

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO DE TELEFONIA CELULAR GSM BASEADA EM *OPEN SOURCE* E *OPEN
HARDWARE* PARA COMUNIDADES RURAIS ISOLADAS E CARENTES NA REGIÃO
AMAZÔNICA: ESTUDO DE CASO EM ITABOCAL – IRITUIA – PARÁ

JEFERSON BRENO NEGRÃO LEITE

DM 23 / 2014

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JEFERSON BRENO NEGRÃO LEITE

PROJETO DE TELEFONIA CELULAR GSM BASEADA EM *OPEN SOURCE* E *OPEN
HARDWARE* PARA COMUNIDADES RURAIS ISOLADAS E CARENTES NA REGIÃO
AMAZÔNICA: ESTUDO DE CASO EM ITABOCAL – IRITUÍIA – PARÁ

DM 23 / 2014

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JEFERSON BRENO NEGRÃO LEITE

PROJETO DE TELEFONIA CELULAR GSM BASEADA EM *OPEN SOURCE* E *OPEN
HARDWARE* PARA COMUNIDADES RURAIS ISOLADAS E CARENTES NA REGIÃO
AMAZÔNICA: ESTUDO DE CASO EM ITABOCAL – IRITUIA – PARÁ

Dissertação submetida à Banca Examinadora
do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção
do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na
área de Telecomunicações.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Leite, Jeferson Breno Negrão, 1976-

Projeto de telefonia celular gsm baseada em open source e open hardware para comunidades rurais isoladas e carentes na região amazônica: estudo de caso em itabocal - irituia - pará / Jeferson Breno Negrão Leite. - 2014.

Orientador: Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Junior;

Coorientador: Francisco Carlos Bentes Frey Muller.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2014.

1. Telefonia celular. 2. Inclusão digital - aspectos econômicos. 3. Integração social - Irituia (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 621.38456

INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO DE TELEFONIA CELULAR GSM BASEADA EM *OPEN SOURCE* E *OPEN HARDWARE* PARA COMUNIDADES RURAIS ISOLADAS E CARENTES NA REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE CASO EM ITABOCAL – IRITUIA – PARÁ

AUTOR: JEFERSON BRENO NEGRÃO LEITE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.

APROVADA EM ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALDEBARO BARRETO DA ROCHA KLAUTAU JR.
(ORIENTADOR – UFPA)

Prof. Dr. FRANCISCO CARLOS BENTES FREY MULLER
(CO-ORIENTADOR – UFPA)

Profa. Dra. JASMINE PRISCYLA LEITE DE ARAÚJO
(MEMBRO – EXTERNO)

Prof. Dr. MAURO MARGALHO COUTINHO
(MEMBRO – EXTERNO)

VISTO:

Prof. Dr. EVALDO GONÇALVES PELAES
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por mais essa etapa pessoal e profissional superada, um desafio que começou em 2011 e às vezes ainda me belisco para saber se está acontecendo de verdade, pois achei que não iria conseguir e muitas vezes pensei em jogar a toalha, só Ele para me fazer continuar e não desistir.

Ele mais do que ninguém sabe dos malabarismos profissionais e das escolhas difíceis que tive que fazer para concluir esse trabalho. Albert Einstein uma vez falou a seguinte frase: “Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende da nossa vontade e perseverança”. Acho que essa frase resume bem o sentimento que tenho agora comigo mesmo com relação a tudo que aconteceu.

A partir daqui temo cometer alguma injustiça por não citar o nome de alguém que possa ter esquecido agora, mas desde já fica o meu enorme agradecimento a todos que me ajudaram de alguma forma para que essa meta fosse cumprida.

Agradeço enormemente aos meus pais, Jorge e Antônia, pelos exemplos de vida, incentivos constantes e por muitas vezes acreditarem em mim mais do que eu mesmo, meu muito obrigado por simplesmente serem meus pais, por serem espelhos para mim.

Aos meus irmãos, Bruno, Bronson e Brainer (em casa nós nos acostumamos a nos tratar pelo segundo nome), que mesmo não morando mais juntos, nosso amor e amizade permanecem os mesmos e todos torcemos e vibramos pelo sucesso de todos.

Agradeço a minha ex-esposa Karla Cassandra, serei eternamente grato pela ajuda que tive durante o tempo em que estivemos juntos. Agradecimento extra pela paciência, por tolerar minha ausência (por ter passado mais de 12 horas por dia na UFPA algumas vezes, acreditem) e por aceitar meu isolamento em um quarto de estudos afim de escrever e finalizar esse trabalho. A vida nos mostrou caminhos diferentes a partir de agora, mas eu não poderia deixar de agradecer.

Aos meus ex-sogros Getulio e Eunice, que sempre me apoiaram em decisões difíceis e me incentivaram e sempre continuar lutando, meu muito obrigado por tudo, enorme agradecimento também às minhas ex-cunhadas Danielle, Vanessa e Fernando (meu ex-concunhado), pela torcida pelo meu sucesso. Que Deus vos abençoe sempre.

Não poderia deixar de agradecer a equipe da Coordenação de Tecnologia Aplicada a Educação (CTAE) da SEDUC-PA, onde trabalhei por quase 3 anos e onde fui recebido de braços abertos. Me lembro muito bem quando a professora Marcelina (nossa gestora na época) perguntou para o resto

da equipe: “pessoal, o Jeferson precisa trocar de horário aqui para poder cursar algumas disciplinas de manhã no mestrado dele na UFPA. Todos concordam?” A decisão foi um unânime SIM. Então, Prof^a. Marcelina, Roseny, Vera, Denise, Josenil, Lúcia, Jorge, Kiko, Paulo, Monika, e os demais (devo ter esquecido de alguém, mas considerem todos), o meu MUITO OBRIGADO, que fizeram por mim não tem preço, só Deus para lhes retribuir.

Ao meu professor, amigo e orientador Aldebaro Klautau Júnior, que de início deve ter me achado mais um aventureiro que vem se meter a fazer pós-graduação e larga o curso pelo meio (infelizmente ainda é comum), mas com o tempo pude mostrar a que vim e acho que pudemos aprender muito um com o outro. Grato pelo desafio proposto, espero ainda fazer mais pelo projeto e ver o CELCOM operando em Itabocal em breve.

Ao amigo e co-orientador Francisco Müller (ele também é meu chefe, mas não estou “puxando o saco”, viu? risos), foi um cara que me incentivou a ser professor substituto para resolver o meu “pepino” chamado mestrado, como sei que ele é um cara sincero, não disse isso por dizer. Grato pelo apoio e pela amizade.

Agradeço ao meu amigo de longas datas Adalbery (fomos contemporâneos do antigo LaPS, ou seja, somos “dinolapsianos”) que já passou aperiços semelhantes ao meu no doutorado dele, te acalma meu amigo, finalmente tua pizza vai sair!!!!

A Prof^a. Jasmine pelas sugestões de correções e de inserção de predições de sinal de RF GSM em Itabocal e ao Prof. Mauro Margalho pelas inúmeras e valiosas contribuições que permitiram melhorar este trabalho.

Aos meus alunos, Edgleyson, Adriel, Fátima, Lauro, Emerson, e Luan e aos demais colaboradores do projeto: Andrey, Marcel e Charles. Sem vocês o “pilotinho” não teria saído do papel, pois andorinha só não faz verão. Grato pelo empenho. Ainda temos o desafio maior do piloto de Irituia, preparem-se!!!

Um agradecimento extra ao meu amigo Charles, foram meses pensando na solução da fonte e no final saiu melhor que a encomenda. Só um cara dedicado e perfeccionista poderia fazer um projeto tão bem feito. Parabéns e obrigado.

Ao Igor Almeida pela dicas com a sysmoBTS (eu não sabia nem como acessar e dar comandos naquela caixinha cinza), se o prof. Aldebaro não te encher de coisas demais no doutorado, acho que ainda podes dar consultorias valiosas para o grupo. Pra quem não sabe o Igor é o pai do CELCOM (quando o CELCOM era um “bebezinho” e se chamava LOCCUS), eu sou o pai adotivo!!!

A Kelly e toda a galera do LaPS e LaSSE, que me desculpem derrubar as redes celulares de vocês durante os testes e os deixarem incomunicáveis. Vocês também são uma família da qual eu

pertenço e me orgulho em fazer parte.

Quase ia me esquecendo do meu grande amigo Sanmy Almeida, que com sua vasta experiência de campo com telefonia celular me ajudou na instalação da antena no topo do laboratório para que as medições e testes pudessem ser feitos.

Aos meus demais amigos e demais familiares que sempre torceram por mim, divido essa conquista com todos vocês.

SUMÁRIO

Lista de ilustrações	xii
Lista de tabelas	xiv
Lista de Siglas e Acrônimos	xv
Capítulo I - Introdução	1
- Tecnologias para Inclusão Digital	1
- Breve análise de uso de <i>Internet</i> mundial	3
- Histórico de projetos humanitários pelo mundo	7
- Projetos Tecnológicos e Inclusivos no Brasil	13
1.4.1 - Programa Nacional de Banda Larga (PBNL)	13
1.4.2 - Programa Banda Larga nas Escolas	16
1.4.3 - GESAC	17
1.4.4 - Navega Pará	21
1.4.5 - <i>Connect to Learn Brazil</i> (Ericsson)	24
1.5 - Contextualização	26
1.6 - CELCOM: Uma proposta de solução para o problema	30
Capítulo II - Sistemas GSM baseados em <i>Open Source</i> e <i>Open Hardware</i>	33
2.1 - Soluções GSM <i>Open Source</i> e <i>Open Hardware</i>	33
2.1.1 - YateBTS [®]	33
2.1.2 - OpenBTS [®]	36
2.1.3 - OpenBSC [®]	41
2.1.4 - UmSITE [®]	50
Capítulo III - Estimativas de Custos e Questões Sócio-Econômicas	54
3.1 - Aspectos relacionados a propagação de ondas na região amazônica	54
3.2 - Custos relacionados a implantação (CAPEX) e a operação (OPEX) do sistema ..	56
3.3 - Questões legais (legalização)	63
3.3.1 - Licença temporária	64
3.3.2 - Licença Especial para Fins Científicos e Experimentais (SEFCE)	64
3.4 - Auto-sustentabilidade do sistema	66

Capítulo VI - Estudo de caso: Implementação do piloto do CELCOM	70
4.1 - Testes preliminares feitos na UFPA	70
4.2 - Construindo uma fonte de alimentação para sysmoBTS e PA	73
4.3 - Descrição dos Cenários de teste	73
4.4.1 - OpenBTS [©] do <i>Kit</i> de Desenvolvimento (CELCOMDEVKIT)	78
4.4.2 - OpenBTS [©] “Grande”	82
4.4.3 - OpenBSC [©] e sysmoBTS [©] 2050	86
4.5 - O piloto de teste real em Irituia - PA	88
Capítulo V - Conclusão	96
Referências Bibliográficas	101
ANEXOS	107
Anexo A - Edital de Licitação do 4G	107
Anexo B - Resolução do Uso Temporário de Radiofrequências	108
Anexo C - Regulamento do Serviço Especial para Fins Científicos e Experimentais (SEFCE)	111
Anexo D - Construção da Fonte de Alimentação para o Amplificador de Potência e e para a SysmoBTS [©]	115

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Projeto <i>Loon</i> da Google para acesso a <i>Internet</i> por balões	1
Figura 1.2 - Indivíduos no mundo usando <i>Internet</i>	3
Figura 1.3 - Índice de penetração da <i>Internet</i> mundial	4
Figura 1.4 - Uso de <i>Internet</i> individual por região	5
Figura 1.5 - Índice de penetração de <i>Internet</i> por região	5
Figura 1.6 - Distribuição de usuários de <i>Internet</i> pelas Américas	6
Figura 1.7 - Estatísticas de uso de <i>Internet</i> na América do Sul	7
Figura 1.8 - <i>Backbone</i> do PBNL	14
Figura 1.9 - Estados da região Norte e Centro-Oeste com grande deficiência em acesso banda larga cobertos pelo PBNL	16
Figura 1.10 - Exemplo básico de uma rede VSAT	20
Figura 1.11 - Instalação típica do ponto de presença GESAC	20
Figura 1.12 - Expansão da Metrobel pelo Navega Pará	22
Figura 1.13 - Exemplo de Cidade Digital do Programa	23
Figura 1.14 - Pontos de distribuição regional das estações da rede de transporte	24
Figura 1.15 - Conexão entre comunidades brasileiras no piloto do projeto	26
Figura 1.16 - Distribuição da população do Brasil	28
Figura 1.17 - Divisão territorial do estado do Pará por municípios	29
Figura 2.1 - Estrutura da YateBTS [®] comparada a GSM convencional	34
Figura 2.2 - <i>LabKit</i> da YateBTS [®] versão 1.0	34
Figura 2.3 - Gerenciamento de configurações do sistema	35
Figura 2.4 - Estrutura básica (macro) do OpenBTS [®]	37
Figura 2.5 - Estrutura do OpenBTS [®]	40
Figura 2.6 - Interligação entre as bases de dados do OpenBTS [®]	40
Figura 2.7 - OpenBSC [®] em modo NITB - <i>Network in a Box</i>	46
Figura 2.8 - OpenBSC [®] em interconexão com ISDN e PBX VoIP	47
Figura 2.9 - OpenBSC [®] em modo puramente BSC	47
Figura 2.10 - Hardware da sysmoBTS [®] 2050	48
Figura 2.11 - Site exemplo de instalação do UmSITE [®]	51
Figura 2.12 - Estrutura da solução UmSITE [®]	51
Figura 2.13 - Placa SDR do o UmTRX [®]	52
Figura 3.1 - Comunidade rural típica amazônica	57

Figura 3.2 – Resumos de CAPEX e OPEX do CELCOM	61
Figura 4.1 - Primeira BTS adquirida pela laboratório	71
Figura 4.2 - Segunda BTS (<i>kit</i> de desenvolvimento) adquirida pela laboratório	72
Figura 4.3 - Terceira BTS adquirida pelo laboratório	72
Figura 4.4 - Amplificador de potência modelo 3335PA	74
Figura 4.5 - <i>Duplexer</i> para faixa de 900 MHz – AD902-947D382	75
Figura 4.6 - Antena omnidirecional modelo HGV-906U	76
Figura 4.7 - Antena instalada no topo da lateral do Laboratório de Engenharia Elétrica e da Computação	76
Figura 4.8 - Medidas de <i>Rxlevel</i> em dBm da rota de teste do CELCOMDEVKIT sem o uso do PA	79
Figura 4.9 - Configuração de medição do OpenBTS [®] <i>Development kit</i>	80
Figura 4.10 - Medidas de <i>Rxlevel</i> em dBm da rota de teste do CELCOMDEVKIT com o uso do PA	81
Figura 4.11 - Medidas de <i>Rxlevel</i> em dBm da rota de teste BTS “grande” sem o uso do PA	84
Figura 4.12 - Configuração de medição do OpenBTS [®] “grande”	84
Figura 4.13 - Medidas de <i>Rxlevel</i> em dBm da rota de teste da BTS “grande” com o uso do PA	85
Figura 4.14 - Configuração de testes e medições da sysmoBTS [®] / OpenBSC [®]	86
Figura 4.15 - Mapa do município de Irituia – PA	89
Figura 4.16 - Sede do município de Irituia e a comunidade rural de Itabocal	90
Figura 4.17 - Torre abandonada da Oi em Itabocal – Irituia – PA	91
Figura 4.18 - Resultado do cálculo <i>on-line</i> do enlace Itabocal – Irituia	93
Figura 4.19 - Perfil do enlace (<i>backhaul</i>) entre Irituia e Itabocal	93
Figura 4.20 – Predição de cobertura em Itabocal	94
Figura AD.1 - Fonte de fotocopiadora utilizada na construção da fonte do projeto	116
Figura AD.2 - Filtro de entrada da fonte da fotocopiadora	116
Figura AD.3 - Circuito de cargas de teste da fonte com lâmpadas	117
Figura AD.4 - Circuito regulador de tensão ajustável	118
Figura AD.5 - Esquemático completo do circuito regulador de 13,8V e do circuito de proteção	119
Figura AD.6 - Montagem final da fonte para SysmoBTS / PA do projeto	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Distribuição de pontos do PBLE no Brasil	17
Tabela 1.2 - Taxas de transmissão nominais mínimas de contratação	19
Tabela 1.3 - Distribuição de pontos GESAC	19
Tabela 1.4 - Países contemplados com o <i>Connect to Learn</i> da Ericsson	25
Tabela 1.5 - Estatísticas de cobertura e teledensidade de telefonia móvel brasileira ...	28
Tabela 2.1 - Especificações técnicas da YateBTS [®] 1.0	35
Tabela 2.2 - Especificações técnicas do OpenBTS [®]	38
Tabela 2.4 - Especificações técnicas da SysmoBTS [®] 2050	49
Tabela 2.5 - Especificações lógicas e de <i>software</i> da sysmoBTS [®] 2050	49
Tabela 3.1 - Custos de aquisição dos equipamentos do CELCOM	56
Tabela 3.2 - CAPEX e OPEX para enlace E1 terrestre	59
Tabela 3.3 - CAPEX e OPEX para enlace PTP	60
Tabela 3.4 - CAPEX e OPEX para enlace satelital de 512 kbps	60
Tabela 3.5 - CAPEX e OPEX para enlace satelital de 2 Mbps	61
Tabela 3.6 - Taxas mínimas em kbps para <i>backhaul</i> do CELCOM	62
Tabela 4.1 - Especificações técnicas do 3335PA	74
Tabela 4.2 - Especificações técnicas do <i>duplexer</i> AD902-947D382	75
Tabela 4.3 - Parcial do plano de numeração interno do CELCOM	77
Tabela 4.4 - Testes realizados com o OpenBTS <i>Development Kit</i>	78
Tabela 4.5 - Testes realizados com o OpenBTS [®] “Grande”	83
Tabela 4.6 - Testes realizados com o OpenBSC [®] / sysmoBTS [®] 2050	87
Tabela 4.7 - Especificações técnicas dos rádios do <i>backhaul</i> do CELCOM piloto de Itabocal	92

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

2G – 2nd Generation

3G – 3rd Generation

3GPP – 3rd Generation Partnership Project

4G – 4th Generation

AM – Amplitude Modulada

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ARFCN – Absolute Radio Frequency Channel Number

ASIC – Application Specific Integrated Circuit

AuC – Authentication Center

BRT – Brasil Telecom

BSC – Base Station Controller

BTS – Base Transceiver Station

CAPEX – Capital Expenditure

CEI – Comunidade dos Estado Independentes

CELCOM – Telefonia CELular COMunitária

CLI – Command Line Interface

CTBC – Companhia de Telecomunicações do Brasil Central

DL – Downlink

DSL – Digital Subscriber Line

DTMF – Dual Tone Multi-Frequency

DTN – Delay Tolerant Network

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing

EaD – Educação à Distância

EDGE – Enhanced Data Rates for GSM Evolution

EIR - Equipment Identity Register

FER – Frame Error Rate

FM – Frequência Modulada

FPGA – Field Programmable Gate Array

FUST – Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações

GESAC – Governo Eletrônico - Serviço de Atendimento ao Cidadão

GGSN – GPRS Gateway Support Node

GHTC – Global Humanitarian Technology Conference
GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying
GPL – General Public License
GPRS – General Packet Radio Service
GSM – Global System for Mobile Communications
HLR – Home Location Register
IAX – Inter Asterisk Exchange
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE – Institute of Electrical and Electronics *Engineers*
IEP – Instituições de Ensino e Pesquisa
IMEI - International Mobile Equipment Identity
IMS – IP Multimedia Subsystem
IP – Internet Protocol
ISM - Industrial, Scientific and Medical
ITU – International Telecommunications Union
ITU-T – ITU Telecommunication Standardization Sector
IVR – Interactive Voice Response
KCCC – Kasaambya Community Computer Centre
L1 – Layer one
L2 – Layer two
LAPDm - Link Access Protocol on Dm-channel
LaPS – Laboratório de Processamento de Sinais
MAP – Mobile Application Part
MC – Ministério das Comunicações
MEC – Ministério da Educação
MetroBel – Rede Metropolitana de Belém
MMS – Multimedia Messaging Service
MOS – Mean Opinion Score
MPOG – Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
MS – Mobile Station
MSC – Mobile Switching Centre
MVNO – Mobile Virtual Network Operator
NTE – Núcleo de Tecnologia Educacional

NTM – Núcleo de Tecnologia Municipal
NTIB – Network In The Box
ODBC – Open Data Base Connectivity
ONG – Organização Não-Governamental
ONU – Organização das Nações Unidas
OPEX – Operational Expenditure
OPGW – Optical Ground Wire
PA – Sigla do Estado do Pará
PA – Power Amplifier
PBX – Private Branch Exchange
PC – Personal Computer
PBLE – Programa Banda Larga nas Escolas
PDA – Personal Digital Assistant
PGMU – Plano Geral de Metas para a Universalização
PNBL – Plano Nacional de Banda Larga
POP – Ponto de Presença
RCDF – Rural Communications Development Fund
RRM – Radio Resource Management
SDCCH – Signaling Dedicated Control Channel
SDH – Synchronous Digital Hierarchy
SDR – Software-Defined Radio
SGSN – Serving GPRS Support Node
SIP – Session Initiation Protocol
SMS – Short Messaging Service
SNMP – Simple Network Management Protocol
SQL – Structured Query Language
SS7 – Signaling System number 7
TCH – Traffic Channel
TDM – Time Division Multiplexing
TCP – Transmission Control Protocol
TCXO - Temperature Compensated Crystal Oscillator
TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação
TRX – Transceiver

UAB – Universidade Aberta do Brasil

UDP – User Datagram Protocol

UL – Uplink

UNAMA – Universidade da Amazônia

USRP – Universal Software Radio Peripheral

VLR – Visitor Location Register

VoIP – Voice over IP

WiFi – Wireless Fidelity

RESUMO

Este trabalho teve como proposta realizar pesquisa das tecnologias existentes para telefonia e integração das mesmas para concepção de um sistema inovador e projetado para a realidade Amazônica. O trabalho incluiu avaliar a implementação de um sistema GSM *open source / open hardware* de custo zero para a população (telefonia celular gratuita) em comunidades rurais na Amazônia, com enfoque nas comunidades isoladas e carentes onde geralmente não há cobertura celular de operadoras comerciais, devido a falta de estímulo do governo e/ou interesse comercial de prover telefonia para essas populações mais pobres.

PALAVRAS-CHAVES: Telefonia, GSM, *Open-source*, Amazônia.

ABSTRACT

This work aimed at conducting research of existing technologies for telephony and integrate them to design an innovative system and designed for the Amazonian reality. The work included evaluating the implementation of a GSM open source / open hardware zero cost to the public (free mobile) in rural communities in the Amazon, with a focus on underserved and isolated communities where there is typically no cell coverage of commercial operators system, due the lack of government stimulus and / or commercial interest of providing telephony to these poorer populations.

KEYWORDS: Telephony, GSM, Open-source, Amazon.

Capítulo I - Introdução

1.1 - Tecnologias para Inclusão Digital

O uso das TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação – como meio de desenvolvimento humano e inclusão social é um assunto em destaque nos dias atuais. Um exemplo recente é o projeto *Loon* da Google [Projeto *Loon* 2014] que pretende levar *Internet* a todos (e especialmente às áreas mais remotas do planeta) por meio de balões que navegam na estratosfera terrestre, a cerca de 20 km de altitude. Os balões criam uma rede entre si e também se comunicam com pontos terrestres que proveem acesso à *Internet*, onde cada balão provê uma área de cobertura de aproximadamente 40 km de raio e promete velocidades de acesso semelhantes ao 3G. Essa rede de balões utiliza frequências na faixa *ISM* (mais especificamente nas bandas de 2,4 GHz e 5,8 GHz) e não há restrição de uso nem cobrança para tal, a rede está disponível para qualquer pessoa, que precisa possuir apenas uma antena específica, com polarização cruzada, para receber o sinal.

Os maiores desafios tecnológicos para a Google nesse projeto são controlar e estabilizar as velocidade e altitude dos balões e além disso, projetar o uso de materiais para estrutura dos mesmos de forma a torna-los resistentes às intempéries, tais como chuva, granizo, insolação intensa, etc (atualmente cada balão perdura cerca de 20 dias de operação contínua, mas a ideia é que cada balão chegue a durar até 100 dias por ano no ar). A Figura 1.1 mostra a ideia geral do projeto *Loon*.



Figura 1.1 - Projeto *Loon* da Google para acesso a *Internet* por balões (Fonte: <http://www.google.com/loon/>)

Um teste piloto já fora feito em Junho/2013 na Nova Zelândia, e recentemente em Maio/2014 e Junho/2014, foram lançados balões do *Loon* nos municípios de Campo Maior e Teresina (respectivamente), no estado do Piauí. O projeto piloto brasileiro do *Loon* tem o apoio dos Ministério das Comunicações, da Telebras e utilizou a rede 4G da Vivo para prover o sinal de *Internet* para os balões. Em Campo Maior, pela primeira vez as crianças de uma escola puderam ter aulas com acesso à *Internet* [*Loon no Brasil 2014*]. É uma iniciativa desafiadora que pretende massificar o uso da *Internet* no mundo.

Outra ideia diz respeito às redes DTN (*Delay Tolerant Networks*), como o próprio nome diz, redes com tolerância à atrasos, que basicamente são caracterizadas por sua falta de conectividade contínua, resultando numa falta de caminhos fim-a-fim instantâneos ou seja, quando há conectividade (momentânea) os pacotes são transferidos entre os nós da mesma, utilizando o princípio de armazena e encaminha (*store and forward*). Dessa forma, são necessários protocolos de comunicação específicos, largura de banda razoável (para permitir um tráfego de pacotes replicados na rede) e capacidade de grande armazenamento dos nós [Oliveira 2008].

O conceito de DTN é mais amplo e pode ser aplicado a redes heterogêneas onde nós móveis, por exemplo, podem experimentar descontinuidades de conexão pelo simples fato de utilizar diferentes tecnologias de acesso sem fio para tráfego de dados (*WIFI*, 3G, *Bluetooth*, etc).

Um desafio comum a todas as categorias de DTN é o roteamento, pois é preciso projetar protocolos capazes de superar os problemas dos atrasos extremamente longos e das frequentes desconexões, já que os protocolos convencionais não estão aptos a manipular eficientemente a transmissão de dados em DTNs. Diversos protocolos de roteamento foram especialmente projetados para DTN. Atualmente, esses protocolos são classificados de acordo com o grau de informação disponível sobre a topologia da rede, sendo, por isso, divididos em: **cenário estocástico** (contatos oportunistas) e **cenário determinístico** (contatos programados). No cenário estocástico, o comportamento da rede é aleatório e desconhecido, impossibilitando o cálculo das melhores rotas. O objetivo é obter vantagens de contatos realizados ao acaso para realizar a comunicação com qualquer nó que esteja fora do alcance da origem. Ao contrário desse cenário, no cenário determinístico as conexões e as movimentações futuras são totalmente conhecidas pelos nós. Um acordo pode ser pré-estabelecido entre os nós para a realização de contatos, ou seja, o momento de cada contato pode ser negociado previamente.

DTN são uma solução razoável e até mesmo complementar para locais remotos, como por exemplo, a região Amazônica (para acesso a conteúdo de *Internet* em regiões isoladas e com alta dispersão demográfica), onde parte do conteúdo de *Internet* pode ser armazenado em servidores locais (em uma comunidade rural, por exemplo) e pode ou deve ser atualizado quando houver um

“contato” (conectividade temporária) entre o servidor e a rede [Neto 2013].

Um exemplo de projeto de rede DTN inserido na realidade amazônica é o CoDPON (*Continuous Displacement Plans Oriented Network*), desenvolvido por professores e alunos da UNAMA, cujo objetivo principal é a captura de dados médicos das pessoas de municípios ou comunidades ribeirinhas por meio de antenas instaladas em embarcações amazônicas que coletam essas informações de postos de saúde, por exemplo, e trazem essas informações para a capital (Belém), onde estes dados podem ser armazenados em bancos de dados e posteriormente trabalhados em políticas públicas de saúde [CoDPON Project 2014].

1.2 - Breve análise de uso de *Internet* mundial

Segundo dados da ITU-T [ICT Facts 2013], 2/3 (dois terços) da população mundial ainda se encontra “*offline*”, ou seja, sem acesso a rede mundial de computadores. Os dados da Figura 1.2 quando comparados aos da Figura 1.3 revelam esse gritante contraste: nos últimos 8 (oito) anos, de 2005 a 2013, houve crescimento significativo do número de acessos a *Internet* no mundo, oriundo principalmente dos acessos por países em desenvolvimento. Entretanto, o índice de penetração de *Internet* nas economias em desenvolvimento ainda é baixo quando comparado com os países desenvolvidos. Isso implica dizer que a maior parte desses dois terços de cidadãos “*offline*” residem em países em desenvolvimento, o que sugere que apesar dos avanços tecnológicos do mundo moderno, muitos ainda se encontram a margem dessa revolução.

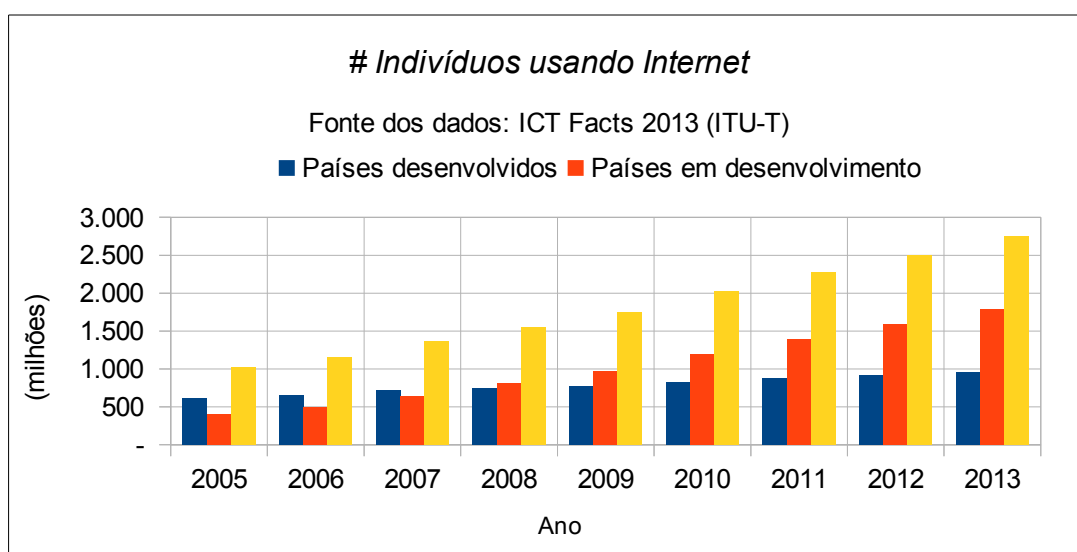


Figura 1.2 - Indivíduos no mundo usando *Internet* (Fonte: ICT Facts 2013 – adaptado pelo autor).

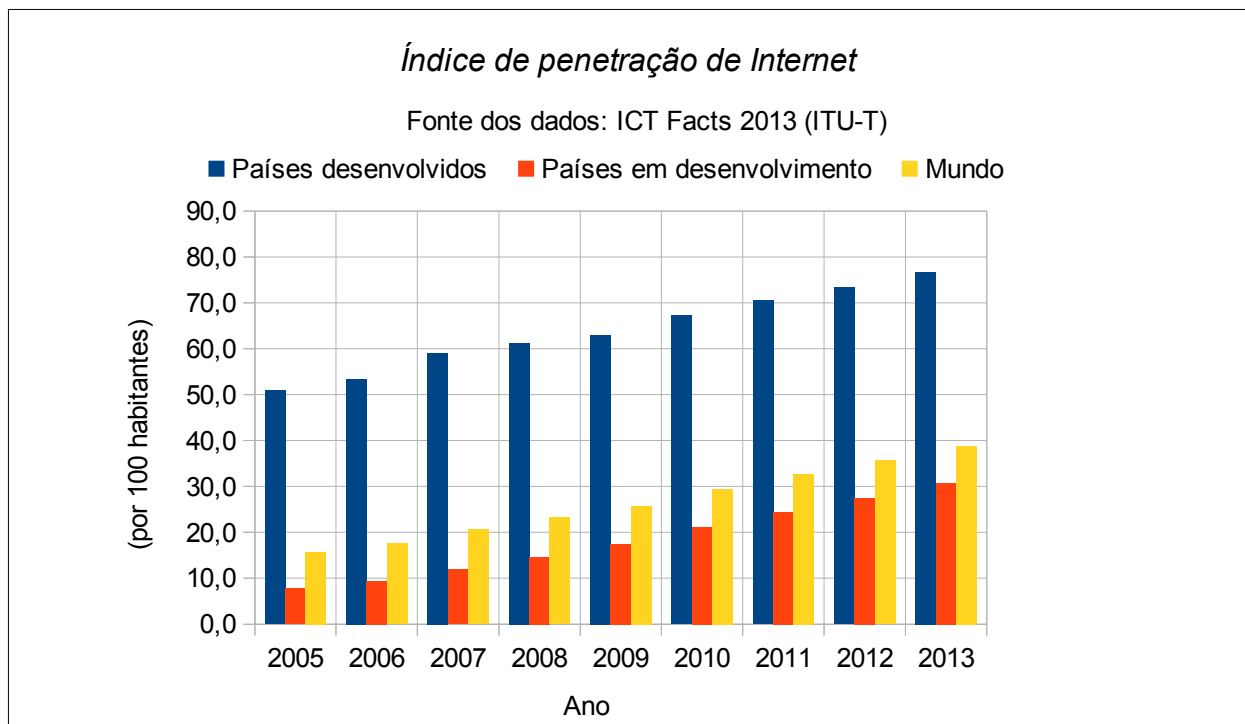


Figura 1.3 - Índice de penetração da *Internet* mundial (Fonte: *ICT Facts 2013* – adaptado pelo autor).

Quando se estratifica o uso e o índice de penetração de *Internet* por região do planeta, conforme mostram as Figuras 1.4 e 1.5, pode-se analisar o perfil de crescimento da rede, assim como discrepâncias significativas entre as regiões.

De forma bem evidente, pode se observar que nesse mesmo período de oito anos, a região da Ásia e Pacífico quadruplicou o uso individual de *Internet*. Enquanto que nas Américas e na Europa houve também crescimento (nas Américas o nº de usuários de *Internet* duplicou), porém em ambos os casos o aumento foi menor que na região asiática.

Enquanto isso, na região africana caracterizada principalmente por baixos índices de desenvolvimento humano e elevada taxa de pobreza, o crescimento foi pequeno quando comparado com outras regiões. Um crescimento menor também foi observado na região dos países árabes (neste caso, caracterizado também pelo alto grau de censura e pela questão econômica propriamente dita). Na Comunidade dos Estados Independentes – CEI – (composta de países da antiga União Soviética) o crescimento do uso de *Internet* também ocorreu de forma semelhante às regiões africanas e árabes.

Entretanto, quando se analisa o índice de penetração da rede mundial de computadores por região, observa-se que ainda há muito trabalho a se fazer em termos de expansão da rede. Por exemplo, na Europa esse índice passou de menos de 50% para quase 75% entre 2005 e 2013.

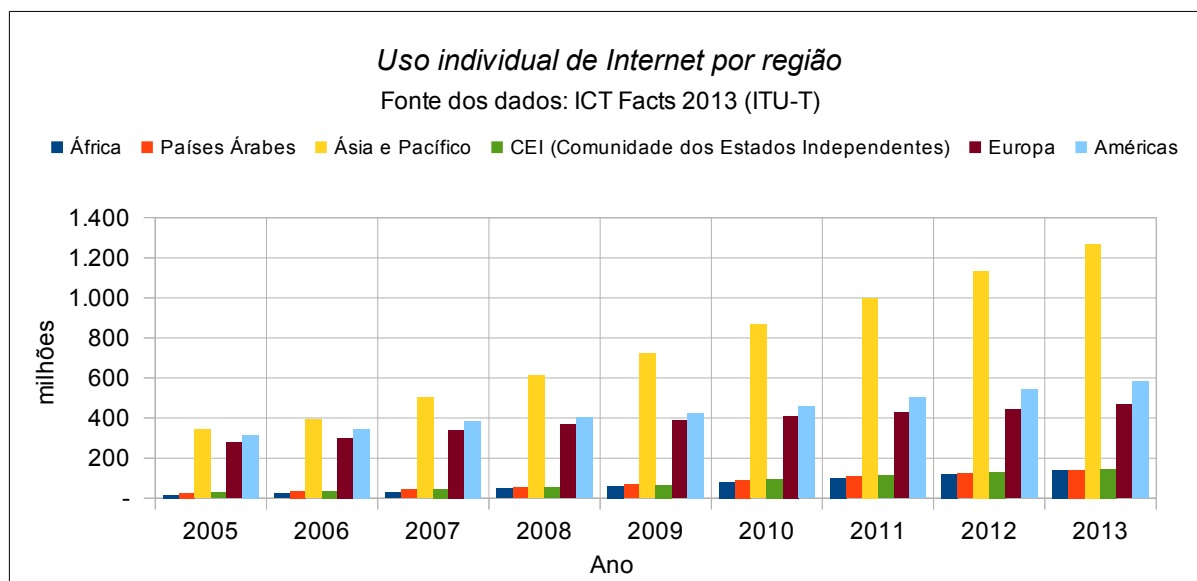


Figura 1.4 - Uso de *Internet* individual por região (Fonte: *ICT Facts 2013* – adaptado pelo autor).

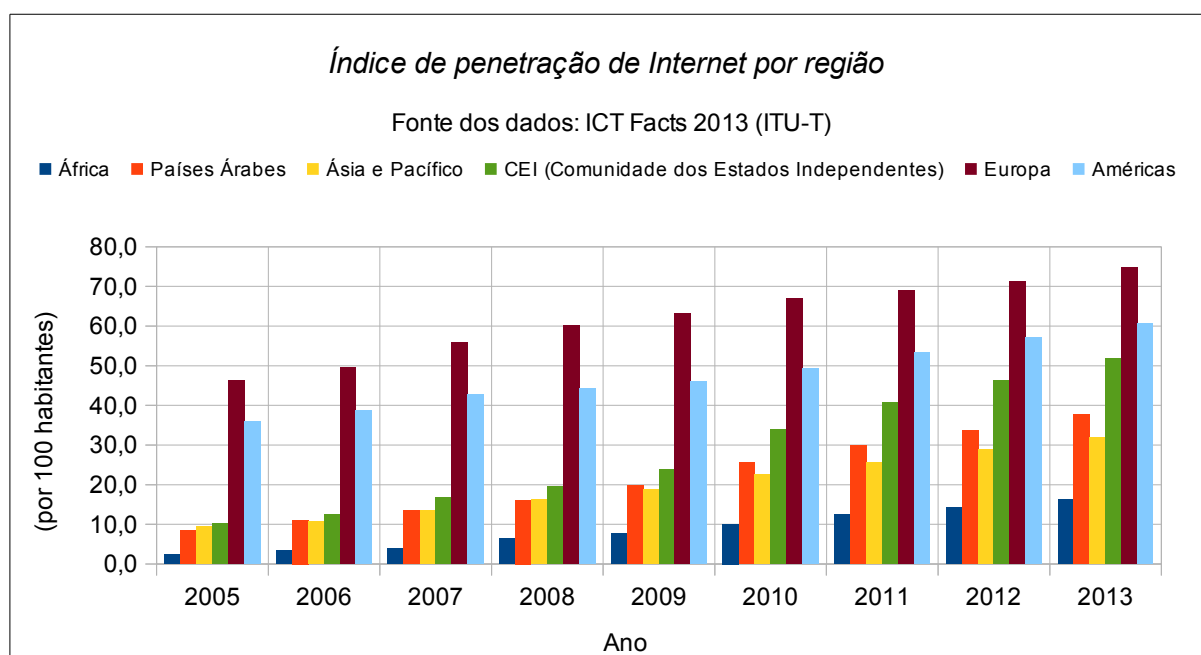


Figura 1.5 - Índice de penetração de *Internet* por região (Fonte: *ICT Facts 2013* – adaptado pelo autor).

