

CARLOS ALBERTO SALDANHA

**ANALISANDO A VIABILIDADE DA APLICAÇÃO
TRIPLE PLAY PARA A INCLUSÃO DIGITAL
UTILIZANDO A TECNOLOGIA WiMAX**

PUC – CAMPINAS

2007

CARLOS ALBERTO SALDANHA

**ANALISANDO A VIABILIDADE DA APLICAÇÃO
TRIPLE PLAY PARA A INCLUSÃO DIGITAL
UTILIZANDO A TECNOLOGIA WiMAX**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações, ao Programa de Pós-Graduação na área de Engenharia Elétrica, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

PUC - Campinas

2007

Este trabalho é dedicado ao meu filho, Erick, pela compreensão diante da minha ausência em todos os momentos desta pesquisa.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, pelo carinho, pela atenção e pelo incentivo na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho,
pela constante orientação, paciência e dedicação reveladas em todo o processo deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Oscar Fontanini de Carvalho,
pela motivação e colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. David Bianchini,
pela motivação, dedicação e colaboração durante as etapas desta pesquisa.

Ao Grupo de Pesquisadores da NIED/UNICAMP
pela intensa participação nos testes e aplicações desenvolvidas na escola.

Ao Laboratório Intel WCN/UNICAMP,
pelo apoio e disponibilização de toda sua infra-estrutura para a realização desta pesquisa.

À Direção, ao Corpo docente e aos alunos da Escola do Sítio,
pela compreensão, interesse e disponibilidade em oferecer toda sua infra-estrutura para que esta pesquisa fosse realizada.

Aos alunos graduandos, na pessoa de Eduardo P. Oliveira, de engenharia de telecomunicações da PUC/CAMPINAS,
pela colaboração e companheirismo demonstrados no Curso de Mestrado.

Aos alunos graduandos, Rafael, Pedro, Tatiana, de Engenharia de Computação da UNICAMP, pela colaboração e participação durante toda a pesquisa.

Aos colegas do curso de mestrado, na pessoa de Francisco Rodovalho,
pelo companheirismo na realização deste trabalho.

Estas transformações vivenciadas pela humanidade neste final de milênio estão intimamente vinculadas com o desenvolvimento das novas tecnologias da comunicação e informação. (PRETTO, 1994, p.9)

RESUMO

SALDANHA, Carlos Alberto. **Analisando a viabilidade da aplicação *triple play* para a inclusão digital, utilizando a tecnologia Wimax**. Campinas, 2007. 93f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2007.

Inclusão Digital é hoje um tema de muita preocupação, principalmente nos países denominados emergentes. No Brasil existem diversas iniciativas e experiências relativas a esse assunto, tanto por parte dos governos (Federal, Estadual e Municipal), como também por parte de ONG's e empresas privadas. O acesso à Internet Banda Larga a baixo custo tem sido uma das principais barreiras para a efetivação dessas iniciativas. O propósito do presente trabalho é definir novos conceitos e parâmetros de conexão e serviços de voz, dados e vídeo (*triple play*) em uma única conexão sem fio com foco na inclusão digital. A tecnologia de conexão sem fio (wireless) utilizada é o *World Interoperability for Microwave Access* (WiMAX), de frequência 5.8 GHz, que não requer licenciamento para a sua utilização junto a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e para o ponto de acesso, a tecnologia *wireless fidelity* (WiFi). Neste trabalho estão descritas as principais características da tecnologia WiMAX convergentes, com os novos serviços *Triple Play* para a realização de um enlace ponto-multiponto, estabelecendo-se um link para estudo de caso entre a Escola e a PUC-Campinas, para a investigação dos fatores de desempenho e aplicações. Os resultados de eficiência da rede sem fio metropolitana (WMAN) com os serviços *Triple Play* foram satisfatórios, definindo-se um novo método de predição da área de cobertura e do número de usuários.

Termos de indexação: inclusão digital; *internet* banda larga; *triple play*; WiMAX; WiFi.

ABSTRACT

SALDANHA, Carlos Alberto. **Analyzing the viability for the application of triple play for digital inclusion using a WiMAX technology.** Campinas, 2007 93f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2007.

Digital Inclusion is currently a concerning subject especially in those urgent countries. In Brazil there have been various initiatives and experiences regarding this subject, both from government parts (Federal, State and Urban) and through Non-Profitable Organizations and private companies. The approach to low-cost Broadband Internet has been one of the main barriers to the effectiveness on these initiatives. The goal of this current work is to find new concepts and connection management and voice services, data and video (triple play) in a unique wireless connection focusing on digital inclusion. The used wireless technology is the World Interoperability for Microwave Access (WiMAX), whose frequency is of 5,8 GHZ, which permission is not required for its usage along with National Telecommunication Agency (ANATEL) and to the access point, the wireless fidelity technology (Wifi). Some main convergent WiMAX technology characteristics are described in this work with new Triple Play services to hold a multipoint-point enlacement, causing an establishment to link a case study between the School and PUC-Campinas in order to investigate the performance and application factors. The results on the efficiency of metropolitan wireless network (WMAN) as well as the Triple Play services were profitable, defining a new method on prediction of coverage area and user's quantity.

Index terms: digital inclusion; broadband internet; triple play; WiMAX; Wifi.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Teledensidade na telefonia fixa	33
FIGURA 2- Classificação das redes	38
FIGURA 3 - Zona de Fresnel.....	45
FIGURA 4 - Elipsóide de Fresnel	46
FIGURA 5 - Arquitetura ponto a ponto	50
FIGURA 6 - Topologia de rede WiMAX.....	52
FIGURA 7 - Arquiteturas possíveis para <i>backhaul</i>	53
FIGURA 8 - Ciclo de vida espiral	56
FIGURA 9 - Enlace de rádio da rede WMAN	58
FIGURA 10 - Topologia da rede.....	59
FIGURA 11 - Croqui de localização e instalação da antena SU.....	60
FIGURA 12 - <i>Site Survey</i> da localização da antena SU.....	61
FIGURA 13 - Antena da estação rádio base (AU), localizada no Laboratório de Rádio Freqüência da PUC-Campinas.....	61
FIGURA 15 - Tipos de morfologia do percurso do enlace de rádio.....	63
FIGURA 16 - Predição de cobertura.....	64
FIGURA 17 - Diagrama de Irradiação	66
FIGURA 18 - Antena do usuário (SU)	68
FIGURA 19 - Linha de visada SU - AU	69
FIGURA 20 - Área de cobertura	73
FIGURA 21 - Cenários de teste com aplicações <i>Triple Play</i>	81
FIGURA 22 - Cenários dos equipamentos utilizados.....	82
FIGURA 23: Robô	83
FIGURA 24 - Os alunos se comunicam via VoIP com celular IP e telefone fixo IP enquanto controlam o movimento do robô.....	83

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 01- A convergência na transmissão de informações	25
QUADRO 02 - Estrutura de inclusão digital.....	32
QUADRO 03 - Camada MAC e física do IEEE 802.16 em detalhe.....	39
TABELA 1 - Uso dos serviços de TI: Rendimento nos EUA.....	28
TABELA 2 - Classes de Serviços WiMAX	40
TABELA 3. - Localização geográfica da antena SU	62
TABELA 4 - Especificações Alvarion.....	72
TABELA 5 - Taxas de transmissão por nível de modulação das antenas	72
TABELA 6 - Expoente de perda por caminho para diferentes ambientes.....	74
TABELA 7 - Área de cobertura	78

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Telecomunicações no mundo	27
GRÁFICO 2 - Serviços de TI por área nos EUA.....	29
GRÁFICO 3 - Acesso por renda familiar	30
GRÁFICO 4 - Barreiras de acesso a banda larga	35
GRÁFICO 5 - Tecnologia WiMAX para Transpor as barreiras de acesso	35
GRÁFICO 6 - <i>Fading</i> de escala larga e escala pequena.....	47
GRÁFICO 7 - Taxa de transferência de 10 Mbps	70
GRÁFICO 8 - Taxa de transferência de 12 Mbps	70
GRÁFICO 9 - Eficiência da rede	71
GRÁFICO 10 - NLOS perda por percurso	75
GRÁFICO 11 - Área percentual por nível de modulação	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	=	Agência Nacional de Telecomunicações.
AP	=	<i>Access point.</i>
AU	=	Unidade de acesso.
CDI	=	Comitê para Democratização da Informática.
CEFET	=	Centro Federal de Educação Tecnológica.
CPqD	=	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.
CRs	=	Rádios Cognitivos.
ERB	=	Estação Radiobase.
GPS	=	<i>Global Position System.</i>
<i>GPS</i>	=	<i>Global Position System.</i>
GPS	=	Sistema de Posicionamento Global.
ID	=	Inclusão Digital.
IEEE	=	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers.</i>
IP	=	Protocolo Internet.
IPTV	=	<i>Internet Protocol Television.</i>
ITU	=	União Internacional de Telecomunicações.
LOS	=	Com visada direta.
MIB	=	<i>Management Information Base.</i>
NLOS	=	Linha de visada.
OFDM	=	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex.</i>
RF	=	Rádio Frequência.

RNP	=	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa.
SNMP	=	<i>Simple Network Management Protocol.</i>
SNR	=	Relação sinal ruído.
SU	=	Estação do assinante.
TCP/IP	=	<i>Transmission Protocol/Internet Protocol.</i>
TICs	=	Tecnologia da Informação e das Telecomunicações (TICs).
<i>TP-I</i>	=	<i>Triple Play</i> para inclusão digital.
TPI	=	Triple Play para Inclusão.
T-R	=	Transmissor e receptor.
UDP	=	<i>User Datagram Management.</i>
UN	=	Nações Unidas.
UVB	=	<i>Ultrawide Band.</i>
VoIP	=	Voz sobre protocolo Internet.
Wi-fi	=	<i>Wireless-fidelity.</i>
WiMAX	=	<i>Wideworld Interoperability Microwave Access.</i>
WMAN	=	Rede sem fio metropolitana.
WMANs	=	<i>Wireless Metropolitan Area Networks.</i>
WRAN	=	<i>Wireless Regional Network.</i>
WSIS	=	Cúpula Mundial da Sociedade da Informação.
WWW	=	<i>World Wide Web.</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2 INCLUSÃO DIGITAL	23
2.1 <i>WiMAX – aplicações e classificações</i>	37
2.2 <i>Aplicação da tecnologia sem fio para inclusão digital</i>	40
3 PROPAGAÇÃO DE SINAIS E TOPOLOGIAS DE REDE WIRELESS	44
3.1 <i>Propagação de Sinais</i>	44
3.1.1 Espaço Livre	47
3.1.2 Modelo de Perda de Percurso - Log-Distância	48
3.1.3 Modelo de Shadowing	49
3.1.4 Topologias para redes sem fio.....	49
3.2 <i>Topologia ponto a ponto</i>	50
3.2.1 Arquitetura ponto-multiponto	50
3.2.2 Arquitetura Mesh	51
4 METODOLOGIA	54
4.1 <i>A Implantação da rede metropolitana fixa sem fio</i>	55
4.2 <i>Fases do Ciclo de Vida da Rede Wireless, WMAN/LAN</i>	59
4.2.1 Fase 1: o pré-planejamento	59
4.2.2 Fase 2: instalação e verificação	64
4.2.3 Fase 3: defeitos, correção e otimização.....	65
4.2.4 Fase 4 - Avaliação do Desempenho da Rede.....	66
5 RESULTADOS	68
5.1 <i>Rendimento da área de cobertura</i>	71
5.5.1 Percentagem da área de cobertura.....	75
5.6 <i>Contribuições e aplicações dos serviços Triple Play</i>	80
CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO

Os estudos no Brasil, sobre o tema Inclusão Digital têm crescido e despertado uma preocupação cada vez maior entre os governantes nacionais e outros membros da sociedade. Com isso, a atenção de muitos pesquisadores tem se voltado para a realização de experiências que envolvem o tema inclusão digital.

Há inúmeros projetos de Inclusão Digital, cada um apresentando alternativas com características próprias, com maior ou menor profundidade e eficácia, mas todos objetivam aplicar a Tecnologia da Informação e das Telecomunicações (TICs) para o acesso à rede mundial de computadores, a Internet, na busca pela melhoria da qualidade de vida dos cidadãos considerados excluídos digitalmente (MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, 2004).

Assim, o tema específico sobre Inclusão Digital tem passado por um longo processo de construção, fazendo com que esse objeto de pesquisa seja gradativamente estruturado, tomando forma e expressão. Para isso, foi importante investir na busca por referências necessárias para compor e dar sustentação a uma proposta de trabalho que permitisse ampliar as reflexões sobre o processo de inclusão.

O presente trabalho, no entanto, não pretende aprofundar nas complexidades que envolvem o assunto Inclusão Digital, mas sim apresentar soluções que objetivam ampliar e facilitar a utilização das TICs, com foco nos excluídos digitalmente.

Dall'Antônio (2006), no seu trabalho, "Concebendo Soluções Inovadoras para Inclusão Digital no Brasil", apresenta as principais barreiras para a Inclusão:

disponibilidade de acesso, usabilidade e acessibilidade, inteligibilidade, fruição de conteúdos e criação de conteúdos.

Entre as barreiras para o acesso à tecnologia, destacam-se os altos preços de micros e software, custo e disponibilidade de conexões em alta velocidade, além dos componentes educacionais e culturais (MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, 2004).

O Brasil, país de maior extensão territorial da América do Sul, com seus 8.511.965 Km² (SANTOS, 2006), possui apenas uma pequena faixa territorial, as regiões sul e sudeste são bem servidas com as infra-estruturas de telecomunicações (ARAÚJO, 2006), dividindo, desse modo, o Brasil em dois mundos no que se refere às questões de infra-estrutura de telecomunicações para os TICs (Tecnologia de Informação e Comunicações).

Sendo assim, a questão volta-se para certa preocupação, como a oferta de conexão a *WEB* a baixo custo, para aqueles denominados de excluídos digitalmente, num país com deficiências de infra-estrutura de telecomunicações e com alto custo de provedores de *Internet* Banda Larga. É um país em que até mesmo as classes sociais mais altas consideram caro o serviço de *Internet* Banda Larga, se comparado com à tecnologia dos países de primeiro mundo. “Aqui se paga o dobro, por um serviço mais lento e o computador custa duas vezes mais caro” (CRUZ, 2005, p. B12).

Nesse contexto, disponibilizar informação para toda a sociedade é tarefa desafiadora, pois o intuito é transpor as barreiras mencionadas, por meio da melhoria nos preços dos equipamentos, nos custos e na disponibilidade de conexões em alta velocidade, além dos componentes educacionais e culturais.

A *Internet*, uma das tecnologias que propicia a interatividade, vem deixando de ser simplesmente uma possibilidade de acesso à rede mundial de computadores e tem se transformado em uma distribuição de vídeos e telefonia de voz sobre protocolo *Internet* (VoIP) e, em algumas cidades brasileiras, as

empresas já oferecem os serviços de TV, *Internet* e Voz (*Triple Play*), agregadas a uma única conexão, cujas tarifas são bem diferenciadas.

Desta forma, o maior desafio é transpor os obstáculos das deficiências de acesso para ampliar a Inclusão Digital. Nesse contexto, as comunidades rurais e suburbanas carentes são as mais atingidas, no que tange ao acesso à *Internet*. É justamente nesse contexto que a presente pesquisa se desenvolve, objetivando apresentar novas soluções para o acesso à conexão banda larga convergente com novos serviços *Triple Play* para Inclusão (TP-I). Assim, este trabalho tem por objetivo propor soluções para o acesso sem fio (*wireless*), utilizando a tecnologia pré-WiMAX¹ para prover um novo modelo de serviço “*Triple Play*” à população de baixo poder aquisitivo e para comunidades rurais, com foco na inclusão digital.

O desenvolvimento de atividades como docente da disciplina de Física no Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso (CEFET-MT), permitiu que se percebesse a importância da Tecnologia Computacional para disponibilizar informação. Porém, os recursos oferecidos pelo computador são pouco explorados, uma vez que, na maioria das instituições de ensino, os computadores ficam, na maior parte do tempo, confinados nas salas de Informática, excluídos dos projetos pedagógicos. Além disso, as experiências profissionais vivenciadas em operadora de telefonia celular (plataforma TDMA) evidenciaram o rápido avanço sofrido nas tecnologias e a necessidade de adaptar sua infra-estrutura para que todos sejam alcançados.

Estes motivos levaram ao presente trabalho e à investigação de novas soluções concernentes às infra-estruturas de telecomunicações e às novas tecnologias para aplicações banda larga, objetivando aproximar o cidadão da informação e do conhecimento, permitindo, assim, o aumento da sua capacidade de trabalho, bem como a sua efetiva participação na sociedade.

¹ A tecnologia pré-WiMAX possui todas as características técnicas da tecnologia WiMAX e recebe essa denominação por não possuir o selo do WiMAX Fórum, mas que neste trabalho será considerada de WiMAX.

A escolha do objeto desta pesquisa partiu do estudo experimental com a tecnologia WiMAX do trabalho de iniciação científica dos alunos do curso de Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e Tecnológicas da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, orientado pelo professor Dr. Omar Carvalho Branquinho, intitulado “Qualidade de Serviços” (BRANQUINHO, 2006).

Foi utilizada para atingir a finalidade desta pesquisa, bibliografia específica, envolvendo trabalhos sobre Inclusão Digital desenvolvidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, CPqD, e nas documentações do WiMAX Fórum e do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

A proposta inicial deste trabalho era apenas levar conexão banda larga sem fio para prover acesso à *Internet*, a baixo custo, para áreas suburbanas carentes e áreas rurais, ou seja, analisar a tecnologia WiMAX e definir parâmetros para prover apenas serviços de conexão focados na Inclusão Digital. Todavia, percebeu-se que somente a conexão é insuficiente para o propósito deste trabalho. Nasceu então uma nova proposta, mais desafiadora e inovadora que, além de levar conexão à *Internet*, objetiva também prover, na mesma conexão sem fio (*wireless*), os serviços de voz, dados e vídeo.

Desta forma, para oferecer essas novas funções, optou-se pela tecnologia de conexão sem fio, denominada de WiMAX (*Wideworld Interoperability Microwave Access*), que utiliza a frequência de 5.8 GHz, sendo isenta de custos para a sua utilização. E, para o local de acesso sem fio, lançou-se mão da tecnologia *Wi-fi* (*wireless-fidelity*), também isenta de custos, para estabelecer um ponto de acesso no local a ser atendido. O conjunto desses três serviços: *Internet*, voz e vídeo em uma única conexão denomina-se *Triple Play*.

A tecnologia WiMAX, padrão IEEE 802.16, foi escolhida por ser uma nova tecnologia baseada no padrão global para acesso banda larga sem fio, equivalente ao Wifi, padrão IEEE 802.11, e que, comparado com outras soluções

cabeadas (*wireline*), como ADSL, ou outra de natureza sem fio, mesmo aos sistemas de satélites, apresenta uma série de vantagens, tais como:

- WiMAX padrão para rede mundial de interoperabilidade para acesso por microondas “*Worldwide Interoperability for Microwave Access*”;
- Capacidade de oferecer serviços com rapidez, mesmo em áreas de difícil acesso para a passagem de cabos;
- Baixo custo de instalação e menor limitação física em relação à infraestrutura *wireline*, pois oferece um *backbone* sem fio para conectar WLAN e *hotspot* à Internet, e principalmente para áreas de baixa densidade populacional, a exemplo das comunidades rurais;
- Não ter necessidade de visada direta, possuindo elevada largura de banda e sendo altamente flexível.

A tecnologia WiMax é considerada uma solução para transpor as barreiras de infra-estruturas das TICs para acesso banda larga, principalmente para os países considerados emergentes (CAYLA; COHEN; GUIGON, 2005).

A pesquisa de campo com a tecnologia WiMAX desenvolveu-se no laboratório de radiofrequências da PUC-Campinas, onde está instalada a antena AU (unidade de acesso) e, para implementar a rede metropolitana sem fio (*wireless*), WMAN, foi instalada outra antena SU (estação do assinante) na Escola do Sítio, que está a 4 Km da antena AU, localizada no distrito de Barão Geraldo, em Campinas/SP. Para o ponto de acesso local, na Escola do Sítio, foi instalada uma antena interna AP (ponto de acesso), para o acesso local sem fio, WLAN.

Não se objetiva aqui aprofundar-se nos assuntos e na complexidade da temática Inclusão Digital, principalmente no que concerne às diversas experiências, mas se pretende, frente às diversas tecnologias de conexão à Internet, apresentar, a partir de um estudo de caso real, uma solução de acesso

banda larga sem fio convergente com novos conceitos de serviços *Triple Play* para ampliar a inclusão digital.

O estudo de caso da rede 802MAN/LAN tem seu referencial teórico fundamentado nas documentações do WiMAX fórum, que é a única organização sem fins lucrativos que traz a conformidade e a interoperabilidade aos fabricantes de equipamentos banda larga sem fio, através dos seus programas de testes e certificação. Por ser uma pesquisa exploratória, a solução aqui apresentada será feita com os devidos cuidados a partir dos resultados alcançados, e as conclusões referem-se a esta delimitação.

Este trabalho foi organizado em quatro capítulos, como se segue:

O capítulo “Inclusão Digital” apresenta uma ampla visão das tecnologias aplicadas à Inclusão Digital e discute os novos conceitos referentes a esse tema no atual contexto. O objetivo é posicionar o leitor no cenário atual, dando a ele uma síntese contextualizada. Ainda neste capítulo são abordados os assuntos vinculados à Internet e aos grupos dos padrões 802, com o intuito de mostrar a importância da existência de um protocolo comum TCP/IP (*Transmission Protocol/Internet Protocol*), que possibilita a comunicação entre redes e permite o oferecimento de uma plataforma para o desenvolvimento de serviço aplicado à Inclusão.

