

Envia

SÓCRATES P. TITOCE

**TRABALHO FINAL DE CURSO
(LICENCIATURA)**

Tema: PROJECTO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO BASE
ALIMENTADA COM ENERGIA FOTOVOLTAICA

Estudo do Caso: Distrito de Mavago

ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS NÁUTICAS
DEPARTAMENTO DE RÁDIO

MAPUTO

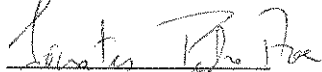
2010

**Tema: Projecto de Dimensionamento de uma Estação Rádio Base alimentada com energia
Fotovoltaica**

Estudo do Caso: Distrito de Mavago

Trabalho Final de curso apresentado ao Departamento de Rádio da Escola Superior de Ciências Náuticas como parte das exigências do curso de Engenharia Electrónica e de Telecomunicações, para obtenção do grau de Engenheiro Electrónico e de Telecomunicações

O Candidato



Sócrates P. Titoce

Supervisor



Eng.º Rafael Mendes

MAPUTO

2010

ÍNDICE

Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas.....	7
DECLARAÇÃO DE AUTORIA	8
AGRADECIMENTOS.....	9
DEDICATÓRIA.....	10
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	11
RESUMO	13
CAPÍTULO I.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
1.2 QUESTÕES DE PESQUISA.....	16
1.3 OBJECTIVOS.....	17
1.3.1 Objectivo Geral.....	17
1.3.2 Objectivos Específicos	17
1.4 HIPÓTESES.....	18
1.5 JUSTIFICATIVA.....	19
1.6 MOTIVAÇÃO	20
1.7 METODOLOGIA	21
GLOSSÁRIO	22

CAPÍTULO II	24
2. Telefonia Celular	24
2.1 Gerações da telefonia Celular	26
1ª Geração.....	27
2ª Geração.....	27
Geração 2,5.....	27
3ª Geração.....	28
4ª Geração.....	28
2.2 Padrões de Tecnologia	28
2.2.1 AMPS	28
2.2.2 TDMA (IS 136)	28
2.2.3 CDMA (IS 95).....	29
2.2.4 GSM.....	29
CAPÍTULO III	31
3. Arquitectura do Sistema GSM	31
3.1 Mobile Station (MS).....	32
3.2 Mobile-Services Switching Centre (MSC)	32
3.3 Base Station Subsystem	32
3.4 Network and Switching Subsystem.....	32
3.4.1 HLR (Home Location Register)	33
3.4.2 VLR (Visitor Location Register).....	33

3.4.3 AUC (Authentication Center).....	33
3.4.4 EIR (Equipment Identity Register).....	33
3.5 Operation Support Subsystem.....	33
3.6 Processo de efectuação e recepção de uma chamada.....	34
3.6.1 Efectuação	34
3.6.2 Recepção.....	34
3.7 Serviços	34
3.7.1 Bearer Services	34
3.7.2 Teleservices	35
3.7.3 Serviços Suplementares.....	35
3.7.4 Serviços de Localização	35
3.7.5 Serviços GPRS	35
CAPÍTULO IV.....	37
4. Energia Solar	37
4.1 História da Célula Fotovoltaica.....	37
4.2 A Energia Solar Fotovoltaica	38
4.3 Radiação Solar.....	39
4.4 Tipos de Células Fotovoltaicas	39
4.4.1 Silício Monocristalino	39
4.4.2 Silício Policristalino	40
4.4.3 Silício Amorfo	41

4.5 Classificação de Sistemas Fotovoltaicos.....	42
4.5.1 Sistemas Isolados.....	42
4.5.1.1 Princípio de Funcionamento.....	43
4.5.2 Sistemas Híbridos.....	43
4.5.3 Sistemas Interligados à Rede.....	44
4.6 Características dos Módulos Fotovoltaicos.....	45
4.6.1 Conexão em Paralelo.....	47
4.6.2 Conexão em Série.....	47
4.7 Vantagens da Energia Fotovoltaica.....	50
CAPÍTULO V.....	51
5. ESTUDO DO CASO:.....	51
5.1 Introdução.....	51
5.2 Distrito de Mavago.....	51
5.3 Parâmetros básicos para dimensionamento.....	52
5.3.1 Cálculo da radiação solar incidente.....	52
5.3.2 Levantamento das cargas.....	53
5.3.3 Definição da autonomia do sistema sem insolação.....	54
5.4 Dimensionamento do Sistema.....	54
5.4.1 Dimensionamento do banco de baterias.....	54
5.4.2. Dimensionamento do gerador fotovoltaico.....	55
5.4.3 Controlador de carga.....	56