Nas Américas, em 2013 o índice de penetração chegou a 60% (com grande peso dos EUA neste indicador). Esse mesmo índice chegou a marca de 50% nos países da CEI. Por outro lado, nas regiões asiática, africana e árabes, o índice de penetração de *Internet* ainda é pequeno, apesar do crescimento quem vem ocorrendo ao longo dos anos em todas as regiões.

Estratificando-se as Américas por região (América do Sul, América do Norte, América Central e Caribe), observa-se uma maioria absoluta de usuários de *Internet* nos países norte americanos (aproximadamente 52%), “carregados” principalmente pelos EUA, como pode ser visto na Figura 1.6, seguidos pelos sul-americanos (onde está incluído o Brasil), que correspondem a cerca de 36% dos usuários da região.

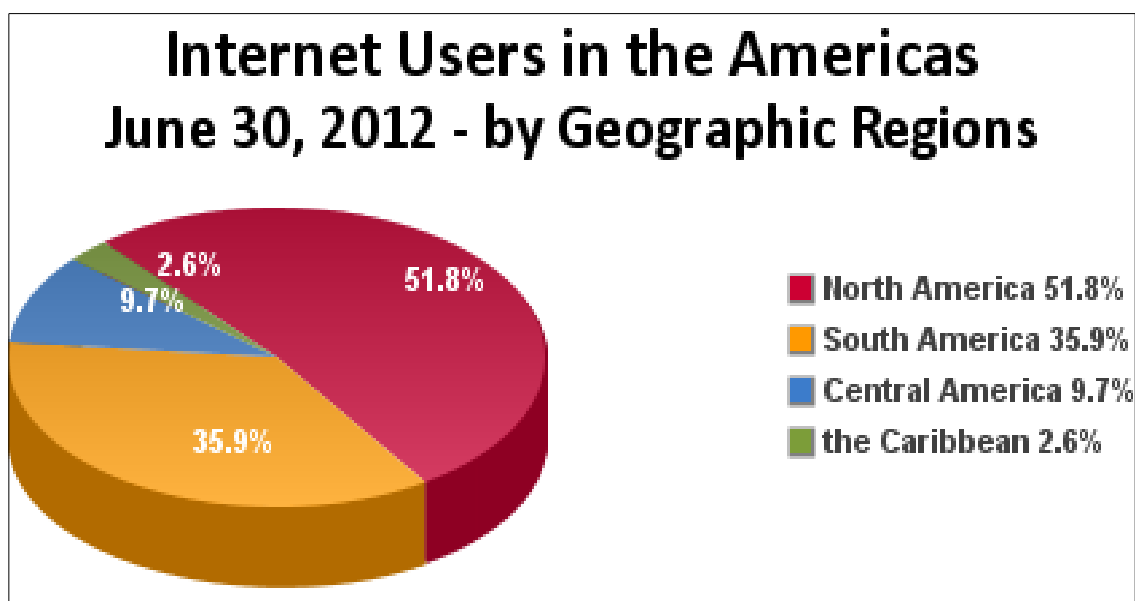


Figura 1.6 - Distribuição de usuários de *Internet* pelas Américas (Fonte: *Internet World Stats* – www.internetworldstats.com/stats2.htm).

Realizando uma nova estratificação, agora apenas do continente sul-americano, observam-se dados interessantes, como mostra a Figura 1.7. O Brasil, apesar de ser o país com maior percentual de população do continente (superior a 50%) e ser a maior economia da região, não tem o maior índice de penetração de *Internet*, ficando atrás de países como Argentina, Colômbia, Chile, Uruguai e Venezuela. Isso se justifica pelo fato de ser um país com dimensões continentais, grandes áreas não habitadas ou com baixa densidade demográfica e com elevada dispersão populacional, quando comparado com seus vizinhos. O gráfico ainda informa que, apesar desse baixo índice de penetração brasileiro (inferior a 40%), proporcionalmente o Brasil representa quase 50% dos usuários de *Internet* do continente sul-americano.

Observa-se ainda que o índice de penetração de *Internet* no continente sul-americano como

todo ainda é inferior a 50%. Isso ratifica a ideia de que a maioria dos cidadãos do continente ainda se encontram “digitalmente” excluídos.

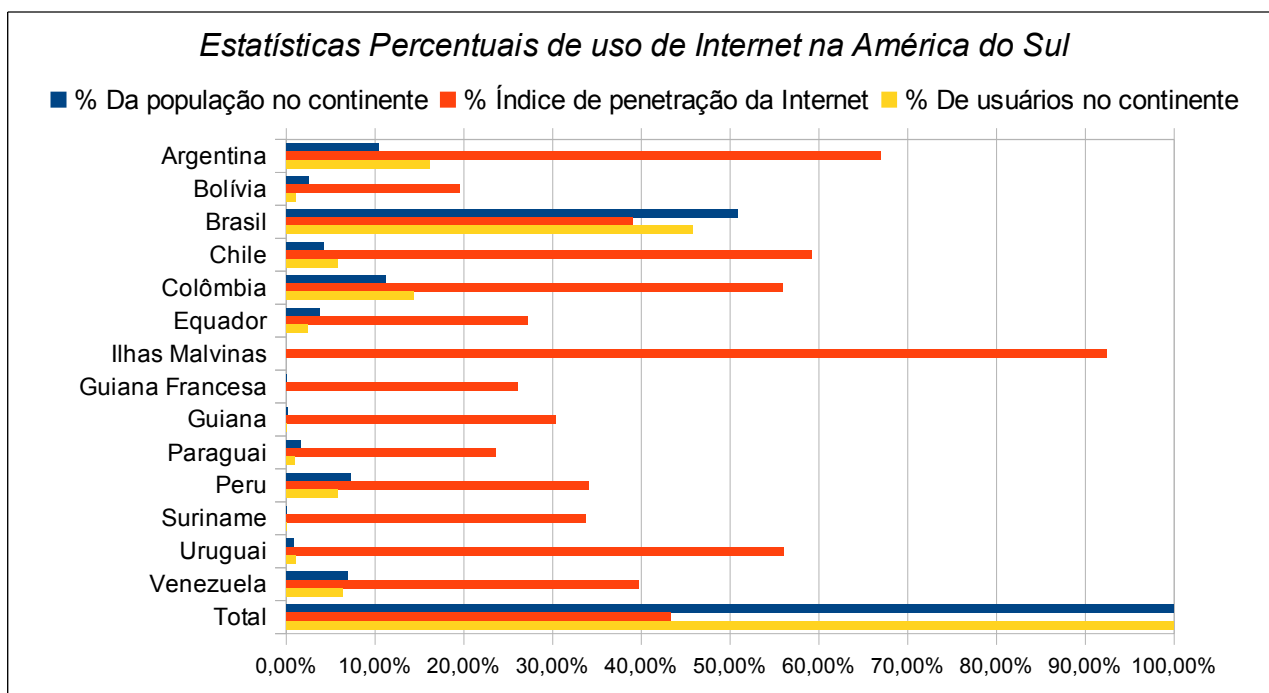


Figura 1.7 - Estatísticas de uso de *Internet* na América do Sul (Fonte: *Internet World Stats* – www.internetworldstats.com/stats2.htm adaptado pelo autor).

1.3 - Histórico de projetos humanitários pelo mundo

Os projetos tecnológicos com enfoques humanitários, inclusivos e sociais vem crescendo significativamente ao longo dos anos, o que já estimula a comunidade científica a organizar congressos especificamente com esse tema ou ainda promoverem sessões especiais dentro dos mesmos abordando o assunto. Alguns exemplos são o *RuralComm* do IEEE [*RuralComm* 2012], *Kaleidoscope* do ITU [*Kaleidoscope* 2013] e o *Global Humanitarian Technical Challenge* do IEEE [*GHTC* 2014], que são eventos que se propõem a levantar essas questões e buscar soluções econômica e tecnologicamente sustentáveis. A seguir serão listados alguns exemplos de projetos humanitários mundo a fora, abrangendo soluções para educação, saúde, segurança, finanças, dentre outros fins sociais, inclusivos e/ou humanitários.

Em [Cecchini 2002], trabalho publicado há 12 anos, o autor aborda o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação como forma de redução da pobreza e de provimento de acesso de pessoas pobres a serviços de educação, saúde, governo e serviços financeiros, utilizando a Índia

como país para seu estudo de caso. Ele exemplifica o uso das TIC por meio de três categorias: Oportunidade, Delegação de Poderes e Segurança.

Na primeira categoria ele exemplifica utilizando dois projetos: informatização dos processos de coleta e aferição de leite de gado dos centros de coleta de leite em áreas rurais, e no segundo exemplo ele mostra o uso de PDA's por enfermeiras trabalhando em áreas rurais coletando dados de saúde dos habitantes locais. Para a categoria de Delegação de Poderes, ele cita o projeto *Gyandoot* – uma rede de computadores do governo da Índia – onde há diversos quiosques espalhados pelo país (incluindo as áreas rurais) onde qualquer pessoa pode ter acesso a serviços do governo de forma mais ágil e transparente, sem a necessidade de deslocamento para os grandes centros urbanos. Como exemplificação da categoria Segurança ele cita o uso de *smart-cards* para coleta e armazenamento de dados financeiros de pessoas (coletados em vilas, povoados, etc por meio de um *handheld* ou PDA), cujo objetivo é manter um histórico de operações financeiras dessas pessoas (no geral, pobres), dando mais segurança aos bancos na hora de emprestar dinheiro, por exemplo.

O autor também realiza outras análises (em seções posteriores) sobre o aumento do índice de penetração de linhas telefônicas entre 1997 e 2000 (linhas para cada 1000 habitantes), sobre a privatização do sistema de telefonia do país (que não resolveu o problema de isolamento das comunidades rurais), da abrangência da rede de TV por assinatura na Índia (cuja capilaridade era maior que a da rede telefônica) e por fim sugere a utilização de um fundo de telecomunicações (semelhante ao FUST* no Brasil) para incentivo às empresas que queiram explorar esses serviços em áreas de baixo interesse comercial.

Em [Wang et al 2007] os autores utilizam uma rede GSM, Tecnologia 2G mais difundida na época e que ainda hoje o é, para criar um sistema de telemedicina móvel. Esse sistema basicamente realiza a medição de pressão sanguínea dos pacientes e também executa um procedimento de remoto de emergência, caso detectem alguma alteração crítica na pressão. O sistema combina um manômetro, *bluetooth* e um celular GSM para monitorar a pressão sanguínea e transmitir um alerta de emergência indicando que o paciente precisa de ajuda. Um esfigmomanômetro de pulso transmite as informações por *bluetooth* para um celular GSM. O IMEI, o momento da medição e a pressão sanguínea são transmitidos por SMS (*Short Message Service*) ou DTMF ao telefone celular conectado ao servidor de destino e todos os dados são salvos em uma aplicação no servidor. O sistema tem um *software* de gerenciamento completo o que permite que os dados sejam transmitidos e/ou recebidos e analisados praticamente em tempo real.

* FUST - Fundo instituído para alavancar os serviços de telecomunicações no Brasil, especialmente para as populações mais carentes, e corresponde a 1% de toda receita operacional bruta das empresas de telecomunicações.

Os autores citam que apesar do iminente crescimento do 3G, esse sistema relativamente simples pode auxiliar pacientes onde houver cobertura GSM (geralmente as operadoras utilizam as duas tecnologias concomitantemente, onde normalmente a cobertura GSM é bem maior que a 3G). É importante ressaltar que o sistema roda em um celular comum de um usuário e funciona paralelamente com o sistema operacional do aparelho, ou seja, o celular não é exclusivo para a aplicação, pode ser usado para fazer e receber ligações ou trocar mensagens curtas normalmente.

Em [Mbarika et al 2009], os autores defendem o uso das TIC para trazer benefícios tais como e-medicina, e-comércio, e-governo, tele-educação, entre outros como forma de promover avanço tecnológico em países com economias em desenvolvimento, especialmente países africanos (33 dos 48 países menos desenvolvidos se encontram na África, segundo a ONU), serviços estes que já são comuns em países desenvolvidos.

Uma das maneiras de se avaliar o índice de desenvolvimento em TIC de uma nação é através da teledensidade, que nada mais é que o número de linhas telefônicas (fixas ou móveis) instaladas para cada 100 habitantes, ou seja, é um índice de desenvolvimento das redes de telecomunicações de um país. Especialmente em países africanos, onde em alguns casos a teledensidade por ter valores tão baixos como 0,5 linhas para cada 100 habitantes, os autores analisam estratégias para melhorar esse cenário desfavorável, visto que teledensidade e desenvolvimento econômico são elementos correlacionados.

Os pesquisadores basicamente focaram o estudo com base nas visões dos “*stakeholders*” (que em uma tradução literal seriam as partes interessadas) tanto governamentais quanto não governamentais, procurando conciliar estratégias e buscando o “melhor dos dois mundos” para sugerir caminhos mais concretos para o efetivo desenvolvimento das telecomunicações desses países, levando também em consideração as particularidades culturais, geográficas, políticas, organizacionais e momento econômico de cada nação. A pesquisa consistiu no envio de um dado número de questionários para os “*stakeholders*” e, após análises estatísticas desses dados, concluíram que a melhor estratégia a ser adotada para o desenvolvimento das telecomunicações nos países africanos em desenvolvimento dependerá muito do cenário particular de cada nação, entretanto no decorrer do artigo os autores sugerem algumas mudanças importantes como a quebra do monopólio estatal das telecomunicações (existente ainda em vários países no continente) e a privatização do setor, visando o estímulo à competição e à expansão do serviço.

Em [Keyani et al 2009] os autores expõem um projeto de cuidados médicos à distância (*Telehealthcare*) para áreas rurais provido por “moças cuidadoras” e/ou médicos clínicos que utilizam voz, SMS ou MMS (*Multimedia Message Service*) para registrar e enviar ou receber dados médicos de pessoas enfermas que se encontram nessas áreas para médicos especialistas localizados nos

centros médicos da capital ou até mesmo para cidades de outros países.

Um sistema informatizado e baseado em *software* livre armazena e gerencia esses dados, que ficam disponíveis tanto para as cuidadoras e clínicos quanto para os especialistas, onde os últimos analisam caso a caso e prescrevem o tratamento mais adequado remotamente. O projeto é experimental e foi desenvolvido no Paquistão, onde 39% da população vive abaixo da linha da pobreza e cerca de 65% da população reside em áreas rurais. Essa maioria da população residente fora das regiões urbanas sofre com a falta de cuidados médicos adequados.

Para o governo o projeto representa uma economia operacional e uma forma de tentar compensar a falta de investimento em saúde pública nas regiões mais remotas do país. O sistema permite que também se atue de forma preventiva, onde as cuidadoras ou clínicos atuam como linha de frente, pré-diagnosticando um paciente e em caso de dúvida ou necessidade de um especialista, utilizam os recursos de voz, SMS ou MMS para enviar os dados médicos (ou receber orientação através desses meios).

Como o sistema cria um banco de dados com as informações médicas, pode-se manter o histórico médico de cada paciente, além disso, é possível detectar uma epidemia de uma dada doença e agir de modo a erradicar mais rapidamente a mesma.

Em [Rubicondo et al 2010] os autores descrevem o funcionamento de um Centro Comunitário de Informática (*KCCC – Kasambya Community Computer Center*) em Uganda na África Central, que inclusive atende regiões rurais do país, oferecendo gratuitamente serviços de acesso a *Internet*, treinamento, cursos de Informática, fotocópia, escaneamento, dentre outros. Estima-se que cerca de 80% dos ugandenses conectam-se a *Internet* por meio de centros semelhantes ao KCCC, demonstrando a importância da utilização desse modelo de massificação e popularização do uso da *Internet* em regiões mais afastadas dos centros urbanos ou mais pobres.

Neste mesmo artigo, os autores citam a privatização do setor de telecomunicações no país ocorrida em 1996, onde poucos provedores entraram no mercado oferecendo serviços de TIC e expansão da *Internet*, porém as regiões rurais permaneceram aquém desse avanço, apesar do oferecimento de capital proveniente de um Fundo de Desenvolvimento das Comunicações Rurais em Uganda (*Rural Communication Development Fund – RCDF*), como forma de incentivar a expansão das redes de comunicações para as regiões mais remotas do país. Os autores também abordam a questão da qualidade e confiabilidade da rede de energia elétrica, que é também um componente que afeta a expansão dos serviços de *Internet* em Uganda.

O KCCC atua principalmente nas áreas de Educação (devido à falta de recursos computacionais na maioria das escolas), Pequenos Negócios (informações de mercado, acesso a produtos, acesso a serviços de *bankline*, etc), Agricultura (informações sobre preços de produtos

agrícolas, comunicação com fornecedores e compradores, entre outros), Desenvolvimento Organizacional (atendendo cooperativas, centros de saúde, órgãos do governo local, etc), Saúde (informações médicas, pesquisas, dados demográficos, tendências epidemiológicas, intercâmbio de informações médicas com médicos de outros países, entre outros) e Atividades Específicas (tais como treinamentos básicos na área de Informática). Por fim eles analisam as estratégias de sustentabilidade do KCCC, visto que muitos centros no país semelhantes ao mesmo faliram por não terem um modelo de gestão e uma base financeira adequada à manutenção desses projetos.

Em [Nungu et al 2011] os autores abordam a necessidade de acesso ubíquo a redes de comunicação, especialmente em regiões rurais de países em desenvolvimento. Eles afirmam que os três maiores desafios para implementar esses tipos de redes nestes locais são: a robustez dos componentes da rede, suprimento de energia não existente ou de qualidade muito pobre e um modelo de negócio que seja sustentável.

No artigo os autores reconhecem algumas características inerentes às áreas rurais e isoladas, que dificultam a implementação de sistema de comunicações nestas regiões: (1) baixa densidade populacional e baixa renda per capita, devido ao baixo nível tecnológico das atividades econômicas da região (no geral, baseadas em agricultura e pesca); (2) escassez ou falta de recursos básicos de infraestrutura, tais como eletricidade, água, estradas e falta de técnicos educados e treinados e (3) serviços sociais precários, tais como saúde e educação.

Nesse cenário desfavorável, atrair investimentos para implantação desse sistema é uma tarefa extremamente difícil, devido ao baixo retorno de investimento, altos custos e altos riscos. Assim, a criação de organizações não governamentais, sustentadas por patrocinadores e pela própria comunidade são algumas das alternativas para se atrair investimentos (CAPEX) para projetos dessa natureza, assim como viabilizar a operação (OPEX) sustentável dos mesmos.

Pensando nisso, eles desenvolveram um roteador de alto desempenho, robusto, com *software* livre e de baixo custo / baixo consumo além de um sistema de gerenciamento e armazenamento de fontes alternativas de energia (eólica e solar) para esse roteador. A versão atual do roteador é capaz de rotear mais de 700 kbps com um consumo de 22,3 W. O cenário de testes é a comunidade de Serengeti, na Tanzânia. O artigo trás uma descrição detalhada de *hardware* e *software* utilizado para desenvolver o sistema e por fim demonstra a eficiência do mesmo, em termos de custos, consumo de energia, capacidade de roteamento, entre outros.

Em [Mwesigwa 2013] o autor abrange a problemática de se prover serviços de saúde pública e privada em países em desenvolvimento, especialmente no continente africano, palco da conferência anual do IST-África. O cenário descrito no artigo é a república Uganda, onde a proliferação de doenças como HIV/AIDS, tuberculose, infecções respiratórias, desnutrição, etc são

corriqueiras. Um sistema de telemedicina foi desenvolvido para auxiliar o país no acompanhamento de seus pacientes, utilizando SMS e IVR (*Interactive Voice Response*) comumente conhecido serviço de reconhecimento de voz, tudo isso gerenciado por um sistema *web* com um banco de dados baseado em SQL.

O objetivo do projeto é poder gerenciar remotamente os pacientes, prescrevendo medicações, analisando reações adversas, acompanhando a evolução do tratamento, dentre outras possibilidades. Os pacientes também podem acessar o sistema e receber orientações, ou até mesmo receber lembretes informando o horário de uso da medicação, para um efetivo tratamento.

Em [Mondal et al 2013] os autores descrevem um sistema de sala de aula virtual que consome pouca largura de banda quando comparado com sistemas comerciais, justamente para atender cidadãos analfabetos que representam uma parcela significativa da população de países em desenvolvimento. Existem sistemas comerciais que realizam essa tarefa, porém os mesmos exigem uma largura de banda muito maior para funcionamento adequado. O sistema proposto tem como cenário a Índia, um país com mais de 1 bilhão de habitantes e com uma dispersão populacional considerável, onde milhares de quilômetros de distância separam cidades e povoados (regiões rurais).

Esse tipo de iniciativa pretende ampliar a rede educacional do país utilizando a tecnologia para isso, encurtando a distância entre professores e alunos. Basicamente o sistema utiliza *streaming* de voz por UDP e utiliza o TCP para conexão visual entre aluno e professor. Os também autores realizam comparações entre o sistema proposto e os sistemas comercialmente conhecidos, inclusive concluem que o sistema deles conseguiu prover um MOS (*Mean Opinion Score*) de quase 4,0 pontos (que corresponde a uma qualidade de voz considerada boa).

Dessa forma, percebe-se que a preocupação em prover tecnologias de acesso à informação e inclusão digital (inserção tecnológica dos economicamente menos favorecidos) e o desenvolvimento de tecnologias mais baratas (economicamente mais acessíveis, que consuma pouca energia, por exemplo, para os pobres) é uma preocupação mundial, especialmente para países em desenvolvimento.

Este trabalho visa exatamente propor uma alternativa tecnológica de telefonia celular de custo acessível para pessoas mais pobres, abrangendo mais especificamente a região amazônica, onde existem pequenas populações (dispersas em um grande número de comunidades) que vivem em regiões rurais isoladas e à margem da economia, onde os grandes avanços tecnológicos atuais demorarão muito a chegar (ou nem mesmo chegarão), pois não são interessantes e/ou viáveis do ponto de vista econômico.

1.4 - Projetos tecnológicos e inclusivos no Brasil

O Brasil é o maior país da América do Sul e está dividido em cinco regiões com características muito particulares e bastante diversificadas. Em especial na região Norte, comunicar-se, tecnologicamente falando, se torna um grande desafio, devido à baixa densidade demográfica, dispersão populacional elevada, grandes áreas de florestas e dimensões geográficas enormes.

Nas áreas urbanas amazônicas isto não é um grande problema, pois na maioria das cidades da região existem de duas a quatro operadoras de telefonia móvel celular e pelo menos duas operadoras de telefonia fixa, comercializando seus serviços (incluindo serviços de dados). Mas nas regiões rurais é comum haver municípios onde existem comunidades isoladas da sede municipal, muitas vezes há vários quilômetros de distância desta, onde geralmente vivem poucas famílias cujas principais atividades econômicas são a pesca artesanal, pequenos comércios e a agricultura de subsistência. No geral são famílias pobres, com baixo poder aquisitivo.

Somado a isso, não há interesse comercial ou subsídio do Governo para que as operadoras instalem uma estrutura de telecomunicações nestas localidades, pois não há expectativa de retorno de investimento mesmo em longo prazo. Embora a agência reguladora de telecomunicações do país estipule às operadoras algumas obrigações legais de expansão do serviço de telefonia fixa e móvel (expansão da cobertura) [ANATEL 2007], isso não é o suficiente para promover a inclusão digital e social dessas comunidades.

A seguir serão mostrados em breve discussão exemplos de programas ou projetos de inclusão digital (tanto nacionais, regionais ou mesmo pontuais) que tentam diminuir esse “*gap*”, essa ausência de tecnologia nas regiões mais remotas do Brasil, porém ainda não atendem (ou atendem parcialmente) a parcela da população-alvo desse trabalho.

1.4.1 - Programa Nacional de Banda Larga (PNBL)

O Programa Nacional de Banda Larga foi criado pelo Decreto no 7.175, de 12 de maio de 2010. O objetivo do Programa é expandir a infraestrutura e os serviços de telecomunicações, promovendo o acesso à população e buscando as melhores condições de preço, cobertura e qualidade. A meta é proporcionar o acesso à banda larga a 40 milhões de domicílios brasileiros até 2014 à velocidade mínima de 1 Mbps [PNBL 2014]. As ações do Programa estão organizadas em quatro grandes dimensões [Balanço PNBL 2014]:

- Ações regulatórias que incentivam a competição e normas de infraestrutura que induzam à

A oferta do Programa Nacional de Banda Larga (PNBL) aos municípios é feita de duas formas: tanto pela Telebras e provedores parceiros quanto pelas concessionárias de telefonia fixa que assinaram termos de compromisso com o Ministério das Comunicações (Oi, Telefônica, Algar Telecom e Sercomtel). A Telebras administra mais de 28 mil km de redes de telecomunicações, capazes de atingir inclusive as localidades onde não há oferta por parte das concessionárias.

A rede da Telebras chega até a entrada dos municípios. De lá, os pequenos e médios provedores que firmaram acordo com a estatal captam o sinal e levam a conexão até a casa do cidadão, com velocidade de 1 Mbps a R\$ 35,00 (com impostos). A oferta da Telebras e parceiros chega a 426 municípios em 23 Estados e no Distrito Federal (dados de 03/2014).

As concessionárias de telefonia fixa firmaram em junho de 2011 um acordo com o Ministério das Comunicações com o objetivo de contribuir para a popularização da internet no Brasil, oferecendo o serviço nos moldes do PNBL (1 Mbps de velocidade por R\$ 35 mensais, com impostos). No total, 4.523 municípios, em 25 Estados e no Distrito Federal, estão sendo beneficiados (dados de 03/2014).

Portanto, o PNBL trata-se de um plano de inclusão digital que tem como objetivo aumentar a oferta do serviço de banda larga no Brasil, através da melhoria da infraestrutura da rede e incentivos fiscais, aumentando a velocidade de acesso em regiões afastadas e diminuindo o preço do serviço. Dessa forma, o governo federal espera atender 76% dos municípios brasileiros o que corresponde a 88% da população.

Embora tal projeto tenha como previsão alcançar grande parte da população brasileira, quando se trata apenas das regiões mais afastadas dos grandes centros populacionais, a realidade é outra. Como mostrado na Figura 1.9, o PNBL pretende alcançar os 8 Estados pertencentes às regiões Norte e Centro-Oeste que possuem grande deficiência na cobertura banda larga no Brasil que são: Acre, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

Contudo, apesar de alcançar todos esses estados, ao contrário da média nacional, apenas 31% dos municípios dessas regiões serão atendidos (o que corresponde a cerca 54% da população dessas áreas) deixando ainda uma grande parcela de pessoas à margem dos benefícios desse projeto.

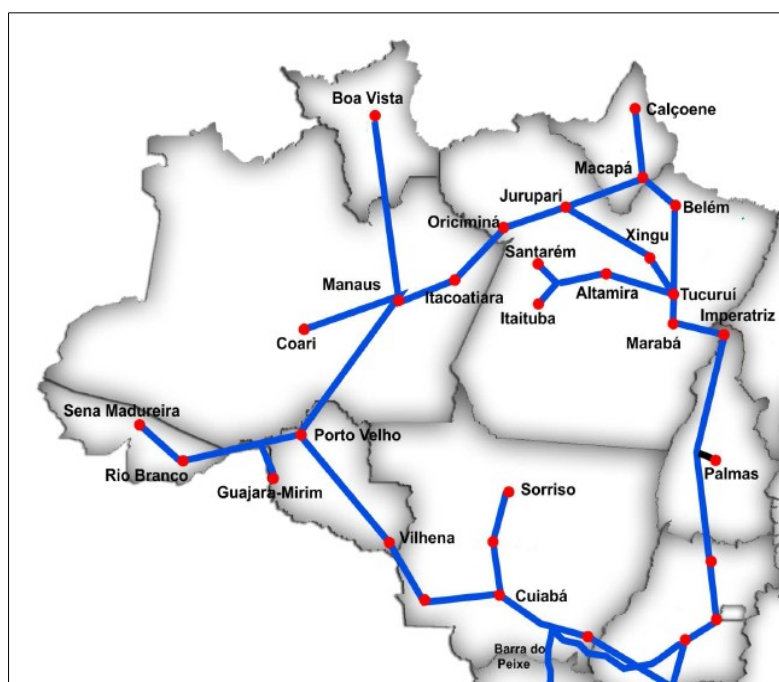


Figura 1.9 - Estados da região Norte e Centro-Oeste com grande deficiência em acesso banda larga cobertos pelo PNBL (Fonte: Relatório de balanço do PNBL 2014).

1.4.2- Programa Banda Larga nas Escolas

O Programa Banda Larga nas Escolas (PBLE) tem como objetivo conectar à *Internet* todas as escolas públicas (de nível fundamental e médio) urbanas participantes dos programas E-Tec Brasil, além de instituições públicas de apoio à formação de professores: Polos da Universidade Aberta do Brasil (UAB), Núcleo de Tecnologia Estadual (NTE) e Núcleo de Tecnologia Municipal (NTM), por meio de tecnologias que propiciem qualidade, velocidade e serviços para incrementar o ensino público no país [D.O.U. 2008].

O Programa Banda Larga nas Escolas foi lançado no dia 04 de abril de 2008 pelo Governo Federal, por meio do Decreto nº 6.424 que altera o Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado Prestado no Regime Público – PGMU [D.O.U 2003].

Com a assinatura do Termo Aditivo ao Termo de Autorização de exploração da Telefonia Fixa, as operadoras autorizadas trocam a obrigação de instalarem postos de serviços telefônicos (PST) nos municípios pela instalação de infraestrutura de rede para suporte a conexão à *Internet* em alta velocidade em todos os municípios brasileiros e conexão de todas as escolas públicas urbanas com manutenção dos serviços sem ônus até o ano de 2025. Fazem parte do programa as operadoras

Telefônica, CTBC, Sercomtel e Oi/BRT.

A gestão do Programa é feita em conjunto pelo Ministério da Educação (MEC) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), em parceria com o Ministério das Comunicações (MC), o Ministério do Planejamento (MPOG) e com as Secretarias de Educação Estaduais e Municipais. A Tabela 1.1 mostra o número de escolas contempladas até o momento com o projeto.

Mais uma vez se observa que escolas das capitais e os núcleos (sedes) são contemplados, entretanto, as regiões rurais (fora das sedes) continuam digitalmente marginalizadas, sem ao menos previsão de expansão desse projeto pelos próximos anos, de modo a abranger essa população.

Tabela 1.1 - Distribuição de pontos do PBLE no Brasil (Fonte: MEC/ANATEL/Telebrasil).

UF	Nº DE ESCOLAS	UF	Nº DE ESCOLAS	UF	Nº DE ESCOLAS
AC	321	AL	928	AM	818
AP	249	BA	5.327	CE	2.323
DF	564	ES	1.213	GO	2.337
MA	2.829	MG	6.903	MS	763
MT	1.073	PA	1.943	PB	1.736
PE	2.433	PI	1.742	PR	4.456
RJ	4.563	RN	1.427	RO	521
RR	182	RS	3.756	SC	2.551
SE	737	SP	13.198	TO	811
TOTAL DE ESCOLAS CONTEMPLADAS NO BRASIL (ATÉ 31/01/2014):					65.704

1.4.3 - GESAC

Criado em Março/2002 e coordenado pelo Ministério das Comunicações em parceria com outros órgãos e entidades, o GESAC (Governo Eletrônico – Serviço de Atendimento ao Cidadão) oferece ferramentas em Tecnologias para a Informação e Comunicação (TIC), recursos digitais e capacitação por meio de uma plataforma de rede, serviços e aplicações, com o objetivo de promover a inclusão digital em todo o território brasileiro [Manual do GESAC 2011].

Com a publicação da Portaria nº 483, de 12 de agosto de 2008, foi aprovada a Norma Geral do Programa GESAC que estabelece suas diretrizes, seus objetivos, e suas metas, bem como os procedimentos e critérios para sua implementação além de dar outras providências.

Conforme dispõe o artigo 8º, da Seção I do Capítulo II (da Aplicação de Recursos), da Norma Geral do Programa GESAC, são diretrizes do programa:

- Promover a inclusão digital;
- Ampliar o provimento de acesso à *Internet* em banda larga para instituições públicas;
- Apoiar órgãos governamentais em ações de governo eletrônico;
- Contribuir para a universalização do acesso à *Internet*;
- Fomentar o desenvolvimento de projetos comunitários e a formação de redes de conhecimento;
- Incentivar o uso de *software* livre;
- Apoiar o desenvolvimento das comunidades beneficiadas; e
- Apoiar comunidades em estado de vulnerabilidade social”.

O GESAC é voltado, prioritariamente, para comunidades em estado de vulnerabilidade social, em todos os estados brasileiros, privilegiando as cidades do interior, sem telefonia fixa e de difícil acesso. Por meio de parcerias com as IR (Instituições Responsáveis), normalmente Órgãos Federais ou também por aquelas firmadas com entidades sem fins lucrativos, disponibiliza recursos voltados à inclusão digital nos pontos GESAC.

A primeira fase do projeto fora concluída em 2003 com a instalação de 3.200 pontos; na segunda fase em 2005 esse número chegou a 4.400 pontos instalados; em 2008 esse número chegou a 13.379 pontos e em 2013 a meta era alcançar até 31.000 pontos instalados em todo país.

Até 2011 o GESAC fornecia conectividade à *Internet* predominantemente via satélite (com sinal recebido por uma antena VSAT), com velocidades a partir de 512 kbps para *download* e a partir de 128 kbps para *upload*. Contudo, em 2013 o Ministério das Comunicações realizou nova licitação (que foi ganha pela Embratel), onde estabelece velocidades mínimas de (DL e UL) por região de contratação (as cinco regiões brasileiras).

A Tabela 1.2 mostra os critérios de velocidades estabelecidos na nova licitação, enquanto a Tabela 1.3 mostra a distribuição dos pontos por tipo (terrestre ou satélite), velocidades e região do país.

Tabela 1.2 - Taxas de transmissão nominais mínimas de contratação (Fonte: Audiência Pública GESAC – Março/2013, com adaptações do autor).

Taxas de transmissão nominais mínimas de contratação		
Categoria	Download	Upload
C1	512 kbps	128 kbps
C2	1024 kbps	256 kbps
C3	2048 kbps	512 kbps
C4	4096 kbps	1024 kbps
C5	8192 kbps	1024 kbps

Tabela 1.3 - Distribuição de pontos GESAC (Fonte: Audiência Pública GESAC - Março/2013).

Distribuição Inicial			
Lote	Tecnologia	Quantidade	Velocidades
I - SUL	Terrestre	2.921 PPs	C1 a C5
II – RJ e SP	Terrestre	2.759 PPs	
III - MG	Terrestre	3.125 PPs	
IV – ES, BA e SE	Terrestre	2.770 PPs	
V - AL, PB, PE e RN	Terrestre	2.680 PPs	
VI - AP, PA, CE, MA e PI	Terrestre	2.990 PPs	
VII - CO, TO, AC, AM, RO e RR	Terrestre	1.900 PPs	
VIII – Nacional	Satélite	4.310 PPs	C1, C2, C3 e C5
IX – Nacional	Satélite	4.310 PPs	
Total		27.765 PPs	

A Figura 1.10 apresenta uma instalação típica do GESAC (com VSAT) e a Figura 1.11 mostra os elementos de rede que compõem um ponto de presença.



Figura 1.10 - Exemplo básico de uma rede VSAT (Fonte: Manual de conectividade da Rede GESAC – Embratel 2010).



Figura 1.11 - Instalação típica do ponto de presença GESAC (Fonte: Manual de conectividade da Rede GESAC – Embratel 2010).

Uma inconveniência extra de se utilizar conexões por satélite (além do atraso – *delay* – e da variação do atraso – *jitter*) consiste na influência que as estações terrenas sofrem nos equinócios solares. O satélite movimenta-se numa órbita ao redor da Terra que, por sua vez, movimenta-se ao redor do sol. As estações terrenas apontam suas antenas para o satélite, que parece estar fixo em relação à Terra. Em duas épocas do ano (em torno de março e setembro), o sol, em seu movimento aparente no céu, passa por trás do satélite provocando uma interferência nas antenas das estações terrenas.

É importante ressaltar que a interferência não ocorre bruscamente, e sim de forma gradual, de modo que no dia anterior e no posterior ao que período previsto pode-se experimentar alguma perturbação. É difícil também determinar se haverá queda completa do sinal ou apenas um aumento do nível de ruído. No site da empresa *Star One* (braço satelital da Embratel) podem ser encontrados maiores detalhes, além de previsões das interferências para cada município, estado ou mesmo todo Brasil [*Star One* 2014].

O programa GESAC atende instituições públicas de ensino, saúde, segurança e unidades de serviço público localizadas em áreas remotas, de fronteira ou de interesse estratégico; escolas e órgãos públicos civis e militares; entidades da sociedade civil sem fins lucrativos; sindicatos, aldeias indígenas, assentamentos, comunidades de pescadores, quilombolas, ONGs, dentre outros.

Observa-se que o GESAC quando comparado com outras iniciativas de inclusão digital, contempla comunidades rurais isoladas, normalmente esquecidas pelos demais projetos até agora apresentados.

1.4.4 - Navega Pará

É o programa do Governo do Estado do Pará que visa promover a inclusão social através da inclusão digital e promover a democratização do acesso à *Internet* pelos órgãos de Governo e pela sociedade, possibilitando a implantação do governo digital e a aproximação dos cidadãos das políticas públicas eletrônicas [NavegaPará 2014].

Atualmente, 63 municípios paraenses estão ligados ao NavegaPará com 95 pontos de acesso livre e 179 infocentros, em um total de 67 Cidades Digitais, distribuídas em 11 microrregiões do estado, que contam com diversos pontos conectados, entre eles unidades de saúde, educação, segurança pública e órgãos públicos. O programa é estruturado através da Metrobel, das Cidades Digitais e das Infovias.

A Rede Metropolitana de Belém (MetroBel) é uma infra-estrutura de telecomunicações capaz de prover diversos serviços (telemedicina, EaD, videoconferência, *Internet* banda larga, VoIP, entre outros). Inicialmente, a MetroBel se estendia por cerca de 40 km de fibra óptica, ligando Instituições de Ensino e Pesquisa (IEP) ao longo de sua área de abrangência.

Com a adesão do Governo do Estado, que se responsabilizou pela expansão do anel de fibra óptica para atendimento de suas unidades, a Metrobel ampliou a rede cerca de 152 km de cabo de fibra óptica lançados (55 km *backbone* e 97 km de derivações). Essa ação possibilitou a entrada na MetroBel de aproximadamente 200 unidades do governo, sendo as principais áreas beneficiadas: segurança, saúde e educação.