O capítulo “Propagação de sinais e topologia de rede *wireless*” apresenta a importância da compreensão do modelo de propagação, ou seja, como a energia é transportada num meio para a predição de cobertura com a tecnologia proposta. Ainda serão discutidas as principais topologias de rede e suas principais características, e mostradas as arquiteturas básicas: ponto a ponto, ponto-multiponto e *mesh*, visando apontar as suas importâncias na definição de um projeto de rede.

No capítulo “Metodologia” foram apresentadas as fases da implementação da rede WMAN/LAN, utilizada no distrito de Barão Geraldo, onde todo o

planejamento é descrito pela metodologia denominada ciclo de vida espiral. Logo em seguida são mostrados alguns parâmetros da tecnologia WiMAX e as características das antenas utilizadas.

No capítulo “Resultados” são apresentadas análises sobre o desempenho da rede, mostradas em gráficos. Foram utilizadas as ferramentas de *software* de disparo de tráfego (IPERF) e de *script* desenvolvido para análise da estabilidade do enlace e da eficiência da rede com os serviços TP-I. Também foi definida uma expressão matemática para cálculo da cobertura e do número de usuários.

Na “Conclusão” encontram-se as considerações acerca da proposta apresentada e confrontada com os resultados obtidos. Também estão apresentadas algumas aplicações decorrentes dos serviços *Tiple Play* proposto, bem como suas perspectivas futuras.

2 INCLUSÃO DIGITAL

A *Internet* em pouco tempo tornou-se o maior repositório de informações e conhecimento e o maior meio de comunicação individual, revolucionando o processo de transmissão, recepção e conhecimento, ou seja, o processo de formação de indivíduos, função antes restrita às escolas e às universidades. Hoje, já é possível encontrar cursos à distância ou comunidades virtuais de aprendizagem colaborativa na *Internet*.

Em agosto de 1991, há 16 anos, *Tim Berners-Lee* transformou a *Internet* em um meio de publicação, criando um código denominado de *World Wide Web* (WWW). O sonho de Lee era tornar a *Internet* tanto gratuita quanto acessível a todos. O crescimento da *Web* tem sido tão espantoso e isso é comprovado diante da estimativa de que a *Web* pública tenha aproximadamente 40 bilhões de páginas, sendo, portanto, uma revolução em nosso contexto de informação. As ferramentas de busca tornaram tão corriqueiras que são as páginas mais visitadas da *Internet* (NAUGHTON, 2006).

Por outro lado, a cada ano são lançados, no mundo inteiro, novos equipamentos (terminais de usuários) e cada vez mais sofisticados, ou seja, com maior capacidade de memória para armazenar dados, ouvir música, filmar, tirar fotos, assistir a vídeos e a notícias e pagar contas. Esses são alguns exemplos de serviços oferecidos e agregados ao celular, tornando, assim, as tecnologias de telecomunicações cada vez mais onipresentes.

Essa onipresença das tecnologias de telecomunicações tem sido reforçada a cada dia, principalmente pelos avanços de novas formas de acesso à *Internet*. Características como portabilidade e mobilidade para o uso de outros equipamentos, como o telefone móvel (celular), Lap Tops e PDAs, têm sido cada vez mais oferecidas pela tecnologia de conexão sem fio (*wireless*) por exemplo, 3G *wireless* é a terceira geração de tecnologia sem fio que combina acesso móvel

de alta velocidade pelo celular com serviços baseados em Protocolo *Internet* (IP), *Wireless fidelity* (Wifi), está diretamente associado à mobilidade e à comunicação *wireless*, WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), está diretamente relacionado ao conceito de redes WMANs (*Wireless Metropolitan Area Networks*), e leva o acesso à banda larga para lugares remotos e de difícil conexão via cabo.

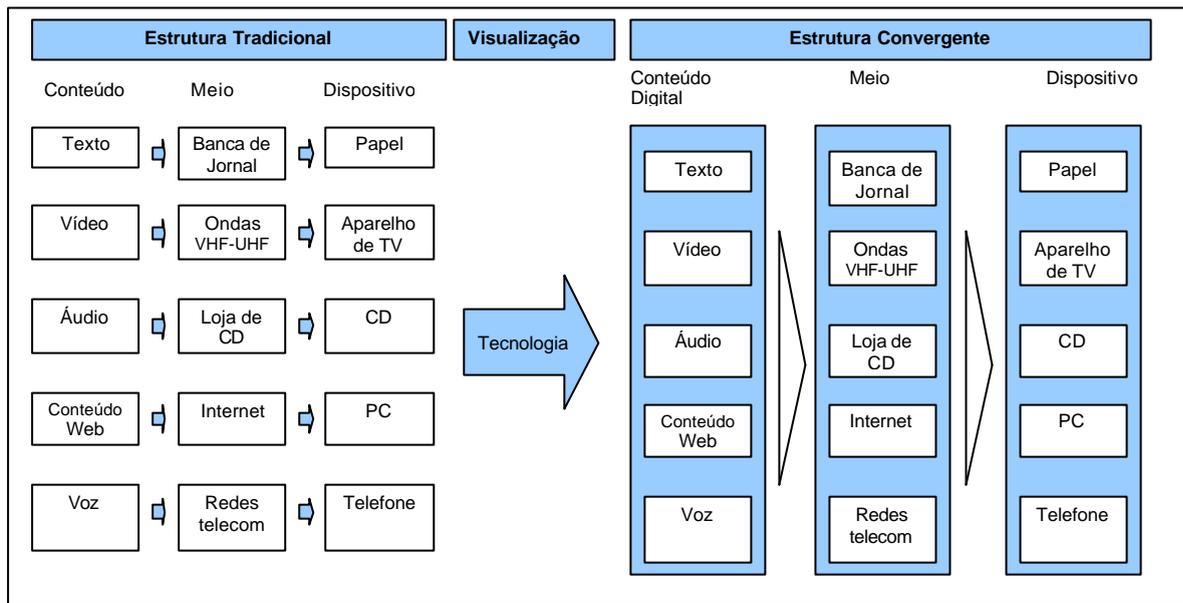
A tecnologia de conexão sem fio vem revolucionando o conceito de redes, pois hoje já podemos, em nossa residência, conectar computadores, tv, celular e videogames, utilizando as tecnologias de alta velocidade para conexão, como *Bluetooth* ou *Ultrawide Band* (UVB), consolidando, assim, um novo conceito de rede, ou seja, a *home networking*.

Outra mudança a ser considerada ainda vinculada à *Internet* é a interatividade. Assistir a TV interrompendo a programação para rever uma cena já é possível através de um sistema que permite acesso a serviços de televisão digital pela *Internet*. Esse sistema é chamado de *Internet Protocol Television* (IPTV), considerado, hoje, uma tendência mundial que pretende mudar o cenário das telecomunicações, sendo um dos componentes do *Triple Play*, que oferece três serviços (voz, vídeo e *Internet*), agregado a uma única conexão e já disponível em algumas cidades do Brasil na conexão via cabo.

Assim, hoje experimentamos, numa velocidade cada vez maior, novas formas de interação homem-máquina, propiciadas não só pela *Internet*, mas pelo uso dos protocolos de comunicação IP, que possibilitou a convergência digital, ou seja, a conexão com todos os serviços em um só equipamento e em uma única conexão banda larga com ou sem fio (*wireless*). É possível também que a voz seja digitalizada como texto e imagem e seja transmitida via *Internet Protocol* (IP), ou seja, voz sobre IP (VoIP) permitindo ligações a custos mais reduzidos ou mesmo gratuitas para qualquer parte do mundo, entre milhões de internautas, através dos serviços como *Skype*, *UOLFone*, *VoiceLine* e muitos outros.

As constantes mudanças no contexto da sociedade da informação na era da convergência digital, dos protocolos de comunicação IP e dos novos meios de acesso, é mostrada na QUADRO 01, que resume a evolução da convergência digital:

QUADRO 01- A convergência na transmissão de informações



FONTE - Araújo (2006, p.2).

A tecnologia digital possibilitou as soluções convergentes, sendo hoje um processo global inevitável. Ela que tem produzido mudanças nos paradigmas de todas as comunicações, resultando, desse modo, em benefícios para a sociedade informacional.

Um desses benefícios resultantes da convergência digital é o aumento da interatividade propiciada pela *Internet*, devido aos novos serviços agregados. Esses serviços, por promoverem interação, deveriam estar ao alcance de toda a sociedade; entretanto, como já foi dito, não é o que ocorre. É importante considerar que o conceito de Inclusão Digital, neste contexto em que as tecnologias de informação estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano e em constante mudança, não se restringe somente à familiarização com os

computadores e com o acesso à rede mundial. Há que se fazer uma reflexão e olhar para as reais necessidades do cidadão, principalmente no que concerne às novas maneiras de interação na sociedade de informação, ofertadas pela rede mundial de computadores.

A falta de infra-estrutura de telecomunicações impede que países em desenvolvimento cresçam economicamente. Em 1996, a União Internacional de Telecomunicações (ITU) iniciou um projeto em parceria com as Nações Unidas (UN), denominado “Direito à Comunicação”. Foram apontadas, nesse projeto, as reais necessidades de se providenciar acesso básico de Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para todos, delimitando-se, como objetivo, a redução da pobreza de informação nos países em desenvolvimento; tornando, assim, o principal alvo dos planos do WSIS (Cúpula Mundial da Sociedade de Informação) (CAYLA; COHEN, GUIGON, 2005).

A Cúpula Mundial da Sociedade da Informação (WSIS) foi uma série de conferências patrocinadas pelas Nações Unidas sobre Informação e Comunicação. Assim, a Sociedade da Informação formou-se entre 2003 e 2005. Um dos seus principais objetivos foi à discussão sobre como diminuir a distância entre os países ricos e os pobres no que tange ao acesso à *Internet*, ou seja, a informação e a comunicação, denominada de *digital divide*. O propósito dessa sociedade era o de prover o acesso para todos. O termo *digital divide* foi definido como sendo um acesso desigual às Tecnologias de Comunicação e Informação (TICs), na primeira WSIS (CAYLA; COHEN, GUIGON, 2005).

O GRAF. 1 mostram essa desigualdade entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento, quanto ao acesso às TICs, nos anos de 1993, 1998 e 2003.

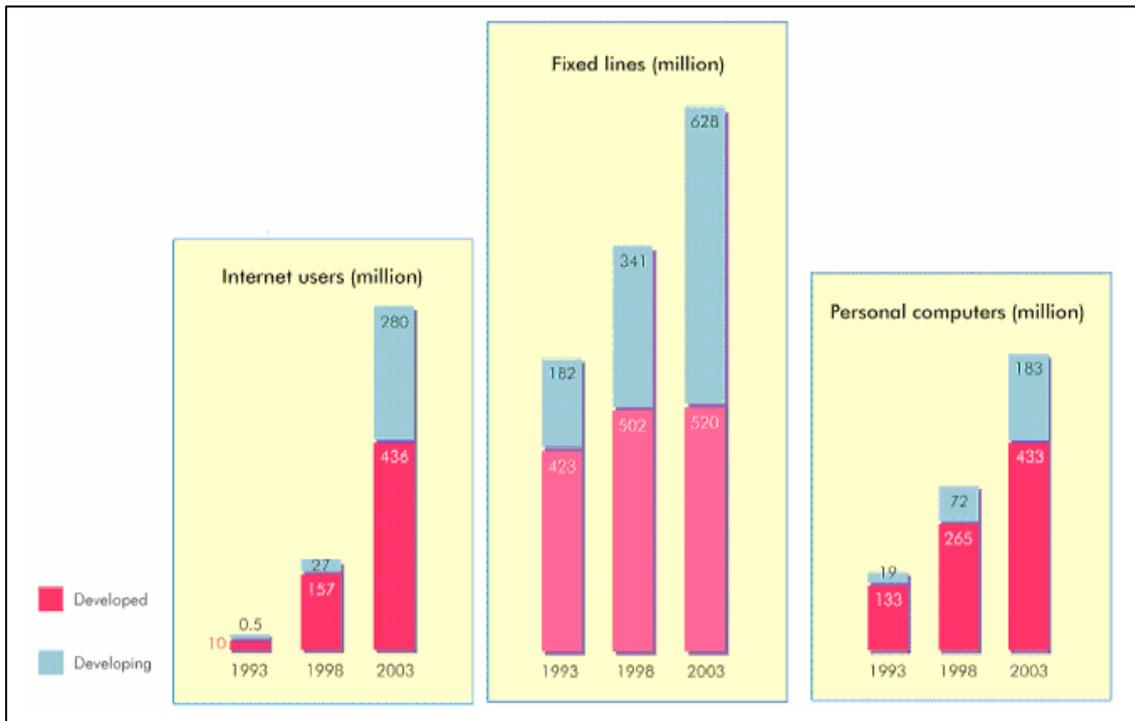


GRÁFICO 1 - Telecomunicações no mundo

FONTE - *Union Institute Tecnologic (ITU).*

O Instituto de Consumidores Americano (2006) divulgou resultados da pesquisa sobre quem usa os serviços de tecnologia de informação nos Estados Unidos. A Pesquisa dividiu os usuários por rendimento, raça, idade e densidade geográfica (urbana, suburbana e rural). Seus resultados revelaram a preferência dos consumidores pelos serviços de TV, telefone e *Internet* que sejam ofertados por um único provedor, ou seja, em uma única conexão.

Como mostra a TAB. 1, há um aumento no uso dos telefones IP (VoIP) pela *Internet*, principalmente entre os usuários considerados hispânicos, por serem imigrantes e de menor poder aquisitivo. Essa estatística revela também que, na área rural, o baixo uso da tecnologia banda larga deve-se à ausência da infra-estrutura de telecomunicações em razão da demanda.

TABELA 1 - Uso dos serviços de TI: Rendimento nos EUA.

Use of Information Technology Services: Income					
IT Service	Total	Less Than \$25,000	\$25,000 to \$49,000	\$50,000 to 74,000	Greater Than 75,000
Sample Size	1,000	169	238	182	181
Pay TV	77%	64%	79%	80%	92%
Prem. Channels*	31%	30%	27%	34%	39%
PPV - 6 months*	19%	15%	15%	25%	10%
Cellular Telephone	72%	50%	71%	82%	92%
Text Messaging*	38%	42%	37%	36%	41%
Internet Access	68%	49%	65%	78%	91%
High-speed*	61%	54%	52%	63%	77%
Dial-up*	46%	54%	56%	43%	32%
Email*	93%	94%	96%	95%	95%
Instant Messaging*	47%	51%	49%	50%	50%
Public Internet**	20%	23%	21%	21%	19%
VOIP	10%	22%	5%	10%	12%
Bundled Services	59%	59%	63%	58%	64%

FONTE - The American Consumer Institute (2006).

Como se pode observar na TAB.1, na última linha, há uma preferência dos consumidores pelos serviços de TI em uma só conexão e em um só provedor.

A pesquisa foi concluída com a informação de que é insignificante a presença do *digital divide* na sociedade americana de informação (THE AMERICAN CONSUMER INSTITUTE, 2006), como é mostrado pelo GRAF 2.

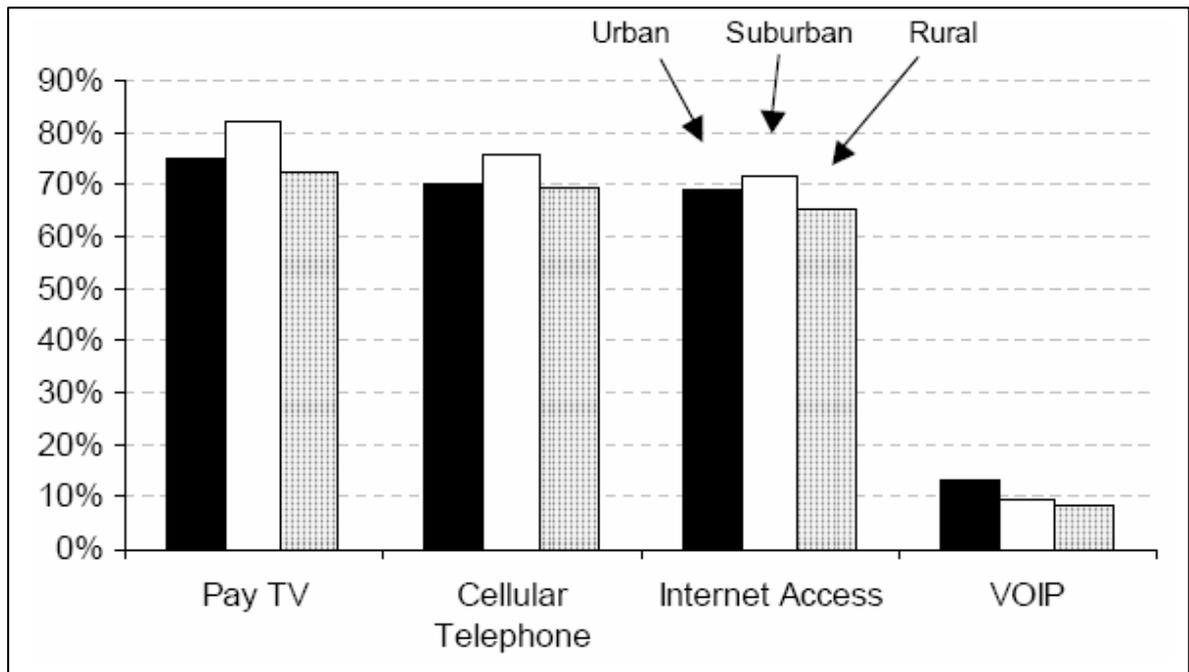


GRÁFICO 2 - Serviços de TI por área nos EUA.

FONTE - The American Consumer Institute (2006).

O GRAF. 2 mostra diferenças insignificantes no uso das tecnologias de informação e comunicação entre os usuários das áreas urbanas, suburbanas e rural na sociedade norte-americana.

No Brasil, o cenário concernente ao aspecto do *digital divide* é bem diferente ao apresentado nos Estados Unidos. Em nosso país, constata-se uma lacuna realmente grande entre as camadas sociais no que se refere ao acesso e aos desafios, conforme apontamentos feitos pelas conferências da WSIS já mencionados.

Paradoxalmente, os usuários em domicílios brasileiros passam, em média, 20 horas por semana navegando, mais do que os japoneses e americanos. No entanto, no Brasil esse privilégio é restrito às classes sociais de maior poder aquisitivo, como mostra o GRAF 2. De acordo com o *World Information Society* - da ITU, o Brasil é o 13º país em número de assinantes de *Internet* (LOIO, 2006).

Segundo Baggio (2006), são quase 150 milhões sem acesso aos computadores, contra 26 milhões dos chamados Incluídos Digitais, o que mantém o país numa posição bem próxima da Índia. Isso mostra que a informática continua sendo um privilégio de poucos e sua relação com a pobreza é direta.

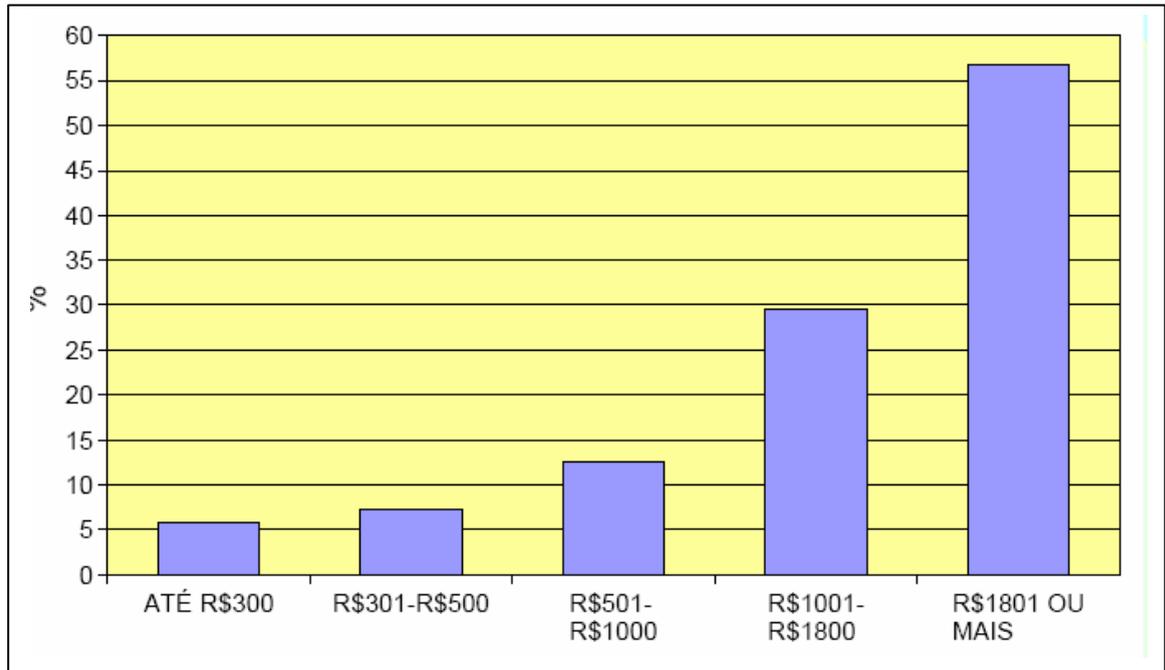


GRÁFICO 3 - Acesso por renda familiar

FONTE - LÍDER mundial... (2006).