5.5 Interações entre os Módulos Fotovoltaicos e as Baterias.....	56
5.6 Configuração dos Elementos de Rede.....	57
5.6.1 - BTS.....	57
5.6.2 ANP Antena.....	57
5.6.3 Faixa de Frequência.....	58
Capítulo VI.....	59
6. CONCLUSÃO	59
6.1 ANEXOS.....	61
6.1.1 Mapa de Localização do distrito de Mavago.....	61
6.1.2 Antena Omnidireccional de 18dbi.....	62
6.2 BIBLIOGRAFIA.....	64

Lista de Figuras

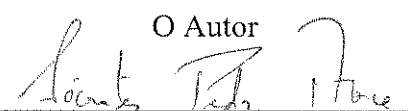
Figura 1. Rede de Telefonia Celular	25
Figura 2. . Estação Rádio Base	25
Figura 3. Reuso de Frequência 1 para 73	26
Figura 4. Arquitectura da Rede GSM	31
Figura 5. Célula de Silício Mono Cristalino	40
Figura 6. Células de Silício Policristalino	41
Figura 7. Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico	42
Figura 8. Configuração Básica dum Sistema Fotovoltaico Isolado	43
Figura 9. Exemplo de Sistema Híbrido	44
Figura 10. Sistema Conectado à rede	45
Figura 11. Curva característica de um módulo fotovoltaico	46
Figura 12. Conexão de Células em Paralelo	47
Figura 13. Arranjo de Células em Série	48
Figura 14. Possível ligação para um diodo “ByPass” entre células	49
Figura 15. Diodo de Bloqueio	49
Figura 16. Digrama de Irradiação de um Dipolo Omnidireccional	58

Lista de Tabelas

Tabela 1. Dados Solarimétricos do distrito de Mavago	53
Tabela 2. Levantamento de Cargas para a Estação Rádio Base	54

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Eu, Sócrates Pedro Titoce, nascido aos 15/01/1988, portador do BI no 110100021744N emitido aos 04/12/09 pelo Arquivo de Identificação Civil De Maputo, candidato ao grau de Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações pela Escola Superior de Ciências Náuticas, declaro por minha honra que o presente trabalho é, inteiramente, da minha autoria e que nunca antes tinha sido elaborado nem apresentado para avaliação.

O Autor


Sócrates Pedro Titoce

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, *Pedro José Titoce e Ana Maria Cuna*, e aos meus irmãos, *Euroflim Jorge Titoce e Nirle de Hildibranda Eneida Titoce*, pelo estímulo e compreensão fornecidos no desenvolvimento deste trabalho final de curso..

A meu supervisor Eng^o. Rafael Mendes pela orientação e dedicação de ensino.

Aos docentes e colegas da Escola Superior de Ciências Náuticas, pelo conhecimento fornecido e pelo confortável ambiente de trabalho.

Aos meus amigos, que pela intensidade de convívio, já fazem parte da minha família.

A toda minha família, pela união e tranquilidade, que proporcionaram o ambiente favorável em que foi desenvolvido este trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, *Pedro José Titoce* e *Ana Maria Cuna*, aos meus irmãos *Euroflim Jorge Titoce* e *Nirle de Hildibranda Titoce*, aos meus familiares e a todos colegas/amigos que directa ou indirectamente deram-me forças e motivação para elaboração do presente trabalho.