O Governo do Estado utiliza 2 (dois) pares de fibra óptica (uma a mais que as demais IEP) no *backbone* Metropolitano, visto que o anel possui cabos com 48 fibras. Na extensão da BR-316, visto que o anel possui cabos com apenas 36 fibras, como não há redundância física, o governo só utiliza um par de fibras ópticas em cada direção.

Nessa configuração dos pares disponíveis para o Governo do Estado, a topologia definida para o *backbone* central fica composta de 2 anéis, um interno atendendo somente a região metropolitana e o outro externo atendendo a região metropolitana e a radial BR-316, além disso, a capacidade de transmissão para cada anel é de 1 Gbps podendo ser futuramente estendida para 10 Gbps (utilizando os equipamentos instalados), a Figura 1.12 os respectivos anéis.

As Cidades Digitais [Cidades Digitais 2014] consistem na instalação de redes sem fio banda larga ou pequenas redes de fibra óptica, que levam ao interior do Estado, o sinal da rede da Eletronorte, viabilizando ações como telemedicina, tele-educação e segurança pública, além da interligação nos municípios atendidos, de todos os órgãos governamentais.



Figura 1.12 - Expansão da Metrobel pelo Navega Pará (Fonte: Google/ NavegaPará 2014).

As Cidades Digitais também possibilitam acesso aos municípios interioranos à chamada governança eletrônica (serviços públicos pela *Internet*, como por exemplo, consultas sobre documentos e inscrição em concursos). As redes sem fio instaladas operam na faixa de frequência de 5,7 GHz, tecnologia *Wi-Max*, não necessitando de licença de operação junto a ANATEL.

Em cada cidade é instalada uma estação servidora no POP do Governo do Estado/Eletronorte, que irradiará o sinal de rádio para as estações clientes. As estações clientes são órgãos do Governo Estadual e Municipal tais como: escolas, secretarias municipais e estaduais, postos de saúde e hospitais, delegacias, quartéis da PM, Bombeiros, etc. A Figura 1.13 Mostra a configuração básica de uma cidade digital.

As infovias do programa (Infovia Amazônia, infovia Amazonas, infovia Capim, infovia Guamá-Caeté, infovia Itacaiunas, infovia Marajó, infovia Marajó 2, infovia Tapajós, infovia Tocantins1, infovia Tocantins 2 e infovia Xingu-Iriri) - cujo detalhamento está fora do escopo desse trabalho - compõem a rede de transporte (ou *backbone* óptico) que atende às necessidades de circuitos do estado do Pará, interligando as principais unidades do estado. São compostas por um sistema DWDM e um sistema SDH - STM16 (2,5 Gbps).

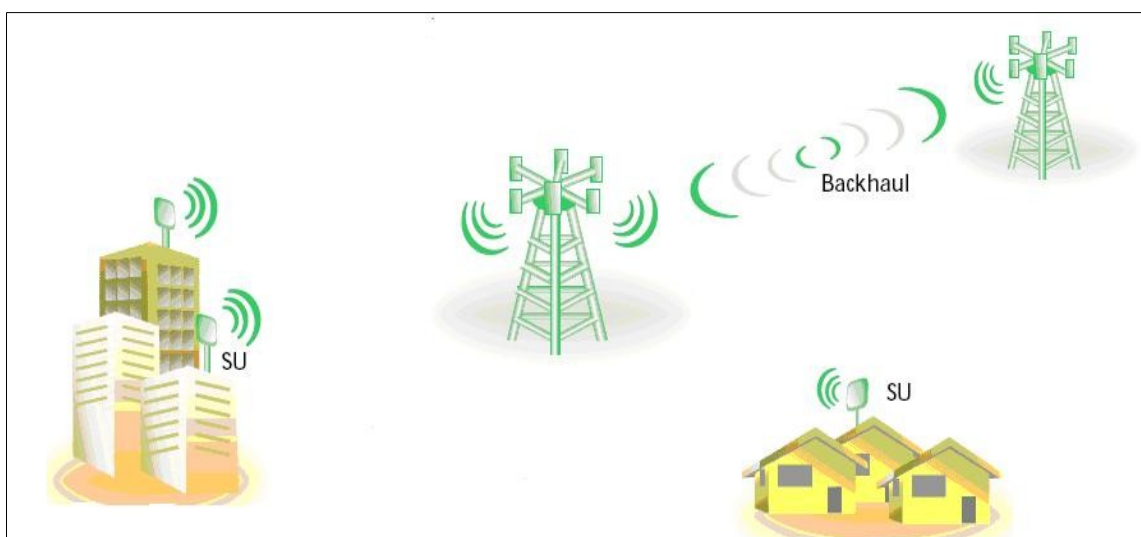


Figura 1.13 - Exemplo de Cidade Digital do Programa (Fonte: Cidades Digitais 2014).

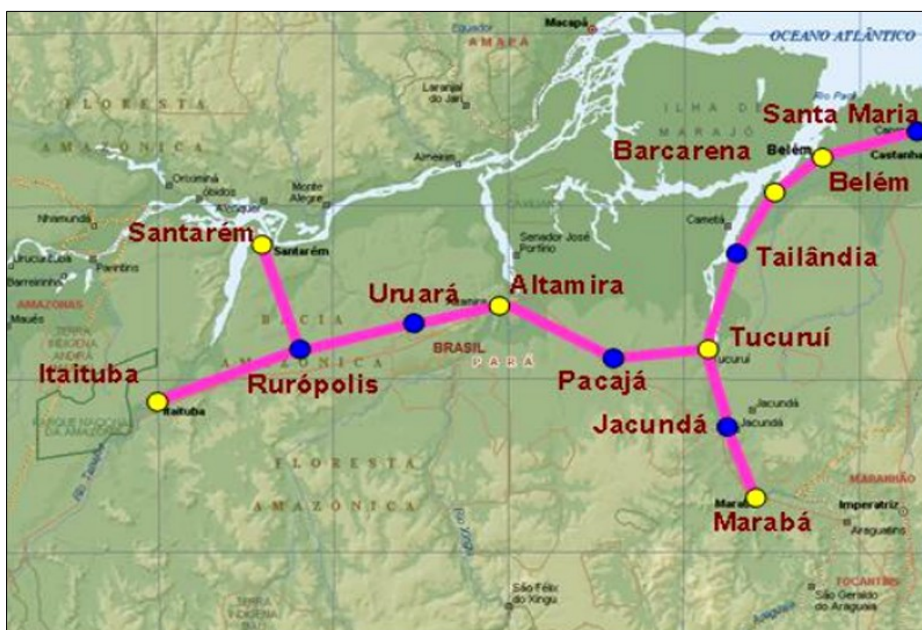


Figura 1.14 - Pontos de distribuição regional das estações da rede de transporte (Fonte: NavegaPará 2014).

Já está implantado, no estado do Pará, ao longo das linhas de transmissão nas localidades próximas das subestações e repetidoras da Eletronorte. A Figura 1.14 mostra esses pontos de distribuição regional das estações da rede de transporte, as quais são interligadas por cabos OPGW da Eletronorte.

O NavegaPará é mais uma boa iniciativa de inclusão digital. A tendência natural é que o projeto se expanda tanto em alcance de mais municípios (o Pará possui 144 atualmente) quanto em capacidade dos *backbone*, *backhaul* e pontos de presença. Entretanto, ainda se observa que o projeto provê cobertura apenas das sedes dos municípios, deixando mais uma vez de fora as comunidades rurais afastadas, que igualmente necessitam de serviços sociais e humanitários.

1.4.5 - *Connect to Learn Brazil* (Ericsson)

Outra iniciativa que pretende levar conhecimento e inclusão digital em países e desenvolvimento é o *Connect to Learn* [*Connect to Learn Brazil* 2014], programa encabeçado pela empresa de telecomunicações sueca Ericsson, com o apoio do *Earth Institute* (da Universidade de Columbia) e da *Millennium Promise*, esta última é uma instituição internacional sem fins lucrativos que tem o objetivo de erradicar a pobreza extrema, fome e doenças evitáveis no mundo.

O programa *Connect to Learn* já promoveu inclusão digital em diversos países (a maioria africanos), atendendo 26 escolas e 7410 crianças e jovens onde o programa foi implementado. A Tabela 1.4 mostra os países que já foram beneficiados, o número de escolas e o número de crianças / jovens por país.

A edição brasileira (piloto do programa no país) beneficiou uma comunidade pobre e recentemente pacificada na cidade do Rio de Janeiro - Vila Cruzeiro - onde residem aproximadamente 70 mil pessoas e outra em uma localidade amazônica chamada Suruacá (no estado do Pará), comunidade ribeirinha com cerca de 500 habitantes localizada à margem esquerda do rio Tapajós, próxima à cidade de Santarém.

Essa edição do programa além de promover inclusão digital das crianças / jovens dessas escolas, realizou a comunicação entre essas comunidades, situadas 3.500 km de distância uma da outra [Belitardo 2014]. A Figura 1.15 a seguir mostra a ideia do piloto implementado entre as comunidades. Infelizmente a empresa não detalha qual tecnologia utiliza para prover acesso à *Internet* com o programa (se é satélite, fibra, 3G, DSL, etc) e também não informa o número de computadores utilizados (sabe-se que são *netbooks* personalizados pelo programa).

Tabela 1.4 - Países contemplados com o programa *Connect to Learn* da Ericsson (Fonte: Belitardo 2014).

País	Ano	Nº de escolas atendidas	Nº de estudantes beneficiados
Chile	2011	4	700
Gana	2011	2	1070
Jamaica	2011	2	200
Quênia	2011	2	620
Tanzânia	2011	2	550
Uganda	2011	2	970
Brasil	2012	3	700
Djibuti	2012	2	600
Índia	2012	1	200
Nigéria	2012	2	600
Ruanda	2012	2	600
Senegal	2012	2	600
Total	-	26	7410

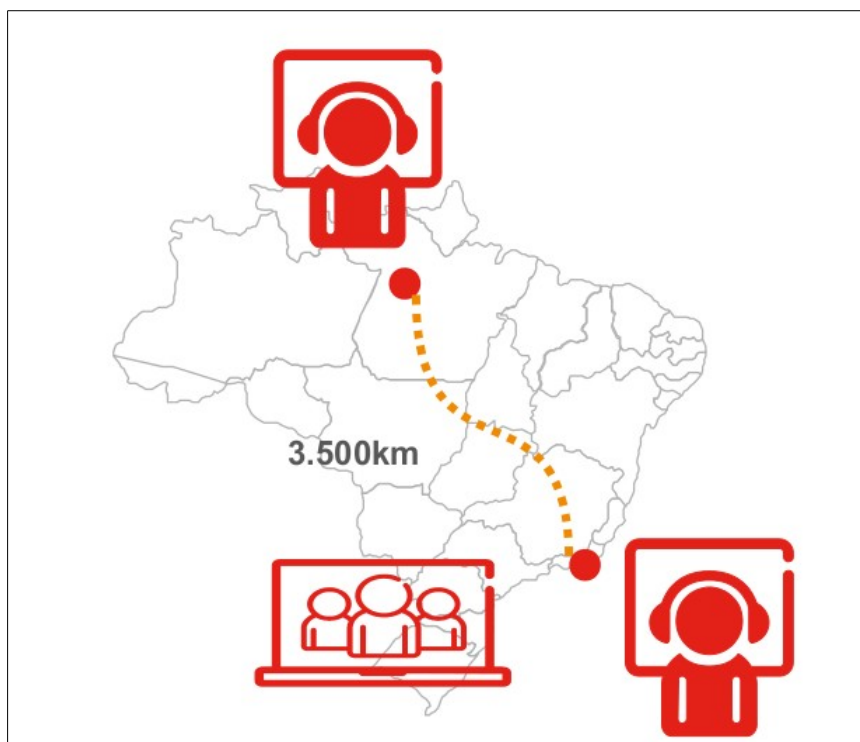


Figura 1.15 - Conexão entre comunidades brasileiras no piloto do projeto (Fonte: Belitardo 2014).

A iniciativa do programa também é inovadora, mas atende comunidades pontualmente e reforça a ideia de que com boa vontade e algum recurso é possível prover inclusão digital em países em desenvolvimento. Entretanto, são projetos pontuais e distribuídos mundialmente, pois a empresa e seus co-participantes não teriam (nem terão) recursos para cobrir todos os países de economias emergentes e nem mesmo um país todo, especialmente um país de dimensões continentais como o Brasil. Esse tipo de programa / projeto visa mais estimular aos governos e comunidades beneficiadas a buscar soluções sustentáveis para uma verdadeira inclusão digital (ampla e sempre crescente).

O projeto fim desse trabalho tem uma ou mais características semelhantes com todos as iniciativas aqui apresentadas, porém reserva particularidades que serão apresentadas e detalhadas no capítulo de resultados.

1.5 - Contextualização

O GSM (*Global System for Mobile Communication*) se tornou um padrão mundial de telefonia digital móvel de segunda geração (2G) que, Segundo o GSMA - *GSM Association* [GSMA 2014] hoje essa tecnologia, que possui mais de 20 anos de existência, corresponde a mais de 90%

dos acessos de telefonia móvel no mundo, englobando mais de 200 países [Halonen et al 2003].

Hoje é considerado um padrão aberto e bem estabelecido, oferecendo serviços de voz, mensagens de texto (SMS), e transferência de dados em até 9,6 kbps. Por conta da sua larga abrangência, o GSM possui uma ampla rede de *roaming* (por acordos comerciais entre operadoras de vários países) que permite aos seus usuários desfrutarem, em redes visitantes, dos mesmos serviços que utilizariam em suas redes de origem.

Por conta dessa amplitude e sucesso do padrão, a comunidade de *software* livre mundial se sentiu motivada e desafiada a desenvolver estudos e projetos baseados no GSM, que atualmente é um padrão desenvolvido pela 3GPP. Recentes esforços dessa comunidade permitiram maior exposição dos problemas e melhorias na implementação da tecnologia, sendo que iniciativas como os projetos OpenBTS[®] [OpenBTS 2014] e OpenBSC[®] [OpenBSC 2014] se tornaram pioneiras na definição de um sistema híbrido GSM conectado à *Internet*. Pilotos similares ao que se propõe esse trabalho já foram propostos e testados em locais como China, Polinésia e Antártica, em cenários tão variados quanto minas de carvão e plataformas petrolíferas.

Por outro lado, essa ampla cobertura, portabilidade (*roaming*), escalabilidade e padronizabilidade do GSM não garante a inclusão social e digital de forma global, especialmente de comunidades isoladas (em regiões tipicamente rurais), especialmente em países em desenvolvimento. O alto custo de implementação das redes atuais em locais de baixa densidade populacional impede a criação de políticas agressivas de cobertura dessas áreas.

A ITU-T publica anualmente um relatório chamado “*Year Book Statistics*” (disponível no site da entidade por meio de compra), onde são publicados indicadores de telecomunicações em pouco mais de 200 países entre os anos de 2001 e 2013.

O último relatório anual mostra que o Brasil desde 2012 apresenta 100% da sua população coberta pelo serviço de telefonia móvel e que atualmente possui uma teledensidade de 134 telefones móveis para cada 100 habitantes. A Tabela 1.5 a seguir mostra as estatísticas apresentadas nesse relatório referentes ao Brasil. As estatísticas também mostram um crescente e significativo aumento dos acessos em banda larga móvel, onde em 2013 esse número chegou a mais de 100 milhões [ITU-T 2013].

Entretanto, esses números com certeza não levam em consideração populações em comunidades isoladas das sedes dos municípios (remotas), muitas vezes à margem da economia e que não são cobertas por nenhuma operadora comercial. Essas pessoas ficam “fora” das estatísticas oficiais de cobertura e teledensidade, logo esses relatórios são falhos (ou incompletos) por não incluírem essa parcela da população.

Tabela 1.5 - Estatísticas de cobertura e teledensidade de telefonia móvel brasileira (Fonte: ITU-T / ANATEL com adaptações do autor).

BRASIL	ÁREA: 8.511.965 km			MOEDA: REAL						FINAL DO ANO: 31/12					
INDICADORES	UNIDADES	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
REDES MÓVEIS CELULARES															
Número de linhas de telefones móveis celulares	milhares	23.188	28.746	34.881	46.373	65.605	86.210	99.919	120.980	150.641	169.386	196.930	234.358	248.324	271.100
Número de linhas de telefones móveis celulares para cada 100 habitantes	-	-	16,25	19,46	25,53	35,68	46,35	53,16	63,74	78,65	90,02	104,10	123,87	132,79	134,40
Número de linhas de telefones móveis celulares pré-pagas	milhares	-	19.544	25.002	35.357	52.800	69.670	80.556	97.577	122.732	143.601	167.097	198.168	210.878	211.729
População coberta por telefonia móvel celular	%	-	-	-	-	88,00	88,35	89,42	90,64	91,72	96,58	99,89	99,98	100,00	100,00
Acessos ativos de banda larga móvel	milhares	-	-	-	-	-	-	-	-	3.471	8.665	20.628	41.114	59.185	103.108

A população rural brasileira representa pouco mais de 15% do total (como mostra a Figura 1.16), porém considerando-se que a população atual do Brasil chegou a 200 milhões de habitantes, a população rural representa cerca de 30 milhões de pessoas.

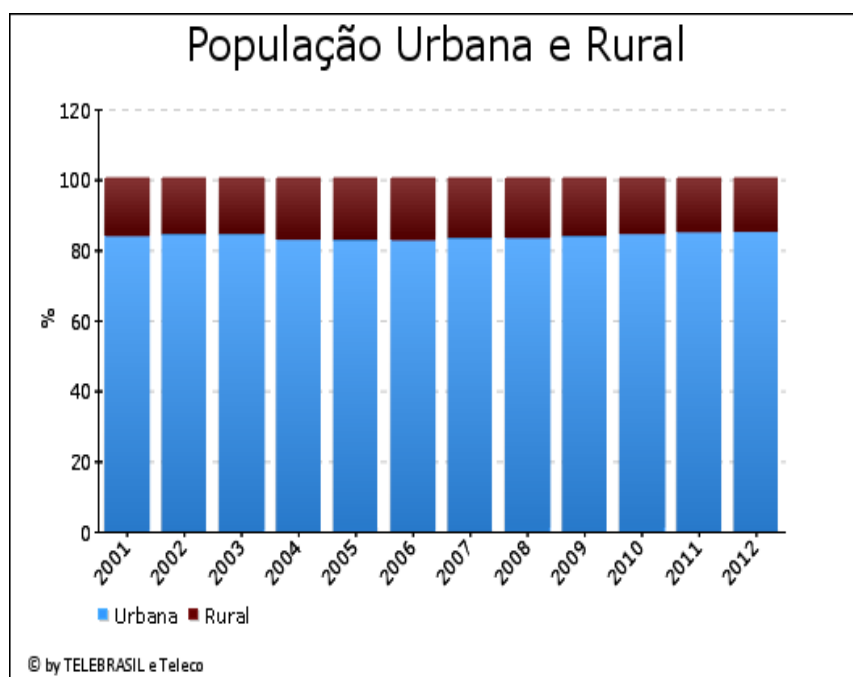


Figura 1.16 - Distribuição da população do Brasil (Fonte: IBGE, Telebrasil e Teleco).

Em recente edital do 4G publicado pela ANATEL em 2012, onde foram leiloadas as bandas de 2,5 GHz e de 450 MHz para cobertura do 4G e cobertura rural, respectivamente, destacam-se os seguintes itens do edital, referentes ao Anexo II B - Compromissos de Abrangência - [ANATEL 2014], no que se refere a cobertura de regiões rurais. Mais detalhes sobre essa legislação se

encontram no Anexo A deste trabalho.

Observa-se que nesse edital houve preocupação em melhorar a cobertura das regiões rurais e ampliação do programa de Banda Larga nas Escolas (antes limitado apenas às escolas urbanas e agora com atendimento de escolas rurais até 2017), porém essa abrangência se limita em 80% de até 30 quilômetros da sede do município coberto e, além disso, as escolas rurais serão atendidas com banda larga se estiverem dentro dessa área de abrangência.

Um raio de 30 km corresponde a uma área coberta de aproximadamente 2.827 km². Toma-se o estado do Pará (na região amazônica), para efeito de exemplo e estudo, com uma área total de 1.242.645,70 km², 144 municípios de tamanhos tão diversificados, tais como Altamira (o maior do estado, do Brasil e 5º maior do mundo) com 159.533 km² e Marituba (o menor do estado) com 103,30 km², e com densidades demográficas igualmente diversificadas (Ananindeua - maior - 2.477 hab./km² e Jacareacanga - menor 0,26 hab./km²) e sem correlação direta com o tamanho dos municípios [IBGE 2014]. Observa-se que o critério de 30 quilômetros ainda irá deixar muitos paraenses de fora do avanço tecnológico atual.

Analisando os dados demográficos do Censo 2010 disponíveis no site do IBGE [IBGE 2014], observa-se que para o caso do estado do Pará, 66 municípios (46,15%) tem área menor que 2.827 km², logo 77 municípios (53,85%) possuem área maior que esse limiar, o que implica dizer que a maioria dos municípios paraenses ainda vai apresentar deficiência de cobertura rural significativa pelo menos até 2017. A Figura 1.17 mostra a distribuição territorial dos municípios paraenses.

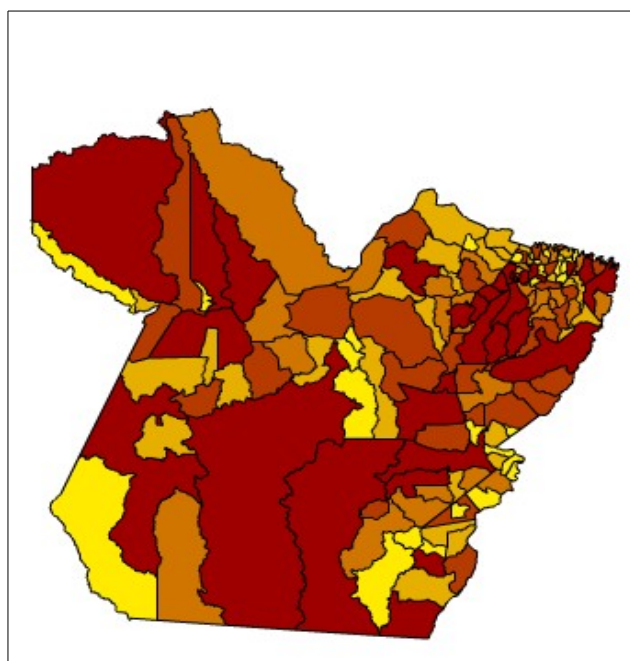


Figura 1.17 - Divisão territorial do estado do Pará por municípios (Fonte: IBGE 2014).

Considerando-se ainda que em 85 municípios do estado (aproximadamente 60%) tem-se 50% ou mais da população vivendo fora das sedes dos municípios e, que desses 85 municípios, 48 deles (56,47%) possuem área maior que 2.827 km², reforçam a ideia de que essas populações de comunidades isoladas e afastadas dos centros municipais ainda permanecerão por muito tempo digitalmente excluídas. A situação se agrava se se levar em consideração que o edital reduz ainda mais essa obrigação para 80% da área (2.261 km²).

1.6 - CELCOM: Uma proposta de solução para o problema

Diante deste cenário, apresenta-se o desafio econômico, tecnológico e científico de incluir digital e socialmente essas populações. No geral são poucas famílias (em sua maioria carentes), porém são muitas comunidades geograficamente dispersas. Infelizmente os critérios estabelecidos pela ANATEL no edital do 4G / banda larga rural certamente pouco levam em consideração ou nem mesmo consideram essas particularidades sócio-econômicas e geográficas da Amazônia.

O projeto CELCOM (acrônimo de Telefonia **CEL**ular **COM**unitária) surgiu da ideia de se levar telefonia GSM (*Global System for Mobile Communication*) a comunidades rurais isoladas e carentes na Amazônia, partindo-se do pressuposto que as políticas públicas e os investimentos privados atuais em telecomunicações no país ainda não são suficientes para atender essas pequenas populações isoladas e distantes dos centros urbanos (aldeias indígenas, colônia de pescadores, colônias agrícolas, quilombolas, etc) que, quando se agregam essas populações de várias comunidades isoladas, percebe-se um contingente enorme de pessoas que vivem à margem do desenvolvimento tecnológico atual.

Ideologicamente costuma-se associar a *Internet* como sinônimo de inclusão digital, mas o acesso a serviços de telefonia onde não há, por falta de interesse comercial, baixo ou nenhum retorno de investimento ou mesmo por falta de subsídios do Governo, também é uma forma de integrar essas comunidades ao mundo que as cerca.

A ideia do projeto é fornecer em um primeiro momento serviços básicos de telefonia móvel GSM (conversa e SMS) e posteriormente implementar nesta mesma rede GSM a tecnologia GPRS - *General Packet Radio Service* - que é um serviço de dados que pode atingir taxas médias entre 26 e 40 kbps (equivalente a uma rede de conexão fixa discada) [Kaarinen et al 2005].

Os serviços não terão custos para esses usuários (deverão ou poderão ser subsidiados pelo governos federal, estaduais ou municipais, por ONG's, iniciativa privada, etc), pois parte-se do princípio que são populações de baixo poder aquisitivo que não podem pagar pelo serviço, porém

sugere-se um limite no número de acessos (número de telefones GSM) e também uma limitação no plano de minutos (uso) mensal. A medida que as ações governamentais e/ou institucionais (ONGs, fundações, entre outras) forem se expandindo e incluindo digitalmente essas comunidades, o subsídio será retirado pois não se fará mais necessário.

Implementar o GSM “de graça” utilizando redes comerciais torna-se economicamente inviável e insustentável. Porém, quando se utiliza sistemas abertos baseados em *software* livre os custos diminuem drasticamente, o que torna possível um projeto como o CELCOM.

Existem projetos semelhantes em teste em outros países, como o experimento em comunidades indígenas / rurais mexicanas nos estados de Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero e Tlaxcala, que conseguiram licenciamento junto ao governo mexicano para instalar BTS *open source* em 5.000 comunidades indígenas nos referidos estados [Yaviche 2014]. A solução escolhida foi o UmSITE[®], solução que será apresentada no capítulo 2.

Em [Rhizomatica 2014] está toda a descrição do projeto desde a fase de estudos preliminares, seus objetivos, custos envolvidos com aquisição (CAPEX), custo de operação (OPEX), operação e manutenção (O&M), até os custos com treinamento e legalização (licenciamento) das BTS.

O sistema recebeu permissões para operar por 2 anos nas regiões onde foram instalados e estão sendo avaliados pela própria comunidade. Os custos operacionais são patrocinados pela própria comunidade, num modelo de negócio auto-sustentável.

Outro exemplo recente é descrito em [Anand et al. 2012], um projeto chamado *VillageCell*, onde os autores instalaram BTS *open source* em vilarejos africanos, mais especificamente na África do Sul e na Zâmbia. A motivação para essa iniciativa se assemelha as motivações que levaram a se pensar no CELCOM com solução para as áreas isoladas da Amazônia: pessoas pobres e de baixo nível educacional (alto índice de analfabetismo), comunidades dispersas e distantes dos centros urbanos, baixo poder aquisitivo, economia baseada principalmente na agricultura de subsistência, pesca artesanal e em pequenos comércios, sem infraestrutura rodoviária adequada, sem (ou com precários) serviços básicos de saúde, energia elétrica instável e de má qualidade, regiões com baixo ou nenhum desenvolvimento tecnológico (algumas poucas casas possuem rádios ou televisores), regiões onde a infra-estrutura de telecomunicações desenvolvidas atualmente no mundo moderno não chegam facilmente ou se chegam são deficitárias e/ou problemáticas, devido principalmente ao custo elevado de manutenção, poucos incentivos fiscais e baixo retorno de investimento.

As vilas escolhidas pelo projeto já possuíam *Internet* e já dispunham de comunicação VoIP entre computadores, porém os autores alegam que a qualidade do *backbone* / *backhaul* já deixa a desejar e, para pessoas com baixo nível de instrução e que não tem familiaridade com um computador, é muito mais fácil e intuitivo aprender a manusear um telefone do que usar um

computador para fazer chamadas telefônicas.

Assim, os autores configuraram um cenário de várias BTS em cada vilarejo, realizando testes de chamadas, medição de MOS, *throughput*, *delay* e *jitter* dos pacotes, perda de pacotes, etc, num cenário real, onde o projeto de fato possui aplicabilidade e utilidade. Os autores utilizaram o OpenBTS[®] como solução, usando PCs, USRP2s e roteadores WIFI como *backhaul*, onde configuraram uma rede com as BTS rodando em máquinas separadas das máquinas que rodavam os servidores Asterisk[®], o que possibilitou se fazer chamadas entre BTS distintas que se localizavam em pontos distintos dos vilarejos.

Os autores inicialmente idealizaram o projeto de tal forma que o *VillageCell* funcione como um operadora somente local (sem chamadas VoIP para redes externas), porém explicam (o que já é sabido) que é possível e simples de implementar esse roteamento externo (se houver uma conta VoIP em um provedor VoIP externo), porém não o fizeram no referido trabalho, deixando para futuras implementações.

Assim, percebe-se a crescente preocupação em se desenvolver soluções para inclusão dessas populações digitalmente marginalizadas e, com o advento dos sistemas de telefonia GSM *open source* de baixo custo, projetos com o CELCOM e assemelhados se tornam interessante viáveis e atraentes, e com o atrativo a mais: o impacto social que pode causar nessas regiões.

Capítulo II - Sistemas GSM Baseados em *Open Source* e *Open Hardware*

2.1 - Soluções GSM *Open Source* e *Open Hardware*

Nesta seção serão apresentadas algumas soluções GSM *Open Source* / *Open Hardware* existentes no mercado atualmente. Em todas as fontes pesquisadas as soluções se baseiam e uma *interface* aérea (rede de acesso) GSM e um núcleo de rede (*core network*) baseado em SIP/VoIP (*Session Initiation Protocol* / *Voice over Internet Protocol*).

2.1.1 - YateBTS[©]

É uma solução GSM *open source* e se configura como o resultado de uma colaboração técnica entre duas empresas, *NullTeam*[©] e *Lebga*[©], e entre dois indivíduos, David Burgess, o arquiteto original do projeto OpenBTS[®], e Paulo Chitescu, o principal desenvolvedor e arquiteto do Yate[©] (*Yet Another Telephony Engine*), uma plataforma de telefonia VoIP da *NullTeam* desenvolvida em C++ [Yate 2014].

Paul tinha visto o potencial de combinar as camadas inferiores da pilha GSM do OpenBTS[®] com a flexibilidade comprovada da engenharia de telefonia do Yate[©]. David tinha de longa data frustrações com a implementação SIP usado em OpenBTS[®] e percebeu o potencial de Yate[©] para fornecer *interfaces* de confiança não apenas para SIP, mas para toda uma gama de protocolos de telefonia. Ambos viram uma simbiose natural entre os dois projetos e chegaram a um acordo rápido sobre a abordagem técnica elegante para o novo produto: YateBTS[©] [YateBTS[©] 2014].

YateBTS[©] é uma implementação da rede de acesso 2.5G (GSM / GPRS) que foi projetada para ser compatível com ambos os núcleos de rede: SS7/MAP (2.5G) e IMS (4G). A solução é construída a partir das camadas L1, L2 e RRM (*Radio Resource Management*) do OpenBTS[®] (pilha de protocolos GSM), com todas as outras funções implementadas no Yate[©].

Algumas características da solução, Segundo o fabricante:

- Baixo consumo de energia (ideal para regiões rurais);
- Flexibilidade e estabilidade (utiliza funcionalidades *Javascript* avançadas para criar qualquer aplicação de voz ou de dados imagináveis);

- *Roadmap* garantido (GSM → GPRS → 3G → 4G → ...);
- Para *interfaceamento* de rede via satélite, a solução utiliza o protocolo IAX (que consome menos largura de banda que o SIP);
- Possui ferramentas de gerenciamento (baseadas em SNMP);
- Baixo custo;
- Compatibilidade com núcleos de rede 4G (IMS).

A Figura 2.1 a seguir mostra a estrutura da solução comparada com uma rede GSM convencional. A Figura 2.2 seguinte exibe o *kit* de laboratório versão 1.0 (custo de aquisição sem frete e sem taxas de importação: US\$2.050,00). A Tabela 2.1 lista as principais características do *kit* de laboratório da YateBTS®.

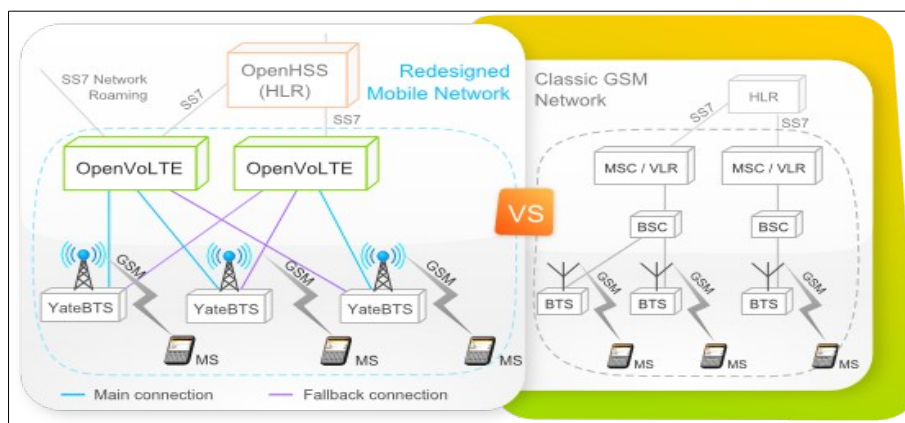


Figura 2.1 - Estrutura da YateBTS® comparada a GSM convencional (Fonte: YateBTS® 2014).



Figura 2.2 - *LabKit* da YateBTS® versão 1.0 (Fonte: YateBTS® 2014).

Tabela 2.1 - Especificações técnicas da YateBTS[®] 1.0 (Fonte: YateBTS[®] 2014).

<i>Interface</i> de rádio	Phase 2+ GSM/GPRS
Serviços suportados	GSM-FR, SMS
Frequências de operação	GSM850/PGSM900/DCS1800/PCS1900
Capacidade de tráfego	7 chamadas concorrentes em FR
Área de cobertura	30 metros
Alimentação	12V 5A DC
Potência de saída	6 dBm (4 mW)
<i>Software</i>	YateBTS [®] <i>public release</i>
<i>Interface</i> de rede	Ethernet / IP
<i>Interface</i> de gerenciamento	Telnet, SNMP

A Figura 2.3 mostra a tela de configuração (*BTS Configuration Management*) da YateBTS[®], com uma *interface* de configuração bastante simples e amigável. No site do fabricante se encontra um guia rápido de instalação, porém também há uma *wiki* do projeto [YateBTS[®] Wiki 2014] onde é possível baixar o *software*, instalar o mesmo e as respectivas dependências necessárias, verificar os comandos e operar a BTS.

The screenshot displays the 'BTS Configuration Management' web interface. At the top, there are tabs for 'Subscribers', 'BTS Configuration', and 'Outgoing'. Below these are sub-tabs for 'GSM', 'GPRS', 'Control', 'Transceiver', 'Tapping', 'Test', and 'YBTS'. The 'GSM' sub-tab is active, and the 'GSM Advanced' section is expanded. A title bar reads 'Set parameters values for section [gsm] to be written in ybts.conf file.' Below this, there is a list of configuration parameters, each with a text input field and a help icon (question mark):

- Radio.Band: Not selected
- Radio.C0: Not selected
- Identity.MCC: 001
- Identity.MNC: 01
- Identity.LAC: 1000
- Identity.CI: 10
- Identity.BSIC.BCC: 2
- Identity.BSIC.NCC: 0
- Identity.ShortName: YateBTS
- Radio.PowerManager.MaxAttenDB: 10
- Radio.PowerManager.MinAttenDB: 0

Figura 2.3 - Gerenciamento de configurações do sistema (Fonte: YateBTS[®] LabKit Quick Start Guide).

Percebe-se que a solução tem finalidade mais experimental e didática do que comercial, devido a capacidade limitada de canais e principalmente pelo raio de cobertura reduzido (é uma projeto mais recente que os demais que serão apresentados). Entretanto, para comunidades rurais com poucas pessoas (200 habitantes ou menos), utilizando um amplificador de potência adequado junto com uma antena externa de ganho razoável, a solução atenderia satisfatoriamente (exemplo: a uma pequena comunidade rural amazônica).

2.1.2 - OpenBTS[®]

É uma outra solução *open source* GSM baseada em Linux, que utiliza como *hardware* para *interface* de rádio o USRP (*Universal Software Radio Peripheral*), onde este último é uma plataforma de SDR (*Software Defined Radio*), que utiliza o GNURadio como *software* para criar as funcionalidades GSM necessárias para operação do GSM [Fähnle 2010].

SDR é um conceito que procura transformar um problema de radiocomunicação baseado em *hardware* (como por exemplo, construir um transmissor e/ou receptor com *hardware* específico) em uma nova problemática, agora baseada em *software*. Um exemplo simples: com o mesmo *hardware* (USRP) pode-se construir diversos *softwares* (no GNURadio) que funcionarão como redes WIFI, redes GSM, receptores e/ou transmissores de AM/FM, receptores de TV, moduladores e demoduladores de sinais, entre outros. O OpenBTS[®] se beneficiou dessa flexibilidade do SDR/USRP para construir seu projeto GSM. Algumas características da plataforma:

- O aparelho celular ou modem aparenta ser para o sistema um simples dispositivo SIP, sem necessidade de nenhum *software* especial ou adicional para funcionar;
- Para redes pequenas, o *hardware* pode ser reduzido a um simples servidor com SDR;
- Qualquer conexão IP pode servir como *backhaul*, inclusive WIFI ponto a ponto;
- Todos os *softwares* rodam em Linux e conectam-se com os protocolos IP normalmente utilizados, de tal forma que o núcleo de rede pode ser virtualizado, como um serviço em nuvem;
- *Softwares* proprietários encontrados em redes celulares convencionais podem ser substituídos com aplicações *open source*;
- Devido a rede ser baseada em protocolos do IETF, os desenvolvedores não necessitam de treinamento adicional para lidar com tecnologias legadas antigas.

A Figura 2.4 mostra a estrutura básica da solução. A *interface* de rádio GSM é provida por duas placas de RF (uma para transmissão e outra para recepção) chamadas placas filhas RFX900 (900 MHz) ou RFX1800 (1800 MHz), que são substituíveis por outros tipos de placas, que operam em outras bandas; uma placa principal chamada placa mãe, onde se localiza um FPGA (*Field Programmable Gate Array*), que nesta solução é o elemento chave que permite a flexibilidade de programação característica de um SDR. A placa mãe também tem outros circuitos auxiliares, como por exemplo, conversores A/D e D/A. O USRP é formado pelo conjunto placa mãe + placas filhas. O próximo bloco é um PC (computador pessoal) onde irá rodar o *software* GNURadio, que é o *software* de base para rodar o *software* do OpenBTS[®] propriamente dito.