Para tentar reduzir essa lacuna digital, a sociedade e o Estado têm se mobilizado e se preocupado com o tema Inclusão Digital. Existem inúmeros projetos de Inclusão Digital em andamento. São ações de natureza governamental e não-governamental, mas todas com o mesmo propósito: aplicar a Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para propiciar o acesso à Internet entre as camadas sociais mais carentes.

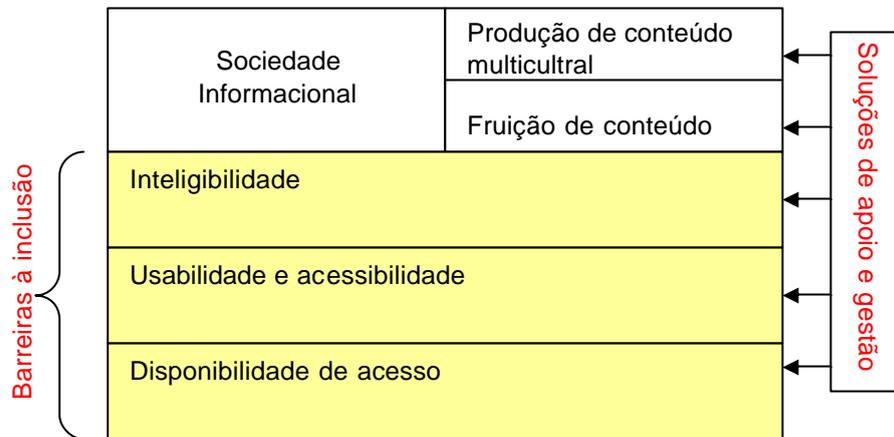
O relatório “Mapeamento de Experiências”, do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações: CPqD (2006), mapeia e seleciona as principais experiências de inclusão digital em nível nacional e internacional, apresentando as diversas opções governamentais e não-governamentais, tais como: telecentros, infocentros, cidadão digital, ações do Comitê para

Democratização da Informática (CDI). Esse órgão seleciona as experiências mais inovadoras de inclusão digital, considerando as principais barreiras de acesso à tecnologia de informação e comunicação, incluindo preços dos terminais de acesso (computadores) e disponibilidade de conexão banda larga, além de fatores culturais e educacionais.

O Governo Federal, através do Ministério das Comunicações, está desenvolvendo ações que busquem sinergia entre as diversas iniciativas de Inclusão Digital, na tentativa de desenvolver alternativas de real valor para os cidadãos, considerados excluídos digitalmente. Para tanto, firmou parceria com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), a fim de executar o projeto Soluções de Telecomunicações para Inclusão Digital (STID), que tem, por objetivo, o planejamento de alternativas para a implantação de projetos governamentais de inclusão digital por meio da avaliação e do desenvolvimento de soluções e tecnologias baseadas em serviços e plataformas de telecomunicações.

Na ótica do relatório, “Mapeamento de Soluções”, do projeto STID, o termo Inclusão Digital é empregado quando aos excluídos são oferecidas capacitações e habilidades, meios tecnológicos, recursos de usabilidade, ferramentas de acessibilidade, apoio social e institucional para que os usuários possam superar todas as barreiras e caminhar rumo ao centro participativo da sociedade informacional.

O relatório apresenta um quadro que classifica as soluções e experiências mapeadas em uma taxionomia, em que estão mostrados os níveis de acesso à sociedade informacional. Os três primeiros níveis representam as barreiras a serem transpostas para a Inclusão Digital (CPqD, 2006), como mostra o QUADRO 02.

QUADRO 02 - Estrutura de inclusão digital

FONTE - CPqD (2006).

A QUADRO 02, nível 1 - disponibilidade de acesso - refere-se às barreiras do meio físico, infra-estruturais, computacionais e de rede fundamentais para a ampliação da inclusão digital. Essa barreira de acesso remete a questões referentes à infra-estrutura de telecomunicações para as TICs, uma vez que, devido às dimensões territoriais brasileiras, há predominância da ausência de infra-estrutura na maioria das regiões, como mostra a FIG.1.

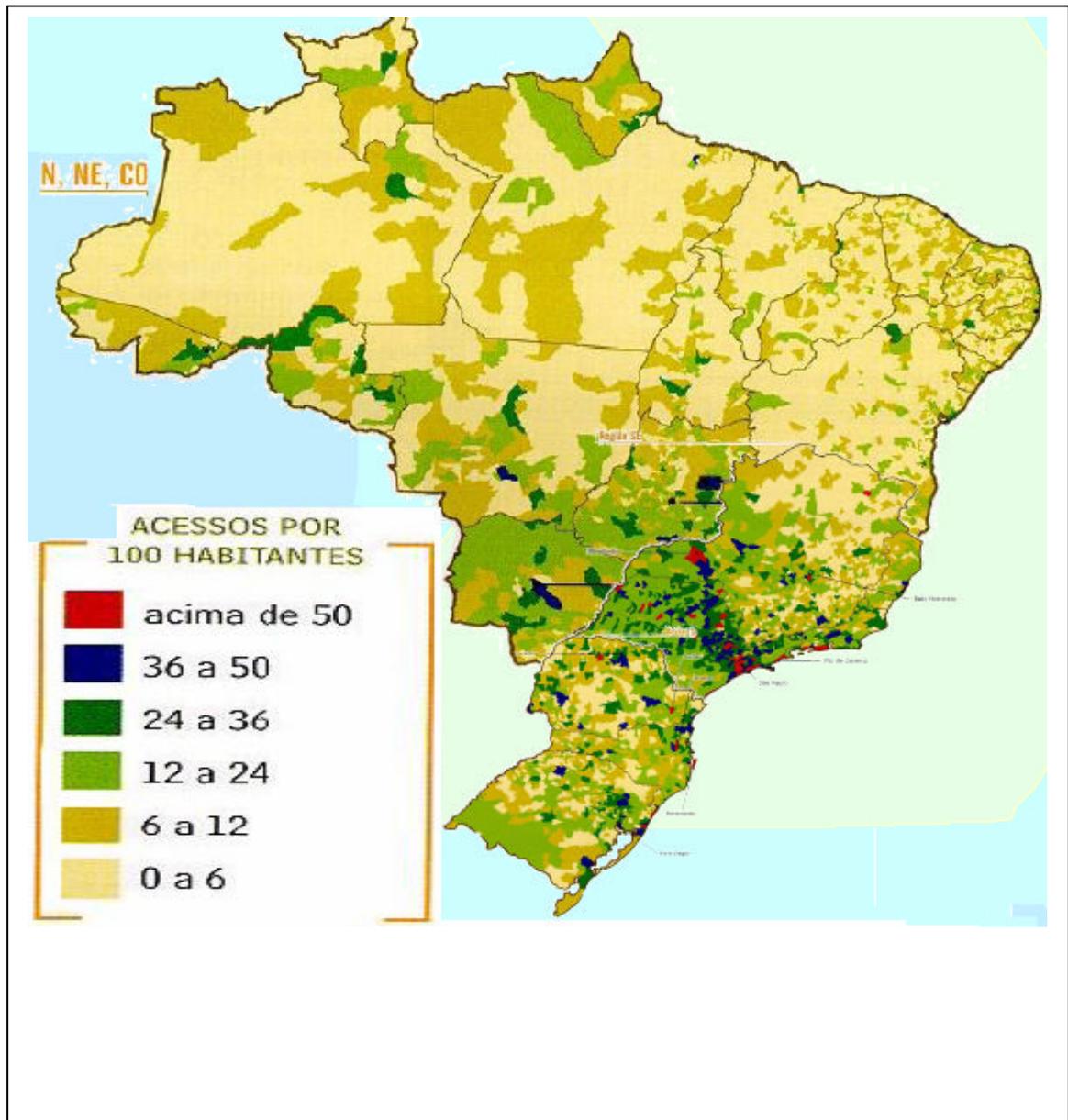


FIGURA 1 - Teledensidade na telefonia fixa

FONTE - ANATEL (2006).

Na FIG. 1 observa-se que o baixo índice de acesso nas regiões norte, nordeste e parte da região centro-oeste, deve-se ao perfil sócio-econômico da população, à baixa densidade populacional e à vasta extensão territorial. Isso contribui para a baixa demanda de telefonia fixa e, conseqüentemente, a ausência de infra-estrutura para TICs.

O CPqD (2006, p.41) apresenta, como proposta para transpor essas barreiras de acesso, o uso das:

(...) tecnologias sem fio que estão sendo cada vez mais difundidas. As tecnologias Wi-fi, Wi-Mesh e Wi-Max são baseadas em antenas que transmitem sinais que podem atingir, respectivamente, 100 metros, 500 metros e até 70km, dependendo da potência do equipamento e da topografia da localidade.

Cayla, Cohen e Guigon (2005) também apontam as principais barreiras de acesso banda larga, que são, em seu primeiro nível, o custo de distribuição (*deployment cost*) e a baixa demanda (*low demand*), como mostra o GRÁF. 4.

A infra-estrutura de rede cabeada de telecomunicações tem custo elevado quando comparada às de rede sem fio, exigindo, assim, alta demanda para o retorno de investimento. Portanto, a tecnologia WiMAX apresenta-se como solução para transpor essa ausência de infra-estrutura, devido às suas características técnicas, tais como: cobertura LOS + NLOS², desempenho, modulação adaptativa e padronização mundial.

² A condição para que um canal seja considerado sem linha de visada (NLOS) é que ele sofra dispersão por espalhamento, difração, mudança de polarização e reflexões. Esses fatores afetam a potência do sinal recebido. Quando esses fatores não estão presentes o receptor e o transmissor tem seu canal linha de visada LOS (WiMAX Fórum, 12 nov. 2006).

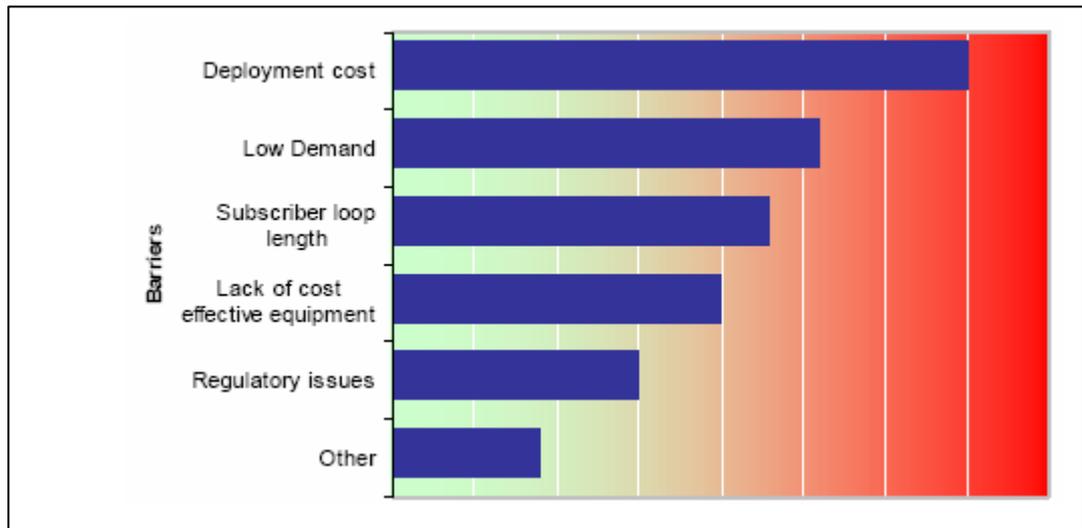


GRÁFICO 4 - Barreiras de acesso a banda larga

FONTE - Cayla; Cohen; Guigon (2005).

E apresenta, como solução, a tecnologia sem fio (*wireless*), denominada de WiMAX para transpor essas barreiras, como mostra a GRAF. 4 .

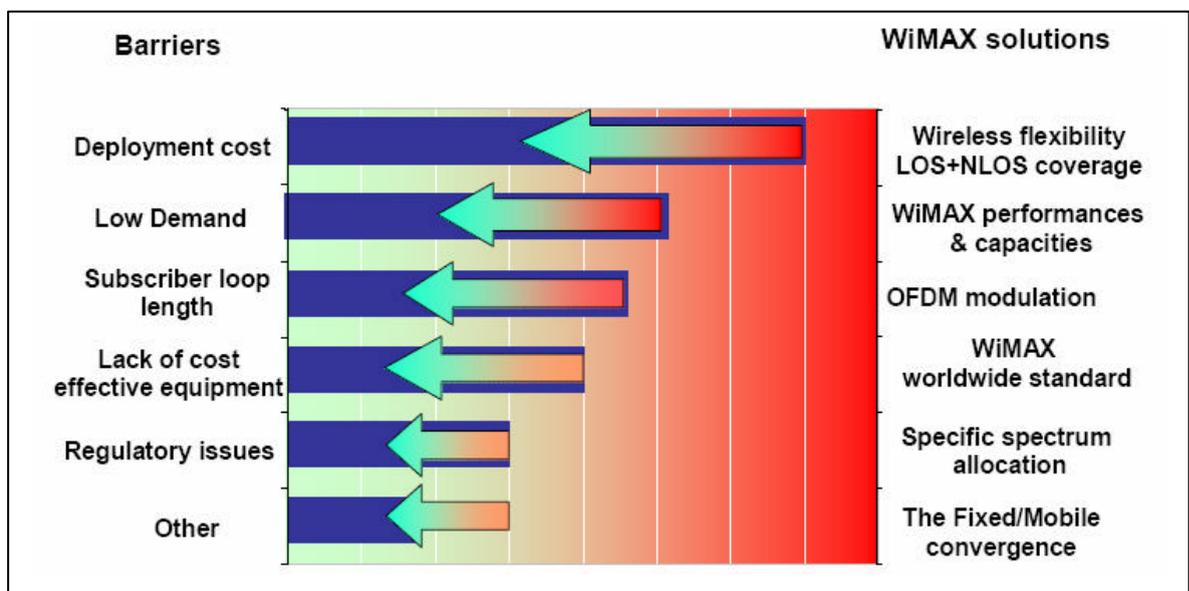


GRÁFICO 5 - Tecnologia WiMAX para Transpor as barreiras de acesso

FONTE – Cayla; Cohen; Guigon (2005).

A GRAF. 5 apresenta as barreiras que dificultam a inclusão digital tal como o custo de infra-estrutura de telecomunicações frente à baixa demanda como aponta STID do CPqD, mencionado anteriormente, e apresenta, como solução para transpor essas barreiras, a tecnologia WiMAX.

No Brasil, dentre as diversas experiências de inclusão digital que fazem uso da tecnologia sem fio, destaca-se o Projeto Cidade Digital de Ouro Preto – que utiliza a tecnologia WiMAX para acesso à Internet, coordenado pela Universidade Federal de Ouro Preto e implantado em 2005. Esse projeto foi desenvolvido em conjunto com o MEC. Os parceiros são: a INTEL (a maior fabricante de semicondutores do Mundo), a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), a prefeitura de Ouro Preto, a ANATEL, a Fundação Gorceix e a operadora de telefonia TELEMAR (CAVALCANTI, 2005).

No que se refere à disponibilidade de acesso, este projeto apresenta uma nova concepção para a ampliação da cobertura geográfica por meio do uso da tecnologia WiMAX, como demonstra o relatório “Mapeamento de Experiências”, do CPqD (2006, p.20). O relatório classifica essa tecnologia como uma inovação em relação às outras soluções existentes, principalmente para o atendimento às necessidades de prover acesso em regiões rurais e remotas “tanto pela flexibilidade técnica em proporcionar uma grande variedade de configurações, como também, pelo potencial de baixo custo de implantação”.

Diante de tais constatações, este trabalho apresenta, como proposta, a utilização da tecnologia WiMAX para prover os serviços de voz, *Internet* e vídeo, denominado *Triple Play*, por meio da implantação da rede metropolitana sem fio (WiMAN), contribuindo, assim, com a ampliação dos novos serviços de TI para a Inclusão Digital, não se restringindo somente ao acesso à rede mundial de computadores (*Internet*).

2.1 WiMAX – aplicações e classificações

Em agosto de 1998, o comitê formado para a criação e para o estabelecimento de padrões (IEEE), criou o grupo de trabalho para o acesso banda larga sem fio, IEEE 802 número 16. Esse comitê é assim denominado, porque foi criado em fevereiro de 1980 e, em agosto de 2002, foram publicadas as especificações para a interface área das redes WMAN.

Na mesma linha da tecnologia Wi-Fi, o IEEE, por meio do padrão IEEE 802.16, vem especificando as bases da tecnologia WiMAX, que inicialmente atenderia apenas às faixas de frequência de 10 Ghz a 66 Ghz. Operando somente com visada direta (LOS) limitando, assim, o alcance do usuário, o *throughput*³, que é suscetível a interferências. Esses fatores limitam o uso dessa tecnologia, principalmente para áreas urbanas e de difícil acesso.

Para superar essas limitações, o IEEE publicou, em 2003, a versão 802.16a, que especifica a operação nas faixas entre 2 e 11 GHz, incluindo as bandas licenciadas e não licenciadas, sem a necessidade de linha de visada (NLOS).

A FIG. 2 apresenta o posicionamento de cada um dos padrões de acesso sem fio (*wireless*):

³ Medida da velocidade com que os dados cruzam um ponto ou uma rede, ou seja, é a quantidade de *bits* que passam em um ponto ou uma rede por segundo (SILVA, 2006, p. 94).

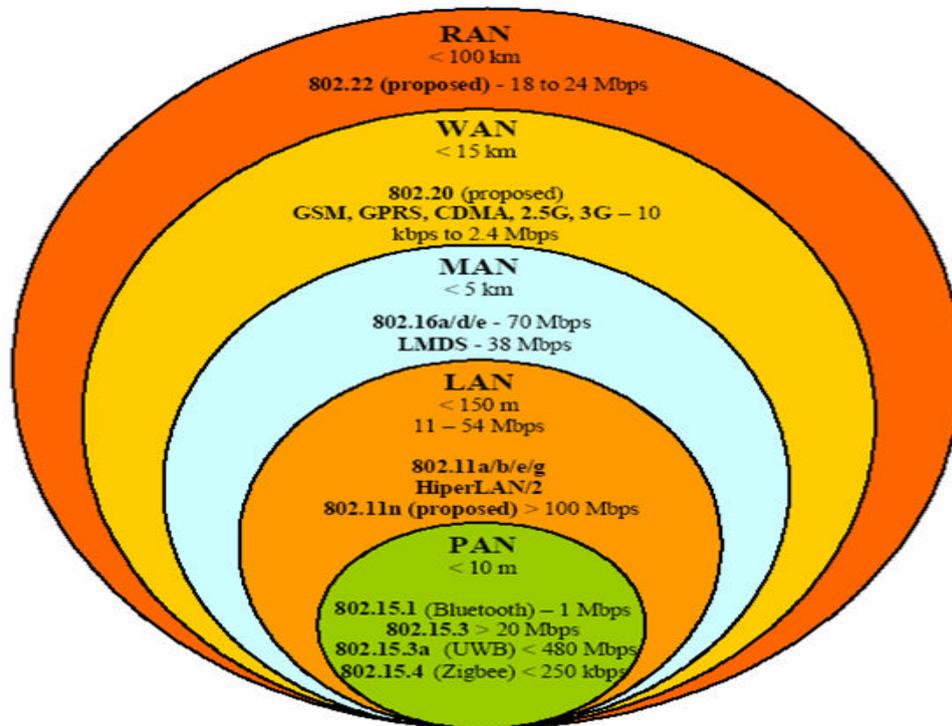


FIGURA 2- Classificação das redes

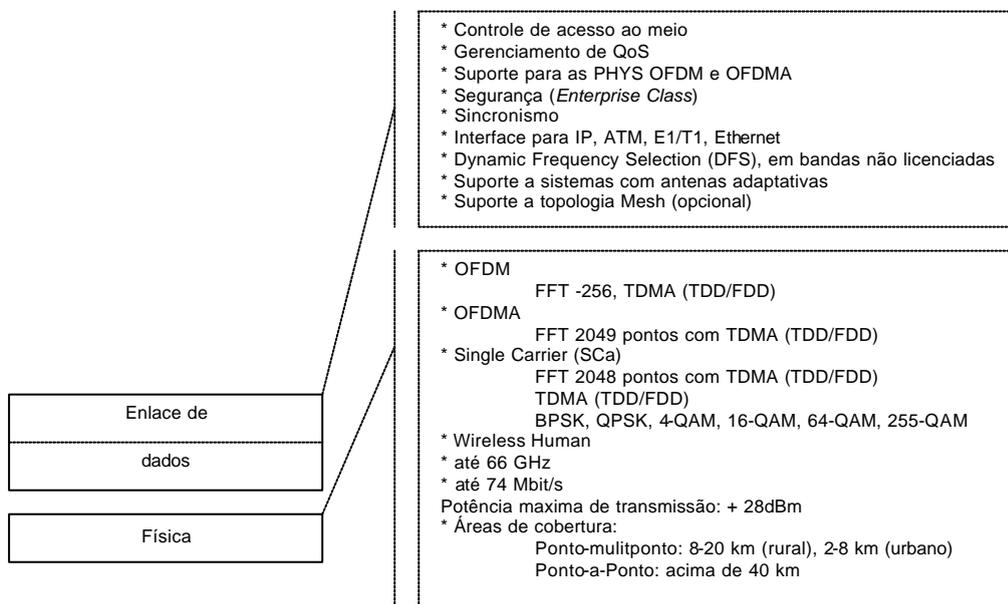
FONTE - Cordeiro (2006, p.4).

