requisições de banda especialmente no caso de links sem fio. Existe, porém a desvantagem de software mais complexos serem exigidos para reorganizar os dados e esperar intervalos, ou seja, um *buffer* maior.

Várias soluções foram propostas no decorrer do trabalho, acreditando-se que a alternativa apresentada com o IP Móvel como solução pode ser a mais adequada ou a que apresenta mais consistência, principalmente com a migração para o IPv6, que fornece um suporte à mobilidade e a consequente consolidação dos mecanismos do IP Móvel. Apesar de alguns problemas como o roteamento triangular, a incompatibilidade com alguns mecanismos de segurança, o *overhead* causado pelo tunelamento e novos protocolos que apresentam vantagens como a portabilidade.

Pode-se entretanto, como citado anteriormente, fazer uma combinação de acessos, como no TCP Indireto, poderia se fazer a segmentação da conexão no *foreign agent* do IP Móvel, pois o *foreign agent* controlaria a mobilidade, além de manter a conexão para

próximo *foreign agent* quando a estação móvel se movimentar. Assim, como no Snooping TCP a implementação *foreign agent* no contexto do IP móvel facilitaria o armazenamento de dados para uma rápida retransmissão no caso de perda de pacotes.

Ao desenvolver este trabalho teve-se como objetivo oferecer um texto que pudesse relacionar as principais discussões sobre a tecnologia TCP/IP em sistemas de comunicações móveis proporcionando uma visão completa, devido à vastidão de informações disponíveis, mas que seja fundamentada em um sólido conjunto de referências bibliográficas de tal forma que permita a realização de futuros estudos mais aprofundados a partir das referências citadas sobre o futuro das comunicações móveis e principalmente das aplicações a ela relacionadas, pois o maior desafio nesse início de década será prover aplicações e serviços rodando sobre as tecnologias através de sistemas de comunicações móveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SINGH, Manjit and Singh, Manoneet, “3G Wireless with Respect to IMT-2000 and Beyond”, ITU *documentation on-line* ([www.itu.int](http://www.itu.int)), February 2000.

[2] ITU 2000 *documentation on-line* ([www.itu.int/imt](http://www.itu.int/imt)), 2000.

[3] TORRES, Gabriel

*Redes de Computadores Curso Completo* / Gabriel Torres – Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2001.

[4] TANENBAUM, Andrew S.,

*Redes de Computadores* / Andrew S. Tanenbaum - Rio de Janeiro: Campus, 1997

[5] TOLEDO, Adalton Pereira de

*Redes de Acesso em Telecomunicações* / Adalton Pereira de Toledo – São Paulo : Makron Books, 2001.

[6] Site Novo Milênio, disponível em : [www.novomilenio.com.br](http://www.novomilenio.com.br) . Acesso em 08 de março de 2000 às 11:52.

[7] Vespér S.A, disponível em : [www.vesper.com.br](http://www.vesper.com.br) . Acesso em 22 de outubro de 2000 às 06:27.

[8] Site Geocities WLL Tutorial 2000, disponível em : (<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/galaxy/8883/WLL/tutorial.htm> ). Acesso em 25 de Janeiro de 2000 às 00:20.

[9] REZENDE, Eduardo

*WLL: Uma Visão de Gerência de Redes* / Eduardo Rezende – Florianópolis, 1998.

[10] SIMÕES, M.

*Wireless Local Loop Revista Nacional de Telecomunicações* / Márcio Simões – São Paulo : Junho, 1997, p. 4-28.

[11] SAWYER, P.

Série Entenda o Computador – Comunicação via Satélite. Editora Nova Cultural S.A, 1988. Ilustrações de *Peter A. Sawyer para Design Innovations, Inc. Original edition © 1986 Time-Life Books Inc.*

[12] Telecomunicações do Paraná S.A., *Telepar Celular*. Disponível em : <http://jubarte.telepar.com.br/celular/sistemas.htm>. Acesso em 26 de setembro de 2000 às 05:48.

[13] Rec. ITU-R M.6872-2, “*International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)*”, 1997.

[14] LOUREIRO, Antônio A . Ferreira

*Computação Móvel: O Paradigma Computacional da Próxima Década /* Antônio Alfredo Ferreira Loureiro, Geraldo Robson Mateus, I Escola de Informática da Sociedade Brasileira de Computação – Edição Norte, Belém, 1999.

[15] CDMA Ericsson Conceitos e Terminologia, *Manual Técnico /* Ericsson Telecom. S.A. Brasil, 1999.

[16] Nortel Networks, disponível em : <http://www.nortel.com.br> . Acesso em : 06 de Outubro de 2001 às 17:32.

[17] SOUSA, Lindeberg Barros de

*Redes de Computadores: Dados, Voz e Imagem /* Lindeberg Barros de Sousa – São Paulo: Ética, 1999.

[18] TIA/EIA/IS-707, “*Data services option standard for wideband spread spectrum digital cellular systems*” Feb.1998.

[19] 3Com. 3Com Corporation. Disponível em : <http://www.3com.com/>. Acesso em 21 de Janeiro de 2002.

[20] COMER, Douglas E.

*Interligação em rede com TCP/IP /* Douglas E. Comer – Rio de Janeiro: Campus, 1998.

[21] DIAS, Kelvin

*Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e Qos /* Kelvin Lopes Dias, Djamel Fauzi Hadj Sadok. XIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores – Florianópolis, Maio de 2001.

[22] BAY, Yong.

*TCP over IS-707* / Yong Bay, Andy Ogielski, Gang Wu. 10<sup>th</sup> International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'99) – Osaka, Japan, Sept 12-15, 1999.

[23] BAKNE

*Redes de Computadores* / Bakne e Badrinath apud Tanenbaum - Rio de Janeiro: Campus, 1997

[24] BALAKRISHAN

*Redes de Computadores* / Balakrishan et al. 1995 apud Tanenbaum - Rio de Janeiro: Campus, 1997

[25] CDG. CDMA Development Group. Disponível em : <http://www.cdg.org/>. Acesso em 24 de Janeiro de 2002.

## **BIBLIOGRAFIA**

NUNES, Luís Antônio Rizzatto,

*Manual da Monografia: Como se faz uma Monografia, uma dissertação, uma tese* / Luís Antônio Rizzatto Nunes – São Paulo: Saraiva, 2000.

SOARES, Luís Fernando G. (Luís Fernando Gomes)

*Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM* / Luís Fernando Gomes Soares, Guido Lemos, Sérgio Colcher – Rio de Janeiro: Campus, 1995.

DERFLER, Frank J.

*Como Funcionam as Redes III* / Frank J. Derfler Jr, Les Freed; [Tradução Daniel Vieira & Luis Henrique Junqueira Rezende Rodrigues]. – São Paulo: Quark Books, 1998.

WHITE, Ron

*Como Funciona o Computador III* / Ron White – São Paulo: Quark Books,