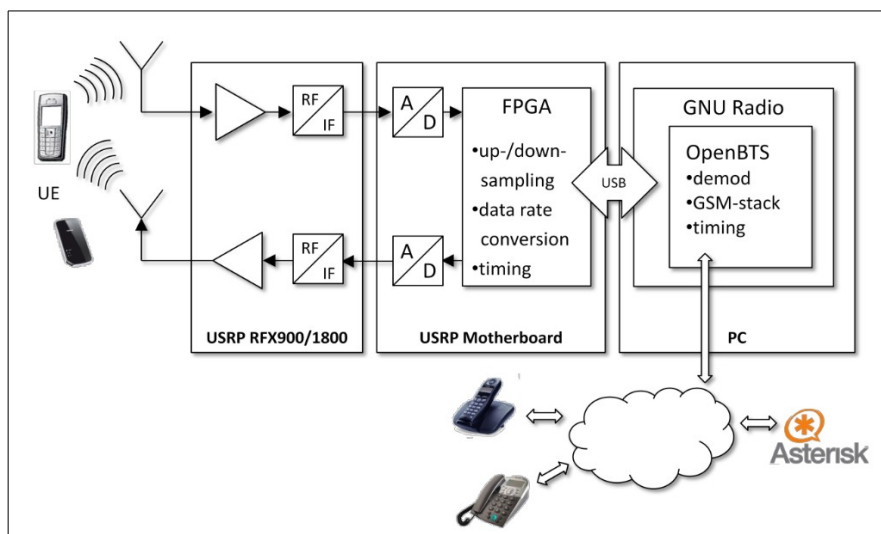


Figura 2.4 - Estrutura básica (macro) do OpenBTS[®] (Fonte: Fähnle 2010).

Neste mesmo PC deverá também rodar o Asterisk[®], o programa (plataforma VoIP) responsável pela comunicação entre os terminais GSM/SIP com outros terminais GSM/SIP e também com outros terminais VoIP (externos a rede). O Asterisk[®] juntamente com alguns programas auxiliares (o *sipauthserve* ou *subscriber registry* e o *smqueue*, cujas funcionalidades serão explicadas nas páginas 38 e 39) substituem todos os elementos de núcleo de rede de uma rede GSM convencional, como MSC, VLR, HLR, AuC, EIR, dentre outros. Devido a esse fato, o custo desse equipamento é muito inferior ao custo de uma BTS GSM convencional, sendo cerca de 90% menor, diminuindo também o custo da rede com um todo.

Seja dada ênfase e detalhamento dessa plataforma neste capítulo devido a mesma ter sido utilizada como objeto principal de estudo e aplicação neste trabalho. A Tabela 2.2 mostra as características técnicas da solução OpenBTS[®]. Custo atual de um *kit* de desenvolvimento do OpenBTS é de U\$ 4.995,00 (sem taxas de importação).

Tabela 2.2 - Especificações técnicas do OpenBTS[®] (Fonte: OpenBTS[®] 2014).

Interface de Radio	<i>Phase 2 + GSM</i>
Serviços Suportados	Voz/SMS + GPRS
Banda Operante	GSM850/GSM900/DCS1800/PCS1900
Capacidade de chamadas	Até 7 chamadas simultâneas
Faixa de Serviço	4,4 km dependendo da configuração
Fonte de alimentação	12-16 VDC não regulável, 20-225 <i>Watts</i> , dependendo do modelo
<i>Software</i>	OpenBTS [®] , Asterisk [®] , Ubuntu Linux subscriber registry, smqueue
Protocolos de <i>Interface</i> de Rede	Voz: SIP/IP, GSM-FR codec. SMS: SIP RFC-3428 page-mode
<i>Interface</i> de Rede	<i>Ethernet / IP</i>

Os seguintes *softwares* fazem parte do “pacote” de solução do OpenBTS[®]:

- **OPENBTS[®]** - É a aplicação OpenBTS[®] propriamente dita, contendo a maior parte da pilha GSM que roda acima do *radiomodem*. Implementa as seguintes camadas da pilha de protocolos do GSM: L1: *TDM Functions - GSM 05.02, FEC Functions – GSM 05.03, Closed Loop Power and Timing Controls – GSM 05.08 e GSM 05.10*; L2: *LAPDm - GSM04.06*; L3: *Radio Resource Management (RRM) Functions - GSM 04.08, GSM-SIP Gateway for Mobility Management, GSM-SIP Gateway for Call Control*; L4: *GSM-SIP Gateway for Text Messaging*.
- **TRANSCEIVER** - É o *software* do *radiomodem* (camada física – L1) e a *interface* de controle de *hardware*. O OpenBTS[®] suporta modulação GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) com uma taxa de símbolos de 270,833 kHz e um a largura de canal de 200 kHz, padrão GSM [Lima 2003]. Mais detalhes das funcionalidades do *transceiver* podem ser encontradas no apêndice de [Range Networks 2014].
- **SMQUEUE** - Servidor *store-and-forward* (armazena e envia) padrão RFC-3428 [SIP *Extension* 2014] para mensagens curtas de texto (SMS). Ele é necessário para enviar uma mensagem de texto a partir de uma MS (*Mobile Station*) para outra, ou para proporcionar uma entrega confiável de mensagens de texto para um MS a partir de qualquer fonte. O SMS é transmitido/recebido pelo SDCCH (*Signaling Dedicated Control Channel*), por isso tem uma área de abrangência (cobertura) maior que o serviço de voz.
- **ASTERISK[®]** - PBX (*Private Branch Exchange*) VoIP responsável pelo roteamento das chamadas. OpenBTS[®] usa um roteador SIP para desempenhar as funções de controle de

chamadas que normalmente seriam executadas pela MSC (*Mobile Switch Centre*) em uma rede GSM convencional. A partir de OpenBTS[®] versão 4.0 (utilizada nesse trabalho), o roteador padrão SIP é o Asterisk[®] 11 [Digium 2014]. OpenBTS[®] tem sido usado com VoIP PBX, entretanto nem todas as funcionalidades do Asterisk[®] são suportadas pelo OpenBTS[®]. OpenBTS[®] também conta com Asterisk[®] para quaisquer funções de transcodificação.

- **SIPAUTHSERVE** (ou **SUBSCRIBER REGISTRY**) - Aplicação responsável por gerenciar o banco de dados de informações do assinante. É um aplicativo que implementa o registro de assinantes, que substitui tanto o registro do Asterisk[®]/SIP e o HLR (*Home Location Register*) encontrado em uma rede GSM convencional. Ele suporta autenticação SIP diretamente. Um banco de dados SQL é gerado (ou sejam, tabelas) onde os usuários e suas *features* (permissões, serviços, categorias, etc) ficam registrados.
- **SQLITE3** - *Software* de banco de dados padrão SQL. SQLite é uma biblioteca de *software* que implementa um auto-suficiente, sem servidor e de configuração zero, banco de dados SQL. SQLite é o “motor” de banco de dados SQL mais amplamente implantado no mundo. O código fonte para SQLite é de domínio público [SQLite 2014]. O OpenBTS[®] utiliza um conjunto de arquivos de base de dados no formato sqlite3 para armazenar tanto dados de configuração do sistema, quanto dados de configurações dos assinantes, assim como armazenar dados estáticos quanto dados em tempo de execução. Algumas características desse sistema são: transações consistentes, isoladas e duráveis, mesmo depois de falhas no sistema e falhas de energia; escrito em C ANSI; multiplataforma (fácil portabilidade entre SO distintos); auto-contido: não possui dependências externas; vem com uma *interface* de linha de comando independente do cliente (CLI) que pode ser usada para administrar bancos de dados SQLite.

A Figura 2.5 mostra a estrutura organizacional do OpenBTS, exibindo as conexões entre os seus elementos.

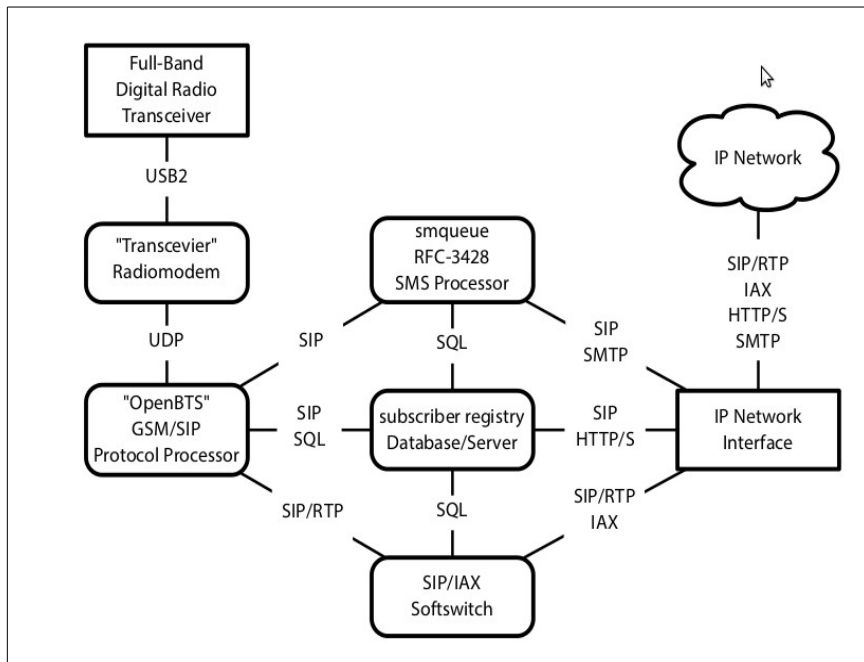


Figura 2.5 - Estrutura do OpenBTS[®] (Fonte: OpenBTS manual 4.0).

A Figura 2.6 a seguir mostra o diagrama de conexões entre as bases de dados do OpenBTS[®]. Neste diagrama, as conexões em preto são as conexões de rede (SIP), as conexões em vermelho são as conexões do sistema de arquivos (tabelas sqlite3) e as conexões azuis são ODBC (rede / base de dados locais).

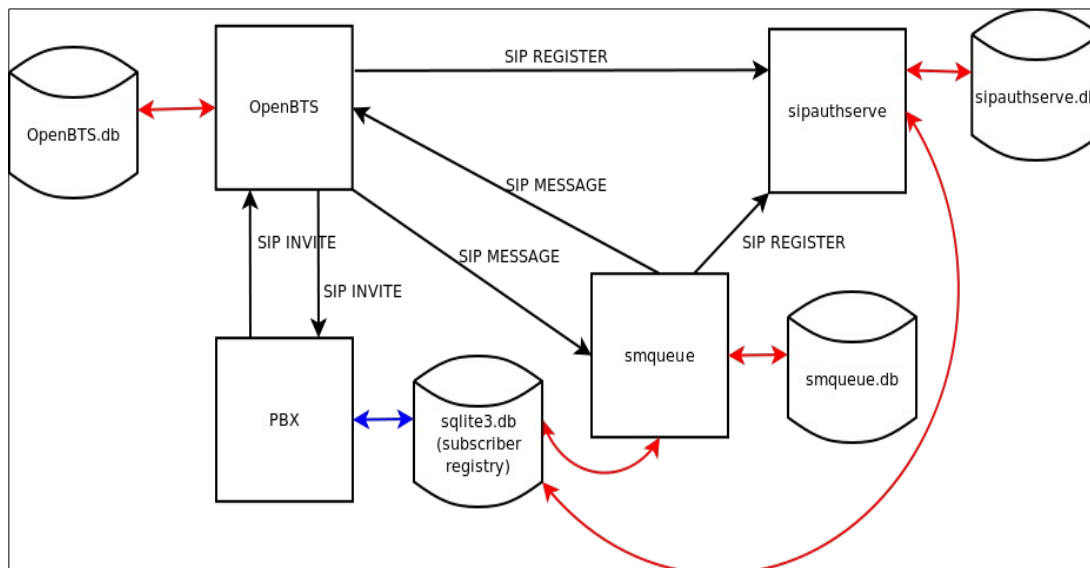


Figura 2.6 - Interligação entre as bases de dados do OpenBTS[®] (Fonte: OpenBTS 2014).

Na *wiki* do projeto há um roteiro de instalação do OpenBTS[®] e alguns comandos inicialização do(s) *software(s)*. A OpenBTS[®] se apresenta como uma solução robusta para regiões rurais, apesar

de apresentar o mesmo número de canais disponíveis (7 TCH) que a YateBTS[®].

2.1.3 - OpenBSC[®]

Outra solução GSM *open source* é o projeto OpenBSC[®], que foi e continua sendo desenvolvido pela empresa alemã Osmocom. Se caracteriza por ser um pacote de *softwares* cujas funcionalidades serão descritas entre as páginas 41 e 45 [OpenBSC 2014].

Este é um projeto com o objetivo de criar em *Software Livre* (licenciado sob GPL) implementações de *software* para as pilhas de protocolo GSM/3GPP e seus elementos. Iniciou-se a implementação da *interface* Abis (mais BSC / MSC / HLR), uma implementação de experimentação e fins de pesquisa, mas, desde então, avançou-se bastante para muito além disso. Isto significa OpenBSC[®] não é apenas uma BSC padrão, mas uma rede GSM “*in-a-box*”, implementando os dispositivos mínimos necessários para construir uma pequena rede GSM auto-suficiente.

OpenBSC[®] inclui as funcionalidades normalmente realizadas através dos seguintes componentes de uma rede GSM: BSC, MSC, HLR, AUC, VLR e EIR. Além disso, o projeto Osmocom também desenvolve e mantém os programas OSMO-SGSN e OPENGGSN para adicionar capacidades de GPRS / EDGE.

Os alemães iniciaram com a *MicroBTS Siemens BS11* (realizando uma espécie de engenharia reversa com o equipamento comercial para implementar suas soluções *open source*), mas também trabalham com uma variedade de outras BTS como a família Ericsson RBS 2000, a SysmoBTS, o UmSITE, ou *hardware* baseado em SDR como o OsmoTRX. Os idealizadores do projeto estão sempre à procura de doações de *hardwares* de quaisquer tipos de equipamentos relacionados com GSM / 3G. Alguns *softwares* do pacote OpenBSC[®], estão listados e brevemente descritos abaixo.

Pacotes para rodar uma rede mínima GSM completa “em uma caixa”:

- **OPENBSC** - Projeto de *software* livre que implementa vários elementos de uma rede GSM. É um BSC (*Base Station Controller*) implementada do lado do protocolo *Abis* (entre BSC e BTS), como implementado na especificação técnica GSM 08.5x e 12.21. Ele implementa um subconjunto mínimo do BSC, MSC e HLR. Ele não implementa qualquer uma das *interfaces* (como as *interfaces* A e B) entre os componentes da rede GSM de ordem superior. Os objetivos principais do projeto são: fornecer uma base para a experimentação e pesquisa de segurança com GSM do lado da rede; documentar, divulgar e apontar as questões relacionadas com a segurança; e aprender mais sobre redes GSM em um nível inferior, em

particular os aspectos práticos com equipamentos do mundo real. Os desenvolvedores afirmam que não interessados em: uma construção estável / confiável de uma BSC / MSC para implantação de redes comerciais que exigem alto nível de disponibilidade (acima de 99,99%); construir algo que segue a especificação GSM até o último detalhe; e interferir em redes GSM comerciais reais.

- **OSMO-NITB** - Pacote que implementa uma rede GSM autônoma “em uma caixa”, construindo um conjunto mínimo de BSC, MSC, HLR, AuC e EIR. É o nome do programa executável da OpenBSC[®], que tem um arquivo de configuração, cujo nome padrão é *openbsc.cfg* no diretório de trabalho atual do processo do OSMO-NITB. Pode-se, usar *telnet* para a porta 4242 da máquina que executa OSMO-NITB e experimentar alguns dos comandos, por exemplo, para lidar com os assinantes.

Utilitários para configuração da BTS:

- **BS11_CONFIG** - Uma pequena ferramenta para configurar uma *Base Station Siemens BS11* usando RS232. Ele pode realizar um subconjunto das funções que normalmente são realizados usando o *software* Siemens LMT (*Local Maintenance Terminal*), como: consultar alguns valores de configuração essenciais; criação e eliminação de objetos TRX1; *download* de *software* de carga de segurança; *download* de *software* da BTS; criação de uma configuração inicial (como a criação do BBSIG, CCLK, PA, etc); definição da potência de saída de transmissão no amplificador de RF.
- **IPACCESS-FIND** - Pequena ferramenta para encontrar a nano-BTS em uma rede. Ele usa pacotes de transmissão da variante do protocolo UDP (Abis-IP) na porta 3006 e, assim, consegue encontrar quaisquer BTS que possam ser alcançadas por toda a rede pelo endereço de *broadcast* 255.255.255.255. Nano-BTS é uma pequena BTS semelhante a um *access point* WIFI, cuja *interface* de rede é Abis sobre IP.
- **IPACCESS-CONFIG** - É uma pequena ferramenta de linha de comando para configurar a NVRAM da nano-BTS. Pode-se usar essa ferramenta para realizar operações básicas, por exemplo, definição de parâmetros NVRAM, ou a realização de testes, tais como: teste de uso de canais, teste de uso do BCCH, teste de sincronismo de frequência, controle de potência, dentre outros.

Softwares para rodar uma BTS:

- **OSMOBTS** - Uma implementação de BTS. É um *software* que faz parte da BTS e que implementa as camadas L1, L2 e L3: LAPDm (GSM 04.06); RTP; Um-bis / IP (semelhante

a nano-BTS); OML (GSM 12.21) e RSL (GSM 08.58). A OsmoBTS foi construída sobre o trabalho feito previamente para a OpenBSC[®] (RSL, OML, RTP) e OsmocomBB (LAPDm). A implementação A-bis/IP é fortemente inspirada pela implementação da A-bis/IP da nano-BTS. A OsmoBTS atualmente suporta um número de opções de *hardware*: uma *femtocell* quadribanda chamada sysmoBTS que é vendida pela Sysmocom (será descrita mais adiante); um *hardware* transceptor SDR de banda larga chamado UmTRX comercializado pela Fairwaves[®] e uma série de outros transceptores SDR, que usam o *software* transceptor do OpenBTS[®]. A OsmoBTS foi recentemente *extendida* com uma interface de *socket* para Osmo-PCU, isso significa que se a mesma agora suporta GPRS e suportará EDGE (mais tarde).

- **OSMOTRX** - Um transceptor para a OsmoBTS para ser usado com *hardware* de SDR, que implementa a camada física (L1) de uma BTS, compreendendo as seguintes especificações 3GPP TS 05.01: "camada física no caminho de rádio"; TS 05.02 "Multiplexação e Múltiplo Acesso no caminho de rádio"; TS 05.04 "modulação" e TS 05.10 "sincronização no subsistema de rádio". OsmoTRX é baseado no transceptor OpenBTS[®], mas configurado para operar de forma independente, com a finalidade de ser utilizado com os projetos de *software* não OpenBTS[®]. Atualmente, existem inúmeros recursos contidos no OsmoTRX que ampliam a funcionalidade do transceptor OpenBTS[®]. Esses recursos incluem suporte avançado para várias plataformas embarcadas – notadamente ARM – e suporte a diversidade de canal duplo do UmTRX da Fairwaves[®]. A maioria desses recursos eventualmente pode vir a serem incorporados pela OpenBTS[®], mas o desenvolvimento ocorrerá principalmente em OsmoTRX. Vários dispositivos de RF são suportados atualmente. Estes incluem produtos da família USRP da *Ettus Research*[®], e os UmTRX da Fairwaves[®]. OsmoTRX suporta GPRS através OsmoBTS. Para suporte GPRS com OpenBTS[®], deve-se usar o transceptor fornecido com OpenBTS[®]. OsmoTRX é totalmente compatível com OpenBTS[®]. O transceptor OsmoTRX deve ser iniciado antes de executar OpenBTS[®]. Isso evita que OpenBTS[®] inicie o transceptor de sua própria instância.

Softwares para rodar em modo apenas BSC, conectando via interface A/SCCP a uma MSC:

- **OSMO-BSC** - OpenBSC[®] no modo apenas BSC, ou seja, ela implementa as funcionalidades de BSC e as *interfaces* Abis e A, porém não emula MSC/SMSC/HLR/AUC como a versão osmo-nitb do OpenBSC[®]. É portanto, útil principalmente para operar dentro de redes GSM tradicionais existentes que já têm uma rede de núcleo funcional.

- **BSC_MSC_IP** - Utilitário de conexão a uma MSC via *interface* A sobre IP, ou seja, conecta a Osmo-BSC com uma MSC GSM tradicional.
- **OPENBSCWITHSCCP** - Como usar o OpenBSC[©] com uma MSC separada ou real. É a implementação do SCCP (*Signaling Connection Control Part*) e da *interface* A sobre IP para ligar a OpenBSC[©] em uma rede GSM baseada em IP "moderno". Futuramente deve-se criar uma norma GSM08.08 como API e mover o código da MSC para dentro da OpenBSC[©].

Pacotes relativos a GPRS:

- **OSMO-SGSN** - Um SGSN que está sendo desenvolvido. É uma implementação de *Software Livre* do GPRS *Serving GPRS Support Node* (SGSN). Como tal, ele implementa o Gerenciamento de Mobilidade (*GPRS Mobility Management - GMM*) e o Gerenciamento de Sessão (*Session Management - SM*). O SGSN conecta via interface Gb com o BSS (por exemplo, uma nano-BTS), e ele se conecta através do protocolo GTP a um *gateway GPRS Support Node* (GGSN) como o OpenGGSN. Atualmente a solução é ainda um pouco experimental. A pilha de protocolos Gb e a implementação LLC são bastante robustos e sinalização para GMM e SM estão avançando muito bem. No entanto, o plano do usuário, incluindo a fragmentação SNDCP (*Subnetwork Dependent Convergence Protocol*) está em fase teste beta. Além disso, nenhuma autenticação é ainda feita, ou seja, a rede GPRS simplesmente permitir que cada IMSI faça o “attach” (anexação) na medida em que tem o mesmo MCC/ MNC (*Mobile Country Code / Mobile Network Code*) como sua rede.
- **OpenGGSN** - É o *Gateway GPRS Support Node* (GGSN). É usado por operadoras móveis como a *interface* entre a *Internet* e o resto da estrutura da rede móvel. O pacote também desenvolveu um emulador SGSN GPRS adequado a testes básicos de rede.
- **OSMO-PCU** - Implementação das camadas RLC/MAC e de uma PCU (*Packet Control Unit*). Uma PCU (*Packet Control Unit*) é um dos dois elementos GPRS no BSS. Ele implementa as camadas RLC (*Radio Link Control*) e MAC (*Media Access Control*) da *interface* GPRS Um (*interface* de rádio ou aérea) no lado voltado para a MS, bem como a *interface* de Gb (NS – *Network Service*, BSSGP – *Base Station System GPRS Protocol*) no lado voltado para o SGSN. Osmo-PCU é a implementação Osmocom desta funcionalidade PCU. Ele implementa uma *interface* personalizada L1 que pode ser usado com OsmoBTS (especificamente na sysmoBTS), e também com uma versão não oficial da OpenBTS[©] que está sendo criada pela Fairwaves[©]. Rumo ao SGSN, os protocolos BSSGP e NS são implementados sobre UDP/IP, às vezes chamado de "NS sobre IP". Ele foi testado com

OsmoSGSN, bem como em um SGSN Ericsson. A Osmo-PCU não é totalmente estável ainda. Suporta GPRS *code schemes* CS1 ao CS4; opera com único *timeslot* ou múltiplos *timeslots* no *downlink*; opera com um único *timeslot* no *uplink*. Possui algumas limitações com relação a uma PCU convencional, tais como: implementado apenas GPRS (sem EDGE); PDCHs devem ser dedicados para dados (não podem ser configurados sob demanda de acordo com o tráfego de voz / dados); não há adaptação de enlace para diferentes *code schemes* (*Link Adaptation*); sem *handover*; sem suporte a processamento de relatórios de medições, dentre outras limitações.

- **OSMO-PCU** - Implementação das camadas RLC/MAC e de uma PCU (*Packet Control Unit*). Uma PCU (*Packet Control Unit*) é um dos dois elementos GPRS no BSS. Ele implementa as camadas RLC (*Radio Link Control*) e MAC (*Media Access Control*) da *interface* GPRS Um (*interface* de rádio ou aérea) no lado voltado para a MS, bem como a *interface* de Gb (NS – *Network Service*, BSSGP – *Base Station System GPRS Protocol*) no lado voltado para o SGSN. Osmo-PCU é a implementação Osmocom desta funcionalidade PCU. Ele implementa uma *interface* personalizada L1 que pode ser usado com OsmoBTS (especificamente na sysmoBTS), e também com uma versão não oficial da OpenBTS[©] que está sendo criada pela Fairwaves[©]. Rumo ao SGSN, os protocolos BSSGP e NS são implementados sobre UDP/IP, às vezes chamado de "NS sobre IP". Ele foi testado com OsmoSGSN, bem como em um SGSN Ericsson. A Osmo-PCU não é totalmente estável ainda. Suporta GPRS *code schemes* CS1 ao CS4; opera com único *timeslot* ou múltiplos *timeslots* no *downlink*; opera com um único *timeslot* no *uplink*. Possui algumas limitações com relação a uma PCU convencional, tais como: implementado apenas GPRS (sem EDGE); PDCHs devem ser dedicados para dados (não podem ser configurados sob demanda de acordo com o tráfego de voz / dados); não há adaptação de enlace para diferentes *code schemes* (*Link Adaptation*); sem *handover*; sem suporte a processamento de relatórios de medições, dentre outras limitações.

As Figuras 2.7, 2.8 e 2.9 a seguir mostram as três possíveis configurações da OpenBSC[©]: em modo NITB, realizando interconexão com ISDN ou SIP PBX e em modo puramente BSC, respectivamente.

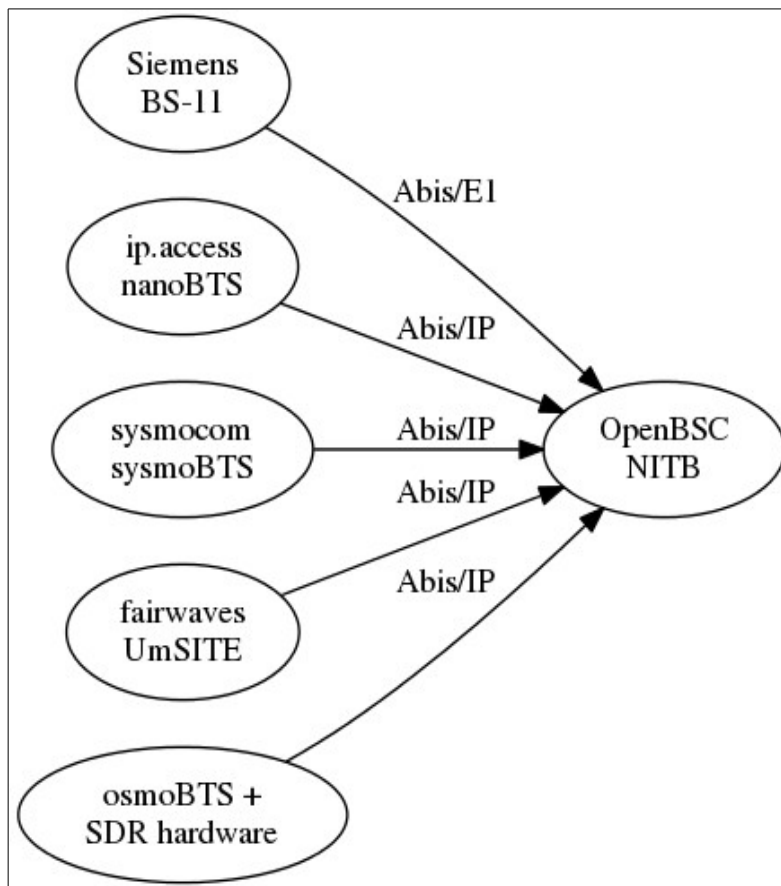


Figura 2.7 - OpenBSC[®] em modo NITB - *Network in a Box* (Fonte: OpenBSC[®] 2014).

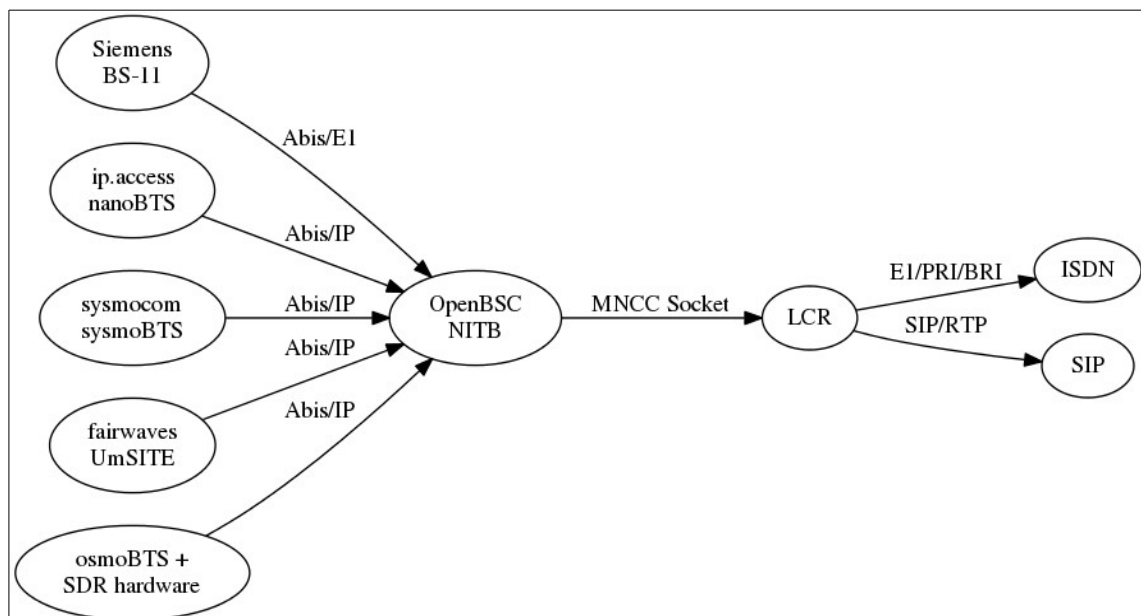


Figura 2.8 - OpenBSC[®] em interconexão com ISDN e PBX VoIP (Fonte: OpenBSC[®] 2014).

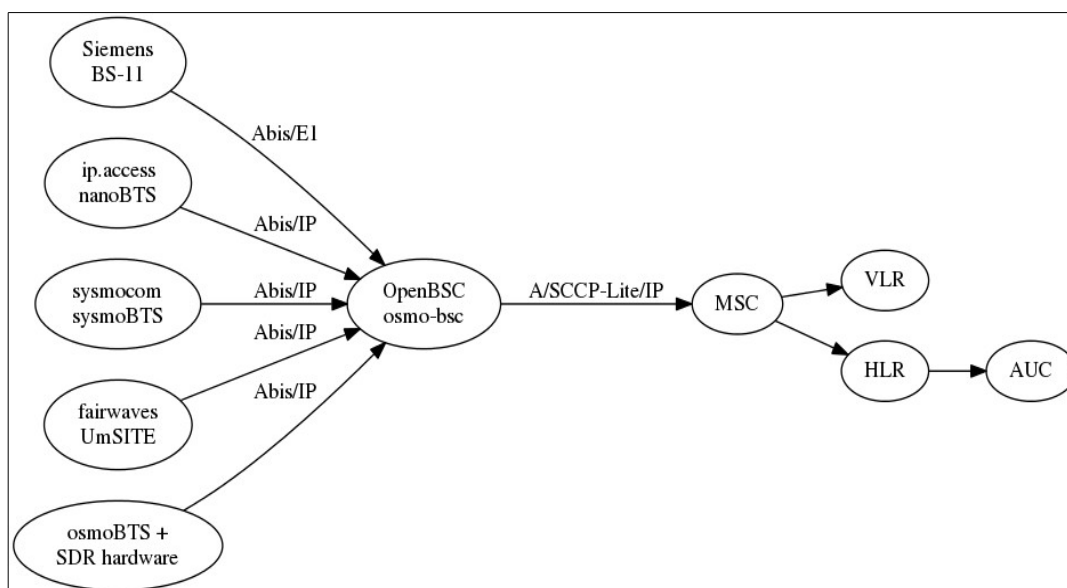


Figura 2.9 - OpenBSC[®] em modo puramente BSC (Fonte: OpenBSC[®] 2014).

Pode-se observar que a filosofia de funcionamento e de organização dos *softwares* do projeto OpenBSC[®] diferem bastante dos demais projetos até agora apresentados. Entretanto, globalmente a ideia funcional é a mesma: um *interface* aérea GSM (e/ou GPRS) e um núcleo de rede VoIP/SIP. O roteamento de chamadas aqui é feito conjuntamente pelo Asterisk[®] (VoIP) e pelo LCR (*Linux Call Router*), um PBX baseado em ISDN para Linux [LCR 2014]. As configurações necessárias para o correto funcionamento também estão na *wiki* do projeto OpenBSC[®].

Os fundadores do projeto tiveram o cuidado (ou cautela) de separar o projeto de *software* do OpenBSC[®] do projeto do *hardware* que eles mesmos construíram para usar o *software* e, segundo os próprios autores, sem querer abusar do “*marketing*” que poderia advir dessa separação. Como o OpenBSC[®] também roda em outros *hardwares* que não a SysmoBTS[®] (da Sysmocom[®]), então pode-se crer que a ideia é não associar que o produto de *software* só funciona com o *hardware* da Sysmocom, deixando o projeto mais o aberto possível.

A seguir será apresentado a sysmoBTS[®], mais especificamente o modelo 2050, exibido na Figura 2.10.



Figura 2.10 - *Hardware* da sysmoBTS[®] 2050 (Fonte: Sysmocom 2014).

Os sysmoBTS[®] 2050 é uma nova BTS GSM com *backhaul* baseado em IP, de baixa potência, para aplicações ao ar livre e de cobertura média. Ele oferece eficiência de custo e é adequada para uma ampla gama de aplicações, incluindo:

- Redes celulares rurais em regiões de menor ARPU (*Average Revenue Per User*);
- Redes GSM de rápida implementação;
- Redes GSM privada (estilo PABX);
- Ideal para implementações GSM em áreas remotas, utilizando qualquer serviço de *backhaul* via satélite baseado em IP;
- Parques eólicos *offshore*, plataformas petrolíferas;
- Cobertura em embarcações marítimas (navios de cruzeiro, embarcações comerciais, etc).

A sysmoBTS[®] 2050 é projetada para ser montada diretamente na antena. Isto mantém os cabos de RF curtos e evita as perdas associadas a cabos coaxiais longos. Além de operar como uma BTS clássica em uma rede da operadora já existente, todos os produtos sysmoBTS permitem que se execute uma pequena rede GSM completamente autônoma dentro da BTS, a NITB (*Network In The Box*), sem necessidade de BSC / MSC / HLR / VLR externos.

O fabricante afirma que não é apenas mais um fornecedor de RAN (*Radio Access Network*) que possui um portfólio fixo de produtos, como os produtos são baseados em *open software*, permite-se a uma personalização de uma solução para o cliente, pois o cliente pode ter acesso ao código-fonte e desenvolver soluções fora das restrições do protocolos, interfaces e procedimentos do padrão GSM.

A seguir, na Tabela 2.3 são mostradas as especificações técnicas da sysmoBTS[®] 2050. Na Tabela 2.4 a seguir, estão descritas as especificações lógicas e de *software*.

Tabela 2.3 - Especificações técnicas da SysmoBTS[®] 2050 (Fonte: sysmoBTS[®] 2014).

Dimensões da caixa (largura x altura x profundidade)	285 x 230 x 95 mm
Peso	< 5 kg
Grau de Proteção	IP 67 (poeira fina, a prova d'água) caixa para instalação externa em parede ou poste de montagem
Faixa de temperatura	Temperatura de operação: -40° C a 55° C Temperatura de armazenamento: -40° C a 70° C
Entrada de RF (conector N fêmea)	GSM 850/900/1800/1900 • Sensibilidade: -109 dBm
Saída de RF (conector N fêmea)	GSM 850/900/1800/1900 • Potência máxima de saída: 40 dBm (2-TRX: 2x37 dBm / 1-TRX: 1x 40 dBm) Ajustável em passos de 1dB
Entrada para GPS	Conector SMA fêmea
CPU / SoC	Dois TI Davinci (ARM926 @ 405 MHz + DSP @ 804 MHz)
Tensão de entrada	24 V (DC), consumo: 55W (típico), 75W (máximo)
Resfriamento	Passivo
Memória interna	128 Mbyte SLC NAND Flash, 128 Mbyte DDR2 SDRAM, microSD socket
Interface de rede	Duas portas Ethernet 100-Base-Tx (RJ45) para conexão (não crossover)

Tabela 2.4 - Especificações lógicas e de *software* da sysmoBTS[®] 2050 (Fonte: sysmoBTS[®] 2014).

Número de transceptores	2 TRX / 16 <i>timeslots</i>
Configurações suportadas pelos <i>timeslots</i>	CCCH, CCCH+SDCCH/4, SDCCH/8, TCH/F, TCH/H, PDCH
<i>Backhaul</i> (Sinalização)	A-bis de acordo com as especificações TS 08.58 e TS 12.21, encapsulada sobre TCP/IP; Gb (NS/UDP/IP) para GPRS
<i>Backhaul</i> (Voz)	RTP/UDP/IP com FR/EFR/AMR de acordo com as especificações do IETF e ETSI
Cifragem	A5/1, A5/2 e A5/3
GPRS/EDGE	Apenas GPRS / PCU com <i>interface</i> Gb sobre IP
Número máximo de chamadas simultâneas	30 (TCH/H em 15 <i>timeslots</i>)
Número máximo de SMS simultâneos	124 (15*SDCCH/8 + 1*SDCCH/4)
Sistema Operacional	Linux embarcado (baseado em Poky)

Pode-se considerar a sysmoBTS[®] uma solução mais robusta ainda que a OpenBTS[®], pois possui dois TRX na solução, o que dobra no número de canais com relação a primeira. Também possui uma potência de transmissão mais elevada, que com o uso de um PA (*Power Amplifier*) e de uma antena adequada pode ter uma cobertura bastante extensa, no que tange o escopo deste trabalho, poderia cobrir comunidades maiores (entre 200 e 500 habitantes ou mais). O custo do *hardware* da sysmoBTS[®] gira em torno de 2.500,00 € (US\$ 3.500,00), sem se considerar custos de frete e/ou importação.

2.1.4 - UmSITE[®]

Outra solução híbrida GSM/VoIP *open source* apresentada neste trabalho se refere a ao UmSITE[®][UmSITE[®] 2014], da empresa russa Fairwaves[®], cujo *hardware* do transceptor se baseia em um SDR chamado UmTRX[®] [UmTRX[®] 2014].

UmSITE[®] é muito flexível e pode ser usado em instalações omnidirecionais e setorizadas. Dependendo da cobertura exigida a sua potência de saída varia de 0,1W a 10W. UMCORE é um conjunto de servidores de núcleo de rede dentro da arquitetura celular Fairwaves[®]. Utiliza uma solução de código aberto comercialmente testada, incluindo todos os serviços exigidos por uma operadora de telefonia móvel, tais como: *Soft-Switch* (VoIP), servidor de SMS e Registro de Assinantes. Algumas características da plataforma:

- Custo acessível;
- É eficiente em termos de energia e funciona a partir de energia solar quando a eletricidade da rede não está disponível;
- Tem uma área de cobertura pequena, mas sólida com raio de até 20 km;
- Utiliza muitas opções de *backhaul* via protocolo IP;
- Suporta chamadas locais.

A Figura 2.11 mostra o equipamento instalado em um *site*. No endereço eletrônico do fabricante estão algumas opções da solução móvel, além do UmSITE[®]. O fabricante afirma que o cliente sempre tem uma escolha - fazer o projeto por si mesmo, criá-lo com a ajuda da comunidade global, ou mesmo acelerar o seu progresso com o apoio da Fairwaves[®] e de serviços em nuvem.