A FIG. 2 mostra as classificações das redes, os padrões, o alcance e seus respectivos *throughput*. A implementação WiMAX (WMAN) tem os padrões 802.16a/d/e, com taxa de até 70 Mbps. No topo da figura é apresentado o padrão 802.22, com conceito de *Wireless Regional Network* (WRAN), que está em processo de definição. Essa tecnologia tem padrão baseado na interface, área dos chamados Rádios Cognitivos (CRs), que utilizam a faixa ociosa de freqüência de TV. O que possibilitará as aplicações futuras de acesso banda larga sem fio para longas distâncias, com taxas de 18 a 24 Mbps.

A implementação WiMAX, para operar sem linha de visada (NLOS) em freqüências inferiores a 11 GHz, utilizam a camada física e a camada MAC para acomodar o meio sem fio. A camada MAC tem a função de controle de acesso ao meio e de garantia do nível de QoS na interface aérea. A camada física inclui a modulação *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM), que representa um

elemento fundamental para suportar a operação NLOS, e emprega o esquema de modulação adaptativa, quais sejam, 64 QAM, 16 QAM, QPSK e BPSK; as configurações de multiplexação por divisão de tempo (TDD), onde o *uplink* e o *dowlink* dividem o canal, mas não transmitem simultaneamente; a multiplexação por divisão de frequência (FDD), onde o *uplink* e o *dowlink* estão em canais diferentes e podem operar concorrentemente. O QUADRO 3 mostra os detalhes das camadas MAC e física dessa tecnologia.

QUADRO 3 - Camada MAC e física do IEEE 802.16 em detalhe.



FONTE - Ohrtman (2005, p.15).

O QUADRO 3 apresenta os detalhes da camada física, tais como o espectro de frequência, o esquema de modulação, as técnicas de correção de erro, a sincronização entre o transmissor e o receptor, taxa de dados e a estrutura de multiplexação. A camada física define vários esquemas de modulação, dependendo das distâncias envolvidas e, conseqüentemente, da relação sinal/ruído. Acima dessa camada estão as funções associadas aos serviços oferecidos aos usuários. Essas funções incluem a transmissão de dados em *frames* e o controle do acesso ao meio sem fio compartilhado, sendo estes

agrupados dentro da camada de acesso ao meio (MAC). O protocolo MAC também define como e quando a estação base ou os assinantes podem iniciar a transmissão no canal.

A TAB. 2 apresenta, de acordo com o WiMAX Fórum (2006a), os vários tipos de serviços que são atendidos por ela.

TABELA 2 - Classes de Serviços WiMAX

Class Description	Real time?	Application Type	Bandwidth
VoIP, Streaming Media	Yes	VoIP	4 - 64 kbps
		Video	20 – 384 Kbps
Information Technology	No	Instant messaging	< 250byte messages
		Web Browsing	> 500 kbps
		Email (with attachments)	> 500 kbps

FONTE – WiMax Forum, (24 out. 2005). - (adaptado).

A TAB. 2 mostra *throughput* para cada tipo de serviço da tecnologia e é de fundamental importância para a aplicação TP-I.

2.2 Aplicação da tecnologia sem fio para inclusão digital

É importante, antes de tudo, compreender o que realmente é necessário para garantir a inclusão digital. Será que a distribuição de informação, como é feito atualmente pelas TVs, promove a inclusão digital? Esse tema começa aqui a ser repensado a partir do momento em que se verificou a necessidade de se fazer reflexão sobre o que realmente interessa ser enviado de um lado para outro, num processo de interatividade, de forma a garantir um mínimo de inclusão.

Dessa maneira, num país como o Brasil seria útil e mesmo necessário, introduzir o conceito de *triple play* para a Inclusão digital, conforme Saldanha, Branquinho e Fontanini (2006, p.1)

(...) num país com deficiências de infra-estrutura de telecomunicações e com o alto custo dos provedores de Internet Banda Larga (...) oferecer novos conceitos de conexão e serviços que atendam à disseminação das informações *Triple Play* (conjunto de voz, dados e vídeo em uma única conexão), a custo baixo, através de redes metropolitanas e locais sem fio, além de sugerir metodologias para o desenvolvimento de aplicações orientadas a tal infra-estrutura. (...) É um instrumento facilitador para o dia-a-dia da sociedade em geral e exerce papel vital para o acesso à informação (...)

Analisando cada um desses serviços de TP-I, temos primeiramente o acesso a dados que podemos identificar como acesso à *Internet*.

Qual a motivação para acessar a *Internet*? Como sabemos, ela é o grande repositório de informação de todos os tipos. No entanto, é preciso garantir que essas informações sejam direcionadas de forma eficiente para assegurar um acesso à *Internet* que efetivamente promova a Inclusão. Do ponto de vista puramente técnico, como analisado aqui, uma taxa de algumas dezenas de *Kbits* por segundo seria suficiente para prover acesso, com certo conforto, à *Internet*. O meio de conexão deveria garantir possibilidade de gerência de largura de banda para esse tipo de serviço.

Segundo Ohrtman (2004), o outro serviço que hoje ainda está restrito a algumas camadas sociais é a comunicação de voz. Através de redes IEEE 802 (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) é possível facilmente prover Voz sobre Protocolo IP (VoIP), ou seja, garantir comunicação de voz para os usuários que estejam interligadas à rede. Essa possibilidade poderia propiciar uma radical mudança no cotidiano dos usuários. Do ponto de vista técnico, fazer comunicação de voz pela *Internet* requer uma taxa de transmissão em *bits* por segundo bastante baixo, como algo em torno de 10 Kbps (SILVA, 2004).

Finalmente, temos o serviço que mais se aproxima da forma como nós seres humanos nos comunicamos, ou seja, utilizando voz e imagem. Nesse caso, temos que ter em mente que ainda hoje não existe, de forma intensa, esse tipo de serviço para a comunicação entre as pessoas e, mesmo na TV convencional, o retorno dos telespectadores é feito via outras formas de comunicação, a exemplo os *reality show*⁴ que utilizam-se da *Internet*, da telefonia fixa e móvel para obter a interação. Para preencher essa lacuna, temos o IPTV, que é, a princípio, a disponibilização de TV nos moldes como conhecemos na *Internet*. Porém, só distribuir sinal de TV não será, de maneira alguma, uma forma de Inclusão.

Diante disso, cabe aqui, então, utilizar uma tecnologia de ponta para prover acesso à informação de vídeo que efetivamente tenha conteúdo e signifique Inclusão. Os usuários devem, de alguma forma, ser motivados a utilizar o sistema através de conteúdos que efetivamente sejam interessantes e promovam o bem comum. A transmissão de vídeo pela rede TCP/IP requer uma banda razoável, conforme mostra a TAB 2. (p.39). Além disso, a estabilidade da rede, quanto ao volume de tráfego, deve atender aos requisitos que permitam que os conteúdos sejam oferecidos de forma contínua.

É interessante notar que, numa rede TCP/IP, é inerente o canal de retorno que não acontece na TV-Digital. Tecnicamente falando, é possível prover no ponto de acesso uma câmera de vídeo de baixo custo que capte imagens, transferindo-as de modo quase instantâneo para o computador (*WebCam*), e fazê-las chegar a algum destino de interesse.

Experimentamos, assim, uma grande quebra de paradigma, uma vez que a IPTV difere radicalmente da TV convencional. Do ponto de vista técnico, a taxa de dados a serem transmitidos é um ponto que necessita ser tratado com bastante critério.

⁴ É um tipo de programa televisivo apoiado na vida real. Exemplo deste é o programa mundialmente conhecido, *Big Brother* criado em 1999 por John de Mol e inspirado no livro de George Orwell, 1984. (REALITY SHOW, 2006).

De acordo com Silva (2004), a transmissão de imagens com alta qualidade requer uma taxa de transmissão de dados da ordem de 100 Kbps a 1 Mbps. Assim é possível oferecer este serviço com qualidade para a inclusão digital.

Para tanto, em transmissões de vídeo *streaming*, que poderiam ser encaradas como uma pré-IPTV, temos taxas de algumas dezenas de bits por segundo.

Chegamos, dessa maneira, a uma definição de um perfil de utilização dos usuários, tendo como foco a inclusão. Não é possível aqui estipular de forma precisa qual a banda necessária, porém podemos inferir que é preciso qualidade suficiente para passar de uma forma inteligível os conteúdos, sejam na forma de voz ou de dados. Aliás, a própria telefonia convencional se baseia em qualidade de voz suficiente para inteligibilidade (300 a 3400 Hz). Dentro dessa premissa, devemos definir o perfil de tráfego em funções das aplicações. Para isso, foi desenvolvida uma forma de qualificar a necessidade da largura de banda para um determinado conjunto de serviços (MENON, 2006).

Considerando que o perfil dos novos usuários serão os excluídos digitalmente, há necessidade de se estabelecer parâmetros de requisitos, como, por exemplo, podemos oferecer os serviços *Triple Play* em locais públicos, como escolas, centros comunitários, associações, prefeituras, etc.

Para a utilização do TP-I, com a tecnologia proposta, o WiMAX Fórum apresenta a largura de banda para as aplicações *Triple Play* conforme a TAB. 2. Portanto, levando em consideração o tempo médio de acesso dos internautas brasileiros, balizados pelas classes sociais A e B, e também pela largura de banda disponibilizada pela tecnologia WiMAX, o TP-I pode ser perfeitamente aplicado para prover a inclusão das classes sociais dos níveis C, D e E.

3 PROPAGAÇÃO DE SINAIS E TOPOLOGIAS DE REDE WIRELESS

3.1 Propagação de Sinais

Para a predição de cobertura do sinal transmitido, é essencial a compreensão do modelo de propagação, ou seja, de como a energia é transportada ao longo do meio.

Em todos os ambientes, encontramos os seguintes mecanismos de propagação: reflexão, difração e espalhamento. Mas, segundo Smith e Gervelis (1996), um modelo de propagação para a predição de cobertura necessita ser decomposto em muitas variáveis e que tem impacto direto na predição de cobertura da Estação Radiobase (ERB) de Rádio Freqüência (RF). A priori, podemos considerar os seguintes fatores que afetam a cobertura: entre os positivos, citamos as sensibilidades do receptor, a potência transmitida, o ganho das antenas e a altura da antena; entre os negativos, temos a falta de visada, a morfologia do terreno, a vegetação, os prédios, os ruídos elétricos, o ruído natural, a ineficiência e a distorção do modelo da antena.

Um conceito importante é o conceito de visibilidade. Um enlace de rádio é considerado visível se não houver obstrução. Para se determinar se no enlace há ou não obstrução, é necessário calcular os limites da primeira zona de Fresnel. A FIG.3 mostra essa região.

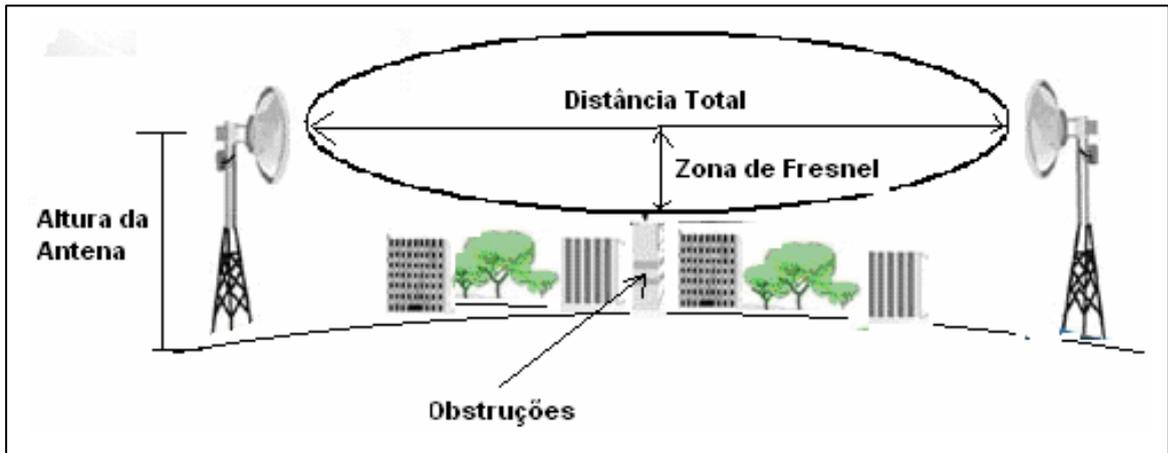


FIGURA 3 - Zona de Fresnel

FONTE - Rodrigues (2006). – (adaptado).

A primeira zona de Fresnel é a região de maior concentração de energia, e é nessa região que é definido se o enlace está em visibilidade ou não, pois se houver obstáculo que bloqueie 60% da energia que flui pela primeira zona de Fresnel, esse enlace não é considerado mais em visibilidade e, conseqüentemente, estará sujeito à difração (WiMAX FORUM, 20 ago. 2006)

Os cálculos matemáticos demonstram que as zonas de Fresnel fornecem, alternadamente, contribuições correspondentes a interferências construtivas e destrutivas, Rappaport (1996, p. 91), A expressão 3.1 define o raio de um elipsóide de ordem n , para uma frente de onda de comprimento λ , a uma distância d_1 do transmissor e d_2 do receptor, como mostra a FIG. 4.

$$h = r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad 3.1$$

Essa expressão é válida para $d_1, d_2 \gg r_n$.

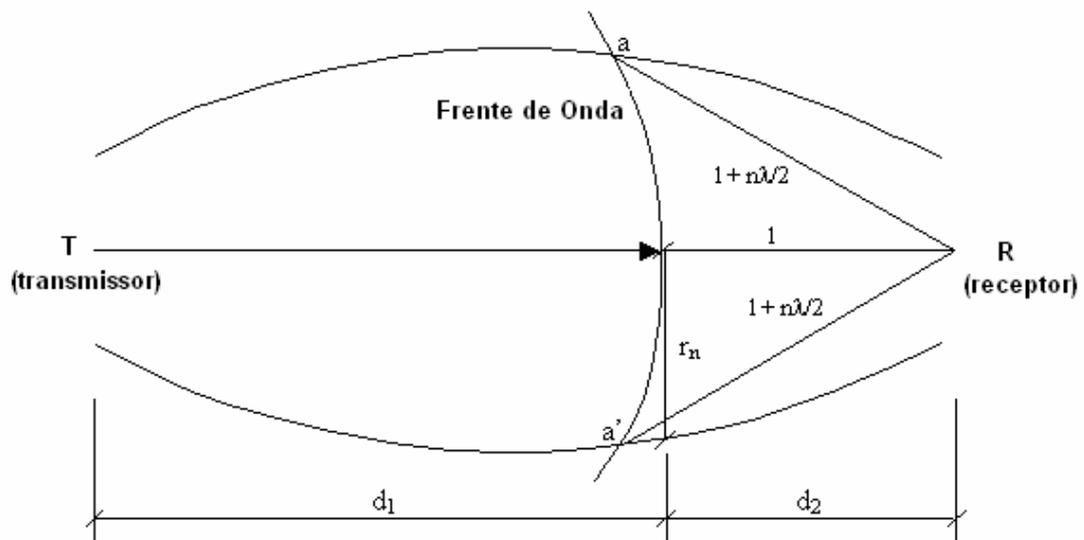


FIGURA 4 - Elipsóide de Fresnel

FONTE - Rodrigues (2006). – (adaptado).

O raio da zona de Fresnel depende da frequência da onda e, para as frequências altas, o raio da zona de Fresnel é menor. Aumentando a distância entre transmissor e receptor (T-R), aumenta o raio, sendo necessário aumentar a altura das antenas para uma linha de visada direta.

Vários modelos de propagação têm sido desenvolvidos para prever a potência do sinal para os mais variados ambientes de recepção. Esses modelos podem ser categorizados em Modelos de propagação de larga escala, e modelo *fading*, de pequena escala, conforme a GRAF. 6. O modelo de propagação de larga escala tenta modelar a média da intensidade do sinal para qualquer distância entre o transmissor e o receptor, tentando estimar a área de cobertura do transmissor. O modelo *fading* de pequena escala considera a variação da potência do sinal para pequenas distâncias (da ordem do comprimento de onda) ou sobre períodos de tempos muito pequenos (da ordem de segundos). (RANIWALA; CHIUEH, 2006).

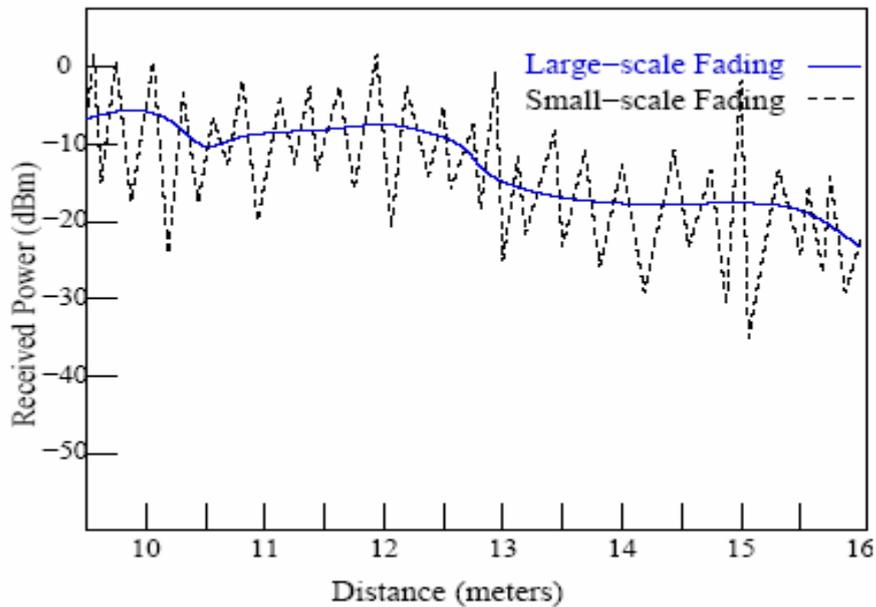


GRÁFICO 6 - *Fading* de escala larga e escala pequena.

FONTE - Raniwala (2006, p.15).

O GRAF. 6 mostra a potência do sinal variando com a distância. A curva em linha cheia corresponde à média da potência do sinal variando com a distância, enquanto que a curva tracejada mostra a potência do sinal variando em pequena escala.

Segundo Rappaport (1996), como a maioria dos modelos de larga escala de propagação da onda de rádio, o modelo de espaço livre prediz que a potência do sinal recebido decai como uma função da distância de separação entre o transmissor e o receptor.

Este trabalho propõe utilizar o modelo de propagação do espaço livre para prever a área de cobertura da tecnologia proposta.

3.1.1 Espaço livre

Para cálculos de atenuação dos enlaces de rádio é muito utilizada a equação em espaço livre, que leva em consideração os ganhos das antenas.

Logo, a potência recebida por uma antena no espaço livre, separada por uma distância da antena transmissora, é dada pela equação de Friis, (RAPPAPORT,1996).

$$Pr = \frac{Pt.Gt.Gr.L^2}{(4\pi)^2 .d_0^2 .L} \quad [3.2]$$

Onde Pr é a potência recebida em função da separação T-R (transmissor e receptor), Gt é o ganho da antena transmissora, Gr é o ganho da antena receptora, da distância de separação entra T-R em metros, L é o fator perda do sistema de hardware (L=1) e λ é o comprimento de onda em metros.

$$\lambda = c/f \quad [3.3]$$

3.1.2 Modelo de perda de percurso - Log-Distância

Medidas realizadas indicam que a potência média recebida decresce logaritmicamente com a distância. (RAPPAPORT, 1996).

$$\overline{Pr}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^{-\beta} \quad [3.4] \quad \text{ou} \quad \overline{Pr}_{db} = \overline{Pr}_{db0} - 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad [3.5]$$

Onde β (beta) é o expoente de perda de percurso que indica a taxa, o qual aumenta a perda de percurso com a distância, d_0 é a distância de referência medida próxima da ERB, e d é a distância de separação T-R.

O valor do expoente β depende do ambiente de propagação. De acordo com Rappaport (1999), o fator β para o espaço livre é igual a 2, para regiões

urbanas com visada direta assume valores entre 3 e 5, e para regiões obstruídas de 4 a 6. (RAPPAPORT, 1999, p.104).

3.1.3 Modelo de Shadowing

A potência do sinal atenua aleatoriamente com a distância, quando o meio inclui obstruções. Assim, se duas localizações têm diferentes ambientes (relevo, prédios, árvores, etc), então as variações do sinal serão também diferentes. Este comportamento é denominado de Shadowing. As medidas indicam que a perda de percurso é aleatória e obedece a uma distribuição log-normal. Portanto, a Equação [3.6] é alterada e denominada de log normal de Shadowing.

$$\Pr(d) = \Pr(d_0) - 10b \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mathbf{x}_{dB} \quad [3.6]$$

Onde c_{dB} é a variável aleatória log-normal com a média zero e desvio padrão s_{dB} . O desvio padrão s_{dB} também é chamado de desvio Shadowing, o qual é utilizado para simular o efeito aleatório Shadowing em uma certa distância pré-determinada.

3.1.4 Topologias para redes sem fio

Decidir qual a topologia a ser utilizada no início do projeto de rede é de fundamental importância. O padrão 802.16 foi projetado para topologias ponto-multiponto, mas a sua variação, ou seja, o padrão 802.16a, também suporta a topologia *mesh*.

Portanto, o conhecimento das características dessas topologias torna-se importante, pois irá auxiliar na decisão e na avaliação sobre qual será a melhor alternativa para o projeto de rede que se deseja implantar. De maneira geral, as topologias básicas de rede são: ponto-a-ponto, ponto-multiponto e *mesh*.

3.2 Topologia ponto a ponto

Na topologia ponto-a-ponto há conexões dedicadas que atendem isoladamente a um único usuário. Em consequência disso há uma maior banda passante. Essa é uma topologia menos escalável, uma vez que há pouca facilidade de adição de novos nós na rede. A figura a seguir apresenta uma arquitetura de rede ponto a ponto.

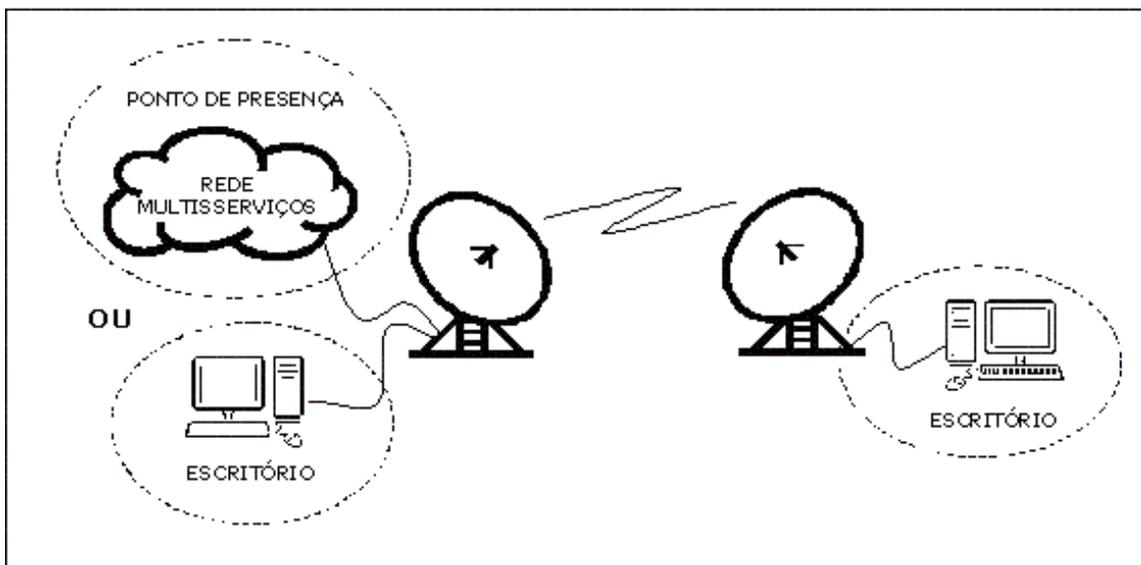


FIGURA 5 - Arquitetura ponto a ponto

FONTE - OLIVEIRA; BERNAL FILHO (2003)

Como mostra a FIG. 5, os rádios têm suas antenas diretivas que interligam dois pontos, por exemplo dois escritórios de uma mesma companhia.

3.2.1 Arquitetura ponto-multiponto

Nesta arquitetura é possível atender a vários usuários simultaneamente a partir de um único ponto que é estrategicamente posicionado para cobrir uma área de interesse de atendimento, bem como oferecer a vantagem de menor custo e facilidade de adição de nós, mas com menor banda passante.

A FIG. 5 mostra a arquitetura ponto multiponto especificada pelo IEEE 802.16a, onde estão definidos os elementos Unidade de Acesso (AU) e Unidade do Assinante (SU). A Unidade de Acesso realiza a interface entre a rede sem fio e uma rede-núcleo (*Core Network*), suportando interfaces IP, ATM, *Ethernet* ou E1. A SU permite ao usuário acessar a rede por intermédio do estabelecimento de enlaces com a AU, em uma topologia ponto multiponto (FIGUEIREDO, 2006).

3.2.2 Arquitetura *mesh*

Na arquitetura ponto multiponto, o tráfego ocorre entre a estação base e os assinantes, e vice-versa. Já na arquitetura *mesh*, o tráfego pode ser roteado através de outros assinantes, podendo também ocorrer diretamente entre assinantes.

Na rede de arquitetura *mesh*, um sistema que tenha uma conexão direta com serviços de *backhaul* (concentração de tráfego em pontos da rede sem fio) fora da rede, é denominado de estação *mesh*. Todos os sistemas restantes da rede *mesh* são denominados de “assinantes *mesh*”. A FIG. 6 mostra-nos a SU conectando-se com uma ou mais SUs, até atingir a AU. Esse tipo de rede *multihop* representa uma estratégia que faz aumentar a cobertura da rede sem a necessidade de se adicionar mais AUs, o que representa uma economia nos custos de implantação, uma vez que as SUs têm custo menor que as AUs.

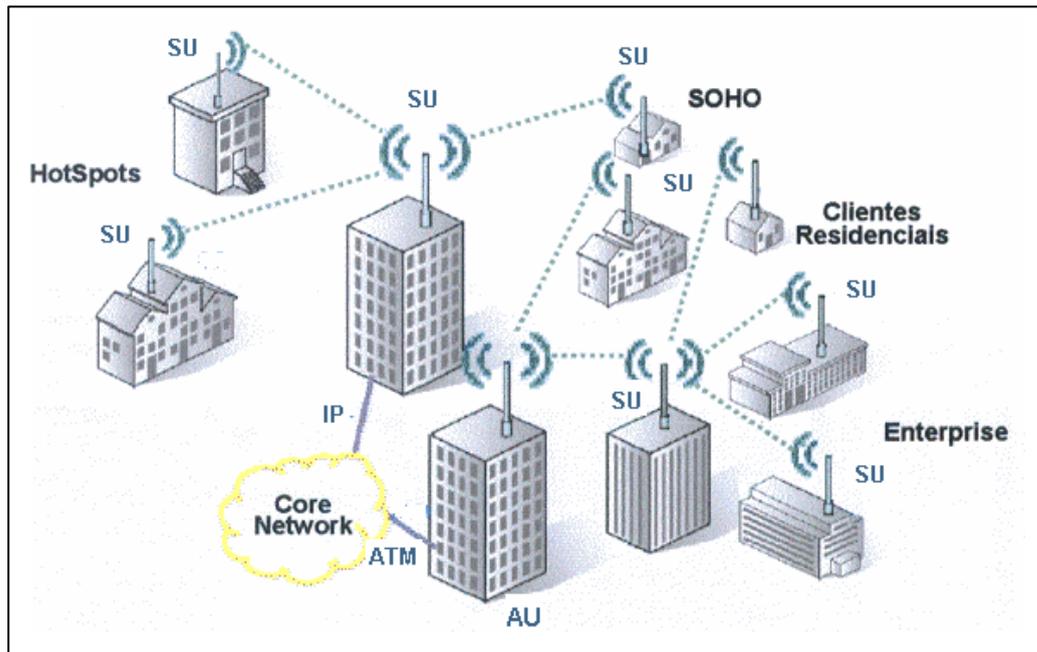


FIGURA 6 - Topologia de rede WiMAX

FONTE – CPqD (2006)

Enfim, diversas topologias e opções de ligações de *backhaul* podem ser suportadas nas estações do padrão IEEE 802.16, tais como:

- ◆ Ligação de *backhaul* em uma estrutura a cabo.
- ◆ Ligação de *backhaul* através de conexão ponto a ponto em microonda.
- ◆ Ligação de *backhaul* em WiMAX, na qual a própria estação base tem a potencialidade de *backhaul*, que pode ser conseguido reservando a parte da largura de banda usada normalmente para o tráfego do usuário final e usando-a para finalidades de *backhaul*, segundo Melo. (SILVA, 2005).

Essas ligações são mostradas na FIG. 7.

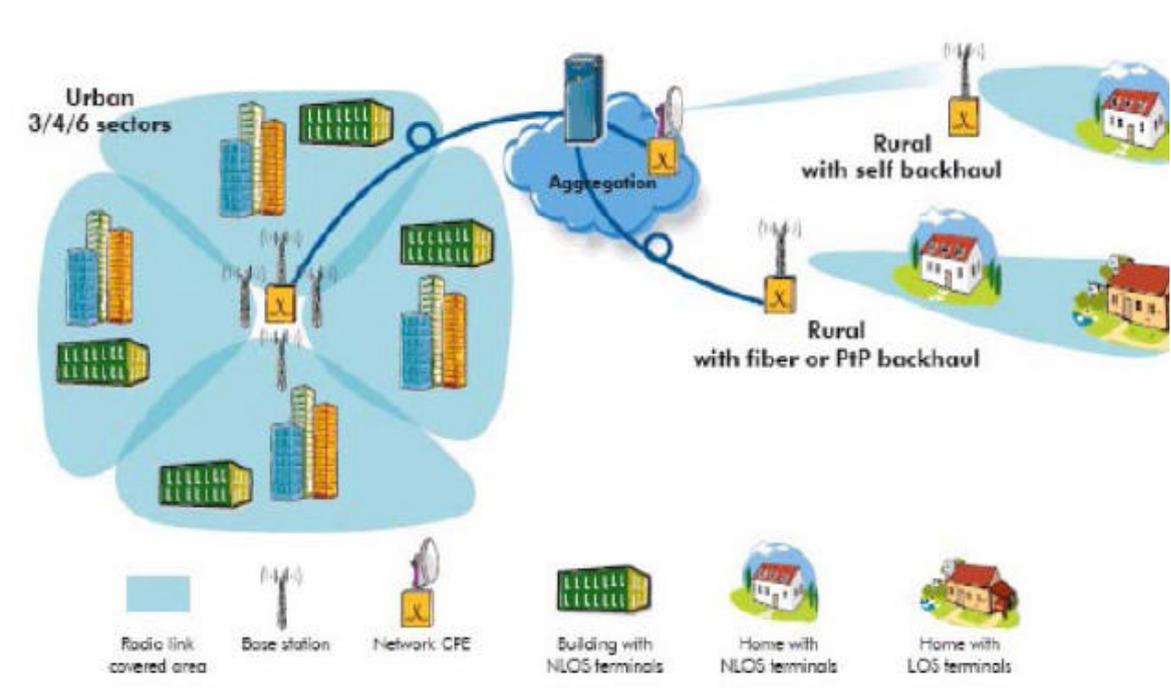


FIGURA 7 - Arquiteturas possíveis para *backhaul*.

FONTE – Sotomauor; Silva (2005, p.42)

4 METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste trabalho contemplou inicialmente a pesquisa de natureza qualitativa. A pesquisa bibliográfica dos tópicos relacionados ao tema teve o propósito de buscar, em artigos publicados, documentos que ajudassem a desenvolver questões mais objetivas sobre a problemática do tema em estudo. Para a coleta e a análise dos dados, foram utilizados:

- *Softwares* de análise de disparo de tráfego, disponíveis na *Internet*;
- *Script* de análise de desempenho da rede desenvolvido para o propósito deste trabalho;
- Equipamentos de informática.
- Análise de um caso real por meio da implantação de uma rede metropolitana sem fio.

A estratégia da pesquisa exploratória foi utilizada como técnica para a coleta de dados, para a análise e para a definição dos parâmetros para oferecer os serviços *Triple Play*. Já a estratégia da pesquisa descritiva expõe a lógica do planejamento, sugerindo um método para o desenvolvimento das aplicações *Triple Play*, denominado de ciclo de vida em espiral, utilizado para a implantação da rede metropolitana sem fio.

O estudo de caso foi a implantação da rede sem fio metropolitana e local, WMAN e WLAN, dentro das quais os três serviços voz, dados e vídeo, convergentes nesta conexão, são investigados e analisados com foco na Inclusão Digital. Para tal, foi estabelecido um enlace de rádio entre a PUC – Campinas e a Escola do Sítio⁵, situada a 4000 m, na região de Barão Geraldo.

⁵ A Escola do Sítio, fundada em 1976, está situada a 4 Km da PUC-Campinas, com sede no Bairro Jardim São Gonçalo, a rua Uirapuru, 820.

O cenário para o estudo de caso é o distrito de Barão Geraldo, da cidade de Campinas-SP, onde já estavam instaladas antenas de recepção e transmissão no Laboratório de Telecomunicações da PUC-Campinas. A Escola de Primeiro Grau denominada Escola do Sítio, foi escolhida para fazer parte deste estudo devido à sua localização ser na mesma região e também pela sensibilização demonstrada por sua administração e pelo corpo docente diante desta pesquisa.

Para a análise de predição desse enlace, foi utilizada a ferramenta computacional chamada CelPlanner. Esse *software* permite que sejam identificados dados topográficos e cartográficos da região, além de calcular o rádio enlace, cujo desempenho dos resultados tem uma excelente predição para o objetivo proposto neste trabalho.

4.1 A Implantação da rede metropolitana fixa sem fio

A implantação da rede sem fio (*wireless*) exige, durante o processo de execução, que cada fase seja revisada e testada de maneira constante, sendo um processo cíclico.

Assim, para o planejamento da implantação da rede sem fio metropolitana, é preciso que o processo, em vez de ser representado por uma seqüência de atividades, seja representado por uma espiral. Desta maneira, este modelo permite que as diferentes atividades requisitadas em cada fase da execução sejam repetidas e testadas constantemente, até que os resultados finais sejam satisfatórios.

Além do modelo de ciclo de vida espiral, há outros, e cada um deles enfoca um determinado tipo de projeto específico, muito utilizado pela engenharia de *software*. Como a implantação da rede sem fio (WMAN/WLAN) é constituída de fases e cada fase representa um pequeno projeto, utilizou-se como metodologia de planejamento, o processo de ciclo de vida em espiral, dividindo o planejamento em etapas.

Esta metodologia de planejamento para a implementação da rede fixa de acesso sem fio banda larga, WMAN/LAN, visa a otimização do tempo e a redução de custos, principalmente para aquelas localidades onde não existem infraestruturas de telecomunicações, e às vezes é difícil o acesso para a instalação das antenas de recepção e transmissão. As fases do ciclo de vida da rede WMAN/LAN compreendem o pré-planejamento, instalação e verificação, localização dos defeitos, correção e otimização, pós-planejamento e aplicações *triple play*, com e sem portabilidade e análises dos resultados. As fases do ciclo de vida espiral são mostradas na FIG.8.

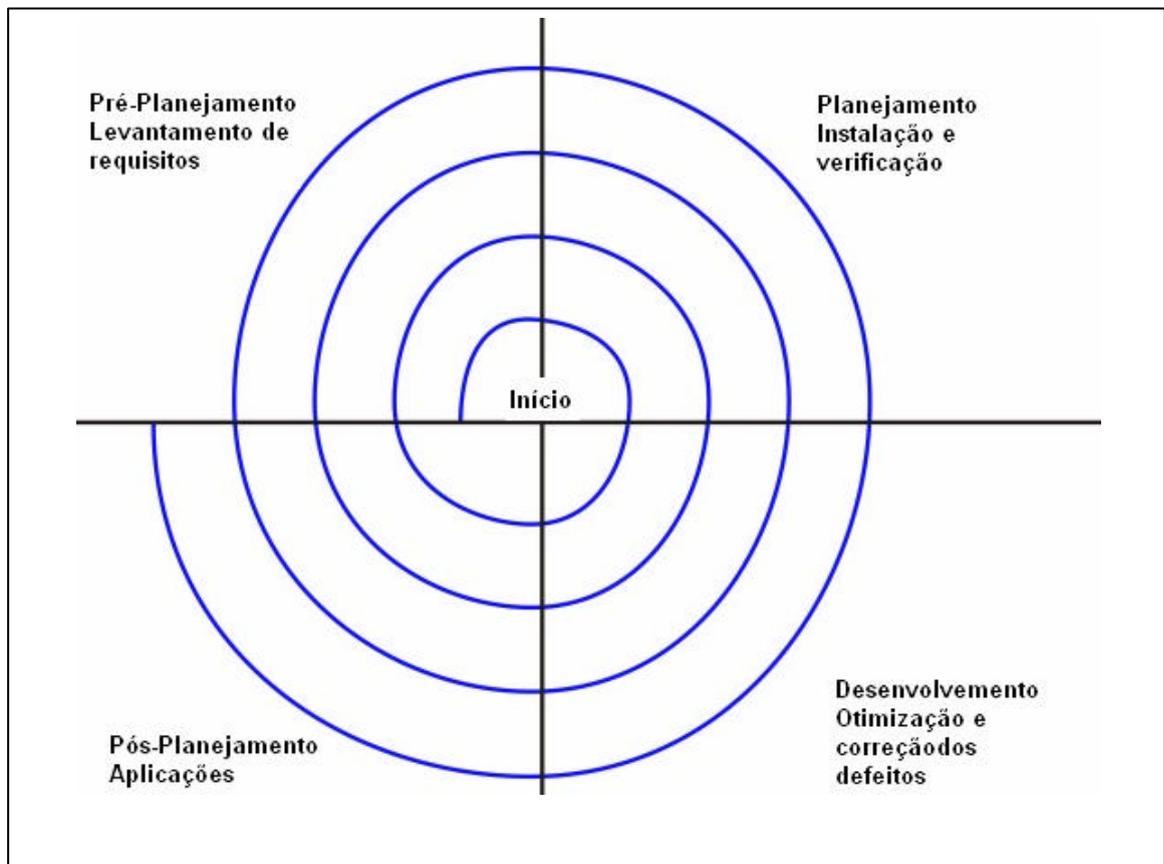


FIGURA 8 - Ciclo de vida espiral

A FIG. 8 apresenta as fases do planejamento de implantação da rede. A vantagem desse modelo diz respeito à subdivisão de cada ciclo em quatro fases, sendo cada uma delas representada por um quadrante do diagrama cartesiano.

Assim, com foco na justa inovação para a Inclusão Digital e, principalmente, no desafio de vencer as barreiras já mencionadas, este trabalho contempla, ainda, a avaliação das tecnologias sem fio (*wireless*) para oferecer, além da conexão à *Internet*, os serviços de voz e vídeo em uma única conexão, com ou sem portabilidade. Para demonstrar essa possibilidade usando as tecnologias *wireless*, testes foram realizados nos laboratórios da PUC-Campinas, e da INTEL na Unicamp, com a tecnologia WiMAX, provendo cobertura em vários pontos dessa região.

Para este trabalho a rede metropolitana sem fio foi definida a partir de uma unidade de acesso (AU), localizada no laboratório de radiofrequência da Faculdade de Engenharia Elétrica da PUC-Campinas e de uma unidade do assinante (SU), a uma distância de 4 mil metros, localizada na Escola do Sítio, no distrito de Barão Geraldo na cidade de Campinas-SP.

A tecnologia empregada para a conexão WiMAX utiliza frequência de 5.8 Ghz, sendo isenta de custos para o seu emprego pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Para o acesso local foi instalada uma antena AP (*access point*) WiFi (*wireless-fidelity*), também isenta de custos operacionais, estabelecendo um *hotspot* (ponto de acesso público).

O cenário do estudo de caso da rede metropolitana sem fio (*wireless*), WMAN, é mostrada na FIG. 9 e já na FIG. 10 é apresentada a topologia da rede *wireless*.



FIGURA 9 - Enlace de rádio da rede WMAN

FONTE - Google Earth (2006). – (adaptado)

A imagem da FIG. 9 apresenta o enlace de rádio interligando a estação rádio base (AU), localizada no Laboratório de Telecomunicações da PUC-Campinas, com a estação do usuário (SU), localizada na Escola do Sítio.

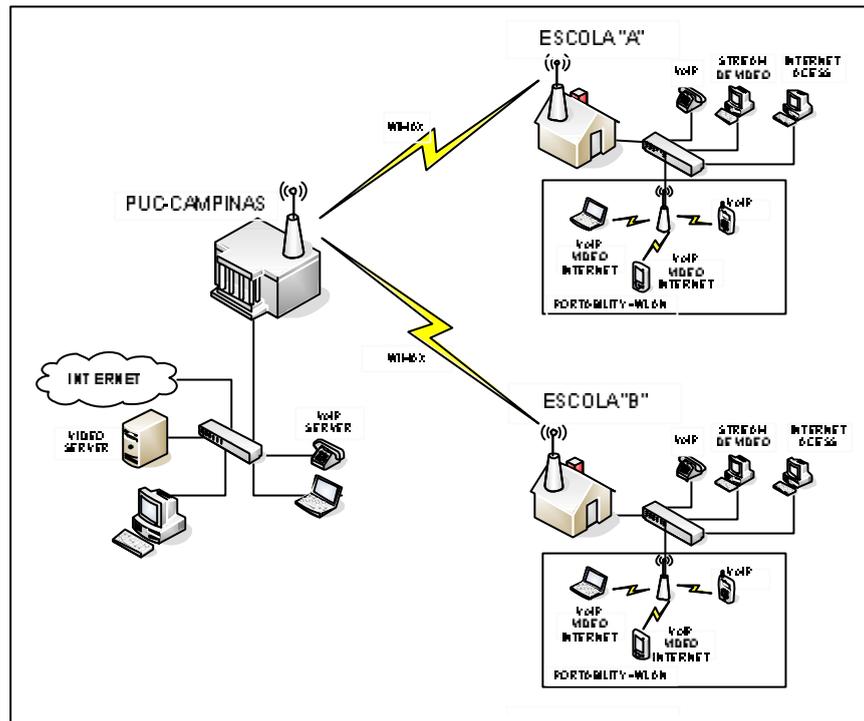


FIGURA 10 - Topologia da rede

A FIG. 10 apresenta a topologia da rede metropolitana e local sem fio, ponto multiponto, onde as duas unidades assinantes possuem rede local cabeada e também sem fio com os serviços *triple play* - com portabilidade e sem portabilidade, interligadas com a estação rádio base (AU), onde se encontram os servidores de *streaming* de vídeo, VoIP e o acesso à rede mundial de computadores (*Internet*).