Figura 2.11 - Site exemplo de instalação do UmSITE[®] (Fonte: UmSITE[®] 2014).

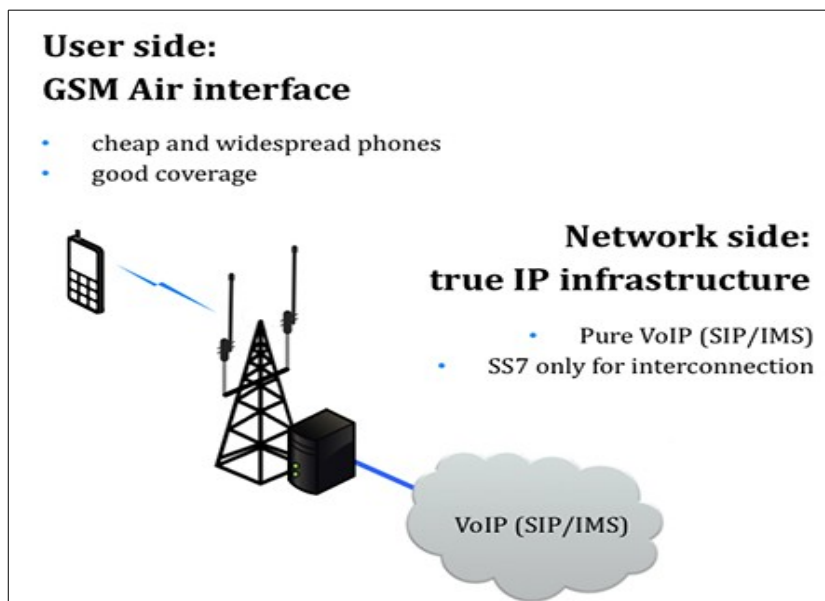


Figura 2.12 - Estrutura da solução UmSITE[®] (Fonte: Fairwaves[®] 2014).

Em termos de estrutura de rede, o UmSITE[®] se assemelha bastante com os demais projetos aqui apresentados: um rede de acesso baseada em GSM e o núcleo de rede baseado em VoIP/SIP. A Figura 2.12 extraída do próprio *site* do fabricante descreve bem essa configuração. A Figura 2.13 mostra o UmTRX[®], transceptor SDR da solução, na sua versão mais atual (2.3). A empresa oferece o UmSITE[®] a um custo unitário de US\$ 4.000,00 (sem taxas de importação).

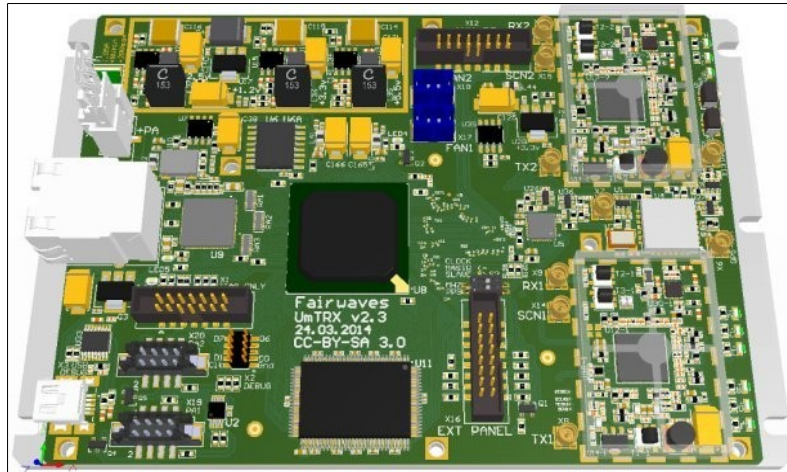


Figura 2.13 - Placa SDR do o UmTRX[®] (Fonte: UmTRX[®] 2014).

A seguir estão descritas as principais especificações técnicas do equipamento:

- Roda com os pacotes de *software* da Osmocom ou OpenBTS[®] (Osmocom por padrão);
- Habilidade de rodar o GNURadio e outros softwares de SDR;
- Bandas de frequência de operação: GSM 850, E-GSM 900, DCS 1800 e PCS 1900;
- Potências de saída: 100mW @ 900MHz, 50mW e @ 1800MHz;
- Cobertura de 100 m a 200 m (com *duplexer* externo e uma pequena antena omnidirecional);
- Cobertura superior a 2km com um amplificador GSM de 2W externo e antena;
- Dois TRX independentes, ou seja, dois ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*);
- Baseado do transceptor UmTRX[®];
- Oscilador a cristal de temperatura controlada (TCXO) de 26MHz (múltiplo inteiro da frequência de amostragem do GSM) com estabilidade de frequência de 100ppb;
- Conversor D/A para sintonia de frequência do TCXO;
- Módulo GPS integrado para estabilização de frequência automática do TCXO;
- Possibilidade de usar fonte de *clock* externa;
- Canal simples (único ARFCN) e Multi canal (múltiplos ARFCN – versão beta);

- Possui *duplexers* embutidos.

O UmSITE[®] é uma solução que pode atender satisfatoriamente uma comunidade rural, e dependendo da configuração pode vir a cobrir tanto comunidades pequenas, quanto comunidades maiores, pela características e especificações aqui apresentadas.

Neste capítulo foram apresentadas quatro possíveis soluções para cobertura com telefonia celular GSM de áreas rurais isoladas, onde todas apresentam um custo aquisitivo (CAPEX) relativamente baixo quando comparados com redes GSM convencionais (comerciais) e que também podem ter seus *backhauls* implementados via satélite, o que é algo extremamente importante, devido a baixa capilaridade dos *backbones* e *backhauls* amazônidas atualmente existentes. No capítulo seguinte serão abordados, além dos custos de investimento / aquisição, os custos operacionais (OPEX) de uma rede de telefonia comunitária com essas características.

Capítulo III - Estimativa de Custos e Questões Sócio-Econômicas

Neste capítulo serão discutidos alguns assuntos referentes às estimativas de custos de se implementar um sistema de telefonia móvel GSM *open source* em comunidades rurais isoladas na Amazônia, além das questões sócio-econômicas que a problemática abrange. A seção 3.1 inicia com aspectos relacionados a propagação de ondas na região amazônica, dado que a necessidade de se fazer um estudo de propagação (e levantamento de predição de sinal celular) antes da implementação de um projeto envolve custos computacionais e financeiros, tais como: aquisição ou desenvolvimento de *software*, aquisição de *hardware*, espaço físico adequado para o trabalho (laboratório ou instituto de pesquisa), horas-homem de trabalho para estudo e desenvolvimento de algoritmos dos modelos de propagação mais adequados para determinado ambiente de propagação, dentre outros. É difícil mensurar esse custo com precisão por envolver muitas variáveis, porém ele pode vir a ser significativo, podendo impactar no custo final do projeto.

3.1 - Aspectos relacionados a propagação de ondas na região amazônica

Inicia-se discursando brevemente a respeito da propagação de ondas na região amazônica, assunto de interesse de estudo dentro da própria UFPA (a maior universidade federal da Amazônia), dada a necessidade de se considerar as particularidades de regiões de florestas densas e de grandes extensões, o que bem caracteriza os locais onde se pretende implementar o sistema proposto neste trabalho.

Alguns trabalhos de pesquisa já foram publicados abrangendo o problema, onde medições, testes e simulações foram feitas no intuito de determinar um modelo ótimo de propagação para a região, ou ainda adaptar ou modificar os modelos clássicos existentes para que se aproximem o máximo possível das características do meio.

Em [Cavalcante et al 1999], os autores propõem um modelo de propagação baseado em raios que se refletem e/ou se difratam nas regiões de florestas e, através de equações matemáticas relativamente simples, conseguem fazer a predição do sinal recebido em pontos de uma rodovia que corta a floresta. Eles também realizaram medições na faixa de 900 MHz na mesma rodovia e compararam os valores medidos com os valores matematicamente calculados pela predição,

alcançando uma precisão muito boa, com erros bastante pequenos.

Em [Freitas et al 2006] os autores desenvolveram um estudo de um modelo de canal de propagação para planejamento de redes móveis para ambientes densamente arborizados. Neste trabalho os autores consideraram no seu modelo, além da perda inerente ao espaço livre (L_0), as perdas pela atenuação das folhagens da floresta amazônica. Em seguida, realizaram medições de campo variando a altura das torres, desde alturas mais elevadas até alturas próximas às copas das árvores, e compararam os resultados teóricos preditos pelo modelo com as medidas experimentais, obtendo uma boa aproximação quando comparados.

Em [Meng et al 2009] os autores analisam o efeito das chuvas no ambiente florestal para frequências na faixa de VHF, onde a água da chuva altera a permissividade dielétrica do meio (folhagem), alterando as características de propagação das ondas nas florestas e, dependendo da intensidade chuvosa, essa permissividade se altera, alterando também a velocidade de propagação da onda no meio. O estudo também esclarece que uma aproximação do fenômeno considerando não mais duas, mas quatro camadas permite estender o estudo para a faixa de UHF (onde se encontram as frequências usadas no GSM).

As pesquisas e próprio mercado atual de telefonia móvel ratificam que é possível ter boa cobertura em regiões permeadas por florestas, o que é comum na Amazônia. Prova disso é que as operadoras de telefonia celular GSM comerciais da região costumam utilizar frequências na faixa de 850 ou 900 MHz essencialmente para cobertura rural (nas sedes dos municípios), ou ainda para cobertura urbana ou sub-urbana complementar (com raio de cobertura menor em 1800 ou 1900 MHz e cobertura estendida na faixa anteriormente citada), dado o alcance maior para frequências menores [Jeszensky 2004].

No capítulo de resultados (capítulo IV) serão feitas as previsões dos valores de sinais teóricos (predição matemática), para levantamento de cobertura na localidade de instalação do piloto, muito embora, os estudos supracitados reforçam a ideia de que a propagação de ondas em florestas possui suas particularidades, que no momento de se implementar um projeto mais amplo e mais complexo de cobertura celular utilizando sistemas GSM *open source* ou legados, deve-se levar em consideração esses pormenores e que, além disso, a necessidade de um projeto mais elaborado pode impactar no custo de implementação, conforme já explanado no início deste capítulo.

3.2 - Custos relacionados à implantação (CAPEX) e a operação (OPEX) do sistema

Nesta seção serão discutidos alguns assuntos referentes às estimativas de custos de se implementar um sistema de telefonia móvel GSM *open source* em comunidades rurais.

CAPEX – *Capital Expenditure*, significam as despesas com investimentos em um dado negócio, ou seja os recursos financeiros gastos com as aquisições de bens, enquanto que OPEX – *Operational Expenditure*, significam as despesas com a operação de um dado negócio, ou seja, os recursos financeiros gastos com a manutenção dos bens [CAPEX & OPEX 2014]. Um exemplo simples: a compra de uma impressora para um laboratório caracteriza CAPEX, mas a manutenção da mesma (compra de cartuchos ou *toner*, ou mesmo manutenção corretiva da mesma) se caracteriza como OPEX.

Em outro exemplo, as empresas de telefonia celular investem em expansão da rede (compra de equipamentos, tais como BTS, MSC, BSC, Node-B, etc) isso corresponde a CAPEX, enquanto que a manutenção operacional desses equipamentos (despesas com energia elétrica e com interconexão de equipamentos remotos, por exemplo) correspondem a OPEX. Esse conceito pode ser aplicado a qualquer tipo de negócio, para mensurar o que se gasta com investimento e o que se gasta com operação e/ou manutenção.

Então, partindo-se desse princípio, será agora feita uma análise de quanto será necessário investir em um projeto de telefonia celular GSM *open source* e qual o custo para se manter tal projeto. Alguns cenários serão colocados e discutidos ao longo da seção.

O primeiro custo de investimento necessário diz respeito ao próprio equipamento. No capítulo 2 foram informados os custos dos equipamentos descritos, os quais estão resumidos na Tabela 3.1 a seguir. Nesta tabela incluem-se os custos (impostos e taxas) de importação.

Tabela 3.1 - Custos de aquisição dos equipamentos do CELCOM (Fonte: próprio autor).

SOLUÇÃO	VALOR EM U\$*	VALOR EM R\$
YateBTS	\$2.670,06	R\$ 6.007,64
OpenBTS	\$6.044,13	R\$ 13.599,30
SysmoBTS	\$4.895,61	R\$ 11.015,12
UmSITE	\$5.209,90	R\$ 11.722,28

* Dólar do período: R\$ 2,25.

Assim, a escolha do equipamento vai depender da necessidade da comunidade (com poucas ou muitas pessoas, de área pequena, média ou grande, etc), mas também da capacidade de investimento do “patrocinador” ou “subsidiador”, considerando que seja um projeto de cunho social.

O outro custo de investimento associado, refere-se ao acessórios. Alguns modelos já vem com fontes de alimentação, antenas, cabos de RF, conectores, amplificadores, etc, outros não. Então, caso se escolha um modelo sem fonte, como por exemplo a sysmoBTS[®] 2050, deverá se pensar na aquisição de uma fonte que atenda aos requisitos mínimos da BTS (tensão e corrente) e que seja de boa qualidade, para não interferir no funcionamento dos equipamentos de RF.

Outro custo de investimento que se deve levar em consideração é o de instalação. Se a comunidade for pequena, a instalação da antena com o cabo de RF pode ser feita até mesmo pela própria comunidade, em um topo de alguma edificação mais alta do local (igreja, caixa d'água, centro comunitário, escola, etc), reduzindo esse custo para praticamente zero. A figura 3.1 mostra um exemplo real de uma comunidade rural típica da Amazônia, com uma caixa d'água de pequeno ou médio porte, e uma igreja, geralmente no centro da comunidade.



Figura 3.1 - Comunidade rural típica amazônica (Fonte: próprio autor).

Porém, se houver necessidade de um serviço de instalação mais especializado, com torrista para instalação de antenas e cabos em uma torre de RF ou edificação equivalente mais elevada e já existente, esse custo se torna bastante significativo.

O custo de construção de estruturas mais complexas para receberem os equipamentos (torre autoportante, torre estaiada ou torre tubular) não foram considerados no escopo desse trabalho, pois após pesquisas, constatou-se que o custo de aquisição e instalação de uma torre é demasiadamente elevado, o que foge ao objetivo do projeto, que é baratear o máximo possível para se tornar economicamente viável do ponto de vista social, tanto na aquisição quanto na operação. O custo de construção de uma torre estaiada, por exemplo, quadruplicaria o CAPEX de qualquer uma das soluções.

Os custos de operação envolvem basicamente os custos de aluguel de um enlace de interconexão e/ou *Internet* e o custo de manutenção dos equipamentos. Não se considerou neste trabalho o consumo de energia elétrica dos equipamentos, partindo-se do princípio que a própria comunidade por meio de programas sociais do governo (ou seu patrocinador) poderá arcar com esse custo, que é relativamente baixo, dada a simplicidade de operação dos equipamentos.

Por meio de pesquisas em empresas que prestam serviços de manutenção para operadoras de telefonia celular, conseguiu-se obter um valor médio de custo de manutenção dos equipamentos, que está na faixa de R\$ 600,00 / mês. Esse custo é médio, pois as empresas costumam cobrar mais caro para deslocamentos mais longos (com relação às sedes das empresas nas capitais), logo é um custo bastante variável.

O outro custo operacional diz respeito ao aluguel de um enlace de interconexão que precisa conectar o equipamento a *Internet*, visto que as ligações externas a rede do CELCOM são feitas via VoIP. Basicamente, foram analisadas 4 soluções de interconexão diferentes:

- Um enlace E1 (2Mbps – 32 canais de 64 kbps) terrestre: solução típica usada pelas operadoras especialmente em áreas urbanas, onde os provedores de meios fornecem solução por par metálico ou mesmo fibra óptica;
- Um enlace PTP (ponto a ponto) usando equipamento de micro-ondas: solução usada mais pontualmente pela operadoras, visando atender projetos específicos de atendimento de cobertura (urbana ou rural);
- Um enlace satelital com fração de E1 (512 kbps): solução tipicamente usada em regiões rurais onde os *backbones* e *backhauls* dos provedores de meios terrestres não tem capilaridade para atender a operadora, se utiliza apenas frações de E1 visando a economia (se um site tiver baixo tráfego não é interessante ter 2 Mbps para atender essa pequena demanda);
- Por fim um enlace E1 satelital completo (2Mbps – 32 canais de 64 kbps): tipicamente utilizado em locais de alto tráfego (que justifica um E1 satelital completo), mas também

onde os *backbones* e *backhauls* dos provedores de meios não tem capilaridade para atender a operadora.

As Tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 a seguir compilam os valores (em Reais) de CAPEX e OPEX para cada tipo enlace supracitado, considerando os custos dos tipos de equipamentos (inclusa taxa de importação) e seus acessórios, comparando os valores finais de cada solução GSM *open source*.

Essas informações foram obtidas “informalmente” por contatos do autor do trabalho com pessoas que trabalham no meio (ex-colegas de trabalho), pois empresas dificilmente divulgam essas informações para não-clientes.

Além disso, esses valores representam custos médios, pois os valores dos enlaces dependem de vários fatores, tais como: distância da localidade às capitais, velocidade do enlace (em kbps ou Mbps), preço dos equipamentos (no caso de enlace PTP), preço de pacotes negociados entre as operadoras e os provedores, disputas de mercado entre provedores diferentes, entre outros.

Tabela 3.2 - CAPEX e OPEX para enlace E1 terrestre (Fonte: planilha compilada pelo autor).

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (CAPEX) E DE OPERAÇÃO (OPEX) DO CELCOM					
CAPEX					
CASO 1: OPERAÇÃO E1 TERRESTRE		YateBTS	OpenBTS	SysmoBTS	UmSITE
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO	1	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00
AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO COMPLETO (INCLUINDO SOFTWARES)	1	R\$ 4.653,50	R\$ 11.554,53	R\$ 7.945,00	R\$ 9.080,00
TAXAS DE IMPORTAÇÃO (***)	1	R\$ 1.354,14	R\$ 2.260,65	R\$ 3.070,12	R\$ 2.642,28
INSTALAÇÃO DE E1 TERRESTRE (*)	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
ANTENA 6 DBI OMNIDIRECIONAL (HGV-906U)	1	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98
CABO COAXIAL HIPERLINK N-MACHO/N-MACHO	15m	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00
DUPLEXER DE ANTENA PARA OPERAÇÃO BIDIRECIONAL EM 900 MHz (ANATECH MICROWAVE AD902-947D382)	1	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00
AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA PARA TRANSMISSÃO MÁX. 20 dBm (DOWNEAST MICROWAVE 3335PA)	1	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00
FONTE DE ALIMENTAÇÃO PARA O AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA (13,8 V - 6 A)	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00
FONTE DA BTS (12 V / 5A ou 24V/2A)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00
AMPLIFICADOR DE BAIXO RUÍDO PARA ISOLAMENTO DO SINAL DE RECEPÇÃO (LNA ZRL-1150LN)	1	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90
FILTRO PASSA BANDA DE RECEPÇÃO (MICROWAVE AB832B477)	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00
CABO DE ALIMENTAÇÃO (1 m)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
CONECTORES N-FÊMEA / SMA-MACHO	4	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
TOTAL CAPEX	-	R\$ 14.759,52	R\$ 22.567,06	R\$ 19.767,00	R\$ 20.474,16
OPEX					
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
CUSTO DE MANUTENÇÃO MENSAL	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00
OPERAÇÃO DE E1 (ALUGUEL) (**)	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
TOTAL OPEX	-	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
TOTAL GERAL		R\$ 16.559,52	R\$ 24.367,06	R\$ 21.567,00	R\$ 22.274,16
Observações: (*) Custo médio de E1, (**) Custo médio de aluguel mensal de E1, (***) Custo de importação estimado para YateBTS e UmSITE					

Tabela 3.3 - CAPEX e OPEX para enlace PTP (Fonte: planilha compilada pelo autor).

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (CAPEX) E DE OPERAÇÃO (OPEX) DO CELCOM					
CAPEX					
CASO 2: OPERAÇÃO COM MICRO-ONDAS PTP	QUANTIDADE	YateBTS	OpenBTS	SysmoBTS	UmSITE
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO	1	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00
AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO COMPLETO (INCLUINDO SOFTWARES)	1	R\$ 4.653,50	R\$ 11.554,53	R\$ 7.945,00	R\$ 9.080,00
TAXAS DE IMPORTAÇÃO (***)	1	R\$ 1.354,14	R\$ 2.260,65	R\$ 3.070,12	R\$ 2.642,28
AQUISIÇÃO DE RÁDIOS DE MICRO-ONDAS COM ANTENAS DIRECIONAIS	1	R\$ 1.280,00	R\$ 1.280,00	R\$ 1.280,00	R\$ 1.280,00
ANTENA 6 DBI OMNIDIRECIONAL (HGV-906U)	1	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98
CABO COAXIAL HIPERLINK N-MACHO/N-MACHO	15m	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00
DUPLEXER DE ANTENA PARA OPERAÇÃO BIDIRECIONAL EM 900 MHz (ANATECH MICROWAVE AD902-947D382)	1	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00
AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA PARA TRANSMISSÃO MÁX. 20 dBm (DOWNEAST MICROWAVE 3335PA)	1	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00
FONTE DE ALIMENTAÇÃO PARA O AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA (13,8 V - 6 A)	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00
FONTE DA BTS (12 V / 5A ou 24V/2A)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00
AMPLIFICADOR DE BAIXO RUÍDO PARA ISOLAMENTO DO SINAL DE RECEPÇÃO (LNA ZRL-1150LN)	1	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90
FILTRO PASSA BANDA DE RECEPÇÃO (MICROWAVE AB832B477)	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00
CABO DE ALIMENTAÇÃO (1 m)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
CONECTORES N-FÊMEA / SMA-MACHO	4	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
TOTAL CAPEX	-	R\$ 14.839,52	R\$ 22.647,06	R\$ 19.847,00	R\$ 20.554,16
OPEX					
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
CUSTO DE MANUTENÇÃO MENSAL	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00
OPERAÇÃO DO ENLACE	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
TOTAL OPEX	-	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00
TOTAL GERAL		R\$ 15.439,52	R\$ 23.247,06	R\$ 20.447,00	R\$ 21.154,16
Observações: (*) Custo médio de E1, (**) Custo médio de aluguel mensal de E1, (***) Custo de importação estimado para YateBTS e UmSITE					

Tabela 3.4 - CAPEX e OPEX para enlace satelital de 512 kbps (Fonte: planilha compilada pelo autor).

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (CAPEX) E DE OPERAÇÃO (OPEX) DO CELCOM					
CAPEX					
CASO 3: OPERAÇÃO ENLACE SATÉLITE (512 kbps)	QUANTIDADE	YateBTS	OpenBTS	SysmoBTS	UmSITE
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO	1	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00
AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO COMPLETO (INCLUINDO SOFTWARES)	1	R\$ 4.653,50	R\$ 11.554,53	R\$ 7.945,00	R\$ 9.080,00
TAXAS DE IMPORTAÇÃO (***)	1	R\$ 1.354,14	R\$ 2.260,65	R\$ 3.070,12	R\$ 2.642,28
INSTALAÇÃO DE 512 kbps SATELITAL (FRAÇÃO DE E1) (*)	1	R\$ 6.181,25	R\$ 6.181,25	R\$ 6.181,25	R\$ 6.181,25
ANTENA 6 DBI OMNIDIRECIONAL (HGV-906U)	1	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98
CABO COAXIAL HIPERLINK N-MACHO/N-MACHO	15m	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00
DUPLEXER DE ANTENA PARA OPERAÇÃO BIDIRECIONAL EM 900 MHz (ANATECH MICROWAVE AD902-947D382)	1	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00
AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA PARA TRANSMISSÃO MÁX. 20 dBm (DOWNEAST MICROWAVE 3335PA)	1	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00
FONTE DE ALIMENTAÇÃO PARA O AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA (13,8 V - 6 A)	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00
FONTE DA BTS (12 V / 5A ou 24V/2A)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00
AMPLIFICADOR DE BAIXO RUÍDO PARA ISOLAMENTO DO SINAL DE RECEPÇÃO (LNA ZRL-1150LN)	1	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90
FILTRO PASSA BANDA DE RECEPÇÃO (MICROWAVE AB832B477)	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00
CABO DE ALIMENTAÇÃO (1 m)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
CONECTORES N-FÊMEA / SMA-MACHO	4	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
TOTAL CAPEX	-	R\$ 19.740,77	R\$ 27.548,31	R\$ 24.748,25	R\$ 25.455,41
OPEX					
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
CUSTO DE MANUTENÇÃO MENSAL	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00
OPERAÇÃO DE ENLACE (ALUGUEL) (**)	1	R\$ 6.181,25	R\$ 6.181,25	R\$ 6.181,25	R\$ 6.181,25
TOTAL OPEX	-	R\$ 6.781,25	R\$ 6.781,25	R\$ 6.781,25	R\$ 6.781,25
TOTAL GERAL		R\$ 26.522,02	R\$ 34.329,56	R\$ 31.529,50	R\$ 32.236,66
Observações: (*) Custo médio de E1, (**) Custo médio de aluguel mensal de E1, (***) Custo de importação estimado para YateBTS e UmSITE					

Tabela 3.5 - CAPEX e OPEX para enlace satelital de 2 Mbps (Fonte: planilha compilada pelo autor).

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (CAPEX) E DE OPERAÇÃO (OPEX) DO CELCOM					
CAPEX					
CASO 4: OPERAÇÃO ENLACE SATÉLITE (E1)		YateBTS	OpenBTS	SysmoBTS	UmSITE
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO	1	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00
AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO COMPLETO (INCLUINDO SOFTWARES)	1	R\$ 4.653,50	R\$ 11.554,53	R\$ 7.945,00	R\$ 9.080,00
TAXAS DE IMPORTAÇÃO (***)	1	R\$ 1.354,14	R\$ 2.260,65	R\$ 3.070,12	R\$ 2.642,28
INSTALAÇÃO DE ENLACE SATELITAL (E1) (*)	1	R\$ 21.500,00	R\$ 21.500,00	R\$ 21.500,00	R\$ 21.500,00
ANTENA 6 DBI OMNIDIRECIONAL (HGV-906U)	1	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98	R\$ 131,98
CABO COAXIAL HIPERLINK N-MACHO/N-MACHO	15m	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00
DUPLEXER DE ANTENA PARA OPERAÇÃO BIDIRECIONAL EM 900 MHz (ANATECH MICROWAVE AD902-947D382)	1	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00	R\$ 720,00
AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA PARA TRANSMISSÃO MÁX. 20 dBm (DOWNEAST MICROWAVE 3335PA)	1	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00	R\$ 470,00
FONTE DE ALIMENTAÇÃO PARA O AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA (13,8 V - 6 A)	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00	R\$ 350,00
FONTE DA BTS (12 V / 5A ou 24V/2A)	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00
AMPLIFICADOR DE BAIXO RUÍDO PARA ISOLAMENTO DO SINAL DE RECEPÇÃO (LNA ZRL-1150LN)	1	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90	R\$ 239,90
FILTRO PASSA BANDA DE RECEPÇÃO (MICROWAVE AB832B477)	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00
CABO DE ALIMENTAÇÃO (1 m)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
CONECTORES N-FÊMEA / SMA-MACHO	4	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
TOTAL CAPEX	-	R\$ 35.059,52	R\$ 42.867,06	R\$ 40.067,00	R\$ 40.774,16
OPEX					
ITENS	QUANTIDADE	VALORES			
CUSTO DE MANUTENÇÃO MENSAL	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00
OPERAÇÃO DE ENLACE (ALUGUEL) (**)	1	R\$ 21.500,00	R\$ 21.500,00	R\$ 21.500,00	R\$ 21.500,00
TOTAL OPEX	-	R\$ 22.100,00	R\$ 22.100,00	R\$ 22.100,00	R\$ 22.100,00
TOTAL GERAL		R\$ 57.159,52	R\$ 64.967,06	R\$ 62.167,00	R\$ 62.874,16
Observações: (*) Custo médio de E1, (**) Custo médio de aluguel mensal de E1, (***) Custo de importação estimado para YateBTS e UmSITE					

O gráfico da Figura 3.2 resume as Tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5, onde observa-se um disparate grande de valores entre as soluções de interconexão.

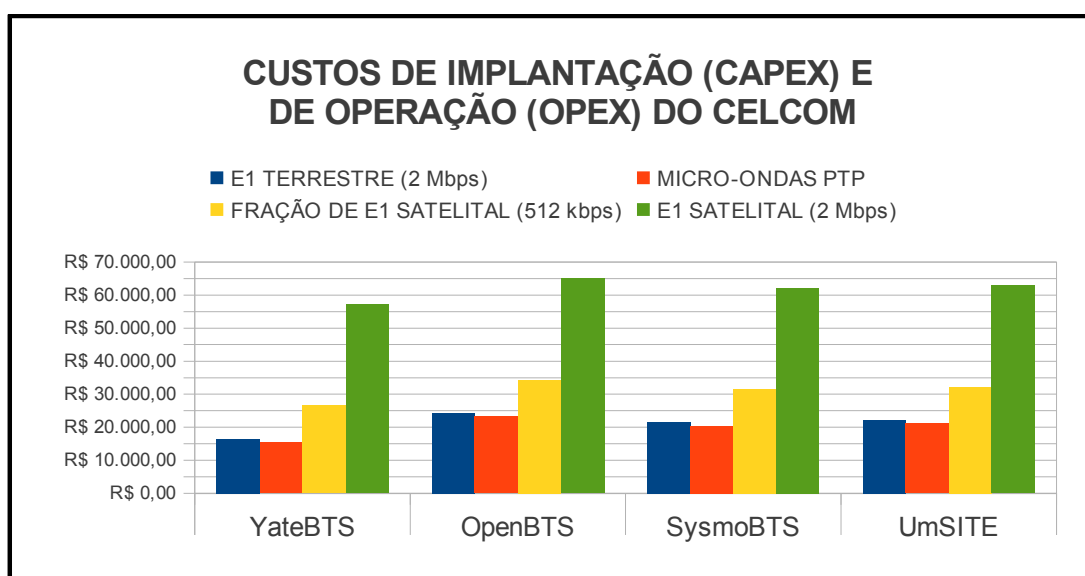


Figura 3.2 - Resumos de CAPEX e OPEX do CELCOM (Fonte: próprio autor).

O tipo de solução mais economicamente vantajosa é a solução por enlace de micro-ondas, pois além de apresentar um dos menores custos de aquisição (ficando atrás somente do E1 terrestre), não apresenta o custo de operação referente ao aluguel, pois utiliza equipamentos próprios, podendo sua manutenção ser inclusa na manutenção do CELCOM.

O E1 terrestre é a segunda solução mais atraente, porém a capilaridade dos provedores de meios terrestres é baixa (especialmente na Amazônia), então é muito provável que uma comunidade que requeira o serviço, mas que fique muito distante de um centro urbano (sede do município), não tenha essa disponibilidade de meio de interconexão.

A solução satelital com fragmentação de E1 (conforme já exposto, provedores alugam frações de E1 para atender necessidades menores de seus clientes, que nem sempre precisam de uma banda completa), se apresenta com a terceira melhor solução. Mas um aluguel na faixa de R\$ 6.000,00 / mês é um custo muito elevado para uma comunidade rural, mesmo que subsidiado.

Por fim, o aluguel de um E1 satelital completo praticamente inviabiliza qualquer possibilidade de implementação de um projeto GSM *open source* de cunho social, dado o valor exorbitante do custo de aquisição e de manutenção desse tipo de meio.

A Tabela 3.6 a seguir mostra a capacidade mínima de *backhaul* para funcionamento do OpenBTS[®], de acordo com o tipo de *codec* de voz usado. Os valores estão em kbps. Os demais fabricantes não informam quais as banda mínimas exigidas para as suas soluções.

Para o caso de uso de conexão satelital, recomenda-se que se use a OpenBTS[®] com o protocolo IAX (*Inter Asterisk Exchange*), em uma configuração remota entre dois servidores Asterisk[®], como exemplificado em [OpenBTS[®] manual 4.0 2014].

Tabela 3.6 - Taxas mínimas em kbps para *backhaul* do CELCOM (Fonte: OpenBTS manual 4.0).

Codec	per call raw rate	per call over RTP	7 calls over RTP	7 calls IAX trunking	speech quality
G.711	64	81	567	468	toll-quality
GSM-FR	13	30	210	124	toll-quality
G.729	8	25	175	97	near-toll-quality
Speex	8	25	175	97	near-toll-quality
Speex	4	21	147	60	not toll-quality
LPC-10	2.4	20	136	37	not toll-quality

3.3 - Questões legais (legalização)

Esta seção discutirá a questão da legalização do sistema, no que tange ao atendimento da legislação brasileira sobre autorização de fornecimento e uso de serviços de telecomunicações, e também com respeito a licenciamento de uso de radiofrequência. A partir de 1997, com a privatização do setor de telecomunicações do Brasil, foi criada uma autarquia (decreto presidencial 2.338 de 07 de Outubro de 1997) para gerir questões relacionadas às telecomunicações no país e ao uso do espectro de frequências, chamada Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) [Decreto 2.338 1997].

Assim, todo e qualquer serviço de telecomunicações e/ou uso de radiofrequência precisa ter o aval do referido órgão competente e deve se encaixar em alguma categoria de serviço existente, prevista na legislação atual. Mesmo projetos com enfoque social (exemplo, rádios-bairros ou rádios comunitárias) precisam de autorização para funcionar.

Com o CELCOM não seria diferente. Em termos de serviços, o projeto pode ser enquadrado como SMP – Serviço Móvel Pessoal, dado que o GSM, a rede de acesso do sistema abrangido por esse trabalho, atualmente possui esse enquadramento no país. E como utiliza radiofrequência, também necessita de licenciamento para uso de frequência do espectro nas faixas do GSM usadas no Brasil (850, 900, 1800 ou 1900 MHz).

Após extensa pesquisa da legislação de telecomunicações brasileira, chegou-se a conclusão que o CELCOM poderia se encaixar em dois possíveis tipos de licenciamento:

- Licenciamento Temporário e;
- Licenciamento para Fins Científicos e Experimentais (SEFCE).

Cogitou-se adicionar mais uma categoria como possibilidade, que seria a do SLP (Serviço Limitado Privado), porém a legislação brasileira ainda é muito rígida e não permite utilizar o GSM em outra categoria de serviço que não a do SMP, para fins de licenciamento permanente.

A seguir será explanado sobre cada tipo de licença, suas vantagens, desvantagens, limitações, critérios de uso, duração da licença, procedimento para solicitação, entre outros aspectos relevantes.

3.3.1 - Licença Temporária

O licenciamento temporário é a primeira opção de licenciamento do CELCOM. Já houve uma tentativa de se utilizar esse tipo de licença com o CELCOM, em meados de 2010, no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Igor Almeida, na época graduando de Engenharia da Computação [Almeida 2010], porém esse tipo de licenciamento tem um prazo de execução muito curto, assim o equipamento de BTS foi importado mas não chegou a ser testado com a licença, pois esta expirou antes da chegada da mesma. Recentemente a resolução que normatiza o licenciamento temporário, cuja denominação mais correta é Regulamento sobre Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências, foi revisada, sendo a sua última versão de numeração 635 de 09 de Maio de 2014 [Resolução 635 2014]. O Anexo B Exibe parte da referida resolução, destacando os principais artigos e parágrafos.

Observa-se uma série de limitações previstas no regulamento de uso temporário de radiofrequências, que para o CELCOM atenderia em parte (não há limitação quanto ao tipo de serviço, por exemplo), porém o curto período da licença (de apenas 60 dias e sem possibilidade de prorrogação), somado ao fato de não se pode pedir nova licença (agora de no máximo apenas 7 dias) após o término da primeira, sem que tenham se passado pelo menos 3 meses, tornam o licenciamento temporário como uma opção pouco vantajosa, especialmente se o sistema for implementado para efeito de estudos científicos e acadêmicos (objetivo principal deste trabalho).

3.3.2 - Licença Especial para Fins Científicos e Experimentais (SEFCE)

Assim, optou-se por buscar um tipo de licenciamento em que o tipo de serviço e a faixa de frequência sejam também compatíveis com o GSM (SMP), porém com um prazo maior para avaliação e com a possibilidade de prorrogação, quando e se necessário. Esse outro tipo de licenciamento se chama Serviço Especial Para Fins Científicos e Experimentais (SEFCE), cuja normatização é regida pela Lei nº 9.472, de 16 de Junho de 1997 (Lei Geral de Telecomunicações) e pelo regulamento específico do SEFCE [SEFCE 2014].

Pode se dizer que é o tipo de licença (e autorização) ideal para um projeto científico e de experimentação como o CELCOM, pois se encaixa perfeitamente no propósito do mesmo. O Anexo C exibe parte do regulamento, suas características e requisitos para solicitação e uso.

Percebe-se ao analisar os trechos destacados do regulamento que o SEFCE é a modalidade de

serviço que melhor atende a proposta de implementação de um projeto piloto do CELCOM, pois possui um período de avaliação maior (de até 2 anos, prorrogável por mais 2 anos, informação coletada junto a própria ANATEL), casa com os requisitos científicos e de experimentação característicos de um piloto, não exige certificação dos equipamentos (as BTS *open source* ora apresentadas não possuem certificação / homologação da ANATEL), pode ter mais de uma estação avaliada (e instalada depois) e por fim pode se conectar a outros serviços de telecomunicações (como por exemplo o VoIP), conforme versa o artigo 55 do regulamento.

Dessa forma, optou-se no projeto piloto solicitar licenciamento do CELCOM com fins científicos e experimentais. Vale lembrar que ambos os tipos de licenciamento aqui descritos envolvem custos (taxas e tributos) para licenciamento e autorização dos serviços.

Observa-se também que os licenciamentos disponíveis na legislação atual para esse tipo de sistema de telecomunicações não dão possibilidade dos mesmos serem prestados de forma contínua e permanente, pois exigiriam do prestador de serviço que utilizasse GSM *open source* uma licença SMP, cujo valor é elevado se considerar que esses projetos não tem interesse em retorno financeiro, mas em atendimento social.

Por fim, uma questão importante: ao se solicitar a licença SEFCE para um sistema GSM como o CELCOM é preciso ter o cuidado de se escolher a frequência adequada, pois o regulamento explica que esse tipo de licença opera em caráter secundário e não pode interferir em radiofrequências que operam em caráter primário. Mesmo que se opere em regiões rurais isoladas, onde operadoras comerciais não possuem cobertura (mas possuem a outorga do uso do serviço e respectivo licenciamento das frequências), deve-se utilizar “*white spaces*” (espaços vazios no espectro) do GSM, afim de evitar possíveis interferências ou mesmo implicações legais.

Por sorte, existe uma faixa do GSM 900 MHz no Brasil que ainda não fora licenciada, que compreende aos ARFCN de 63 a 87 (faixa de 902,5 a 907,5 MHz no UL e 947,5 a 952,5 MHz no DL) que pode ser usada para o SEFCE, sem necessidade de certificação / homologação dos equipamentos [Teleco 2014].

3.4 - Auto-sustentabilidade do sistema

Nesta última seção serão discutidos alguns aspectos referentes a sustentabilidade do sistema. Algumas questões são de grande importância para o sucesso da operação plena de um sistema GSM baseado em *software* livre e *hardware* aberto operando em comunidades rurais carentes, dentre as quais destacam-se:

- Como realizar a manutenção do mesmo com o menor custo possível?
- Como gerenciar essa rede?
- Como manter a sua sustentabilidade?
- Como garantir a segurança do equipamento contra roubos e vandalismo?
- A comunidade deve (ou pode) determinar qual seria a distribuição do plano de minutos e estabelecer prioridades de uso, sem interferência externa à mesma?