4.2 Fases do ciclo de vida da rede *wireless*, WMAN/LAN

4.2.1 Fase 1: o pré-planejamento

A primeira fase do ciclo de vida da rede metropolitana, chamada de pré-planejamento, foi realizada a partir de um estudo dos ambientes no local das instalações das antenas SUs e AU (*site survey*) para:

- ◆ Determinação do local para instalação das antenas AU e SU;
- ◆ Levantamento da posição geográfica dos locais;
- ◆ Elaboração de croqui para a instalação da antena (ver FIG. 11);
- ◆ Realização de fotos digitalizadas do local para instalação das antenas (ver FIG. 12 e 13);
- ◆ *Site survey* para predição de cobertura e da morfologia do meio de propagação do sinal (ver FIG. 14, 15 e 16).

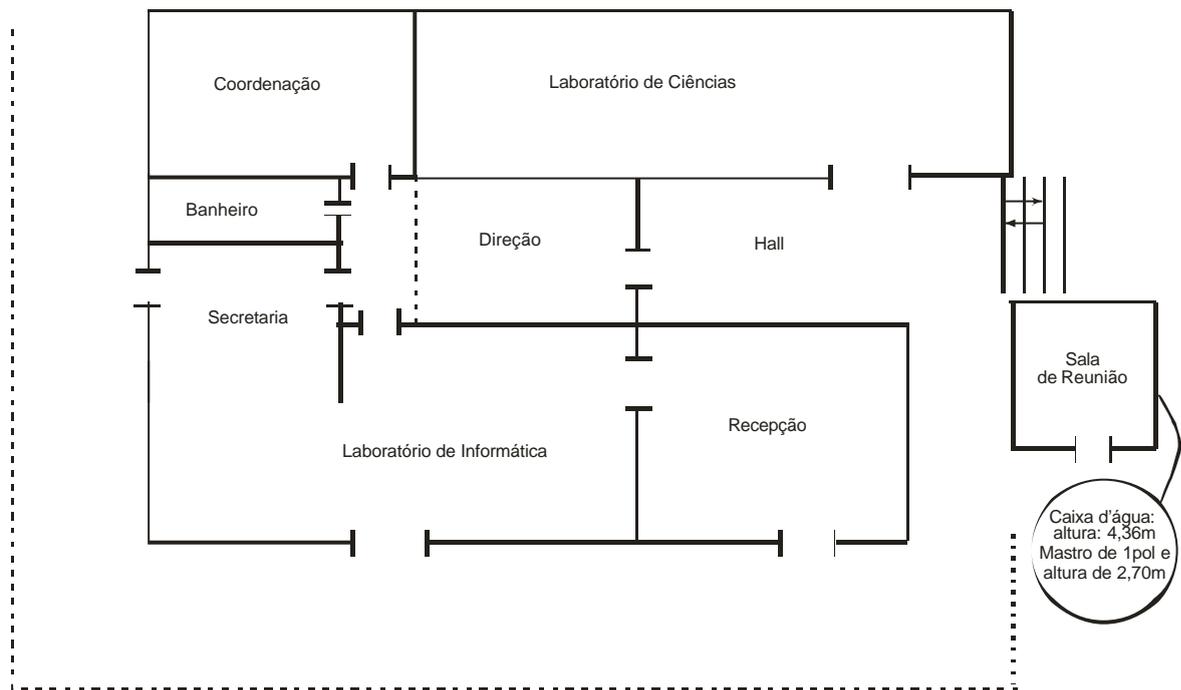


FIGURA 11 - Croqui de localização e instalação da antena SU

O croqui da FIG. 11 mostra a pré-instalação da antena do usuário (SU), e a FIG. 12 apresenta sua localização. Esse local foi escolhido devido à grande densidade de vegetação do ambiente.

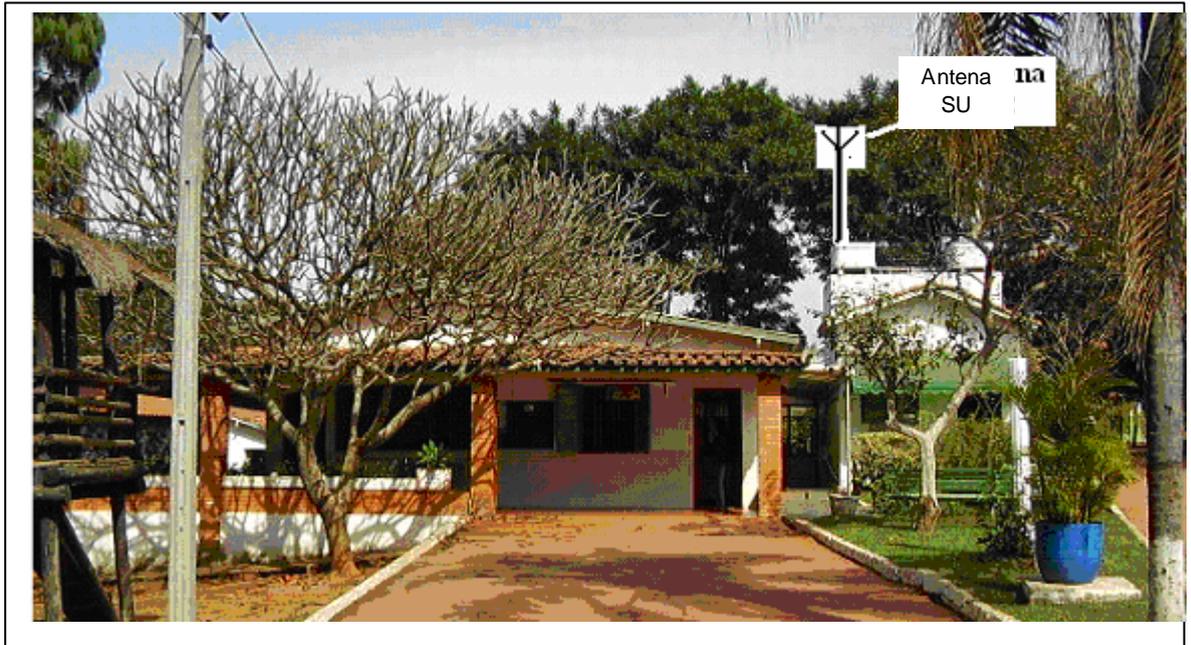


FIGURA 12 - Site Survey da localização da antena SU



FIGURA 13 - Antena da estação rádio base (AU), localizada no Laboratório de Rádio Freqüência da PUC-Campinas.

A FIG. 13 mostra a antena (AU), do fabricante Alvarion, em duas fotos: em detalhe à esquerda, e sua localização no Laboratório, à direita. E a localização da antena do usuário (SU) do mesmo fabricante, assim como as suas coordenadas geográficas são mostradas na TAB. 3.

TABELA 3. - Localização geográfica da antena SU

Coordenadas	(s) 47°05'32,1"	(w) 22°50'01,3"
Distância da AU-SU: 4000 m	Altitude: 610 m	

A TAB. 3 apresenta os dados coletados em campo, utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os quais serão inseridos na base de dados da ferramenta de *software*, CELPLANER, de planejamento e implantação de rede sem fio.

Após o levantamento em campo das condições de propagação do sinal de rádio, por meio do *site survey*, passa-se à fase de predição de cobertura e das condições de propagação utilizando, para tal, a ferramenta de *software* CELPLANER, que é bastante usado no planejamento, implantação e otimização de rede sem fio.

O referido *software* de predição, para a aplicação em telecomunicações, conta com um mapa digitalizado da região, sendo uma ferramenta importante, pois oferece uma visualização do *link* ponto-a-ponto e das condições de propagação. Esta ferramenta apresenta como base de dados imagens da topografia, morfologia e cálculos precisos de predição de cobertura como mostram as FIG. 14, 15 e 16. Na FIG. 14 é mostrado o perfil do terreno com a elipsóide de Fresnel e a área livre de percurso.

Através das alterações dos seus parâmetros e de conformidade com a frequência, este *software* permite definir o tipo e a altura das antenas.

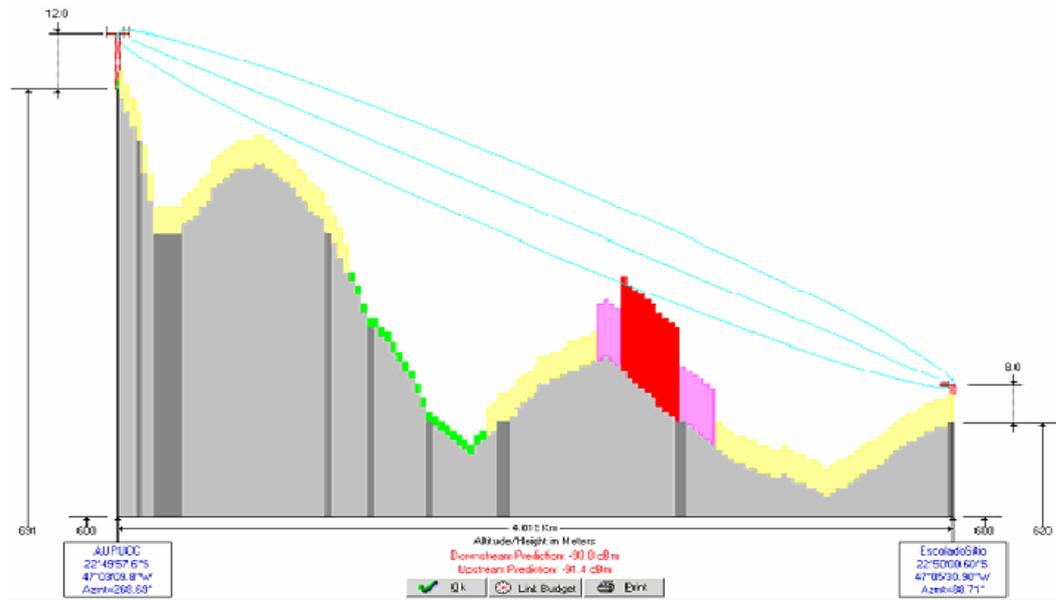


FIGURA 14 - Elipsóide de Fresnel

FORTE - CELPLANNER.

A FIG. 14 mostra a elipsóide de Fresnel, onde é possível observar se o enlace de rádio é NLOS ou LOS, permitindo também calcular as alturas das antenas e definir seus *tilts* e azimutes.



FIGURA 15 - Tipos de morfologia do percurso do enlace de rádio

FORTE - CELPLANNER.

A FIG. 15 apresenta o tipo de ocupação do solo, ou seja, a densidade de vegetação e os tipos de áreas urbanas, importantes para a análise da propagação

do sinal, uma vez que este pode perder energia em razão dos tipos de morfologia do ambiente.

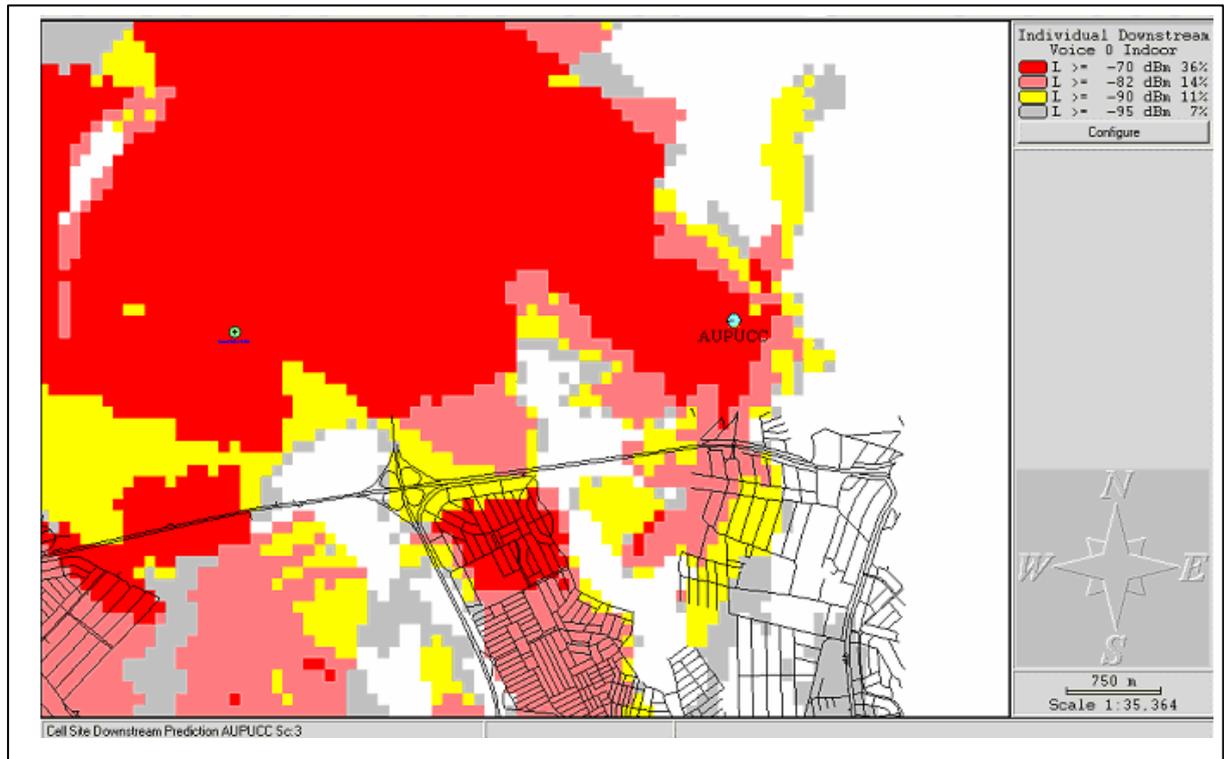


FIGURA 16 - Predição de cobertura

FONTE - CELPLANNER

A FIG. 16 permite avaliar a potência do sinal distribuído na região coberta pelo sinal de rádio, sendo que as cores demonstram a distribuição da potência do sinal, por exemplo, a região em vermelho indica que a potência é de -70 dBm.

4.2.2 Fase 2: instalação e verificação

Para auxiliar as instalações das antenas no que se refere à sua localização correta, utilizou-se o equipamento *Global Position System (GPS)*.

Depois de verificar se todos os equipamentos instalados estavam todos na mesma rede, por meio do *ping test* (teste de *ping*⁶) com o endereço IP do equipamento e, em seguida, passou-se para a análise da estabilidade do enlace de rádio. O *software* de disparo de tráfego, denominado IPERF, é uma ferramenta que permite medir o desempenho da rede, como a largura de banda, propiciando ajustar os vários parâmetros e características do *User Datagram Management* (UDP). Assim, ele nos informa o atraso de *Jitter*, a largura de banda e os *frames* perdidos.

Para a medida da relação sinal ruído (SNR), utiliza-se o *software* de gerência GETIF, que é uma ferramenta do *Simple Network Management Protocol* (SNMP). O SNMP é um protocolo de gerência definido em nível de aplicação que permite um acompanhamento simples e fácil do estado, em tempo real da rede, podendo ser utilizado para gerenciar vários tipos de equipamentos.

Assim, o SNMP é um protocolo no qual as informações são trocadas entre a *Management Information Base* (MIB) e as aplicações de gerência.

4.2.3 Fase 3: defeitos, correção e otimização

Durante os testes, a rede apresentou um nível de relação sinal/ruído de 14 dB, valor considerado insatisfatório pelo fabricante em função do nível de modulação e da distância entre a AU-US. Para melhorar essa relação, além de verificar a instalação dos cabos, foram realizados ajustes na antena AU, denominada de *down-tilt* (alteração da posição angular da antena no seu plano vertical) e também no seu azimute. Esse procedimento promoveu melhoria na relação sinal/ruído, ou seja, alterando para 22 dB e propiciando, assim, melhor desempenho da rede com o aumento da largura de banda. A FIG. 17 mostra o diagrama de irradiação do sinal de uma antena WiMAX, onde podemos perceber que alterações no plano xy e xz direcionam melhor o lóbulo principal do feixe (de

⁶ O teste de PING permite verificar se o enlace está ativo e se há integridade nesse enlace. Acompanha o envio e recebimento dos quadros para detecção de erros. Permite, ainda, a verificação da conectividade fim a fim dentro da rede e dos tempos de resposta de pontos remotos através do envio de pacotes de PING (NOTA de aplicação: HDCL Cisco, 2005)

maior concentração de energia) da antena do setor em direção ao terminal do usuário, maximizando o SNR do enlace.

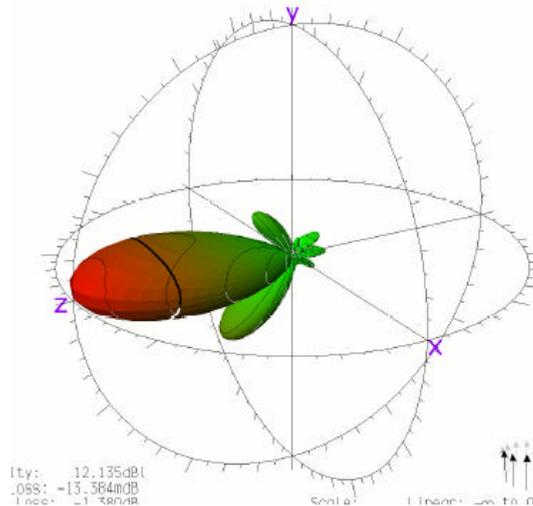


FIGURA 17 - Diagrama de Irradiação

FONTE – Anderson (2006).

A FIG. 17 apresenta o diagrama de irradiação de uma antena WiMAX, onde, pelo direcionamento do feixe (*beam steering*), o ganho da antena é melhorado, maximizando o SNR do enlace de rádio.

4.2.4 Fase 4 - Avaliação do desempenho da rede

Nesta fase é avaliado o desempenho da rede utilizando a ferramenta de disparo de tráfego, IPERF, que permite testar o desempenho do enlace de rádio em larguras de bandas diferentes, denominada de *throughput*, e a estabilidade do enlace quando dispáramos tráfego com vários valores *throughput*.

Também nesta fase foi avaliada a eficiência da rede com os serviços TP-I e, para tal, foi desenvolvido um *script*, ou seja, uma ferramenta de *software* para este propósito (SALDANHA, 2007, p.14).

Os resultados levantados e analisados permitiram chegar a uma expressão matemática que avalia a área, a cobertura e o número de usuários, conforme as

características da tecnologia empregada e do perfil dos usuários, que serão apresentados posteriormente.

5 RESULTADOS

Os testes realizados ocorreram sem o auxílio de uma infra-estrutura específica para o sistema irradiante, ou seja, a antena do usuário foi fixada no mastro como mostra a FIG. 18, sem a necessidade da construção de infra-estrutura de alvenaria e elevação de torres.



FIGURA 18 - Antena do usuário (SU)

A condição de visibilidade era razoável, como mostra a FIG. 18. Há vegetação e árvores de grande porte no ambiente de propagação do sinal e nas proximidades da antena do usuário.



FIGURA 19 - Linha de visada SU - AU

A FIG. 19 também mostra a “visão” da antena do assinante com a antena da ERB, AU. A presença da vegetação é considerada um fator que atenua a potência do sinal recebido.

Os GRÁF. 7 e 8 mostram o disparo de tráfego para bandas 10 e 12 Mbps. No GRÁF. 7 já é possível observar alguma instabilidade no enlace de rádio, embora não apresente prejuízo apreciável para a operação do sistema. Mas devemos ter em mente que existe um limite para o sistema, como pode ser avaliado pelo GRÁF. 8, em que claramente foi observada uma instabilidade num certo instante.

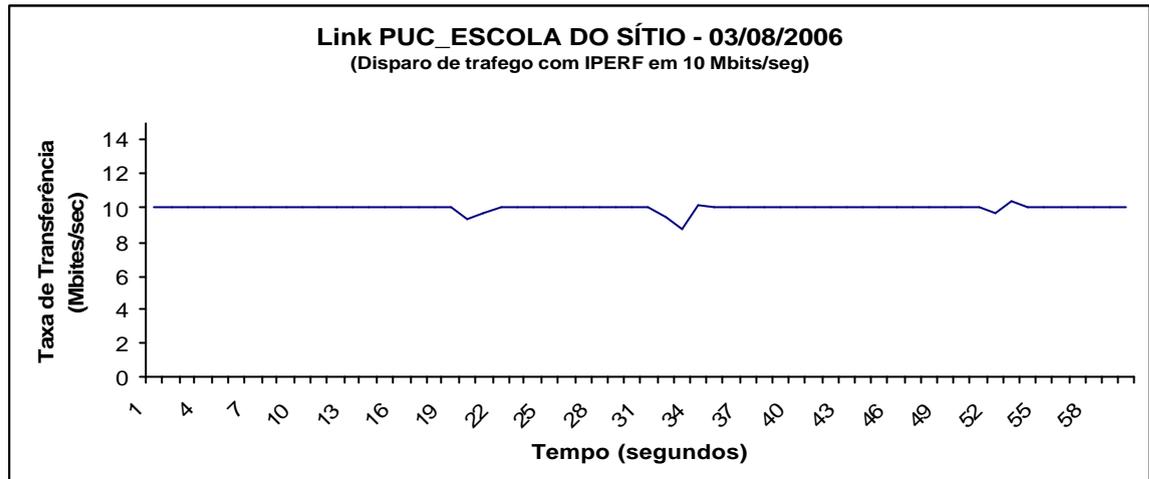


GRÁFICO 7 - Taxa de transferência de 10 Mbps

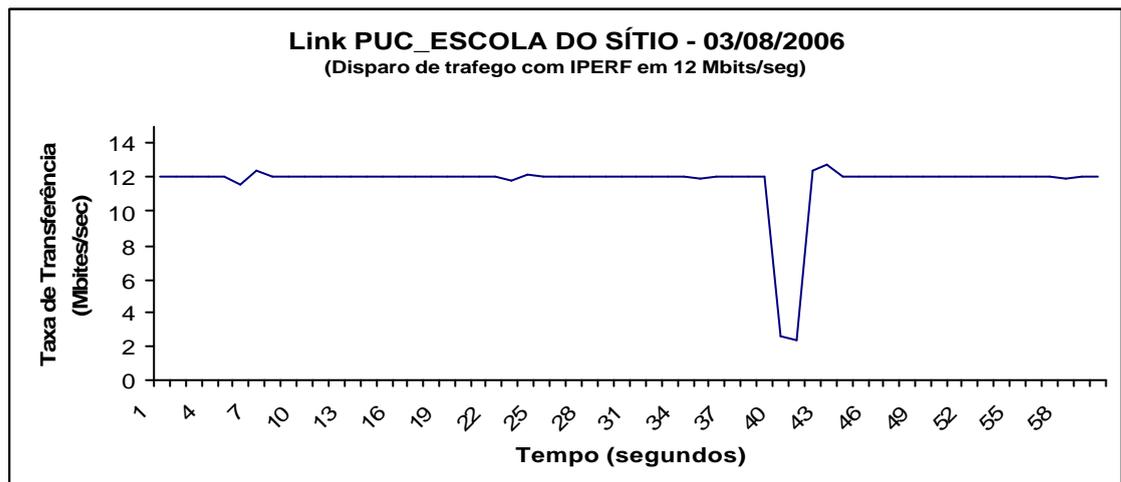


GRÁFICO 8 - Taxa de transferência de 12 Mbps

Os resultados apresentados têm, por finalidade, mostrar a necessidade de avaliação da estabilidade do enlace que, por ser de uma tecnologia pré-WiMAX, possui vários mecanismos como, por exemplo, modulação/multiplexação OFDM, que permitem a estabilidade do enlace de rádio, porém apresenta um limite de atuação.