Para analisar a primeira questão, deve-se ter em mente que em redes GSM comerciais é comum uma BTS estar funcionando normalmente e de forma repentina a energia elétrica “cair”, ou o enlace de dados falhar (entre a BTS e a BSC) ou ainda haver outro evento qualquer que “derrube” o *site*. No GSM “*open*” não é diferente. Mesmo que seja por poucos minutos ou até mesmo algumas dezenas de segundos.

Como proceder nestes casos, visto que a BTS *open source* operando neste cenário precisa de um custo praticamente zero para se manter?

Uma primeira opção seria criar um script de “*auto-reset*” que atua da seguinte forma: caso ocorra algum evento dessa natureza, o sistema se liga automaticamente após algum tipo de pane e ainda é capaz de testar se o mesmo tipo de pane persiste (como por exemplo, quedas intermitentes de energia). A segunda opção seria a manutenção remota, pois é possível acessar a BTS remotamente pela mesma rede (LAN ou WAN) do provedor do *backbone* / *backhaul*, utilizando protocolo TCP/IP. Entretanto, para situações onde não for possível recuperação automática por *script* ou manutenção remota, será necessária intervenção local.

Nas operadoras comerciais é também comum a utilização de sistema automatizado de SMS onde se pode programar para um celular (ou mais) receber um aviso (por SMS) quando algum evento ocorrer (por exemplo, pode-se receber a mensagem: “BTS da Comunidade XYZ – Cidade: ABCD – Queda de energia, hh:mm, dd/mm/aaaa”). Deve-se verificar a possibilidade de

implementação nas BTS *open source* dessa funcionalidade.

Pode-se pensar na ideia da própria comunidade realizar a manutenção do sistema, porém dificilmente haverá alguém na mesma bem treinado para dar um suporte de nível 1. Pode-se então pensar em que a instituição patrocinadora do projeto se responsabilize por ter um técnico de Informática ou pessoa com conhecimento similar que possa se deslocar ao povoado e, por exemplo, seguir um roteiro para "levantar" a BTS e caso não consiga teria que ligar para um suporte avançado (nível 2), ou mesmo acionar a o fornecedor da solução (no caso, a UFPA), em último caso.

As BTS *open source* funcionarão de forma autônoma e em modo *stand alone* (não haverá um Centro de Gerenciamento de Redes – CGR) que monitora centenas ou mesmo milhares de BTS, comuns em operadoras móveis, mas sim BTS isoladas atendendo regiões isoladas. Deve-se ter em mente que em operadoras convencionais existe geralmente um acordo de nível de serviço (conhecido com SLA – *Service Level Agreement*), onde empresas de manutenção terceirizadas ou mesmo provedores de meios precisam realizar atendimentos em um tempo máximo estipulado em contrato, sob pena de serem punidos com multa ou alguma outra sanção contratual [SLA 2014].

Entretanto, para uma comunidade rural isolada e com poucos recursos, CGRs e SLAs não poderão existir, dado o caráter social do projeto. Assim, a própria comunidade de alguma forma deverá “cuidar” do equipamento, se comprometendo com sua manutenção e conservação básica e solicitando auxílio mais especializado (ONG patrocinadora, universidade, etc) nos casos que não puder sanar o problema por si própria.

Outra questão importante a ser levantada refere-se a segurança do equipamento. O mesmo precisa ter algum mecanismo / dispositivo de segurança contra roubos e vandalismo. É comum haver roubo de cabos e equipamento ou simplesmente vandalismo puro em *sites* comerciais de operadoras ou mesmo em outros projetos que envolvam equipamentos de telecomunicações. Recentemente foi publicado site do NavegaPará um alerta sobre furtos de equipamentos do programa em vários municípios do nordeste paraense, prejudicando a população com a paralisação dos serviços [Furtos de equipamentos 2014].

Geralmente as operadoras de telefonia móvel utilizam muros, grades, cercas elétricas, sistemas de monitoramento remoto e até mesmo animais (cães) para salvaguardar seu equipamento / investimento. Contudo, no caso de um projeto de caráter social, a própria comunidade deve assumir prioritariamente essa responsabilidade, sabendo que os recursos são escassos, e que nem sempre a perda ou furto de um equipamento pode ser recuperada ou reposta. Por isso é importante que o equipamento fique no local mais seguro possível, pois sem ele continuarão sem comunicação com o

mundo afora, isolados como sempre estiveram. Os custos com segurança devem ser minimizados, pois deve-se lembrar que a prefeituras interioranas possuem recursos escassos para aplicar em projetos dessa natureza.

Por fim, analisa-se os critérios de tarifação / plano de minutos, levando também em consideração o controle do mesmo sendo de responsabilidade da própria comunidade, que pode também definir prioridades de uso (as pessoas mais idosas usariam mais, ou a família com maior número de integrantes, ou líder da comunidade teria uma minutagem maior, pessoas doentes que precisam de assistência médica frequente, etc). Acredita-se que a própria comunidade deve decidir com distribuir e usar esse recurso, já que o projeto a priori não terá tarifação (será gratuito).

O provedor de *backbone / backhaul* certamente limitará o uso da comunidade como um todo em um plano geral de minutos mensal, assim uma má administração dos recursos penalizará a própria comunidade, que poderá ficar sem minutagem disponível até o próximo mês.

Assim, o sistema de telefonia comunitária GSM ideal deve ser auto-sustentável:

- A comunidade recebe (ou adquire);
- a comunidade instala (ou participa da instalação);
- a comunidade gerencia;
- A comunidade policia;
- A comunidade se responsabiliza;
- A comunidade usufrui e conserva para o bem comum de todo o povoado.

O caso específico do CELCOM propõe gratuidade do uso, partindo do pressuposto que a comunidade não tem (ou pouco tem) recursos para pagar pelos serviços. Todavia, pode-se pensar em outros modelos de sustentabilidade através de incentivos, como por exemplo:

- Crianças com as melhores notas nas escolas podem ganhar “créditos” (com a permissão dos adultos) para falarem nos finais de semana com primos ou outros parentes distantes;
- Comunidades com boa produtividade agrícola familiar pode ganhar minutos extras por mês caso consigam produzir mais e melhor para as próprias famílias;
- Comunidades que realizam aproveitamento das águas da chuva, tratamento dos resíduos, etc, podem ganhar mais aparelhos celulares e mais minutos para falar por mês;
- Outras possibilidades de incentivos e premiações visando dar qualidade de vida à própria comunidade.

Pode-se pensar também em um modelo sustentável de custo mínimo, onde os usuários pagam um preço simbólico mensal ou um valor pré-pago (parcialmente subsidiado por governos federal estadual ou municipal), ou ainda onde os moradores com mais recursos (comerciantes, pequenos produtores rurais, líderes comunitários, etc) rateiam os custos de manutenção, de aluguel de *backhaul*, entre outros, cuja valoração do serviço de telefonia disponível talvez seja maior, dada a escassez de recursos das pessoas da comunidade. Enfim, são possíveis vários outros modelos de auto-sustentabilidade, inclusive modelos que possam ser criados dentro da própria comunidade, considerando as suas particularidades.

Capítulo VI - Estudo de caso: Implementação do piloto do CELCOM

4.1 - Testes preliminares na UFPA

Nesta seção será descrito todo o desenvolvimento dos testes preliminares do CELCOM realizados dentro da própria Universidade Federal do Pará, localizado mais especificamente no campus profissional, no Anexo do Laboratório de Engenharia de Elétrica e da Computação. Algumas justificativas que levaram o autor do trabalho e demais colaboradores do projeto a instalarem um pré-piloto na UFPA:

- O processo de licenciamento do projeto é demorado (descrito detalhadamente no capítulo III) e terrivelmente burocrático (por se tratar de uma instituição que é pública, que necessita emitir vários documentos por departamentos distintos), diferentemente de uma instituição privada, onde os tramites são um pouco mais rápidos. Isso pesou na decisão do grupo em testar o sistema e se familiarizar com ele antes mesmo do licenciamento;
- Os testes preliminares foram feitos em um ambiente “controlado”, ou seja, onde os usuários foram os próprios membros da equipe envolvidos no projeto, usuários estes que são menos exigentes e compreendem que o equipamento pode apresentar falhas, erros, necessidade de *resets*, reconfigurações, etc, logo testar o sistema sob controle para depois testá-lo em uma comunidade real (menos sujeita a controle e menos tolerante à falhas) é uma maneira de se precaver de surpresas desagradáveis durante a interação com os potenciais futuros usuários;
- A parceria com o provedor de *backhaul* e de telefonia VoIP (PRODEPA) para implementação do piloto “efetivo” também envolve razoável “custo burocrático”, pois se trata de órgão do governo estadual, que exige elaboração de projeto executivo detalhado, acordo de cooperação entre as partes, entre outros, o que ainda se encontra em andamento;
- O custo para deslocamento de uma equipe de trabalho de Belém para a região rural / município objeto de estudo (estadia, alimentação, disponibilidade de veículos, combustível, etc) exige reunião de recursos financeiros (da própria equipe ou oriundo de algum patrocínio ou financiamento), que se leva tempo para reunir;
- Disponibilidade imediata de *backhaul* (conexão com *Internet*) da própria UFPA (por meio do laboratório), facilitando a instalação dos *softwares* dos equipamentos e também dos testes de chamadas para fora da rede (quando necessário).

Mesmo em um ambiente controlado, onde a *Internet* é da própria UFPA, os

equipamentos estão em laboratório, a energia elétrica é estável, dentre outros fatores que colaboram para que o experimento seja bem sucedido nestas condições, pode-se afirmar que na comunidade rural onde o mesmo será implementado as condições não serão controladas, mas serão favoráveis, dado que será usado um enlace de micro-ondas entre o Navega Pará fornecido pela PRODEPA, cujos cálculos e predições serão descritos na seção 4.5. Assim, o piloto controlado dá uma ideia razoável de como o sistema pode responder quanto estiver efetivamente em campo, fazendo uso da comunidade rural como planta de teste real.

O Laboratório de Processamento de Sinais (LaPS) da UFPA, de onde o projeto CELCOM surgiu, adquiriu equipamentos de duas soluções distintas (OpenBTS®/Range Networks® e SysmoBTS-OpenBSC®/Sysmocom®), em épocas também distintas. Inicialmente em 2010 fora adquirida a primeira BTS, com versão nº 1 da USRP (USRP1) e com *software* original OpenBTS® na versão 2.8. Dois anos depois, em 2012 o LaPS reuniu recursos e adquiriu mais uma OpenBTS®, porém com versão de *software* mais atual que a 2.8 (3.1 – que já possui GPRS) e cujo SDR é um ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) e não uma USRP. Esse pacote é conhecido como *kit* de desenvolvimento (*development kit*).

No ano passado, 2013, o laboratório conseguiu novos recursos e adquiriu uma sysmoBTS® 2050 da Sysmocom®, com o *software* da OpenBSC® e alguns outros *softwares* do pacote da solução (como o OsmoTRX®, por exemplo). Atualmente a primeira OpenBTS® adquirida está com a versão de *software* 3.1.3, o *kit* de desenvolvimento está com a versão 4.0 (que também contém GPRS), e a sysmoBTS® 2050 se encontra com a configuração original do fornecedor.

A Figura 4.1 mostra a primeira BTS adquirida, enquanto a Figura 4.2 exige foto do *kit* de desenvolvimento e por fim a Figura 4.3 exhibe a sysmoBTS® 2050 recentemente adquirida pelo LaPS.

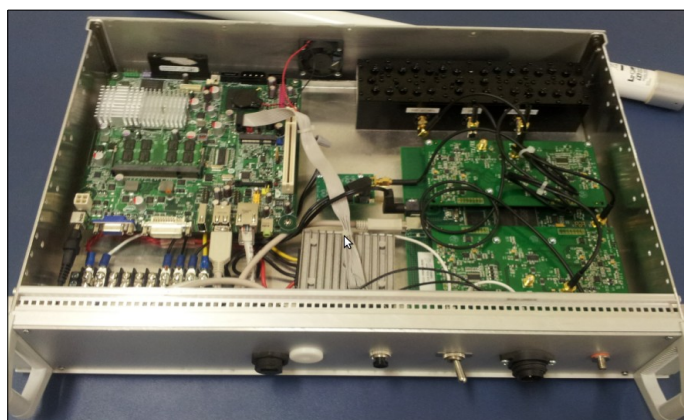


Figura 4.1 - Primeira BTS adquirida pela laboratório (Fonte: próprio autor).



Figura 4.2 - Segunda BTS (*kit de desenvolvimento*) adquirida pela laboratório (Fonte: próprio autor).



Figura 4.3 - Terceira BTS adquirida pela laboratório (Fonte: próprio autor).

A primeira e a segunda BTS (ambas são *hardware* do OpenBTS[®]) possuem fontes de alimentação próprias (entradas em 110V/220V CA e saídas em 12V / 5A CC), entretanto, a sysmoBTS[®] 2050 não vem com fonte de alimentação, e exige uma alimentação de 24V / 2A (alimentação em CC). Isso se tornou um problema, pois quando houver necessidade de se levar essa BTS para campo será preciso ter uma fonte de tensão contínua com essas especificações mínimas.

4.2 - Construindo uma fonte de alimentação para SysmoBTS e PA

Para os testes iniciais de laboratório fora utilizada uma fonte de bancada, porém a mesma não é a solução mais adequada para operação contínua de um piloto, por exemplo. Assim, alguns colaboradores do projeto trabalharam na construção de uma fonte estabilizada de tensões e correntes contínuas, que serve tanto para alimentar a sysmoBTS[®] 2050 quanto o amplificador de potência (PA - *Power Amplifier*) que é usado no sistema, para aumentar a potência de transmissão do sinal de *downlink* das BTS.

Optou-se por descrever neste trabalho a construção da fonte (nos anexos) pois teve grande importância no desenvolvimento do projeto como um todo, pois agora tem-se uma fonte regulada, estável e adequada aos equipamentos de RF que pode ser usada em pilotos ou instalações futuras dos equipamentos em comunidades rurais.

A fonte foi construída por um colaborador da equipe (Charles Ferreira) junto com outros colaboradores, bolsistas e voluntários do projeto que auxiliaram na confecção da mesma. Charles possui grande experiência com desenvolvimento de circuitos eletrônicos. Maiores detalhes da construção da fonte estão descritos no Anexo D, cuja fonte é o relatório de documentação elaborado por ele mesmo em [Ferreira 2014].

4.3 - Descrições das configurações de teste

Essa seção descreve as configurações de teste que foram montadas na UFPA para se testar os equipamentos, partindo-se da premissa que testes preliminares dentro da UFPA darão mais segurança a equipe do projeto quando do momento da montagem dos cenários em comunidades rurais amazônicas. Inicia-se mostrando alguns elementos / acessórios necessários à configuração dos equipamentos, seguidos depois dos cenários propriamente ditos, que foram medidos e testados no próprio campus da UFPA.

O primeiro componente é o amplificador de potência (PA – *Power Amplifier*). A Figura 4.4 mostra uma foto do mesmo, para se ter uma ideia do aspecto construtivo dele. É um dispositivo de micro-ondas e trabalha na faixa de frequência do GSM, apesar de ser usado comumente em radioamadorismo, casou perfeitamente ao propósito do projeto, por operar na faixa de interesse (900 MHz). A Tabela 4.1 mostra as especificações técnicas do 3335PA.

Tabela 4.1 - Especificações técnicas do 3335PA (Fonte: folha de dados do 3335PA).

Frequência de operação:	900 a 930 MHz
Potência de saída:	40W (46 dBm)
Potência de saída saturada:	45W (46,5 dBm)
Alimentação:	13,8V / 6A
Conectores:	N-fêmea
Dimensões:	6,35 x 13,97 x 6,35 cm
Elementos ativos:	Transistores 2SC3542



Figura 4.4 - Amplificador de potência modelo 3335PA (Fonte: próprio autor).

O próximo componente é o *duplexer*, elemento utilizado para possibilitar o uso de uma única antena tanto para recepção quanto para transmissão. O *duplexer* consegue fazer a separação de frequências de TX (*downlink*) e RX (*uplink*) em seus circuitos de modo que uma faixa não interfira na outra. A Figura 4.5 mostra o duplexer usado no projeto, modelo AD902-947D382. Logo a seguir a Tabela 4.2 mostra as especificações técnicas do dispositivo.



Figura 4.5 - *Duplexer* para faixa de 900 MHz – AD902-947D382 (Fonte: próprio autor).

Tabela 4.2 - Especificações técnicas do *duplexer* AD902-947D382 (Fonte: folha de dados).

Banda passante de RX:	890 a 915 MHz
Banda passante de TX:	935 a 960 MHz
Largura de banda:	25 MHz
Perda de retorno da banda passante:	16 dB
Perda de inserção da banda passante:	3 dB (UL) / 2,2 dB (DL)
<i>Ripple</i> de banda passante:	0,2 dB
Impedâncias de entrada e saída:	50 ohms
Isolamento:	65 dB

Outro componente igualmente importante é a antena. No LaPS quando da aquisição do primeiro *kit* da OpenBTS[®], o mesmo veio com uma antena omnidirecional modelo HGV-906U, que também pode ser usada nos demais equipamentos, pois abrange toda a faixa de 900 MHz. A Figura 4.6 mostra a antena desmontada e a Figura 4.7 mostra a antena instalada no topo de uma das laterais do Laboratório de Engenharia Elétrica e da Computação da UFPA, cujo cabo de RF (de apenas 6 m de comprimento) que está conectado nela desce para a sala do em frente ao LaPS*, onde são colocados os equipamentos para se fazerem os testes e medições do pré-piloto.

* Sala ocupada atualmente pelo Prof. Aldebaro Klautau Jr.



Figura 4.6 - Antena omnidirecional modelo HGV-906U (Fonte: folha de dados).



Figura 4.7 - Antena instalada no topo da lateral do Laboratório de Engenharia Elétrica e da Computação (Fonte: próprio autor).

Na figura 4.7 observa-se que fora usado um suporte tubular metálico em formato de “L” com 1 metro de altura por 50 cm de largura (fabricado em uma oficina metalúrgica) fixado com quatro parafusos na parede, o qual fixa a antena no topo do mesmo e o cabo de RF na terminação da antena. O mesmo foi pintado com tinta anticorrosiva para aumentar a durabilidade do suporte. Esse tipo de suporte simples seria suficiente para fixação da antena e cabo em pequenas comunidades rurais amazônicas (em igrejas, caixas d'água, centros comunitários, etc).

Esses são os principais componentes / acessórios das BTS, a seguir serão mostrados os cenários montados que foram avaliados nas medições e testes do sistema.

Observação: para facilitar a identificação dos números de testes do CELCOM, foi criado um plano de numeração próprio (com validade somente local, ou seja, somente para as BTS do CELCOM, fora da rede esses *chips* tem seus números “normais” associados com suas redes de origem). A Tabela 4.3 mostra a ideia do plano de numeração do CELCOM.

Foram utilizados chips (*SIM cards*) de operadoras comerciais (que não estavam mais em uso, ou que foram doados pelas próprias operadoras quando solicitadas a doar *SIM cards* para um projeto de telefonia desenvolvido na UFPA). O estabelecimento de um plano de numeração “local” facilita para os usuários a realização dos testes de chamadas e de serviços e evita confusões entre o seu número real e o número na rede do CELCOM.

Tabela 4.3 - Parcial do plano de numeração interno do CELCOM (Fonte: próprio autor).

ICC_ID	IMSI	OPERADORA DE ORIGEM	MSISDN
895531_8129_9598_20458	724318124014046	OI	43210000
89550_53100_01331_46916	724050062113825	CLARO	43210001
89550_53600_00390_58988	724059104876302	CLARO	43210002
89550_53100_01331_46932	724050062113827	CLARO	43210003
89550_53100_01331_46973	724050062113831	CLARO	43210004
89550_53200_01230_29964	724050012304626	CLARO	43210005
89550_53600_00207_54892	724059104868997	CLARO	43210006
89550_53600_00208_27862	724059104869398	CLARO	43210007
89550_53600_00390_59093	724059104891787	CLARO	43210008
89550_53600_00390_53872	724059104893852	CLARO	43210009
89550_53600_00390_58962	724059104878353	CLARO	43210010
89551_09041_81255_34272	724119805187529	VIVO	43210011
89550_53500_00529_68288	724059103399311	CLARO	43210012
89550_53100_01161_64159	724059104848679	CLARO	43210013
89550_53600_00208_28019	724059104839697	CLARO	43210014
89550_53600_00390_53856	724059104880624	CLARO	43210015

4.3.1 - OpenBTS[®] do *Kit de Desenvolvimento (CELCOMDEVKIT)*

O primeiro cenário testado e mensurado foi com a OpenBTS[®] mais recente, com a versão de *software* 4.0 (GPRS). Apesar da mesma já possuir GPRS, não fora configurado nem testado esse tipo de serviço, deixando-se o mesmo para uma etapa posterior do projeto. Os testes realizados estão descritos na Tabela 4.4. A distribuição Linux usada para rodar o OpenBTS[®] é a Ubuntu 12.04.

Redes GSM de teste devem possuir por padrão o MCC (*Mobile Country Code*) igual a 001 e MNC (*Mobile Network Code*) igual a 01. Porém, como há mais de um equipamento de BTS funcionando no laboratório, convencionou-se variar o MNC para cada uma das BTS, já que são redes distintas. Assim, para o *kit* de desenvolvimento ficou definido o MNC igual a 02. Os demais parâmetros (LAC – *Location Area Code* e CI – *Cell Identity*) permaneceram os mesmos, visto que não precisariam ser alterados (1000 e 10 respectivamente). As demais BTS, *sysmoBTS* e *OpenBTS* “grande” terão MNC iguais a 01 e 03, respectivamente.

Tabela 4.4 - Testes realizados com o *OpenBTS Development Kit* (Fonte: próprio autor).

PLANILHA DE TESTES – CELCOMDEVKIT									
TESTE	DESCRIÇÃO	DATA	HORA	NÚMERO A	NÚMERO B	NÚMERO C	STATUS	LOCALIZAÇÃO	OBSERVAÇÕES
Ligação do número A para número B	Ligação entre 02 (dois) números do CELCOM	15/07/2014	15:15:00	43210001	43210002	-	OK	LaPS	-
Ligação do número B para número A	Ligação entre 02 (dois) números do CELCOM	15/07/2014	15:20:00	43210002	43210001	-	OK	LaPS	-
Chamada em espera	Teste de serviço de chamada em espera	15/07/2014	15:25:00	43210001	43210002	43210003	NOK	LaPS	Funcionalidade precisa ser implementada e/ou configurada no Asterisk do OpenBTS
Ligação para número de outra operadora – Número externo	Ligação entre um número do CELCOM e um número externo à rede através do VoIP (chamada sainte)	15/07/2014	-	-	-	-	NOK	LaPS	Sem conta de VoIP disponível para fazer ligações externas
Receber ligação de outra portadora – Número externo	Ligação entre um número externo e um número do CELCOM através do VoIP (chamada entrante)	15/07/2014	-	-	-	-	NOK	LaPS	Sem conta de VoIP disponível para receber ligações externas
Ligação através de número confidencial	Testar se há funcionalidade de ligação por número oculto	15/07/2014	15:35:00	43210000	43210001	-	NOK	LaPS	Funcionalidade não implementada no Asterisk do OpenBTS
SMS do número A para número B	Envio de SMS (SMS MO)	15/07/2014	15:45:00	43210001	43210002	-	OK	LaPS	-
SMS do número B para número A	Envio de SMS (SMS MT)	15/07/2014	15:50:00	43210002	43210001	-	OK	LaPS	-
SMS do número A para número B e para número C	Envio de SMS para múltiplos usuários	15/07/2014	15:55:00	43210000	43210001	43210002	NOK	LaPS	Funcionalidade não implementada no Asterisk do OpenBTS
SMS do número A para si mesmo	Envio de SMS do número para o próprio número	15/07/2014	16:00:00	43210001	43210001	-	OK	LaPS	Teste trivial de envio e recebimento de SMS
Conferência	Testar se há funcionalidade de chamada em conferência	15/07/2014	16:15:00	43210000	43210001	43210002	NOK	LaPS	Funcionalidades de chamada em espera é pré-requisito para funcionamento de chamada em conferência, logo esta última funcionalidade também não foi implementada

O número máximo de chamadas simultâneas que se conseguiu realizar foram três chamadas (6 celulares). Isso ocorre porque o TRX da BTS possui por padrão 8 *timeslots* TDMA, porém o primeiro é ocupado pelo canal de controle de *broadcast* (sinalização), ou BCCH (*Broadcast Control Channel*), assim sobram 7 canais, como cada chamada ocupa 2 canais (um para cada telefone), um TCH ficará ocioso, exceto se fosse possível fazer chamada em conferência, onde três celulares estariam conectados em uma mesma chamada.

O próximo passo foi medir a cobertura do sistema, instalando o referido *kit* na sala em frente ao LaPS (conectando-o a antena já exibida anteriormente) a BTS por meio do *duplexer*. O primeiro teste fora feito sem o PA para avaliar o alcance da cobertura somente com a antena. A altura do prédio do Laboratório de Engenharia Elétrica e da Computação é de aproximadamente 10 m, a antena foi colocada num suporte com 1m de altura, resultando numa altura da antena de 11 m com relação ao nível do solo.

Utilizou-se um *software* de uso gratuito chamado G-NetTrack[®], que funciona no próprio celular (com S.O. *Android*) e que realiza várias medições de sinal GSM (rxlevel, rxqual, SNR, etc), além de medições de outras tecnologias (3G e 4G). O telefone fora utilizado em modo *Idle*, ou seja, apenas medindo o nível de sinal (rxlevel) sem realizar chamadas. As medições podem ser salvas em formato *.kml* (extensão que pode ser aberta no *Google Earth*[®]) e serão mostradas a seguir.

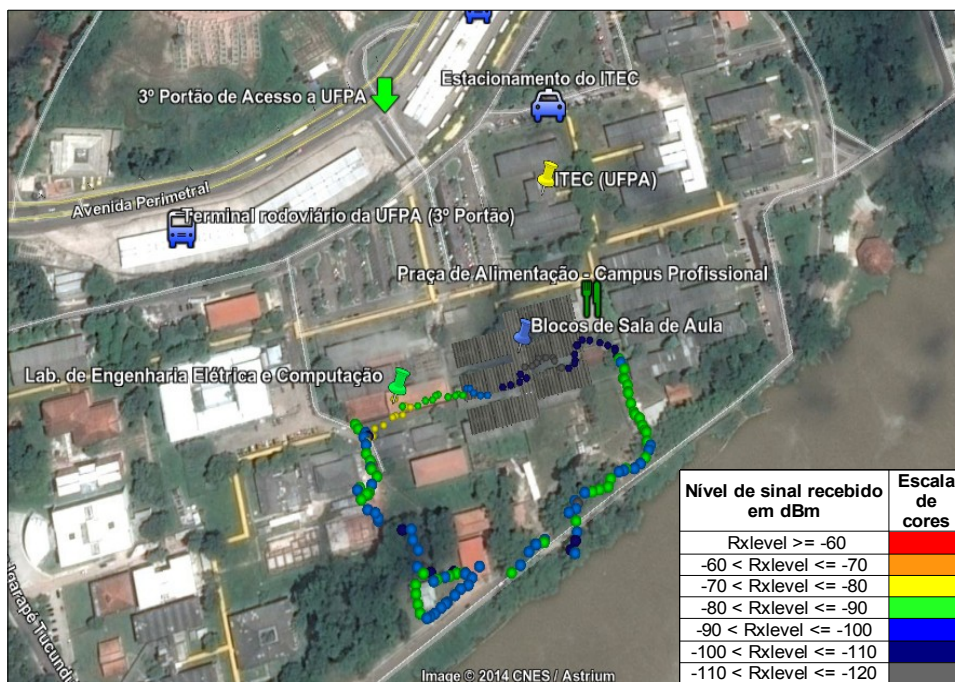


Figura 4.8 - Medidas de *Rxlevel* em dBm da rota de teste do CELCOMDEVKIT sem o uso do PA (Fonte: *Google Earth*[®]).

A Figura 4.8 mostra as medidas realizadas com o OpenBTS *Devkit* e sem o uso do PA, numa rota curta de *walktest* próxima a antena, passando pelo blocos de sala de aula, pela praça de alimentação do campus profissional e pela orla do rio Guamá, no campus da UFPA.

A seguir é mostrada a mesma rota, porém agora medida com o CELCOMDEVKIT usando o PA. A configuração com o equipamento e o PA é exibida na figura 4.9 e a respectiva medição mostrada na figura 4.10. O PA deve ser conectado somente na transmissão (entre a BTS e o *duplexer*), pois é um amplificador unidirecional que tem por objetivo amplificar apenas o sinal transmitido (sinal de *downlink*).

Observa-se que a segunda medição (com o PA) possui um pouco menos de pontos de amostra que a primeira medição, provavelmente por algum problema momentâneo no *software* que deixou os intervalos de medições maiores na segunda rota. Porém observa-se também uma melhora no sinal na segunda rota (com PA) com relação a primeira (sem PA) na região final dos blocos de salas de aula, próximo à praça de alimentação.



Figura 4.9 - Configuração de medição do OpenBTS[®] *Development kit* (Fonte: próprio autor).



Figura 4.10 - Medidas de $Rxlevel$ em dBm da rota de teste do CELCOMDEVKIT com o uso do PA
(Fonte: *Google Earth*®).

Acredita-se que o ganho do amplificador poderia ter sido mais significativo se a antena se encontrasse em uma altura mais elevada, pois a 11 m do solo existem muitos obstáculos entre as estações móveis e a antena da BTS (os blocos de salas de aula que tem a mesma altura e arborização de maior altura que a antena), o que atenua bastante o sinal.

Entretanto, mesmo considerando esse cenário desfavorável pelos obstáculos presentes, obteve-se um raio de cobertura pouco menor que 200 m no entorno da antena (com níveis de sinal que ainda permitem comunicação entre BTS e MS). Assim, para um cenário de comunidade rural, com edificações baixas (somente casas), áreas descampadas (no centro da comunidade) o sistema terá um desempenho bem melhor, caracterizando que essa solução será uma micro ou pico célula que irá atender somente a comunidade isolada (não haverá a *priori handover*, por exemplo, para outra célula/BTS de uma comunidade vizinha). Logicamente haverá necessidade de se estudar caso a caso, pois podem haver comunidades maiores e com maior arborização, cuja projeto e instalação de um site deverá observar as particularidades do local.

4.3.2 - OpenBTS® “Grande”

O segundo cenário de testes montado foi com a primeira BTS adquirida pelo laboratório, referenciada muitas vezes no LaPS como OpenBTS® “grande”, pois apresenta dimensões físicas maiores que o *kit* de desenvolvimento adquirido depois.

Optou-se por testar depois essa BTS pelo fato da mesma ter passado alguns meses apresentando problemas de instalação dos pacotes (como é uma BTS mais antiga, algumas bibliotecas dos *softwares* da mesma já foram atualizadas para versões mais recentes, que não funcionaram bem em novas instalações). Entretanto, após muita persistência e determinação dos colaboradores, foi possível instalar a versão 3.1.3 do OpenBTS®, e assim conseguir rodar a BTS normalmente.

Os testes de chamadas e de alguns serviços foram os mesmos feitos para o primeiro cenário, nas mesmas condições. Os resultados estão listados na Tabela 4.5, e apresentaram valores praticamente iguais, visto que basicamente o que muda é o *hardware* (esse aqui é mais antigo), pois apesar da versão de *software* ser diferente da primeira montagem (não foi possível instalar a versão 4.0 nesta BTS, devido a USRP da versão 4.0 precisar ser USRP2), são pequenas as diferenças da versão 3.1.3 para a versão 4.0 com relação ao GSM (as mudanças mais significativas foram feitas para melhorar ou corrigir “*bugs*” do GPRS).

O número máximo de chamadas simultâneas que conseguiu-se realizar foram duas chamadas (4 celulares). Foi algo inesperado, pois a expectativa era que se comportasse de maneira igual a primeira BTS testada, visto que por padrão o TRX também tem 8 *timeslots* TDMA, então apenas primeiro deveria ser ocupado pelo BCCH e deixar um TCH ocioso.

A explicação mais plausível para esse comportamento seria que na USRP1 e/ou GNURadio, na implementação do protocolo GSM, mais canais de sinalização (SDCCH – *Signaling Dedicated Control Channel*) precisam ser configurados e ativados à medida que o tráfego de voz aumenta. Ao se tentar estabelecer um terceira chamada, o sistema respondia (observando-se pela *interface* CLI do OpenBTS®) mensagens de *handover congestion* e *signaling congestion*.

Tabela 4.5 - Testes realizados com o OpenBTS[®] “Grande” (Fonte: próprio autor).

PLANILHA DE TESTES – CELCOM (“BIG BTS”)									
TESTE	DESCRIÇÃO	DATA	HORA	NÚMERO A	NÚMERO B	NÚMERO C	STATUS	LOCALIZAÇÃO	OBSERVAÇÕES
Ligação do número A para número B	Ligação entre 02 (dois) números do CELCOM	17/07/2014	16:30:00	43210001	43210002	-	OK	LaPS	-
Ligação do número B para número A	Ligação entre 02 (dois) números do CELCOM	17/07/2014	16:32:00	43210002	43210001	-	OK	LaPS	-
Chamada em espera	Teste de serviço de chamada em espera	17/07/2014	16:35:00	43210001	43210002	43210003	NOK	LaPS	Funcionalidade precisa ser implementada e/ou configurada no Asterisk do OpenBTS
Ligação para número de outra operadora – Número externo	Ligação entre um número do CELCOM e um número externo à rede através do VoIP (chamada sainte)	13/08/2014	16:40:00	43210001	83120881	-	OK	LaPS	Conseguiu-se uma conta VoIP provisória para testes e houve sucesso na chamada
Receber ligação de outra portadora – Número externo	Ligação entre um número externo e um número do CELCOM através do VoIP (chamada entrante)	13/08/2014	-	-	-	-	NOK	LaPS	Conta de VoIP não disponível para receber ligações externas
Ligação através de número confidencial	Testar se há funcionalidade de ligação por número oculto	17/07/2014	16:40:00	43210000	43210001	-	NOK	LaPS	Funcionalidade não implementada no Asterisk do OpenBTS
SMS do número A para número B	Envio de SMS (SMS MO)	17/07/2014	16:45:00	43210001	43210002	-	OK	LaPS	-
SMS do número B para número A	Envio de SMS (SMS MT)	17/07/2014	16:50:00	43210002	43210001	-	OK	LaPS	-
SMS do número A para número B e para número C	Envio de SMS para múltiplos usuários	17/07/2014	16:55:00	43210000	43210001	43210002	NOK	LaPS	Funcionalidade não implementada no Asterisk do OpenBTS
SMS do número B para si mesmo	Envio de SMS do número para o próprio número	17/07/2014	17:00:00	43210001	43210001	-	OK	LaPS	Teste trivial de envio e recebimento de SMS
Conferência	Testar se há funcionalidade de chamada em conferência	17/07/2014	17:05:00	43210000	43210001	43210002	NOK	LaPS	Funcionalidades de chamada em espera é pré-requisito para funcionamento de chamada em conferência, logo esta última funcionalidade também não foi implementada

Os próximos passos foram semelhantes ao cenário anterior: medir a cobertura do sistema, instalando o referido *kit* na sala m frente ao LaPS, primeiro testando sem o PA, depois com o PA, com a antena no mesmo ponto (Laboratório de Engenharia Elétrica e da Computação) e mesma altura de 11 m, usando o *software* de uso gratuito G-NetTrack[®], o telefone fora utilizado em modo *Idle*, e as medições foram salvas em formato *.kml* (extensão que pode ser aberta no *Google Earth*) e serão mostradas na figura 4.11 a seguir.



Figura 4.11 - Medidas de *Rxlevel* em dBm da rota de teste BTS “grande” sem o uso do PA (Fonte: *Google Earth*®).

Observa-se uma melhora significativa no sinal, mesmo sem o uso do PA, o que foi algo inesperado, pois a expectativa seria que a BTS “mais nova” pudesse ter um desempenho melhor e mais robusto, porém esta BTS se mostrou mais apta para ser usada no piloto real, em uma comunidade rural paraense. A seguir na Figura 4.12 a configuração dos equipamentos instalados na sala em frente ao LaPS.

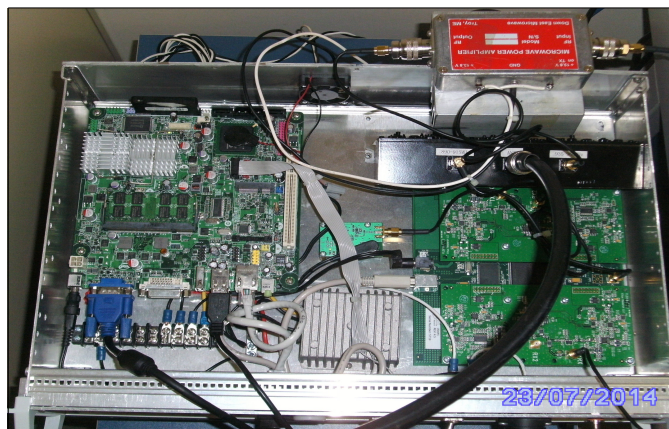


Figura 4.12 - Configuração de medição do OpenBTS® “grande” (Fonte: próprio autor).

A seguir, na Figura 4.13, tem-se a medição desta mesma BTS, porém agora com o uso do PA. Percebe-se claramente que o uso do PA nesta BTS trouxe uma melhora significativa no nível de sinal medido (*Rxlevel*), onde os pontos próximos a antena chegaram a valores acima de -60 dBm que é considerado um sinal excelente, segundo a especificação técnica GSM 05.08 [GSM0508]. Além disso, os pontos mais distantes que antes se situavam na faixa entre -90 e -100 dBm passaram para uma faixa 10 dB acima (entre -80 e -90 dBm), demonstrando que o PA adicionou um ganho efetivo nessa nova configuração.



Figura 4.13 - Medidas de *Rxlevel* em dBm da rota de teste da BTS “grande” com o uso do PA (Fonte: *Google Earth*®).

Esse fato assegura que o projeto além de atender comunidades muito pequenas (com entre 50 e 100 pessoas), poderá atender comunidades maiores (entre 200 e 500 pessoas), dada a área de cobertura mais ampla (será descrita uma comunidade com essas últimas características, na seção de estudo de caso do piloto real, mais adiante).

4.3.3 - OpenBSC[®] e SysmoBTS[®] 2050

O último experimento realizado foi feito com a sysmoBTS[®] 2050, rodando o *software* do OpenBSC[®] e OsmoTRX[®]. Apesar de ser uma BTS mais robusta e com mais canais (pode ser configurada com 1 ou 2 TRX) e com potência de saída (sem o PA) mais alta (típica de 10 W ou 40 dBm), não foi possível repetir exatamente os mesmos cenários de testes feitos nas BTS anteriores.

A configuração montada foi a mesma (mostrado na Figura 4.14), tanto com e sem PA, porém só foi possível realizar testes de chamadas, as medições de nível de sinal não foram bem sucedidas.



Figura 4.14 - Configuração de testes e medições da sysmoBTS[®] / OpenBSC[®] (Fonte: próprio autor).

Ainda não há uma explicação plausível para esse comportamento, pode haver alguma configuração faltante, tentou-se, por exemplo, aumentar a potência de TX e aumentar a sensibilidade do RX, porém não houve mudança no perfil.

A sysmoBTS[®] é um equipamento mais complexo que a OpenBTS[®], utiliza um Linux embarcado diferenciado (Poky Linux), manipula assinantes de forma diferente (apesar de usarem ambas o SQLite), a forma de acesso ao *console* também é diferenciada, tendo atualmente os colaboradores do projeto menos familiaridade com essa plataforma do que com as demais.

A Tabela 4.6 a seguir mostra os testes realizados com a referida BTS, mesmo como as dificuldades aqui apresentadas, os testes de chamadas e serviços puderam ser concluídos com êxito.

Tabela 4.6 - Testes realizados com o OpenBSC[®] / sysmoBTS[®] 2050 (Fonte: próprio autor).

PLANILHA DE TESTES – CELCOM com OpenBSC – SysmoBTS									
TESTE	DESCRIÇÃO	DATA	HORA	NÚMERO A	NÚMERO B	NÚMERO C	STATUS	LOCALIZAÇÃO	OBSERVAÇÕES
Ligação do número A para número B	Ligação entre 02 (dois) números do CELCOM	18/07/2014	14:30:00	43210001	43210002	-	OK	LaPS	-
Ligação do número B para número A	Ligação entre 02 (dois) números do CELCOM	18/07/2014	14:32:00	43210002	43210001	-	OK	LaPS	-
Chamada em espera	Teste de serviço de chamada em espera	18/07/2014	14:37:00	43210001	43210002	43210003	Parcialmente OK	LaPS	Funcionalidade implementada no Asterisk / LCR do OpenBTS, nº B recebe aviso que há um nº C em espera, porém não consegue comutar para a nova chamada e deixar o nº A em espera
Ligação para número de outra operadora – Número externo	Ligação entre um número do CELCOM e um número externo à rede através do VoIP (chamada sainte)	18/07/2014	-	-	-	-	NOK	LaPS	Sem conta de VoIP disponível para fazer ligações externas
Receber ligação de outra portadora – Número externo	Ligação entre um número externo e um número do CELCOM através do VoIP (chamada entrante)	18/07/2014	-	-	-	-	NOK	LaPS	Sem conta de VoIP disponível para receber ligações externas
Ligação através de número confidencial	Testar se há funcionalidade de ligação por número oculto	18/07/2014	14:40:00	43210000	43210001	-	NOK	LaPS	Funcionalidade não implementada no Asterisk / LCR
SMS do número A para número B	Envio de SMS (SMS MO)	18/07/2014	14:44:00	43210001	43210002	-	OK	LaPS	-
SMS do número B para número A	Envio de SMS (SMS MT)	18/07/2014	14:52:00	43210002	43210001	-	OK	LaPS	-
SMS do número A para número B e para número C	Envio de SMS para múltiplos usuários	18/07/2014	14:55:00	43210000	43210001	43210002	NOK	LaPS	Funcionalidade não implementada no Asterisk / LCR
SMS do número A para si mesmo	Envio de SMS do número para o próprio número	18/07/2014	15:00:00	43210001	43210001	-	OK	LaPS	Teste trivial de envio e recebimento de SMS
Conferência	Testar se há funcionalidade de chamada em conferência	18/07/2014	15:04:00	43210000	43210001	43210002	NOK	LaPS	Apesar do aviso de chamada em espera funcionar, a comutação entre chamada a chamada inicial e a chamada em espera não funciona, logo o conferência não está implementada (ou não está configurada) no sistema

Conseguiu-se estabelecer até três chamadas simultâneas (esperava-se mais, visto que a mesma possui 2 TRX), problema essa que ainda necessita de maior investigação. Porém, algumas das chamadas estabelecidas tiveram duração superior a uma hora (esse teste não foi feito exaustivamente, dada a perda de configuração dos registros dos celulares na rede).

Era a BTS com a qual se tinha maior expectativa de sucesso, dada a robustez quanto ao número de canais e ao potência de transmissão elevada, para que possa vir a funcionar como deveria (como promete o fabricante) e ser mais uma opção de BTS *open source* para projetos desse tipo.

4.4 - O piloto de teste real em Irituia – PA

Nesta seção será descrito o piloto de teste que está prestes a ser implementado no município de Irituia, nordeste paraense. As motivações que levaram o grupo a escolher este município (dentro os 144 municípios paraenses atualmente existentes), foram:

- É um município de área territorial mediana, com 1.379,40 km² de área, com densidade populacional de 22,73 habitantes / km² [IBGE 2014];
- Sua população de 31.364 habitantes, em sua maioria (cerca de 80%) residem fora da sede municipal, distribuídas em cerca de 48 comunidades rurais espalhadas pelo município;
- Alguns colaboradores do projeto possuem amigos ou parentes no município, o que serve se ponto de apoio (estadia, por exemplo) quando da implementação do piloto real;
- O município dista cerca de 170 km da capital (relativamente próximo);
- O município é atendido pelo programa NavegaPará do governo do estado, parceiro do LaPS no projeto e fornecedor de *backbone* para o piloto do CELCOM;
- O município foi visitado por alguns colaboradores do projeto em Março/2013, onde tiveram a oportunidade de visitar 9 das 48 comunidades rurais da localidade, e constataram ausência completa de sinal celular nestas comunidades, mesmo a cidade sendo coberta em sua sede com tecnologia 3G por duas operadoras comerciais.

Pelas características acima apresentadas, o município é um excelente candidato para demonstração de um piloto do CELCOM.

O mapa do município é mostrado na figura 4.15. A comunidade escolhida para testes do projeto se chamada **Itabocal** e dista cerca de 13 km da sede municipal. Na Figura 4.16 seguinte, (mapa no *Google Earth*[®]) estão sinalizados a sede do município e a comunidade do piloto.

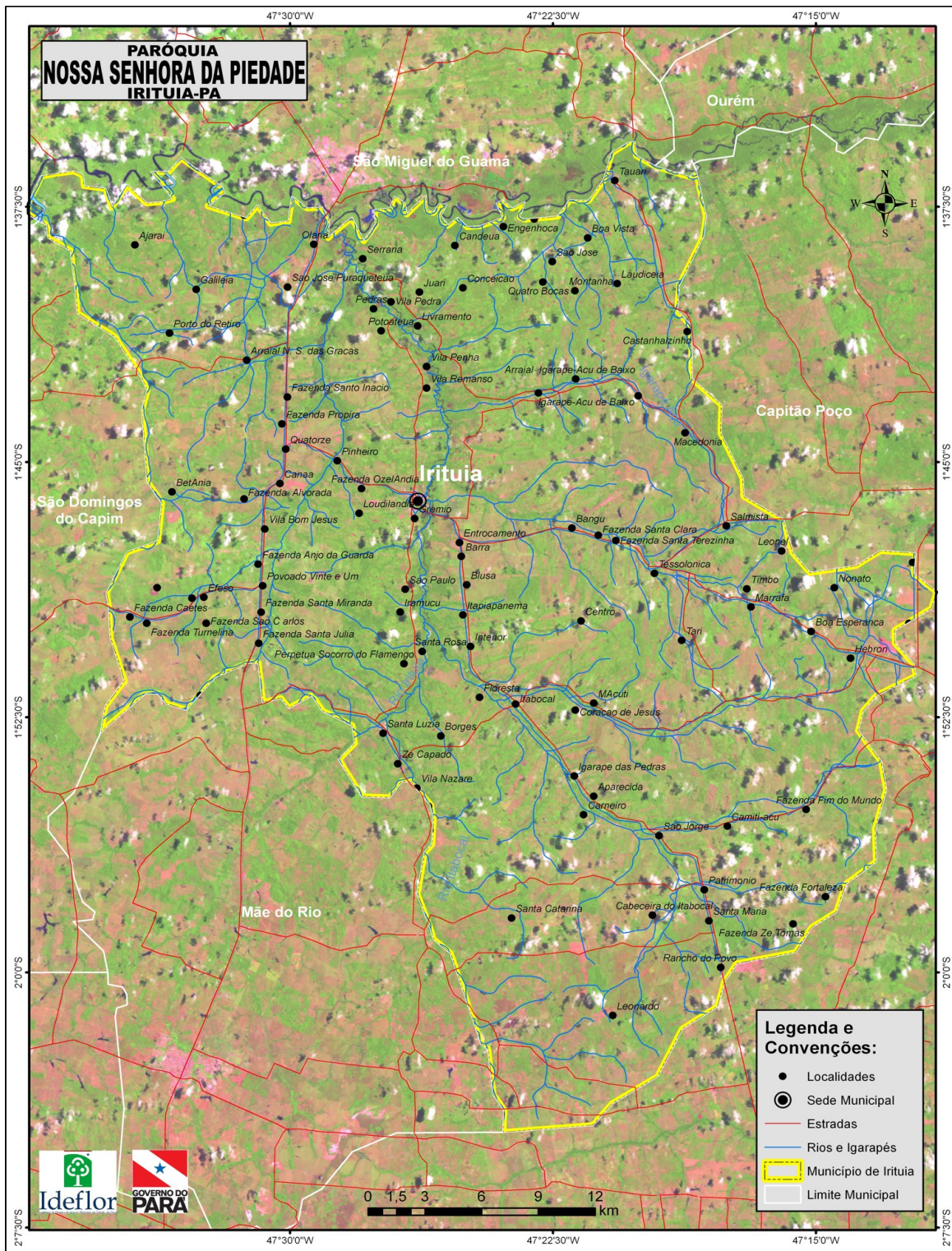


Figura 4.15 - Mapa do município de Irituia – PA (Fonte: Instituto Ideflor).

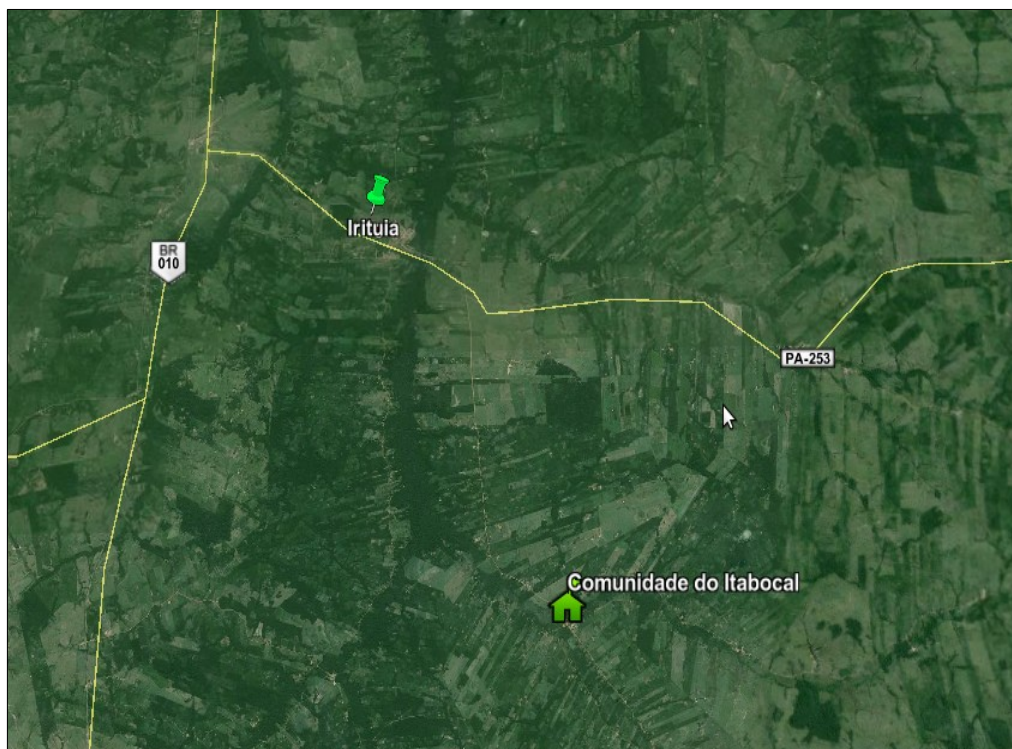


Figura 4.16 - Sede do município de Irituia e a comunidade rural de Itabocal (Fonte: *Google Earth*®).

Alguns critérios listados abaixo favoreceram a escolha da comunidade em questão, dentre as 48 existentes no município:

- A comunidade é uma das maiores do município (estima-se que tenha entre 200 e 500 habitantes);
- Não possui cobertura de nenhuma operadora comercial;
- A comunidade possui uma escola estadual de nível fundamental e médio, que tempos atrás já teve uma conexão do GESAC para acesso a *Internet* na escola;
- A comunidade possui um torre de 40 m de altura (provavelmente usada para enlaces de micro-ondas da antiga Telepará (atual Oi), para atendimento de telefones públicos que está abandonada, é um ponto excelente para instalação de um piloto;
- Distância mediana da sede municipal (facilitará o deslocamento da equipe).

Para instalação do piloto, fora feito acordo com a PRODEPA quanto a disponibilização de *backbone* do NavegaPará em Irituia para alcançar a rede do CELCOM. Entretanto, o ônus da construção de um *backhaul* entre o NavegaPará e o piloto do CELCOM em Itabocal será da UFPA.

A Figura 4.17 mostra a torre da comunidade de Itabocal, onde se percebe claramente que não está mais sendo usada para nenhum tipo de radiocomunicação. Através de parceria com a prefeitura do município (com a qual os pesquisadores do projeto já tiveram contato na visita ao município em 2013), pretende-se contatar a empresa Oi para solicitar autorização de uso da estrutura.



Figura 4.17 - Torre abandonada da Oi em Itabocal – Irituia – PA (Fonte: próprio autor).

Assim, foi feito um projeto de enlace de micro-ondas entre a torre do NavegaPará em Irituia (com 70m de altura) e a torre “abandonada” (com 40m de altura), cujos equipamentos de rádio e antenas de micro-ondas serão adquiridos pela UFPA.

Existem vários *softwares* disponíveis na *Internet* (alguns instaláveis no computador e outros *on-line*) que fazem o cálculo de enlace de micro-ondas, bastando ao projetista fornecer as coordenadas geográficas, o modelo dos rádios e das antenas (no geral os *softwares* são desenvolvidos pelos fabricantes dos rádios e são específicos para cálculos de enlace usando os seus modelos de rádio).

O CELCOM necessita de uma banda de dados relativamente pequena (1 Mbps é o suficiente para carregar o tráfego de 7 TCH mais a sinalização), então optou-se pela aquisição de rádios da

Ubiquiti Networks®. O primeiro cálculo fora realizado com o *Airlink*®, *software on-line* que faz a estimativa do enlace para rádios da Ubiquiti (cálculo do enlace) [*Airlink*® 2014]. O modelo do par de rádios e antenas que está sendo adquirido é o AirGrid M5, cujas especificações técnicas estão na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Especificações técnicas dos rádios do *backhaul* do CELCOM piloto de Itabocal (Fonte: folha de dados).

AirGrid Ubiquiti 5GHz M5 HP 23dBi - 11x14 (AGM5HP) - UBIQUITI	
CARACTERÍSTICAS	
Frequência:	5470-5825 MHz
Processador:	Atheros 400MHz
Antena:	11 pol. x 14 pol. 23dBi 5GHz
Potência de Transmissão:	25 dBm (320mW)
Sensibilidade:	-85 até -97dBm
Portas LAN:	1 x 10/100Mbps Ethernet RJ45 PoE
Peso:	3 Kg
Consumo máximo de potência:	8 Watts
Alimentação de energia:	24V / 1A
Método de alimentação:	PoE passivo
Temperatura de operação:	-30° até 80°C
Umidade:	5 até 95% Condensado
Vibração e choque:	ETSI300-019-1.4

A PRODEPA recomenda utilizar a frequência de 5,4 GHz, pois os rádios do *cluster* do Navega Pará em Irituia estão operando em 5,8 GHz, evitando assim interferências mútuas entre o Navega Pará e o *backhaul* do CELCOM.

Entretanto, o *Airlink*® não permite alterar a frequência de cálculo do enlace (de 5,8 para 5,4 GHz), assim foi utilizado outro *software*, que permite alteração da frequência e customização do rádio (não vincula apenas aos modelos do fabricante). A seguir na Figura 4.18 é mostrado o resultado do cálculo do enlace (fornecido agora pelo *software LigoWave*® [*PTP Link Planner* 2014] automaticamente após a inserção dos dados solicitados) e na Figura 4.19 o perfil do enlace Irituia – Itabocal.

Site Information			
Tx Site Name	Torre Irituia	Rx Site Name	Torre Itabocal
Radio Type	Custom	Radio Type	Custom
Latitude	1° 46' 5.099 S (1.768083)	Latitude	1° 52' 9.66 S (1.86935)
Longitude	47° 26' 28.9 W (47.441361)	Longitude	47° 23' 34.829 W (47.393008)
Tx Power	25 dBm	RX Threshold	-90 dBm
Ant. Gain	23 dBi	Ant. Gain	23 dBi
Ant. Height	70 meters	Ant. Height	40 meters
Parameters			
Frequency	5400 MHz	Climate	Continental Temperate
Ant. Polarization	Vertical	Measurement	Metric System
Misc. Loss	0 dBm	Rain Rate	0 mm/hr
Results			
Total Path Loss	129.16 dBm	Total Fade Margin	31.84 dBm
RX Signal Level	-58.16 dBm	Distance between sites	12.48 km
EIRP	48 dBm	Link availability due to rain	N/A

Figura 4.18 - Resultado do cálculo *on-line* do enlace Itabocal - Irituia (Fonte: *LigoWave*® 2014).

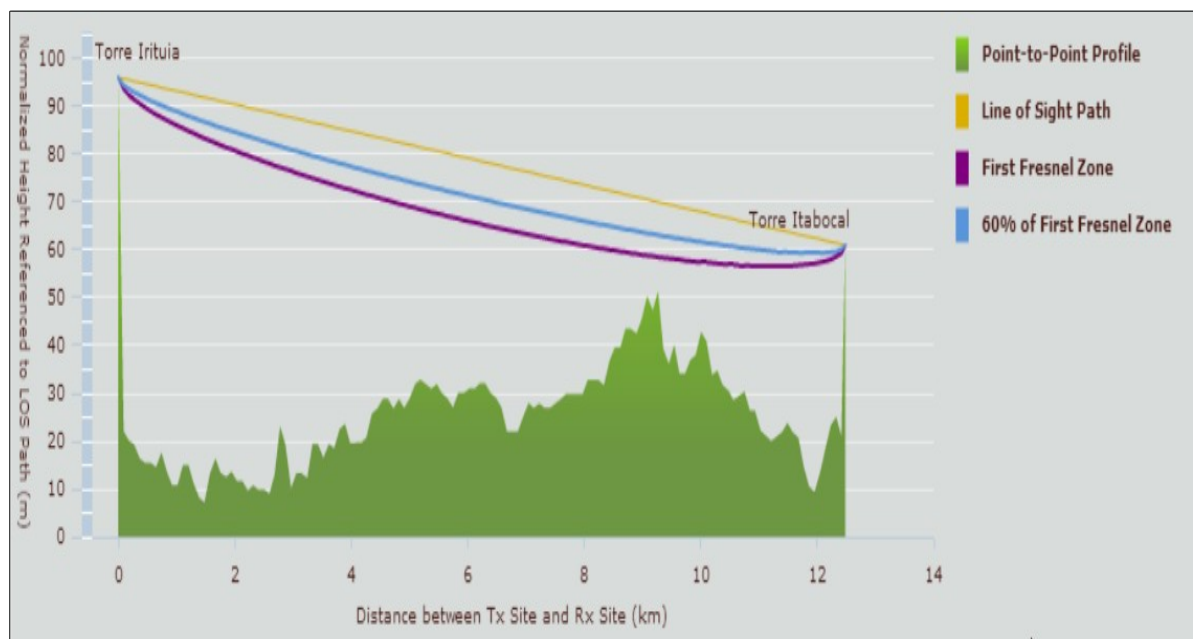


Figura 4.19 - Perfil do enlace (*backhaul*) entre Irituia e Itabocal (Fonte: *LigoWave*® 2014).

Também foi feito um estudo (predição) de cobertura da comunidade, para que se tenha a estimativa de cobertura e qual o melhor equipamento a se utilizar na comunidade. Baseado no modelo universal de Okumura-Hata adaptado a regiões rurais [Medeisis 2000], [Nimavat 2011], construiu-se um gráfico de predição de cobertura mostrado na figura 4.20.

Considerando a altura da torre (40 m) a altura média da estação móvel (1,5 m), a frequência de operação na comunidade (GSM 900 MHz) estima-se uma cobertura boa entre 3,0 e 4,0 km a

partir do centro da comunidade de Itabocal, utilizando o equipamento da OpenBTS Grande e com o uso do amplificador de potência (PA), observando-se também que seria possível cobrir a comunidade com a OpenBTS *Devkit* com o PA, porém com uma cobertura ligeiramente menor. Por outro lado, ao se analisar o gráfico observa-se que ambas também pode ser usadas sem o PA, porém apresentando uma previsão de raio de cobertura menor (entre 2,0 e 3,0 km). Entretanto, a comunidade tem uma área total menor (estimada em cerca de 12,56 km²).

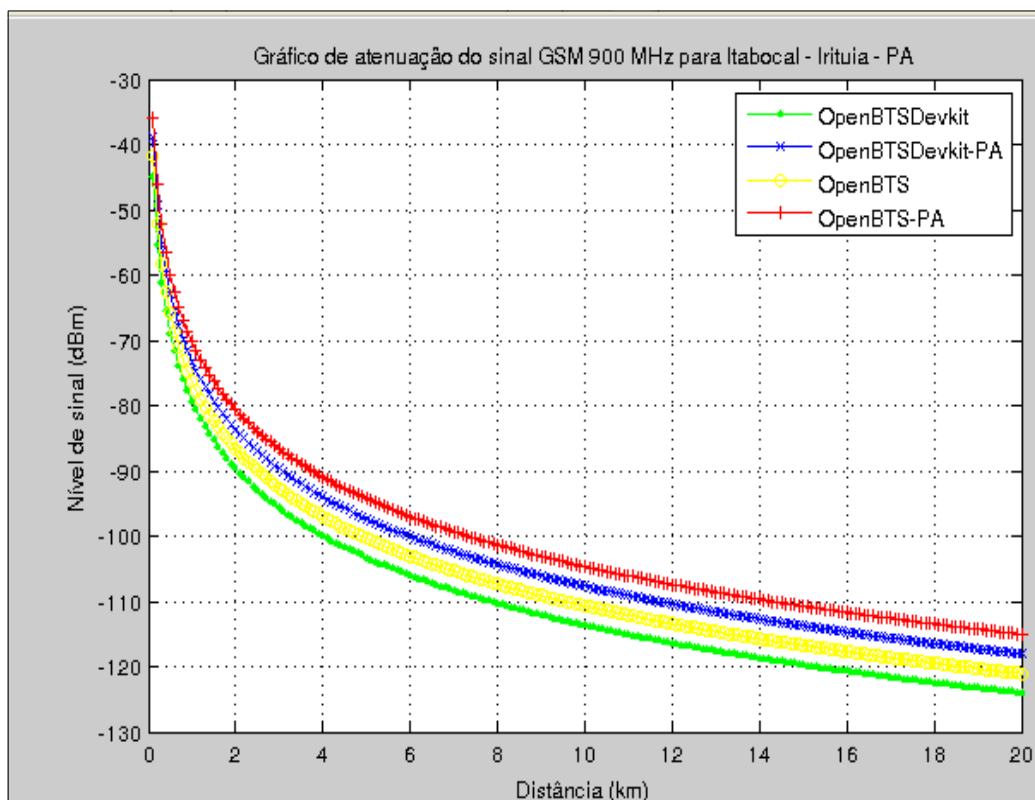


Figura 4.20 - Predição de cobertura em Itabocal (Fonte: próprio autor).

Estão em andamento as seguintes ações para que o piloto seja efetivamente instalado na localidade, com previsão para o 2º semestre de 2014:

- Projeto executivo detalhado da instalação da piloto em Irituia, que será encaminhado à PRODEPA;
- Exposição de motivos que acompanha o formulário de solicitação de serviços de Telecomunicações para a ANATEL;
- Reunião de todos os documentos necessários ao licenciamento do CELCOM como SEFCE

junto a ANATEL;

- Aquisição dos rádios PTP (Ponto a Ponto) *Ubiquiti* para construção do *backhaul*.

Outra ação paralela à parceria com a PRODEPA diz respeito ao contato recente que o LaPS fez com o Ministério das Comunicações (por meio do autor deste trabalho), solicitando aos gestores do GESAC análise de viabilidade do fornecimento de um *link* do GESAC na comunidade (de Itabocal ou outra de mais fácil disponibilidade), o que permitirá que o piloto do CELCOM seja também testado com um enlace satelital, caso o Ministério das Comunicações se interesse em contribuir dessa forma com o projeto.

Por fim, espera-se que o CELCOM possa ter o impacto tecnológico-social que se espera dele, após a instalação do piloto real nessa comunidade isolada paraense, quiçá poderá ganhar escala e começar a revolucionar as telecomunicações na Amazônia brasileira.

Capítulo V - Conclusão

Este trabalho teve o objetivo de pesquisar tecnologias existentes para telefonia móvel celular e integração das mesmas para concepção de um sistema inovador e projetado para a realidade amazônica. O trabalho incluiu avaliar a implementação de um sistema GSM *open source / open hardware* de custo zero para populações (telefonia celular gratuita) residentes em comunidades rurais na Amazônia, com enfoque nas comunidades isoladas e carentes, as quais no geral não são cobertas por operadoras comerciais, por falta estímulo do governo e/ou interesse comercial das operadoras de prover telefonia para essas populações mais pobres.

O trabalho inicia por exemplificar projetos atuais de inclusão digital que não necessariamente possuem um enfoque humanitário, mas têm por objetivo incluir digitalmente regiões remotas e isoladas do globo terrestre. A seguir analisa o uso de *Internet* no nível mundial, realizando estratificações por região do globo, por continentes e por fim por países, com o intuito de demonstrar que ainda há uma grande parte da população mundial que se encontra “*off-line*”, sem acesso a grande rede.

Segue logo após uma análise de projetos humanitários no nível mundial, que procuram atender demandas sociais principalmente em países em desenvolvimento, onde a carência de diversos tipos de recursos (médicos, educacionais, tecnológicos, financeiros, etc) é gritante. Esses projetos já ganham a atenção da comunidade científica mundial, que já organiza eventos relacionados ao tema como forma de buscar soluções para esses problemas e realizar uma maior aproximação entre essas populações e a ciência & tecnologia modernas.

Em seguida analisa projetos digitalmente inclusivos no Brasil, iniciativas que tentam massificar o uso da *Internet* como forma de integração, prestação de serviços, educação, aproximação entre governos e sociedade.

A seguir discorre-se sobre a popularização do sistema GSM legado, que abrange grande parte da população mundial, por ser um sistema com mais de 20 anos de existência, já bem estabelecido em mais de 200 países e de produção em larga escala, que permite baratear os custos dos equipamentos. Porém essa abrangência tecnológica ainda deixa de fora muitos cidadãos no mundo, especialmente os que vivem em regiões rurais isoladas e afastadas das sedes municipais, mas que igualmente precisam se beneficiar dos avanços tecnológicos do mundo moderno, mas infelizmente ainda permanecem isolados, por falta de políticas públicas de incentivo à cobertura dessas áreas.

Apresenta-se então logo em seguida uma proposta de solução para essas regiões, economicamente marginalizadas e poucos abrangidas por ações governamentais em TIC, sendo essa proposta um sistema de telefonia GSM *open source / open hardware* com núcleo de rede baseado em VoIP de custo 90% menor que os sistemas legados, que pode vir a ser uma boa alternativa de cobertura dessas áreas, a um custo compatível com a realidade amazônica.

O sistema apresenta pelo menos quatro plataformas diferentes da solução (4 fabricantes distintos) que poderá atender essas comunidades. O sistema foi denominado de CELCOM, um acrônimo de telefonia **C**elular **C**omunitária, que se oferece como solução viável para essas regiões, que são tão carentes de recursos tecnológicos. A ideia proposta no trabalho é que essas pessoas tenham esse serviço gratuitamente *a priori*, visto que não podem pagar pelos serviços, e os custos de aquisição e manutenção dos mesmos sejam subsidiados por governos ou instituições não-governamentais.

Posteriormente são analisadas as questões referentes aos custos do sistema, a necessidade de legalização do uso do mesmo perante o órgão regulamentador de telecomunicações do país e discorre-se também sobre como o projeto (que poder vir a tornar-se um programa se for desenvolvido em larga escala) pode se manter de maneira sustentável, visto que abrange comunidades pobres e com poucos (ou nenhum) recursos financeiros.

Por fim nos resultados se testam as soluções apresentadas através da realização de montagem dos equipamentos em um ponto de teste, medições de nível de sinal de RF (em dBm) em uma área de cobertura que simula o ambiente de uma comunidade amazônica e na execução de testes de serviços com o sistema (basicamente chamadas telefônicas e serviços de mensagens curtas), de forma que esse trabalho se apresenta numa forma mais empírica e de análise de resultados reais do sistema, em contraste com trabalhos acadêmicos de mesmo nível mais convencionais, onde simulações e análises teóricas são apresentadas e discutidas.

Algumas conclusões podem ser retiradas desse trabalho no que diz respeito a apresentar uma proposta de solução dentro da realidade amazônica, no que tange às questões geográficas, populacionais, de custos, legais e de desafios tecnológicos impostos pelo problema.

O CELCOM deve ser composto de redes de telefonia celular com células isoladas, cobrindo regiões isoladas e afastadas das sedes municipais (onde já existe cobertura convencional), sem *handover* (mesmo entre comunidades vizinhas), sem um centro de gerência ou entidade equivalente, pois deve operar de forma a atender as inúmeras e esparsas comunidades existentes na Amazônia preferencialmente sem interferências externas, exceto no caso de necessidade de manutenção corretiva mais específica e que exija um conhecimento técnico mais apurado.

Quanto a questão dos custos é necessário haver um patrocinador ou subsidiador governamental, não-governamental ou mesmo privado que esteja disposto a arcar com os custos referentes a CAPEX e OPEX do sistema. Deve-se deixar claro que o papel da UFPA nesse contexto é puramente de consultoria técnico-científica, não podendo por exemplo, assumir a responsabilidade de manutenção permanente ou mesmo criar uma rede de gerência que monitore o falhas, tráfego, dentre outros, pois não é uma operadora de telefonia nem fornecedora de equipamentos e nem deve ser vista como tais entidades.

Vale lembrar também que alguns programas governamentais já existentes e em operação no estado/país diminuirão drasticamente os custos operacionais caso possam fornecer *backbones* e *backhauls* que já possuem em operação ou administram para as comunidades interessadas em implementar o projeto, como exemplo, pode-se citar os programas GESAC (governo federal) e NavegaPará (governo estadual).

No aspecto legal há um problema para se implementar de forma permanente esse tipo de projeto da maneira como fora apresentado nesse trabalho, visto que as licenças aqui apresentadas são de caráter temporário ou experimental, assim, expirado o prazo temporário e concluídos os experimentos realizados, estes não poderão ser repetidos nem instalados continuamente, pois descaracterizariam o sentido das autorizações e licenciamentos.

Na verdade o CELCOM traz consigo uma proposta inovadora no que se refere ao aspecto legal de um sistema GSM com essas particularidades, dado que comunidades não terão recursos para pagar licenças SMP (que são autorizações de longo prazo, de operação permanente e de valores muito altos), mas também não podem ser atendidas de forma temporária ou simplesmente experimental.

Disto nasce a necessidade de se rever a legislação atual e adaptar às necessidades da população, pois certamente após a implementação do piloto a própria comunidade de Itabocal pode se interessar em deixar o projeto permanentemente, porém ao expirar a licença SEFCE não será mais possível a continuidade da operação, sem se esquecer que quando as operadoras “oficiais” puderem fornecer cobertura dela própria (seja por obrigação legal ou por mudança da condição sócio-econômica do povoado), não fará mais sentido manter o projeto ativo na comunidade.

Os equipamentos propostos para uso no CELCOM são relativamente de fácil aquisição (via importação dos países fabricantes), mas ainda não são certificados / homologados pela ANATEL, de forma que só podem operar até o momento de forma temporária ou experimental, então a legislação precisa se adaptar a essa nova dinâmica de mercado de equipamentos de telecomunicações *open source* que trabalham de forma semelhante aos sistemas fechados, patenteados disponíveis e

certificados / homologados pelo órgão competente.

Para essa certificação / homologação serão necessários testes específicos de compatibilidade eletromagnética, níveis máximos de emissão de sinais de RF e demais testes pertinentes, feitos por entidade certificadora competente.

Apesar do CELCOM ter um enfoque mais social e humanitário do que comercial, nada impede, exceto a legislação atual ainda engessada, que iniciativas privadas de montar pequenas operadoras nesses mercados pouco atraentes para as grandes operadoras, mas que podem ser promissoras para as pequenas, sejam cada vez comuns, dados que as soluções *open source* GSM/VoIP vieram para ficar e pretendem acompanhar em paralelo a evolução da indústria de telecomunicações no caminho das gerações futuras de redes de telefonia celular e dados móveis.

Outra ideia seriam essas pequenas *operadoras open source* funcionarem como infraestrutura para MVNO (*Mobile Virtual Network Operator*) em regiões com características semelhantes às apresentadas neste trabalho, considerando a baixa relação custo/benefício de se implementar redes GSM legadas nestes locais. O Pequeno operador se responsabiliza pela gestão tecnológica da rede (operação, manutenção, segurança, etc), e o operador virtual detém e mantém a estrutura operacional (*callcenter, marketing, vendas, dentre outros setores*). A legislação sobre MVNO já está vigente no Brasil desde 2010, mas como base nesse novo contexto, precisa ser revista e aos poucos adaptada a essa nova realidade.

Por fim, o trabalho também deve incentivar a comunidade científica da Amazônia a aprofundar mais os estudos em comunicações móveis já existentes na região, de forma a se pensar que o CELCOM mesmo com suas limitações atuais pode vir a ser solução comum que atenda não apenas as comunidades paraenses, mas quem sabe possa se expandir até os rincões de toda a Amazônia e quiçá do Brasil, onde nas outras regiões também existem comunidades rurais ou suburbanas que ainda precisam ser digitalmente incluídas.

Esse trabalho não se encerra aqui e ainda pode ser expandido, melhorado, mais estudado, assim seguem propostas para trabalhos futuros envolvendo redes de telefonia celular GSM *open source*, em especial na Amazônia:

- Testes dos demais serviços GSM (caixa postal, siga-me, chamada em espera, GPRS, MMS, entre outros);
- Medições de MOS (*Mean Opinion Score*) do sistema, especialmente em cenários amazônidas;
- Aperfeiçoamento dos testes de RF, realizando medições outras além das medidas de *Rxlevel* (*RxQual* e *SNR*, por exemplo);

- Implementação ou testes de *handover intra-system* (mesmo fabricante de BTS) e *inter-system* (BTS de fabricantes diferentes);
- Integração e testes desses sistemas com sistemas convencionais GSM;
- Implementação de gerência de rede mínima, para caso de comunidades cobertas por mais de uma BTS;
- Implementação ou testes de serviços de geo-localização;
- Integração com outras redes VoIP e/ou IP, tendo um sistema que possa oferecer serviços diversificados;
- A partir de conceitos de protocolos GSM, SIP e VoIP, desenvolver uma plataforma regional / nacional de GSM *open source*, tentando se tornar referência no assunto na região.

Referências

1º Piloto de teste do *Loon* no Brasil. Disponível em: <http://gizmodo.uol.com.br/google-loon-brasil/>. Acessado em: 08/07/2014.

ALMEIDA, Igor Mesquita de. “Estudo de viabilidade e implementação de sistema de comunicação GSM utilizando projetos *open-source* e *open-hardware*”. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Pará. Belém – Pará. 2010. 57 páginas.

ANAND, Abhinav, PEJOVIC, Veljko, JOHNSON, David L. & BELDING, Elizabeth M. "*VillageCell: Cost Effective Cellular Connectivity in Rural Areas*". ICTD2012, Atlanta, GA, USA. Março/2012.

Airlink®. *Software* para cálculo de enlace de rádios da Ubiquiti Networks®. Disponível em: <http://airlink.ubnt.com/>. Acessado em: 12/08/2014.

BELITARDO, Carla. Apresentação do programa *Connect to Learn Brazil* no Seminário Social Good Brasil. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/SocialGoodBrasil/carla-belitar-do-ericsson-apresentao-no-seminrio-social-good-brasil#>. Acessado em: 27/07/2014.

Capital Expenditure and Operational Expenditure – Conceitos de CAPEX e OPEX. Disponível em: http://bnmg.com.br/noticia/o_significado_de_capex_e_opex. Acesso em: 12/07/2014.

CAVALCANTE, Gervásio P. S., SANCHES, Mário A. R. e OLIVEIRA, Rômulo A. N. “*Mobile Radio Propagation Along Mixed Paths in Forest Environment*”. SBMO-IEEE MTT-S - *International Microwave and Optoelectronics Conference Proceedings* (IMOC). Agosto/1999. Páginas 320 a 324.

CECCHINI, Simone, 2002, “*Information and Communications Technology for Poverty Reduction. Lessons from Rural India*”. *IEEE 2002 International Symposium on Technology and Society (ISTAS'02). Social Implications of Information and Communication Technology. Proceedings*. EUA. Junho/2002.

Censo 2010. Dados demográficos do levantamento censitário do IBGE em 2010, UF do Pará. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=15&dados=1>. Acessado em: 30/07/2014.

CoDPON *Project* - “*Continuous Displacement Plans Oriented Network*” – Disponível em: <http://www.labpetala.com/index.html> Acessado em: 01/11/2014.

Comunicación Comunitaria Indígena. Rhizomatica – Redes por la Diversidad, Equidad y Sustentabilidad A.C. Disponível em: http://www.itu.int/ITU-D/CDS/gq/generic/asp-reference/file_download.asp?FileID=979. Acessado em: 08/08/2014.

Conceito de Acordo de Nível de Serviço (SLA – *Service Level Agreement*). Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Acordo_de_n%C3%ADvel_de_servi%C3%A7o. Acessado em: 15/07/2014.

Decreto presidencial de Criação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2338.htm. Acessado em: 13/07/2014.

DIGIUM. *The Asterisk Company*. Disponível em: <http://www.digium.com/en/products/asterisk>. Acesso: 01/08/2014.

Edital de Licitação do 4G. Edital de Licitação 004-2012 PVCP-SPV ANATEL. Brasil. Abril/2012. 143 páginas.

Edital nº 002/2007 de Licitação do SMP. ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações, Brasil, 2007.

Estatísticas anuais ITU-T. Disponível em: <http://www.itu.int/pub/D-IND-YB-2013>. Acessado em: 28/07/2014.

FÄHNLE, Matthias. “*Software-Defined Radio with GNU Radio and USRP/2 Hardware Frontend: Setup and FM/GSM Applications*.” Bachelor Thesis, Hochschule Ulm University of Applied Sciences, Institute of Communication Technology. Ulm, Germany, 2009/2010.