Para avaliarmos o desempenho da rede com os serviços *Triple Play*, com os serviços de *Internet*, *VoIP* e transmissão de *streaming* de vídeo, foi utilizada

uma ferramenta de *software*, ou seja, um *script* que nos permitiu analisar o desempenho da rede quando tais serviços foram oferecidos. Enfatiza-se que o desenvolvimento de ferramentas para a avaliação é importante, pois permite verificar a solução *wireless* em diversos contextos. Um exemplo de avaliação do sistema implantado está no GRÁF. 9, que mostra o comportamento da rede com e sem os serviços *Triple Play*.

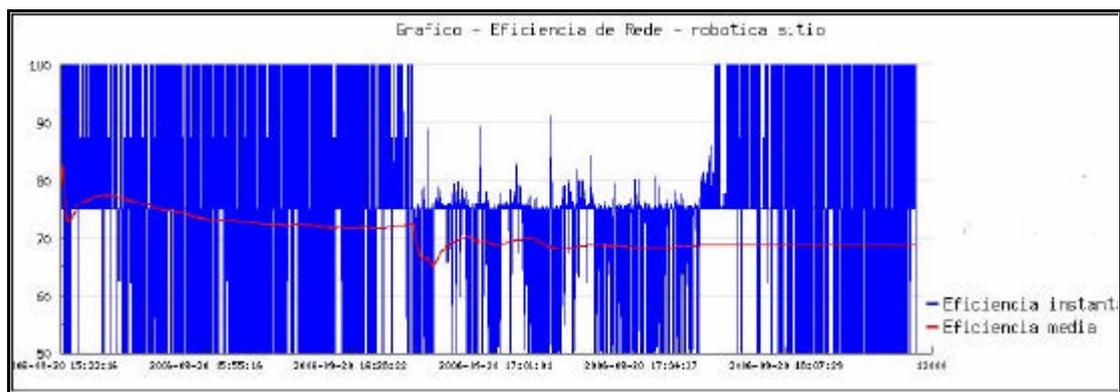


GRÁFICO 9 - Eficiência da rede

Esse gráfico apresenta a eficiência percentual do sistema em função do tempo. Para o levantamento dos dados desse gráfico é preciso desenvolver uma expressão matemática que pondera as taxas utilizadas (OLIVEIRA *et al*, 2006). Nesse gráfico são apresentados resultados instantâneos e médios, dando uma visibilidade em escalas diferentes da estabilidade do enlace de rádios.

Foi observado que a rede oferece um desempenho bastante satisfatório, pois a eficiência média apresenta pequenas variações, ou seja, de 75 %, cujo resultado estava previsto nos testes de verificação com IPERF.

5.1 Rendimento da área de cobertura

Os equipamentos para transmissão e recepção utilizados nos testes acima têm as especificações do fabricante mostradas pelas tabelas abaixo:

TABELA 4 - Especificações Alvarion

Item	Parâmetros	Descrição							
1	Frequência	5.75 – 5.850 GHz, 5.47 – 5.75 GHz, 5.15 – 5.35 GHz, 5.03 – 5.091 GHz							
2	Método de Acesso	TDD							
3	Canal	10 MHz, 20 MHz							
4	Frequência Central	5 MHz, 10 MHz							
	Máxima de Saída	SU : 10 dBm a 21 dBm							
5	Modulação	1	2	3	4	5	6	7	8
	20 MHz	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71
	10 MHz	-92	-91	-89	-87	-84	-80	-76	-74
6	Antenas AU	60: 16 dBi - setor 60° horizontal, 10° vertical							
		90: 16 dBi - setor 90° horizontal, 6° vertical							
		120: 15 dBi – setor 120° horizontal, 6° vertical							

FONTE - BREEZE access OFDM (15 ago. 2006)

TABELA 5 - Taxas de transmissão por nível de modulação das antenas

Modulation Level	8	7	6	5	4	3	2	1
Modulation	QAM-64		QAM-16		QSPK		BPSK	
Code	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$
RX dBm	-71	-73	-77	-81	-84	-86	-88	-89
SNR	23	22	18	14	11	9	7	6
User Unit	Data Rate (Mbps)							
1	3,00	2,25	1,5	1,13	0,75	0,56	0,38	0,28
2	6,00	4,50	3	2,25	1,50	1,13	0,75	0,56
3	54,00	40,5	27	20,25	13,50	10,13	6,75	5,06
Prm%	100,00	75,0	50	37,5	25,00	18,75	12,5	9,38

FONTE - BREEZE access OFDM (15 ago. 2006)

Conforme TAB. 4, das especificações do fabricante Alvarion, uma estação radiobase (ERB) tem suas unidades de acesso (AU) de 360°, denominada *de omini*, ou setorizadas em 60°, 90° e 120°.

A FIG. 20 ilustra a área de cobertura de uma AU setorizada.

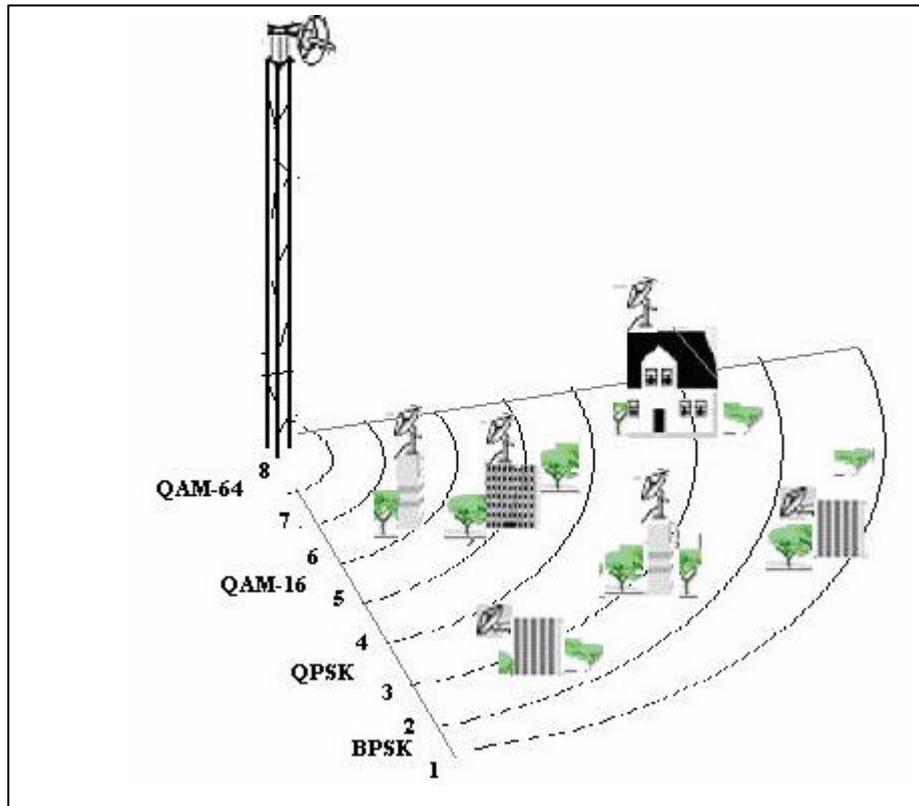


FIGURA 20 - Área de cobertura

Na tecnologia WiMAX, além da vantagem do esquema de multiplexação OFDM, utiliza-se um esquema de modulação adaptativa e de codificação, como mostra a FIG. 20. A seleção desta modulação a ser utilizada na camada física, a partir do nível da relação sinal ruído e percebida no receptor, é apresentada na TAB. 5.

Outros aspectos são também considerados para a predição de cobertura e desempenho e se referem à sensibilidade na recepção e nas taxas de transmissão, como mostra a TAB. 4, a configuração do sistema (potência de transmissão, altura das antenas, faixa de frequência) e modelos de predição de cobertura.

A FIG. 20 mostra os níveis de modulação e os seus respectivos esquemas. Observa-se que nos níveis de modulação 1 e 2, aparece a modulação BPSK e as áreas cobertas por cada nível de modulação correspondente às faixas da área setorial total coberta pela AU. Na TAB. 5, as taxas de transmissão, dependendo da antena do usuário, correspondem a estes níveis de modulação (nível 1 e 2). Para uma taxa de 54 Mbps, na modulação QAM-64, o nível de modulação é 8 e sua sensibilidade de potência de -71 dBm, para largura de banda de 20 MHz é de -74 dBm, em 10 MHz

Dessa forma, conhecendo-se a área de cada faixa setorial e a taxa de transmissão, é possível estimar o número de usuários que serão distribuídos conforme o perfil deles.

Para se calcular a potência recebida a uma certa distância utilizamos a Equação 3.5.

Na Equação 3.2 define-se a potência de referência para espaço livre, ou seja, a uma distância de 100 metros da AU (distância utilizada para ambientes externos) (RAPPAPORT, 1996).

A Equação 3.5 também mostra que a potência recebida, além de atenuar com o aumento da distância, também tem seu valor variando com o meio de propagação, ou seja, depende das características do ambiente de propagação. Para o espaço livre, esse fator de atenuação é igual a 2, representado simbolicamente por beta. A TAB. 6 apresenta outros valores de beta. (RAPPAPORT,1996).

TABELA 6 - Expoente de perda por caminho para diferentes ambientes.

Ambiente Externo	β
Espaço Livre	2
Urbano	2,7 a 5

O GRÁF. 10 mostra como as atenuações do enlace de rádio aumentam na medida que o fator beta aumenta, quando comparada com o fator 2, do espaço livre.

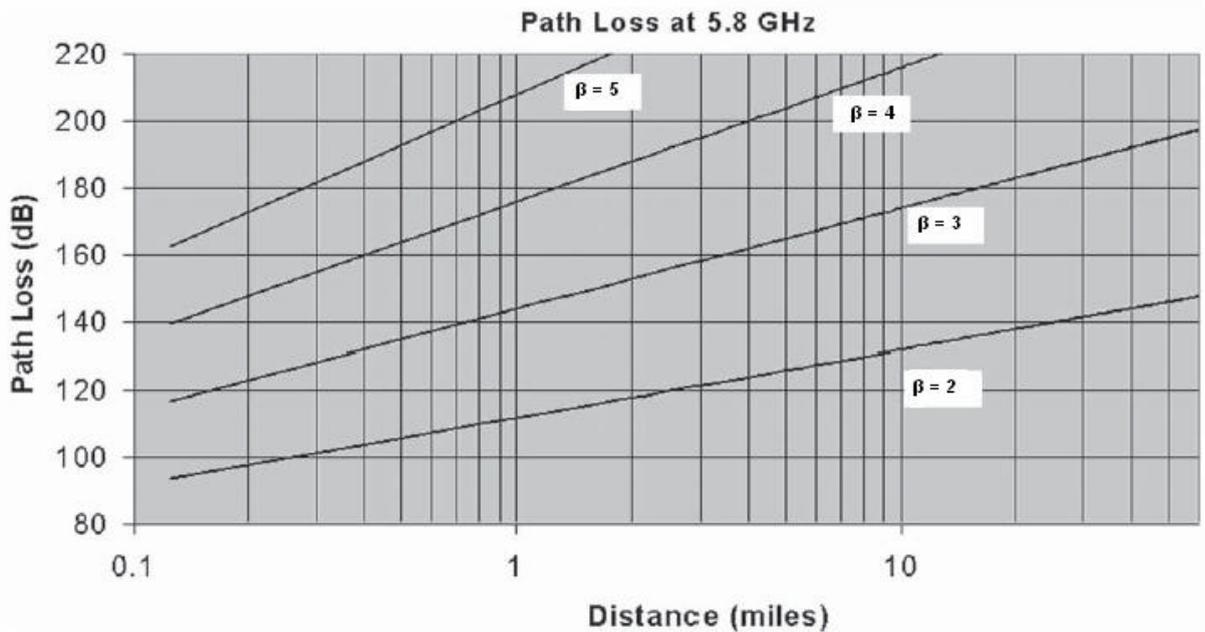


GRÁFICO 10 - NLOS perda por percurso

FONTE – NON-LINE of sight:... (2006).

O GRAF. 10 apresenta também a perda de potência do sinal transmitido no percurso (dB) em função do tipo de ambiente (β) e da distância em milhas. Desta maneira, um enlace NLOS requer um sistema de rádio capaz de tolerar essas atenuações do sinal no percurso.

5.5.1 Percentagem da área de cobertura

Para definir a percentagem da área de cobertura, utilizando as equações 3.2 e 3.5, para o enlace de rádio de frequência 5.8 GHz, utilizam-se valores das TAB. 4 e 5 , das especificações do fabricante Alvarion.

Para a frequência de 5.8 GHz, o comprimento de onda (?):

$$l = c/f \qquad l = \frac{3.10^8}{5.8.10^9} \qquad l = 0,05m \qquad [5.1]$$

Para o cálculo da potência de referência (Pr_{d_0}) a distância de 100 m utiliza-se a expressão:

$$Pr = \frac{Pt.Gt.Gr.l^2}{(4\pi)^2.d_0.L} \qquad [5.2]$$

Com as seguintes considerações: o ganho da antena de recepção e transmissão e o fator perda do sistema igual a 1, sem perdas de generalidades. Já a potência de transmissão (P_t), com o máximo valor é igual 21dBm.

Utilizando os valores acima definidos e ajustados para a potência de referência, temos:

Na medida em que o usuário se afasta da ERB, essa potência de referência sofre atenuações conforme as características do ambiente de propagação, mostrada na equação 3.6, do modelo de Shadowing. No exemplo em questão, variam-se as distâncias e também os betas (β) para os oito níveis de modulação, até o limite de suas respectivas potências recebidas, e calcula-se a área de cobertura.

Para uma distância de 5020 m e $\beta = 2$, tem-se:

$$Pr_x = Pr_0 - 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + c_{dB} \qquad [5.3]$$

Onde c_{dB} é a variável aleatória log-normal, do modelo de Shadowing. Para esse cálculo seu valor será zero, ou seja, sem aleatoriedade. Assim, a potência recebida para essa distância é:

$$Pr_{5020} = -40 - 10.2 \cdot \log\left(\frac{5020}{100}\right) + 0 \quad [5.4] \quad Pr_{5020} = -74,00dBm \quad [5.5]$$

Na TAB. 4 verifica-se que essa potência corresponde ao nível de modulação 8.

A área de cobertura para esse nível de modulação pode ser estimada em:

$$A_{mód8} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot d^2 \quad A_{mód8} = \frac{q}{3} \cdot (5020)^2 \quad A_{mód8} = 23,28 Km^2 \quad [5.6]$$

Assim, TAB. 5, para esta potência de -74 dBm e modulação 8, a taxa de transmissão é de 54 Mbps (antena do usuário 3), para a área acima estimada.

O modelo de propagação de espaço livre assume a condição ideal para a linha de visada direta (LOS) sem nenhuma obstrução, entre a transmissão e a recepção, cujo valor de beta é igual a 2.

Constata-se que, para ambientes rurais e urbanos, os valores de beta estão variando conforme a TAB. 6.

A TAB. 7 foi construído utilizando a ferramenta *Microsoft Excel*. Nela são apresentados os valores da área de cobertura para cada nível de modulação, e também dos “betas”.

A área de cobertura apresenta os resultados em Km^2 e as faixas dessas áreas, para cada nível de modulação, está expressa em percentagem. Como

exemplo: 26,39 Km², tem nível de modulação 8, com beta igual a 2, e a faixa dessa área corresponde a 1,94 % da área total nessas condições.

TABELA 7 - Área de cobertura

β	Níveis de Modulação								Área de Cobertura
	1	2	3	4	5	6	7	8	
2	1.661,30	1.318,99	832,00	524,97	263,08	104,72	41,70	26,39	Km ²
	20,61	29,30	18,49	15,76	9,53	3,79	0,92	1,94	%
3	30,76	26,39	19,36	14,26	8,99	4,89	2,65	1,94	Km ²
	14,22	22,84	16,59	17,13	13,34	7,28	2,31	6,30	%
4	4,19	3,74	2,96	2,36	1,66	1,05	0,67	0,53	Km ²
	10,70	18,74	14,300	16,56	14,69	9,00	3,40	12,60	%
5	1,27	1,13	0,97	0,79	0,60	0,43	0,29	0,24	Km ²
	10,61	13,22	13,61	14,82	13,88	10,64	4,17	19,04	%

O GRAF. 11 nos apresenta o percentual da área de cobertura de cada faixa do setor, por índice de modulação para cada tipo de ambiente indicado pelos valores de beta.

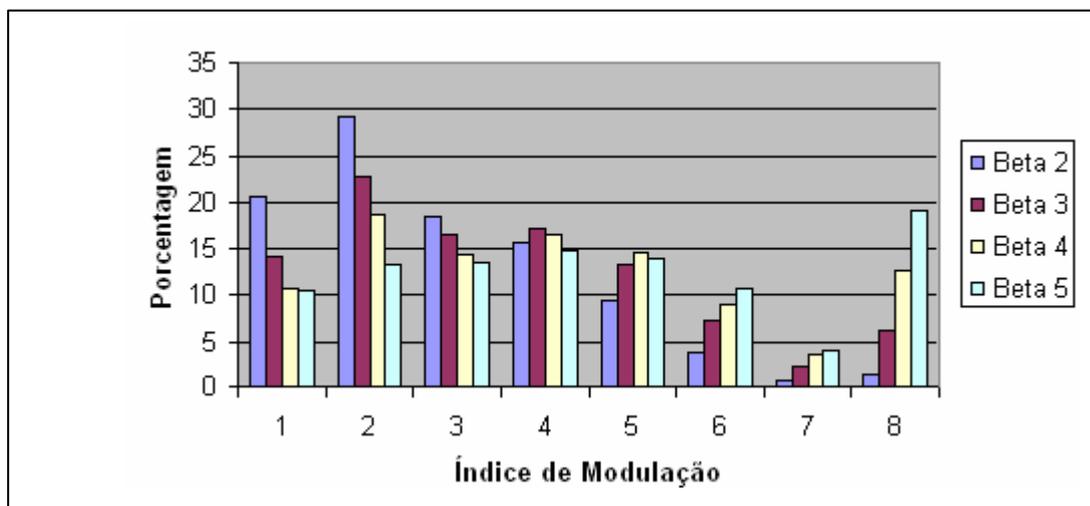


GRÁFICO 11 - Área percentual por nível de modulação

No GRAF. 11 observamos as variações das áreas de cobertura em função do nível de modulação e do fator β. E, na medida que o nível de modulação se torna mais robusto, a área de cobertura aumenta, porém a taxa de transmissão

diminui, conforme é mostrado na TAB. 5, onde, na modulação QAM-64, tem-se a maior taxa de transmissão, mas na modulação BPSK, que é mais robusta, a taxa de transmissão diminui consideravelmente. Caso o fator seja $\beta = 3$ na modulação BPSK, a área de cobertura é de aproximadamente 22,5 % da área total, contra 6% da modulação QAM-64, de acordo com o GRAF.11.

Assim, o que se pode observar também é uma variação do rendimento nas áreas de cobertura em função dos fatores mostrados na GRAF 11. E, para se avaliar esse rendimento, é preciso considerar inicialmente que os usuários estejam distribuídos uniformemente na área total de cobertura ERB e R_n é a taxa por nível de modulação n , $A_{n\beta}$ a área de cobertura para cada nível no ambiente β e $A_{t\beta}$, a área total no mesmo ambiente.

Onde:

$$A_{T\beta} = A_{8\beta} + A_{7\beta} + A_{6\beta} + \dots + A_{1\beta}, \quad [5.7]$$

$$\text{A expressão normalizada} = \sum_{n=1}^N \frac{R_n \times A_{nb}}{A_{Tb}} \quad [5.8]$$

Dessa forma, o rendimento de cobertura para cada fator β , por nível de modulação, será expressa por:

$$R_c(\beta) = \sum_{n=1}^N \frac{R_n \times A_{nb}}{A_{Tb}} \quad [5.9]$$

Sendo R_{\max} , o maior valor da taxa de transmissão do sistema, o valor do percentual de cobertura para cada fator β , será:

$$R_{c\beta} \% = \frac{R_{Cb}}{R_{\max}} \quad [5.10]$$

Está expressão, em função do tipo do ambiente, informa o rendimento percentual de cobertura para o valor de β correspondente.

Caso a distribuição dos usuários não seja feita uniformemente, um fator, β , de correção é introduzido na equação 5.11.

$$R_c(\beta) = \frac{1}{R_{MAX}} \sum_{n=1}^N xR_n \frac{A_{nb}}{A_{Tb}} \quad [5.11] \quad \text{e o fator } \beta \text{ é definido como:}$$

$$\beta = \frac{N_U}{N_T} \quad [5.12] \quad \text{sendo } N_U, \text{ o número de usuários na região e, } N_T, \text{ o}$$

número total de usuários.

5.6 Contribuições e aplicações dos serviços *Triple Play*

As aplicações realizadas com a tecnologia proposta objetiva contribuir para a ampliação de novos serviços de comunicação sem fio focados na Inclusão Digital e Educacional.

Após a implantação da rede metropolitana sem fio (WMAN), utilizando, como enlace de rádio, a tecnologia pré-WiMAX com serviços *Triple Play*, foram realizadas algumas aplicações com os serviços de dados, voz e vídeo conferência.

Assim, as atividades realizadas com essa tecnologia aconteceram em dois ambientes distintos, onde foram instaladas as antenas dos assinantes (SUs), da rede WMAN, como mostra a FIG. 21. Uma delas foi instalada na Escola do Sítio, a 4 Km da ERB, local onde se localiza a unidade de acesso (AU), e a outra, no Nano Ciência/Unicamp, a 2 Km da AU.

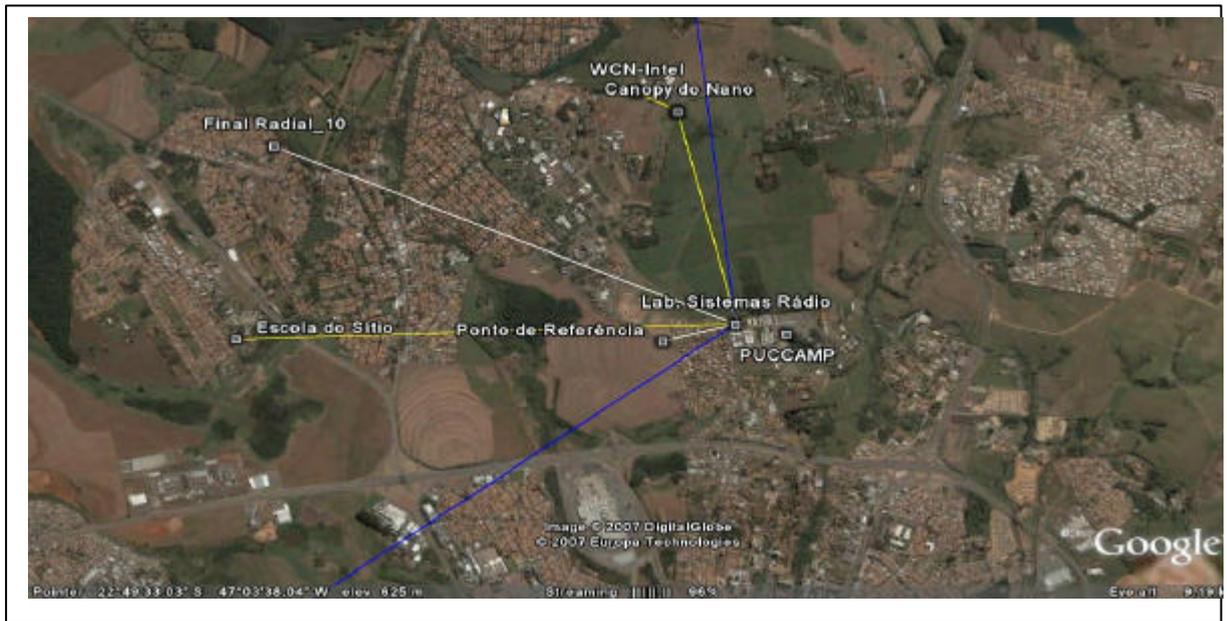


FIGURA 21 - Cenários de teste com aplicações *Triple Play*

FONTE - Google Earth (2006).

Nesse contexto, relacionamos abaixo as atividades com os serviços de aplicações *Triple Play*:

A FIG.21 apresenta o cenário das aplicações *Triple Play*, com alguns dos dispositivos utilizados, PDAs, câmera de vídeo, *lap tops*, e celularIP.



FIGURA 22 - Cenários dos equipamentos utilizados

Outra aplicação com esta tecnologia foi denominada WiMAX_Robótica, onde os alunos controlam o robô, remotamente, que está em outro local. Para isso, utiliza-se a aplicação *Triple Play*, para transmissão de voz e imagem. Estes serviços TP-I promovem a interação entre as escolas estabelecendo comunicação (VoIP) entre elas, via movimentação do robô. Para tal, utilizam-se os aplicativos *Skype* ou *Softfone* para transmissão de voz sobre o protocolo IP, ou mesmo o telefone IP, como mostra ilustração das FIG. 23 e 24.

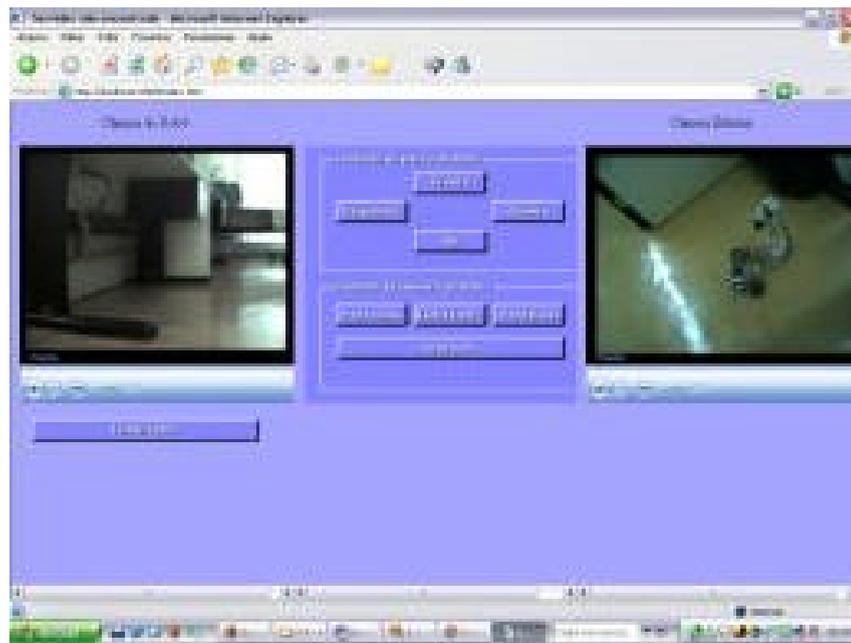


FIGURA 23 – Robô



FIGURA 24 - Os alunos se comunicam via VoIP com celular IP e telefone fixo IP enquanto controlam o movimento do robô

Outra atividade realizada com a tecnologia pré-WiMAX e as aplicações *Triple Play* foi a transmissão pela rede mundial de computadores, *Internet*, das atividades do projeto Nanoaventura. Nesse caso, além do acesso à *Internet*, via WiMAX, os locais da rede WMAN se comunicaram via VoIP, contemplando as aplicações *Triple Play*.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi exposto o estudo de caso de um experimento com a implantação da rede *wireless*, utilizando a tecnologia WiMAX, para prover os serviços *Triple Play* (Voz, Vídeo e Dados). Foram feitos testes de desempenho com disparo de tráfego, bem como a avaliação da eficiência da rede com os serviços agregados. Também foram realizadas várias aplicações de transmissão de vídeo, voz e dados com a participação dos alunos da Escola do Sítio. Os resultados das aplicações dos serviços propostos possibilitaram a ampliação da rede com a implantação de outra antena de assinante (SU), no projeto Nanoaventura da Unicamp. Nesse local os serviços *triple play* foram aplicados de tal maneira que as transmissões de dados, imagens e voz foram disponibilizadas para que o acesso fosse feito pela *Internet*, ou seja, o evento ficou disponível na rede mundial de computadores.

A metodologia utilizada para a implementação da rede metropolitana sem fio, feita por meio do ciclo de vida espiral, contemplou o propósito deste trabalho, uma vez que a tecnologia *wireless* exige que cada fase se comporte como um ciclo, de maneira que os defeitos não possam ser detectados apenas no final da implantação.

Com o foco na Inclusão Digital, a proposta de utilizar a tecnologia WiMAX 5.8 GHz para prover os serviços *triple play* tem como contribuição a viabilidade de agregar os serviços de voz, *Internet* e *streaming* de vídeo, como demonstra os testes apresentados nos gráficos do capítulo “Resultados”.

Esta pesquisa também apontou para a necessidade de se avaliar a área de cobertura em função do ambiente de propagação e da taxa de transmissão, tendo em vista as características técnicas da tecnologia WiMAX, tal como o esquema de modulação adaptativa, desenvolvido a partir dos resultados de equações para o cálculo de rendimento de cobertura e da estimativa do número de usuários.

Este trabalho também apresenta, em função da tecnologia WiMAX utilizada, uma proposta de planejamento para estimar o número de usuários por área de cobertura, pois, como visto, são vários os fatores que interferem na taxa de utilização da banda quando os serviços são oferecidos.

A pesquisa reforça o potencial que a tecnologia de conexão sem fio, (*wireless*) WiMAX, proporciona para alcançar regiões carentes de infra-estrutura de telecomunicações, além de não exigir estruturas tão complexas e de alto custo para sua instalação.

Para trabalhos futuros, o padrão IEEE 802.22, conceituado como *wireless regional area network* (WRAN), baseado nos chamados rádios cognitivos⁷ (CRs), especifica a *interface area*⁸ para operar na faixa de TV, ou seja, utilizar aqueles canais de VHF / UHF, entre 54 e 862 MHz, que estão ociosos.

Assim, o padrão 802.22, WRAs, apresenta-se como uma proposta de solução para prover serviços de acesso banda larga de longo alcance, agregados aos serviços TP-I, alcançando uma distância bem maior que a tecnologia WiMAX proposta neste trabalho, acima de 40 Km, ideal para alcançar localidades rurais e de difícil acesso.

Hoje é consenso que o acesso à banda larga é de fundamental importância para a Inclusão Digital. Assim, passamos do contexto da universalização do acesso à *Internet* para o contexto da universalização do acesso banda larga, pois é ela que se apresenta como uma condição fundamental para ampliar a Inclusão Digital, tal como os serviços *Triple Play*.

⁷ *Cognitive radio* (ou rádio cognitivo) é aquele que “sente” o ambiente e altera seus parâmetros, como força, frequência, modulação e outros parâmetros, a fim de usar o espectro disponível de forma mais eficiente. (JOHNSON, 2007).

⁸ O termo *interface area* é usado para se referir às camadas física e MAC do modelo da referência do protocolo ISO/OSI. (CORDEIRO et al; 2005, p.328).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicação. *Teledensidade na telefonia fixa: relatório anual 2006*. Disponível em < <http://www.anatel.gov.br>> Acesso em: 15 nov. 2006.

ANDERSON, M. *Using parametric simulation to optimize WiMAX antenna performance*. Disponível em: <http://www.flomerics.com/microstripes/applications/parametric_simulation/> Acesso em: 20 dez. 2006.

ARAÚJO, P. J. Z de. Mapa brasileiro da exclusão digital. In: COLÓQUIO LATINO –AMERICANO SOBRE INCLUSÃO DIGITAL, 1., 2006, Campinas. *Os desafios regionais*. Campinas: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 19-20 jun. 2006. Disponível em: <<http://www.CPqD.com.br/img/araujo.pdf>>. Acesso em: out. 2006.

BAGGIO. R. *Mapa da exclusão digital*. Disponível em:<http://www2.fgv.br/ibre/cps/mapa_exclusao/apresentacao/SUM%C1RIO.pdf> Acesso em : 15 nov. 2006.

BRANQUINHO, O. C; BATISTA, C. L; CARDIERI, P. Qualidade de Serviço em Redes Sem fio. 2006. Disponível em: <http://www.puc-campinas.edu.br/pesquisa/i_semana_cientifica/docentes_resumos/2689CD32-919A-466A-BB88-9ACBA12E210F.pdf> Acesso em: 20 out. 2006.

BREEZE access OFDM. *Alvarion*. Disponível em < <http://www.alvarion.com/products/breezeaccessofdm/components/customerpremisequipment/>> Acesso em: 15 ago. 2006.

CARPANEZ, J. Líder mundial, Brasil supera 20 horas mensais na web residencial. *Folha Online*, 23 jun. 2006. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u20243.shtml>> Acesso em: 20 set. 2006.

CAVALCANTI. C. F. M. C. *Ouro Preto, cidade digital*. Disponível em: <http://www.rnp.br/_arquivo/wrnp/2005/Wi-MAX-Fortaleza.pdf> Acesso em : 22 nov. 2006.

CAYLA, G; COHEN, S; GUIGON, D. WiMAX an efficient tool to bridge the digital divide. *WiMAX Forum*, nov. 2005. Disponível em: <http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX_to_Bridge_the_Digitaldivide.pdf>. Acesso em: out. 2006.

CELPLANNER. Campinas: CelPlan, Tecnologia de Telecomunicações e Comércio (Software, versão 2006). Disponível em: <<http://www.celplan.com.br/planner.html>>. Acesso em: 25 nov. 2006.

CONVERGÊNCIA digital. *Teleco*, 30 out. 2006. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialconverg/default.asp>> Acesso em: 15 dez. 2006.

CORDEIRO, C; CHALLAPALI, K; BIRRU, D; SHANKAR, S. *IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios*. New York: Philips Research USA, 2005. Disponível em: <http://www.ececs.uc.edu/~cordeicm/papers/dyspan05_802-22.pdf> Acesso em: 12 nov. 2006.

CPQD. *Mapeamento de soluções*. Disponível em: <http://www.cpqd.com.br/img/mapeamento_de_solucoes_ab.pdf> Acesso em: 21 nov. 2006.

CRUZ, R. Aqui, a banda larga é lenta e cara. *O Estado de São Paulo*, São Paulo 18 set. 2005. Economia, p. B12.

DALL'ANTONIA, J. C. Concebendo soluções inovadoras para inclusão digital no Brasil. In: COLÓQUIO LATINO –AMERICANO SOBRE INCLUSÃO DIGITAL, 1., 2006, Campinas. *Os desafios regionais*. Campinas: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 19-20 jun. 2006. Disponível em: <<http://www.CPqD.com.br/img/juliano.pdf>>. Acesso em: out. 2006.

FIGUEIREDO, F.L. *Fundamentos da tecnologia WiMAX*. Disponível em: <http://www.CPqD.com.br/file.upload/sas1437_tecnologia_wimax_port_v02.pdf> Acesso em: 16 dez. 2006.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://earth.google.com/>> . Acesso em: 2006.
JOHNSON, Thienne. *Cognitive radio*. *WirelessBR*, 26 jan. 2007. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/index.php?option=com_content&task=blcategory&id=118&Itemid=169> . Acesso em: 2007.

LÍDER mundial, Brasil supera 20 horas mensais na web residencial. *Folha Online*, São Paulo, 23 jun. 2006, Clipping. Disponível em <<http://www.nic.br/imprensa/clipping/2006/midia67.htm>> Acesso em: 12 nov. 2006.

LOIO, G. Inclusão digital cresce (e aparece) no Brasil. *Jornal da Estácio*, Rio de Janeiro, dez. 2006, ano III, n. 28. Disponível em: <<http://www.jornaldaestacio.com.br/digital1.asp> > Acesso em: 15 nov. 2006.

MENON, J. M. *Dimensionamento de tráfego de rede de dados para sistema celular 1x EV-DO*. 2006. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica com habilitação em Telecomunicações, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas.

MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. Inclusão digital: livro apresenta a Internet no combate a exclusão social. *ID Brasil*, 2004. Disponível em: <http://www.idbrasil.gov.br/noticias/News_Item.2004-07-13.2831/view?searchterm=pontos%20de%20presença > Acesso em: 20 nov. 2006.

MOTOROLA. *Mesh networks*. Disponível em: <http://www.motorola.com/mot/doc/6/6007_MotDoc.pdf> Acesso em: 14 nov. 2006.

NAUGHTON, J. Os 15 reis de clique. *Revista Carta na Escola*, São Paulo, n.10, out. 2006.

NON-LINE of sight: technology implementation. *Solectek*. (White paper). Disponível em <<http://www.solectek.com/files/pdf/techtalk/NLOS-fieldtest-010104.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2006.

NOTA de aplicação: HDCL Cisco. *Wise*, 30 jun. 2005, 7p. (Produto TSW200E1, versão 2). Disponível em: <http://www.wi.com.br/download/apphdlc_v2.pdf> . Acesso em: 18 nov. 2006.

NOW IS the time for WSIS implementation and follow-up. *World Summit on the Information Society*. Disponível em: < <http://www.itu.int/wsis/index.html>> Acesso em: 12 nov. 2006

OHRTHMAN, F. *WiMAX handbook: building 802.16 wireless networks communications*. New York: McGraw-Hill, 2005.

OLIVEIRA, E. P. de; BRANQUINHO, O. C.; RODOVALHO, F. J. L.; BIANCHINI, D. Efficiency evaluation of WMAN network operating in 5,8 GHz. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON TELECOMMUNICATIONS, 2007, Santa Rita do Sapucaí, v.1, p.275-281.

OLIVEIRA, E. P.; THOMAZ JUNIOR, A. et al. *Qualidade de serviços (QoS) com os produtos da Alvarion para rádio enlace Wi-MAX (IEEE 802.16d - 5,8 GHz)*. 2006. 72 f. Monografia (iniciação científica) - Faculdade de Engenharia Elétrica com habilitação em Telecomunicações, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e Tecnológicas, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas.

OLIVEIRA, Félix Tadeu Xavier; BERNAL FILHO, Huber. Rádio spread spectrum. **Teleco**, 3 fev. 2003. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina_3.asp> Acesso em: 2006.

RANIWALA, A; CHIUEH, T. C. *Deployment Issues in enterprise wireless LANs*. Disponível em: <<http://www.it.iitb.ac.in/~it601/dep/paperlist/wlandeployment.pdf>> Acesso em: 20 dez. 2006.

RAPPAPORT, T. S. *Wireless communications: principles and practice*. New Jersey: Prentice Hall, 1996. p.69-133.

REALITY SHOW. In: WIKPÉDIA, 2006. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Reality_show> . Acesso em: 20 ago. 2006.

RODRIGUES, M. E. C. *Aspectos de rádio propagação*. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/marcio_rodrigues/propagacao/prop_03.html> Acesso em: 20 dez. 2006.

SALDANHA, C. A; BRANQUINHO, O. C. WiMAX: triple play: concepting innovative solutions for the digital inclusion. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE TECNOLOGIA E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 30 maio - 1 jun. São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2007.

SALDANHA, C. A; BRANQUINHO, O. C; FONTANINI, J. O. de C. Análise da viabilidade da utilização da tecnologia de telecomunicações sem fio para acesso a informações triple play. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, 2007, march 11-14. Monguaguá. *Anais eletrônicos...* Monguaguá: Council of Researches in Education and Sciences/ Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007. p. 988 - 992. Disponível em: <<http://www.copec.org.br/icece2007/>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

SANTOS, A. S. R. *Brasil*. Disponível em: <<http://www.ultimaarcadenoe.com/brasil.htm>>. Acesso em: 15 nov.2006.

SHIMTH, C. P. E; GERVELIS, C. *Celular system: design e optimization*. New York: McGraw-Hill, 1996.

SILVA, D. J. da. *Análise de qualidade de serviço em redes*. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Campinas.

SOTOMAUOR, C. A. M; SILVA, G. *O planejamento de sistemas de comunicações celulares e de rádio: sistemas WiMax*. Rio de Janeiro: CETEC/PUC Rio, 2005. Disponível em <http://www.cetuc.puc-rio.br/~smello/CCE2006_1/Apostilas/Apost_Wi_Max.pdf> Acesso em: 2 nov. 2006.

THE AMERICAN CONSUMER INSTITUTE. *Who uses information technology services? A demographic analysis of american consumers*, March 14, 2006. Disponível em: <<http://www.theamericanconsumer.org/IT%20Service%20Survey%20Study.pdf>> Acesso em: 13 nov. 2006.

UNION INSTITUTE & UNIVERSITY. *NON-LINE of sight: technology implementation*. Disponível em < http://www.tui.edu/offices/instructional_tech.asp> Acesso em: 12 dez. 2006.

WiMAX FÓRUM. *Can WiMAX address you applications?* 24 out. 2005. <Disponível em:<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Can_WiMAX_Address_Your_Applications_final.pdf> Acesso em: 20 out.2006.

WiMAX FÓRUM. *WiMAX technology for LOS and NLOS environments*. 24 out. 2005. Disponível em: <<http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>> Acesso em: 20 ago.2006.

WOOD, Mark C. *An analysis of the design and implementation of QoS over IEEE 802.16. Washington University of Saint Louis*, 5 set. 2006. Disponível em: <http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax_qos.pdf> Acesso em: 20 ago. 2006.