FREITAS, Alexandre R.O. de, CARVALHO, Gláucio Haroldo Silva de, RODRIGUES, Josiane do Couto, FRAIHA, Simone G. C., GOMES, Hermínio, CAVALCANTE, Gervásio Protásio dos Santos. “Modelo de Canal de Propagação para o Planejamento de Redes Móveis em Ambientes Densamente Arborizados”. *MOMAG 2006*, Belo Horizonte – Minas Gerais, Agosto, 2006. 5 páginas.

FERREIRA, Charles. Projeto de uma fonte de alimentação estabilizada para alimentação de uma sysmoBTS 2050 e um amplificador de potência de micro-ondas modelo 3335PA. Laboratório de Processamento de Sinais (LaPS) – UFPA. Julho/2014. 14 páginas.

Fonte regulada entre 1,5V e 15V por 15A. Disponível em: <http://www.facaemcasa.com.br/Eletronica/Circuitos/Fontes/fonte%20regulavel%20de%201,5v%20a%2015v%20por%2015a.html>. Acessada em: 11/08/2014.

Furto de equipamentos do NavegaPará no nordeste paraense. Disponível em: <http://www.navegapara.pa.gov.br/?q=node/654>. Acessado em: 15/07/2014.

Global Humanitarian Technical Challenge 2014 – IEEE. Disponível em: <http://www.ieeeghtc.org/>. Acessado em 13/07/2014.

GlobeComm 2012 (RuralComm 2012). Disponível em: <http://users.encs.concordia.ca/~tse/ruralcom2/index.php>. Acessado em: 13/07/2014.

GSM 05.08, “Radio Subsystem link control”, version 6.1.1 (phase 2+), ETSI, April 1998.

GSMA – *GSM Association*. Associação mundial GSM. Disponível em: www.gsma.com. Acessado em: 28/07/2014.

HALONEN, Timo; ROMERO, Javier; MELERO, Juan. *GSM, GPRS and EDGE Performance – Evolution towards 3G/UMTS*. Ed. Wiley & Sons Ltd. 2nd Edition, March 2003.

ICT Facts 2013 - Estatísticas de Telecomunicações da ITU-T, de 2005 a 2013. Disponível em: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2013/ITU_Key_2005-2013_ICT_data.xls. Acessado em: 08/07/2014.

JESZENSKY, Paul Jean Etienne. Sistemas Telefônicos. Ed. Manole. 2004. Pág. 595-604.

KAARANEN, Heikki; AHTIAINEN, Ari; LAITINEN, Lauri; NAGHIAN, Siamäk; NIEMI, Valtteri. *UMTS Networks - Architecture, Mobility and Services*. Ed. Wiley & Sons Ltd. 2nd Edition, March 2006. 422 páginas.

Kaleidoscope 2013. Disponível em: www.itu.int/en/ITU-T/academia/kaleidoscope/2013/Pages/default.aspx. Acessado em 13/07/2014.

LCR – *Linux Call Router*. Roteador de chamadas ISDN para Linux. Disponível em: <http://isdn.eversberg.eu/>. Acessado em: 05/08/2014.

LIMA, André Gustavo Monteiro. Comunicações Móveis: do analógico ao IMT 2000. Ed. Axcel Books. 2003. 262 páginas.

MBARIKA, Victor W., BYRD, Terry Anthony. “*An Exploratory Study of Strategies to Improve Africa’s Least Developed Economies’ Telecommunications Infrastructure: The Stakeholders Speak*”. *IEEE Transactions on Engineering Management*. Volume 56, número 2. Maio/2009.

MEDEISIS, Arturas & KAJACKAS, Algimantas. “*On the Use of the Universal Okumura-Hata Propagation Prediction*”. Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000 (VTC2000), Tóquio, Japão, 15-18 de Maio de 2000.

MENG, Y. S., LEE, Y. H., e NG, B. C. “*Further study of rainfall effect on VHF forested radio-wave propagation with four-layered model*”. *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 99, 149-161, 2009.

Ministério das Comunicações do Brasil - Programa Nacional de Banda Larga (PNBL). Disponível em: <http://www.mc.gov.br/acoes-e-programas/programa-nacional-de-banda-larga-pnbl>. Acessado em: 25/07/2014.

Ministério das Comunicações do Brasil - Relatório de balanço do PNBL. Julho/2014.

MONDAL, Patrika, MISRA, Swagato, MISRA, Iti Saha. “*A Low Cost Low Bandwidth Real-Time Virtual Classroom System for Distance Learning*”. *Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 2013 IEEE. San Jose, Califórnia, USA. Outubro/2013.

MWESIGWA, Collins. “*An e-Health Tele-Media Application for Patient Management*”. IST-Africa 2013 Conference Proceedings. Nairobi, Kenya. Maio/2013.

NavegaPará - Programa de Inclusão Digital do Governo do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.navegapara.pa.gov.br/>. Acessado em: 27/07/2014.

NETO, J. B. Pinto et al. “*Adaptive Contact Volume Prediction in Delay Tolerant Networks*”. *Computers and Communications (ISCC) – IEEE*, Split, Croácia, Julho/2013.

NIMAVAT, Vishal D. & KULKARNI, G. R. “*Simulation and Performance Evaluation of GSM propagation Channel under the Urban, Suburban and Rural Environments*”. *International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT)*, Mumbai, Índia, 19-20 de Outubro de 2012.

NUNGU, Amos, OLSSON, Robert e PEHRSON, Björn. “*On the Design of Inclusive Ubiquitous Access*”. *Third International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2011)*. Dalian, China. Junho/2011.

OLIVEIRA, Carina Teixeira de. “*Uma Proposta de Roteamento Probabilístico para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões*”. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, Março/2008.

OpenBTS® Application Suite Release 4.0 - User Manual - Revision date: April 15, 2014. Página 49 (182 páginas).

Presidência da República - Decreto nº 4.769, de 27 de Junho de 2003. “*Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado Prestado no Regime Público – PGMU*”. D.O.U. - Seção Extra, Junho/2003.

Presidência da República - Decreto nº 6.424, de 08 de Abril de 2008. “*Das metas de Implementação da Infra-Estrutura de rede de suporte do STFC para Conexão em Banda Larga*”. D.O.U. - Seção 1, Abril/2008.

Projeto *Connect to Learn in Brazil. Changing lives in the Amazon*. Ericsson. Disponível em: http://www.ericsson.com/news/120713_changing_lives_in_the_amazon_244159018_c. Acessado em: 27/07/2014.

Projeto *Connect to Learn in Brazil*. Ericsson. Disponível em: http://www.ericsson.com/news/120716_connect_to_learn_in_brazil_244159018_c. Acessado em: 27/07/2014.

Projeto *Loon – Internet por balões da Google*. Disponível em: <http://www.google.com/loon/>. Acessado em: 08/07/2014.

Projeto OpenBTS. Disponível em: http://openbts.org/w/index.php/Main_Page. Acessado em: 28/07/2014.

Projeto OpenBSC. Disponível em: <http://openbsc.osmocom.org/trac/wiki>. Acessado em: 28/07/2014.

PTP *LinkPlanner Calc. Software* para cálculo de enlace de rádios da *LigoWave®*. Disponível em: <http://www.ligowave.com/linkcalc/>. Acessado em: 12/08/2014.

RANGE NETWORKS. *OpenBTS Application Suite - Release 4.0 - User Manual*. 182 páginas. Disponível em: <http://openbts.org/documentation/>. Acessado: 01/08/2014.

Regulamento do Serviço Especial para Fins Científicos e Experimentais (SEFCE). Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Disponível em:

<http://sistemas.anatel.gov.br/SACP/contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=CPSEFCE&Tipo=1&Opcao=>. Acessado em: 14/07/2014.

Resolução nº 635 - Regulamento de Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências. Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). D.O.U. Maio/2014.

RUBICONDO, Kseniya Khovanova e KYEWALYANGA, Wahabu. (2010) “*Kasambya Computer Center – from Community Initiative to Self-Sustainable Enterprise*”. *IST-Africa 2010 Conference Proceedings*. África do Sul. Maio/2010.

S. KEYANI, A. MUMTAZ, H. MUSHTAQ, A. HUSSAIN. “*Affordable and Accessible Telehealthcare to Rural areas of Pakistan through Web and Mobile based Technologies*”. *6th International Symposium on High-Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET), 2009, IEEE*. Alexandria, Egito. Dezembro/2009.

Star One - Empresa de satélites da Embratel. Previsões de Interferência Solar em enlaces de satélite. Disponível em: http://satelites.starone.com.br/int_brasil.php. Acessado em: 27/07/2014.

Session Initiation Protocol (SIP) Extension for Instant Messaging. RFC-3428. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc3428>. Acessado em: 01/08/2014.

Soluções GSM *Open source* da Fairwaves[©]. Disponível em: <https://fairwaves.co/wp/equipment/>. Acessado em: 09/08/2014.

SQLite *Database*. Disponível em: <http://www.sqlite.org/>. Acessado em: 01/08/2014.

SysmoBTS 2050. *Hardware* de BSC/BTS do projeto *OpenBSC*[©]. Disponível em: http://www.sysmocom.de/products/sysmobts_2050. Acessado em: 07/08/2014.

Telecom Revolution starts in Yaviche – Mexico. Disponível em: <https://fairwaves.co/wp/telecom-revolution-starts-in-yaviche-mexico/>. Acessado em: 08/08/2014.

Tutorial Teleco sobre telefonia celular no Brasil. Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/pagina_5.asp. Página 5. Acessado em: 14/07/2014.

UmSITE. Solução GSM/VoIP para telefonia móvel. Disponível em: <https://fairwaves.co/wp/solution/>. Acessado em: 09/08/2014.

UmTRX. Transceptor SDR GSM. Disponível em: <http://umtrx.org/>. Acessado em: 09/08/2014.

WANG, Ching-Sung, LEE, Jung-Hunag, CHU, Yiu-Tong. “*Mobile Telemedicine Application and Technologies on GSM*”. *The 1st International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2007. ICBBE 2007*. Wuhan, China, Julho/2007.

Wiki do YateBTS[©]. Disponível em: http://wiki.yatebts.com/index.php/Main_Page. Acessado em: 31/07/2014.

YateBTS[©]. Plataforma de telefonia GSM/VoIP baseada em *Open Source*. Disponível em:

<http://www.yatebts.com/index.php>. Acessado em: 30/07/2014.

Yate (*Yet Another Telephony Engine*). Plataforma de telefonia VoIP da *NullTeam*. Disponível em:
<http://yate.null.ro/pmwiki/>. Acessado em: 01/08/2014.

ANEXOS

Anexo A – Edital de Licitação do 4G

A seguir os principais trechos do edital do 4G (Edital de Licitação do 4G. Edital de Licitação 004-2012 PVCP-SPV ANATEL) leiloado no Brasil em 2012, citado nesse trabalho:

“4.6 Para cumprimento dos Compromissos de Abrangência do item 4 e subitens, a Proponente vencedora poderá utilizar quaisquer um dos serviços de telecomunicações vinculados a esse Edital (STFC, SCM e/ou SMP, conforme item 1.2.1. deste Edital), respeitadas as disposições regulamentares existentes para cada um destes Serviços.

...

4.8 Para os Compromissos de Abrangência listados no item 4 e subitens, um município será considerado atendido quando a área de cobertura contiver, pelo menos, 80% (oitenta por cento) da área compreendida até a distância geodésica de 30 (trinta) quilômetros dos limites da localidade sede municipal atendido pelo Serviço associado a respectiva Autorização para uso de Radiofrequência na Subfaixa de 451 MHz a 458 MHz / 461 MHz a 468 MHz.

4.8.1 No caso de adimplemento deste item com STFC ou SCM, a cobertura deverá estar assegurada considerando-se a antena do usuário com altura máxima de 5 (cinco) metros, sob responsabilidade do usuário.

...

5 A Proponente vencedora deverá também cumprir os seguintes Compromissos de Abrangência, para o Objeto tipo A, referente à Subfaixa de Radiofrequências de 451 MHz a 458 MHz / 461 MHz a 468 MHz:

...

5.4 Até o dia 31 (trinta e um) do mês de Dezembro de 2017 atender, com conexões de dados, (com no mínimo, taxa de transmissão de 1 Mbps de download e 256 kbps de upload e sem franquia de tráfego máximo de dados), todas as escolas públicas rurais na sua área de cobertura”.

Anexo B – Resolução de Uso Temporário de Radiofrequência

A seguir alguns trechos da resolução (já revisada), que estabelecem os critérios do uso temporário de radiofrequências:

“Art. 3º A autorização objeto deste Regulamento se aplica ao uso temporário de radiofrequências para cobertura de eventos diversos, incluindo a demonstração de produto emissor de radiofrequências e a visita oficial ao Brasil de autoridades estrangeiras ou embarcações e aeronaves militares estrangeiras.

Art. 4º Poderão obter autorização para uso temporário de radiofrequências pessoas naturais ou jurídicas que atendam às condições estabelecidas neste Regulamento.

Art. 5º A autorização de uso temporário de radiofrequências é outorgada em caráter secundário, independentemente da atribuição ou destinação da faixa e por período determinado, não tendo o interessado direito à proteção contra interferências prejudiciais, inclusive de estações do mesmo tipo, não podendo causar interferência em sistemas operando em caráter primário.

Parágrafo único. Caso venha a provocar interferência prejudicial em sistema de radiocomunicação regularmente autorizado, a transmissão deve ser imediatamente interrompida até a remoção da causa da interferência, não sendo este fato gerador de qualquer direito à prorrogação do prazo de vigência da autorização de uso temporário de radiofrequências ou ressarcimento dos valores recolhidos.

...

Art. 8º Para obtenção da autorização de uso temporário de radiofrequências, o interessado ou seu representante legal deve proceder ao autocadastramento para acesso e encaminhamento das solicitações por meio de sistema interativo disponibilizado na página da Anatel na *Internet*.

§ 1º O autocadastramento mencionado no *caput* deve conter informações sobre o interessado, seu representante legal, se for o caso, e responsável técnico.

§ 2º A solicitação para obtenção da autorização deve conter, no mínimo:

- I - nome ou Razão Social, Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) ou Cadastro de Pessoas Físicas (CPF) do interessado;
- II - informações para contato;
- III - informações técnicas sobre o uso de radiofrequências pretendido e do satélite;

IV - datas de início e fim previstos para uso temporário de radiofrequências; e,

V - locais de operação das estações.

§ 3º O interessado no uso temporário de radiofrequências para operação de estação terrena transmissora de radiocomunicação associada a satélite deve apresentar documento comprobatório de que a capacidade espacial será contratada do representante legal no Brasil da exploradora de satélite estrangeiro ou da exploradora de satélite brasileiro.

§ 4º A Agência poderá exigir outras informações e documentos que julgar necessários à análise do pedido ou à definição sobre a autorização de uso temporário de radiofrequências, notadamente:

I - da realização de coordenação prévia com os autorizados para uso de radiofrequências que possam ser afetados pela emissão pretendida; e,

II - a declaração, baseada no Relatório de Conformidade elaborado de acordo com a regulamentação específica, de que o funcionamento da estação transmissora de radiocomunicação não submeterá, individualmente ou em conjunto, a população em geral e/ou trabalhadores a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, de valores superiores aos limites estabelecidos.

...

Art. 12. A solicitação de autorização de uso temporário de radiofrequências deve ser encaminhada à Anatel com, no mínimo, 15 (quinze) dias de antecedência da data prevista para início de operação das estações transmissoras de radiocomunicação, ressalvadas as solicitações para grandes eventos, sob pena de indeferimento.

...

Art. 14. Não será atendida, para uma mesma localidade, solicitação para uso temporário de radiofrequências contemplando características técnicas similares a uma autorização anterior, emitida no período de 3 (três) meses, com vigência superior a 7 (sete) dias.

...

Art. 16. O Ato compreende a Autorização de Uso de Radiofrequências, a Licença para Funcionamento de Estação, na forma nele descrita, e, quando necessário, a pertinente autorização de exploração de serviço.

...

Art. 19. Do Ato de Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências constará o período de operação autorizado, que compreenderá o período total do evento, além de prazo adicional para testes, instalação dos equipamentos e sua desmobilização, bem como o respectivo local. § 1º O prazo máximo de vigência das autorizações de uso temporário de radiofrequências é de 60

(sessenta) dias não prorrogáveis.

Art. 20. A formalização do Ato de Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências dependerá do recolhimento prévio:

I - da Taxa de Fiscalização da Instalação - TFI: calculada com base na quantidade de estações de radiocomunicação, conforme legislação específica;

II - do Preço Público pelo Direito de Uso de Radiofrequências - PPDUR: calculado conforme regulamentação específica, considerando as características de cada solicitação, informadas conforme previsto no art. 8º; e,

III - do preço público pelo direito de exploração do serviço, quando for o caso, conforme regulamentação específica”.

Anexo C – Regulamento do Serviço Especial para Fins Científicos ou Experimentais (SEFCE)

“Art. 1º O Serviço Especial Para Fins Científicos ou Experimentais (SEFCE) é regido pela Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, pelo Regulamento dos Serviços de Telecomunicações, por este Regulamento, pelos demais atos normativos aplicáveis e, particularmente, pela autorização expedida em cada caso pela Agência.

Art. 2º O SEFCE é uma modalidade de serviço de telecomunicações prestado em regime privado, de interesse restrito, e sua execução destina-se ao desenvolvimento de serviços e equipamentos, à pesquisa em telecomunicações e ao suporte de atividades científicas em geral.

Art. 3º Para os efeitos deste Regulamento, são adotadas as seguintes definições:

I - atividades experimentais: são as destinadas a verificar, por meio de ensaios ou tentativas, se são satisfeitas ou não certas e determinadas condições teóricas;

II - atividades experimentais de telecomunicações: são as atividades experimentais que buscam determinar parâmetros operacionais e econômicos que possibilitem inovações na oferta de telecomunicações;

III - atividades científicas: são as desenvolvidas segundo um determinado método, tendo por objetivo o conhecimento, a ordenação, classificação e controle de certos fenômenos naturais;

IV - atividades científicas de telecomunicações: são as atividades científicas desenvolvidas em relação aos fenômenos naturais que afetam as telecomunicações;

V - atividades de telecomunicações de suporte à ciência em geral: são as executadas com o emprego de radiofrequência, para transporte de dados e informações de qualquer natureza necessários à pesquisa científica;

...

XI - serviço de telecomunicações de interesse restrito: é o destinado ao uso do próprio executante ou prestado a determinados grupos de usuários selecionados pela prestadora mediante critérios por ela estabelecidos, observados os requisitos da regulamentação.

Art. 4º Constituem Serviço Especial para Fins Científicos ou Experimentais:

I - as atividades experimentais de telecomunicações, aqui compreendidas:

a) as destinadas ao desenvolvimento de novas modalidades de serviços de telecomunicações;

- b) as destinadas ao aperfeiçoamento de modalidades de serviços de telecomunicações existentes;
 - c) as destinadas à experimentação de conjunto de equipamentos de telecomunicações;
- II - as atividades científicas de telecomunicações destinadas, entre outros fins correlatos, à pesquisa de condições de propagação das ondas radioelétricas, à otimização do uso do espectro de radiofrequências e ao desenvolvimento de equipamentos, meios e técnicas de telecomunicação; e
- III - as atividades de telecomunicações destinadas ao suporte da ciência em geral.

...

Art. 6º Atendidos os requisitos previstos neste Regulamento, poderão obter autorização:

I - para as atividades integrantes do SEFCE compreendidas nas alíneas “a” e “c” do inciso I do art. 4º deste Regulamento, pessoas jurídicas com sede no País ou que nele mantenham representante legal com poderes para responder administrativa e judicialmente por seus atos;

II - para as atividades compreendidas na alínea “b” do inciso I do art. 4º deste Regulamento:

- a) empresas prestadoras de serviços de telecomunicações no país; e
- b) consórcios liderados por empresa que preste serviço de telecomunicações no país, investida de poderes de representação para responder administrativa e judicialmente por seus atos.

III - para as atividades científicas de telecomunicações compreendidas no inciso II do Art. 4º deste Regulamento, pessoas físicas e jurídicas, estas com sede no País ou que nele mantenham representante legal com poderes para responder administrativa e judicialmente por seus atos.

Art. 7º Os interessados em obter autorização para as atividades do inciso I e II do art. 4º deste Regulamento deverão dar entrada, no Protocolo Geral da Agência, em formulário de Solicitação de Serviço de Telecomunicações devidamente preenchido e dirigido à Agência, acompanhado dos seguintes documentos e informações:

I - quando pessoa física, do Cadastro de Pessoa Física (CPF) e do Registro Geral (RG);

II - quando pessoa jurídica, dos seguintes documentos:

- a) cópia autenticada do comprovante de sua inscrição no Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ), bem como de seus atos constitutivos, devidamente arquivados ou registrados na repartição competente;
- b) a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do responsável pelo projeto;
- c) a indicação da atividade experimental pretendida;
- d) a descrição da experiência ou pesquisa científica, necessária e suficiente para caracterizar a atividade, as radiofrequências ou os meios físicos a serem utilizados, conforme o caso;
- e) a indicação dos equipamentos e dos locais de realização da atividade;

f) a estimativa dos resultados esperados.

Art. 8º A Agência poderá exigir para as atividades I e II do art. 4º deste Regulamento a apresentação, em data prefixada, de relatórios parciais e final com os resultados das atividades.

Parágrafo único. O relatório deverá conter:

I - o sumário executivo;

II - a introdução, contendo a descrição da experiência;

III - a descrição das medidas efetuadas e do procedimento adotado;

IV - os equipamentos utilizados, os locais e área de abrangência da atividade;

V - a folha de resultados, datada e assinada pelo responsável técnico, indicando os instrumentos utilizados nas medidas e os respectivos resultados;

VI - a comparação entre os resultados obtidos e os esperados;

VII - outras informações pertinentes à atividade, determinadas pela Agência.

...

Art. 22. Os equipamentos emissores de radiofrequência a serem utilizados na execução do SEFCE deverão ter certificação expedida ou aceita pela Anatel.

Parágrafo único. Quando da execução de atividades experimentais ou científicas de telecomunicações, dirigidas à experimentação ou desenvolvimento de equipamentos, será dispensada a sua certificação.

...

Art. 31. Caberá à Anatel autorizar a execução do SEFCE e o uso de radiofrequência a ela vinculada.

Parágrafo único. A autorização de que trata o *caput* é intransferível, seja de forma direta ou indireta.

Art. 32. Do ato de autorização constarão:

I - a denominação e o objeto social da entidade;

II - as atividades a serem desenvolvidas, a data de início e término de sua execução e a respectiva área;

III - o prazo de vigência da autorização de uso da radiofrequência;

IV - o modo, a forma e as condições de execução do SEFCE;

V - o preço público devido pela autorização para o serviço e para o uso da radiofrequência.

Parágrafo único. Estações adicionais poderão ser licenciadas pela ANATEL ao longo da execução do SEFCE.

...

Art. 54. As entidades autorizadas a executar o SEFCE estarão sujeitas ao pagamento das taxas de fiscalização das telecomunicações previstas em lei.

Art. 55. O SEFCE poderá ser conectado a qualquer outro serviço de telecomunicações, desde que não comprometa a integridade da rede de suporte a esses serviços”.

Anexo D – Construção da Fonte de Alimentação para o Amplificador de Potência e para a SysmoBTS[®]

Algumas soluções foram discutidas entre o autor do trabalho e o projetista, visando obter uma fonte que fosse estável, robusta (que suporte oscilações de redes de alimentação que nem sempre serão estáveis em localidades remotas) e com tensões e correntes de alimentação completamente diferentes (a SysmoBTS[®] 2050 é alimentada com 24V/2A e o PA com 13,8 V/5A).

Existia a possibilidade de aquisição no mercado de duas fontes separadas, com as respectivas tensões e correntes que os equipamentos necessitavam, porém partindo-se do princípio que o projeto visa o menor custo possível para se ter um piloto de custo que no futuro possa ser implementado por comunidades rurais pobres, optou-se por buscar uma solução mais economicamente viável, porém não tão trivial nem muito simples.

Entretanto, o projetista sugeriu se utilizar uma fonte de alimentação chaveada de uma máquina fotocopadora (Konica Minolta modelo CS Pro EP-1054), cuja vida útil do equipamento já havia se esgotado, porém a fonte de alimentação permanecia íntegra e em ótimas condições de funcionamento. Essa fonte possui por padrão saídas de alimentação de 24V CC e capacidade de corrente do conjunto de saídas de até 10A.

Além disso, a fonte possui um filtro de entrada e circuitos de proteção com aterramento, o que garante a estabilidade da tensão de saída mesmo em condições de oscilação da tensão de entrada. Para os teste iniciais da fonte foram utilizadas lâmpadas de farol de automóvel (12V / 21W) associadas em série e paralelo como cargas de teste de modo a testa a capacidade de corrente da fonte, assim como a sua estabilidade quando solicitada a fornecer correntes elevadas (plena carga). A Figura AD.1 mostra a fonte original da fotocopadora, na Figura AD.2 logo em seguida pode-se ver o filtro da mesma, e por fim na Figura AD.3 o circuito de teste com lâmpadas.

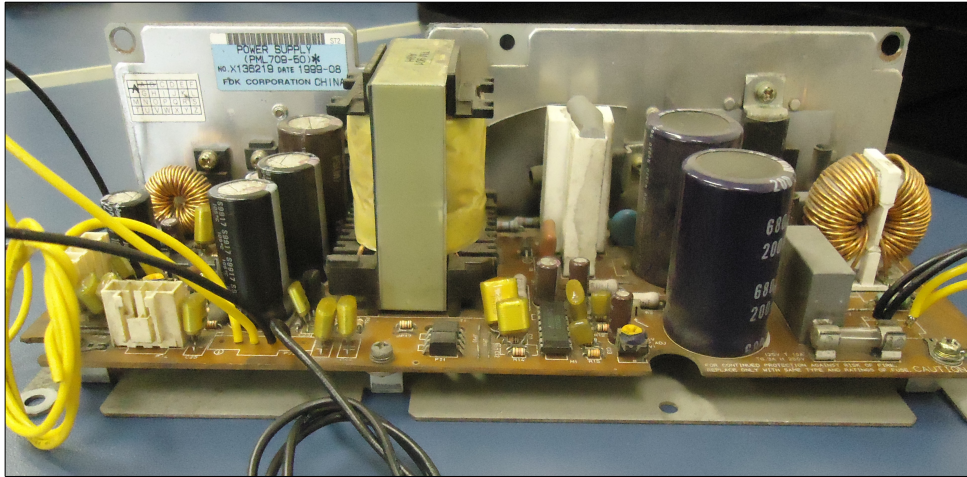


Figura AD.1 - Fonte de fotocopiadora utilizada na construção da fonte do projeto (Fonte: Ferreira 2014).

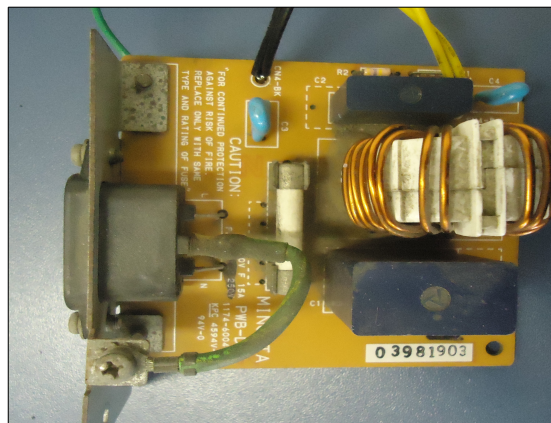


Figura AD.2 - Filtro de entrada da fonte da fotocopiadora (Fonte: Ferreira 2014).

Simulações feitas no Proteus[®], antes dos testes com as lâmpadas sugeriram que a fonte suportaria tal carga, o que deixou a equipe mais confiante quanto a utilização da solução. Com as cargas das lâmpadas em série / paralelo em teste real a fonte forneceu tranquilamente cerca de 3,5A em 24V, apresentando estabilidade com essa carga. Sabendo-se que a fonte fora especificada para alimentar cargas que consomem até 10A, ainda havia folga para alimentar o PA tranquilamente, visto que o mesmo drena no máximo 6A quando operando a plena carga.

A nova problemática era: como baixar a tensão de saída para 13,8V para que esta pudesse também alimentar o amplificador de potência?

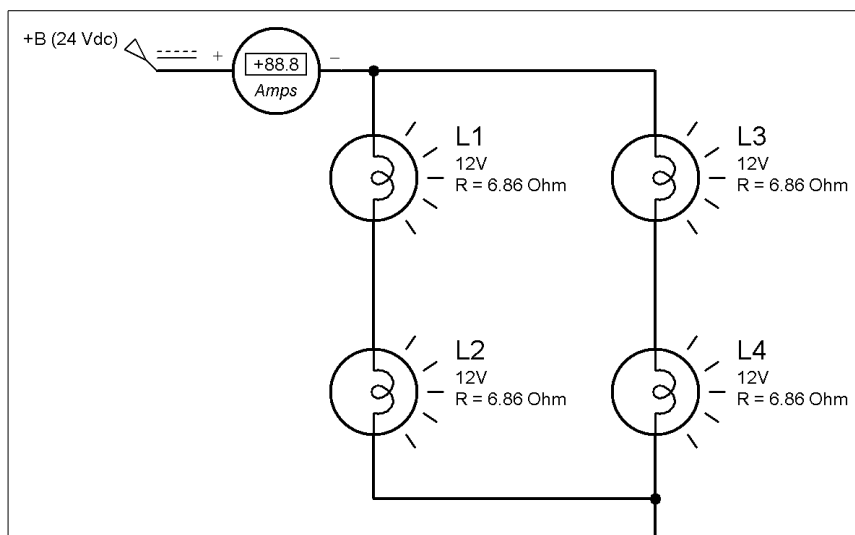


Figura AD.3 - Circuito de cargas de teste da fonte com lâmpadas (Fonte: Ferreira 2014).

Assim, a solução foi buscar um circuito eletrônico regulador de tensão que pudesse baixar a tensão para 13,8V e ao mesmo tempo fornecer uma corrente de até 6A para que o PA pudesse funcionar a plena carga quando solicitado.

Após várias pesquisas, e simulações de várias soluções, encontrou-se a solução ideal, em [Faça em casa 2014] baseada no regulador de tensão variável LM317 e como estágio de potência (saídas de correntes) utilizou-se os transistores 2N3055, com emissores em paralelo para se chegar ao valor de corrente necessária à alimentação do PA (o LM317 não fornece mais do que 2A na sua saída regulada). A Figura AD.4 mostra esse circuito de regulação.

A fonte é ajustada pelo *trimpot* RV1 até se obter a tensão desejada, para melhorar a precisão do ajuste, foi usado um *trimpot* multivoltas, de modo a se obter exatamente 13,8V na saída do circuito.

As simulações no Proteus® com cargas resistivas sugeriram que a solução funcionava e conseguia regular a tensão para o valor desejado, mantendo a drenagem de corrente no nível desejado. Entretanto, elaborou-se um novo circuito de teste real com lâmpadas de automóvel e diodos de alta corrente, para simular o PA a plena carga.

As lâmpadas são para 12V, logo para serem usadas em 13,8V poderiam queimar por excesso de tensão, assim optou-se por colocar dois diodos em série entre a saída da fonte regulada e as cargas (lâmpadas). O circuito funcionou perfeitamente, porém apresentou uma pequena oscilação ao se ligar a fonte, o que causou preocupação, pois esse transitório poderia danificar ou prejudicar o funcionamento tanto o PA quanto a sysmoBTS® 2050, visto que circuitos eletrônicos que operam com RF tem uma sensibilidade considerável a variações de tensão.

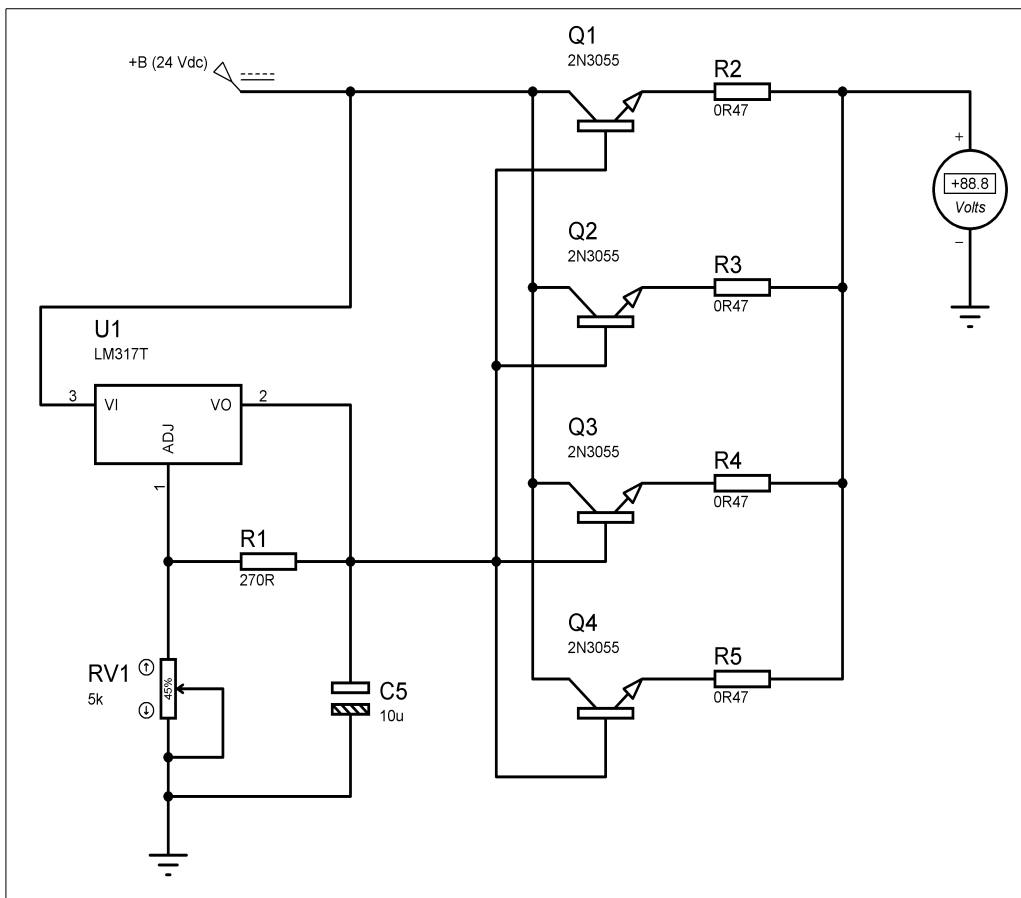


Figura AD.4 - Circuito regulador de tensão ajustável (Fonte: Ferreira 2014).

Assim, houve necessidade de implementação de um circuito adicional de proteção da fonte que, por meio de um comparador de tensão (utilizando o AmpOp 741), um transistor de média potência e um relé de saída, que “aguarda” a estabilização da tensão antes de levar a mesma a carga. Isso garante que o surto ou transitório de estabilização da fonte chaveada da fotocopiadora não chegue aos equipamentos que precisam ser alimentados, evitando assim algum dano ou mau funcionamento dos mesmos. A Figura AD.5 mostra o esquemático do circuito completo da fonte regulada com o circuito de proteção.

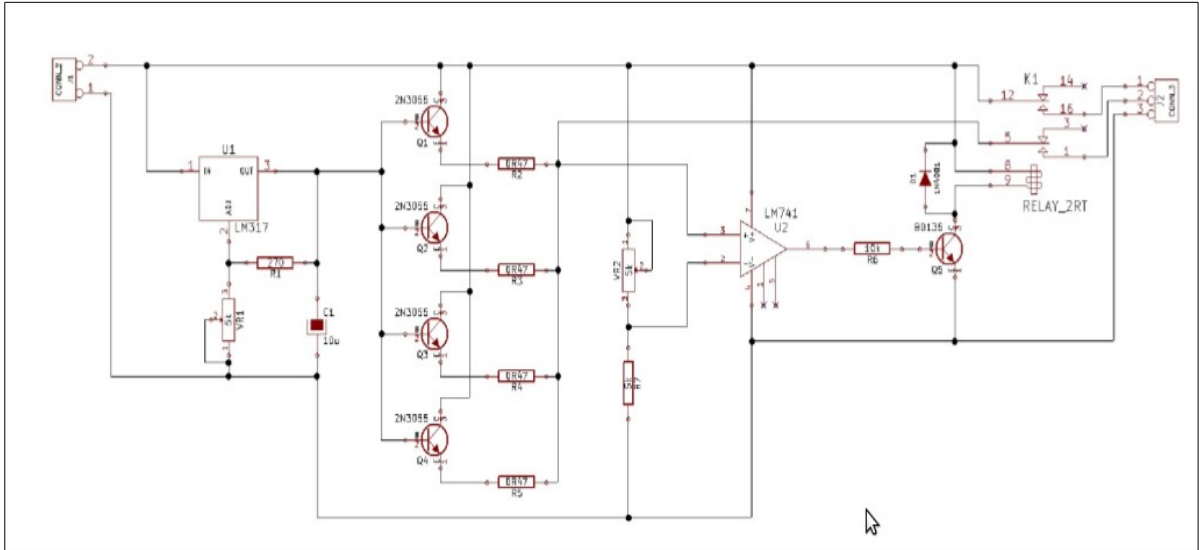


Figura AD.5 - Esquemático completo do circuito regulador de 13,8V e do circuito de proteção (Fonte: Ferreira 2014).

Os transistores de potência foram montados em um radiador de calor adequado ao tipo de encapsulamento dos mesmos, garantindo assim que o calor gerado durante a operação plena dos componentes seja dissipado adequadamente, evitando a queima dos transistores. Fora adicionada uma ventoinha de 24V/0,29A que auxilia no resfriamento do dissipador de potência dos transistores e da fonte como um todo.

A fonte fora montada em uma caixa metálica reciclada de sistema de sonorização, onde seus componentes, placas, dissipador, ventoinha e demais acessórios couberam perfeitamente na mesma, finalizando assim o projeto da fonte. A figura AD.6 Mostra a montagem final da fonte na caixa metálica.

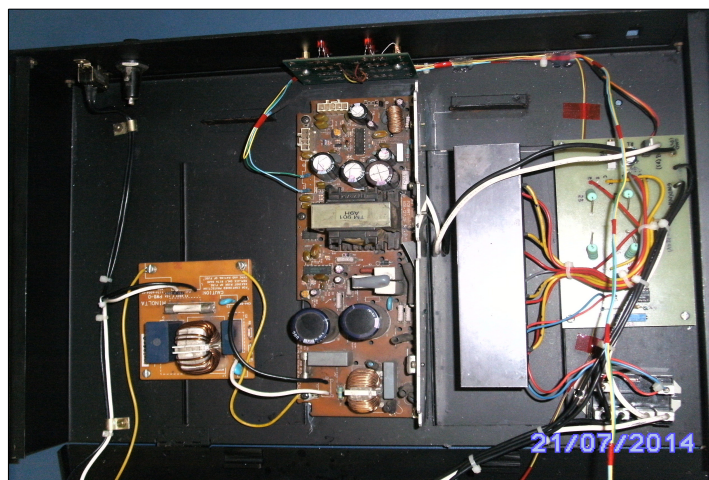


Figura AD.6 - Montagem final da fonte para SysmoBTS / PA do projeto (Fonte: próprio autor).

Um maior detalhamento da fonte (mais fotos, *layout* de circuito impresso, montagem em *proto-board* antes da confecção da placa definitiva, etc) pode ser encontrado no relatório feito pelo projetista da fonte, em [Ferreira 2014].