Lista de Abreviaturas e Siglas

AuC – Autentification Centre

BCCH – Broadcast Control Channel

BSC - Base Station Controllers

BSS - Base Station Subsystem

BTS - Base Transceiver Station

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CDMA – Code Division Multiple Access

DCS – Digital Cellular System

EIR - Equipment Identity Register

ERB - Estação Rádio Base

FDMA – Frequency Division Multiple Access

FM – Frequency Modulation

GPRS - General Packet Radio Service

GSM - Global System for Mobile Communications

HLR - Home Location Register

IDU – Indoor Unit

IMSI - International Mobile Subscriber Identity

IP – Internet Protocol

IS-136 – International Standart -136

IS-41 – International Standart-41

IS-95 – International Standart-95

ISDN – Integrated Services Digital Network

ITU – International Telecommunication Union

MMS - Multimedia Messaging Service

MSC - Mobile-Services Switching Centre

NSS – Network and Switching Subsystem

ODU – Outdoor Unit

OSS – Operation Support Subsystem

QoS - Quality of Service

SMS – Short Message Service

TCH – Traffic Channel

TDMA – Time Division Multiple Access

VLR - Visitor Location Register

VSAT - Very Small Aperture Terminal

WCDMA – Wide-Band Code-Division Multiple Access

RESUMO

Com o advento das telecomunicações e da crescente demanda de fluxo de transmissão, as grandes operadoras e os grandes fabricantes de aparelhos celulares procuram expandir ainda mais o espaço da telefonia móvel no mundo sem produzir ruído ou qualquer tipo de poluição.

Este projecto visa dimensionar uma Estação Rádio Base, para o distrito de Mavago, alimentada com uma fonte de energia alternativa, neste caso o Sol. Primeiramente, é apresentado um histórico do serviço celular móvel, sistemas precursores e sua evolução. Em seguida, são expostos os padrões mais difundidos, suas características e especificações, bem como nomenclaturas e simbologias. Depois, é apresentado o padrão de rede GSM e sua evolução para redes de pacotes (GPRS) classificada comercialmente como rede 2.5G. Logo a seguir, é realizado estudo da energia solar (fotovoltaica), seu histórico, características, modos de configuração e suas principais aplicações e vantagens. E por fim, é dimensionado a Estação Rádio Base alimentada com energia fotovoltaica.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O uso crescente de aparelhos celulares leva a um crescente estudo no sector das telecomunicações, procurando cada vez mais, regular o seu uso e atender às crescentes demandas no atendimento aos seus consumidores. Com isso o aumento do número de implantação de Estações Rádio Base se faz necessário, uma vez que a cobertura e demanda de atendimento dos assinantes da telefonia móvel cresce e, com isso, o aumento da demanda de energia eléctrica destas Estações Rádio Base (também cresce). Assim sendo a energia solar (fotovoltaica) poderá ser bem mais utilizada, principalmente em regiões remotas em que a rede de distribuição de energia convencional não alcançou e, que se faz necessário a implantação de Estações Rádio Base.

A geração de energia eléctrica através da luz solar se dá através do uso de captadores, chamados *paineis fotovoltaicos*. Os painéis são compostos por materiais semicondutores que reagem na presença da luz, deslocando electrões e, por conseguinte geram corrente eléctrica.¹

Neste contexto a implantação de uma Estação Rádio Base em Mavago faz-se necessário uma vez que é um distrito com uma densidade populacional de 2,20 h/km² e em constante crescimento tanto populacional como económico², daí o objectivo principal deste trabalho é exactamente dimensionar e propor o uso da energia solar para alimentação de uma Estação Rádio Base (ERB) nesta região do país.

¹Disponível em http://wikipedia.org/wiki/Energia_solar acessado em 20.mar.2010

²Disponível em www.ine.gov.mz acessado em 24.mai.2010

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

De forma sucinta a estrutura do trabalho será:

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: apresenta o tema do trabalho, o problema de pesquisa, as justificativas/motivações para a elaboração do projecto e a metodologia de pesquisa.

Capítulo 2 - TELEFONIA CELULAR: neste capítulo apresenta-se uma visão real e genérica sobre o funcionamento da rede de telefonia celular, suas gerações, padrões e tecnologias.

Capítulo 3 – Arquitectura do Sistema GSM: neste capítulo apresenta-se uma análise específica da rede GSM, sua arquitectura, estrutura e serviços, com principal foco no serviço GPRS.

Capítulo 4 – ENERGIA SOLAR: neste capítulo apresenta-se uma visão geral sobre esta fonte de energia renovável. É neste capítulo que serão apresentados os tipos de painéis fotovoltaicos existentes, suas características e os seus respectivos princípios de funcionamento.

Capítulo 5 – ESTUDO DE CASO: apresenta o projecto de dimensionamento da ERB alimentada com energia fotovoltaica para o distrito de Mavago.

Capítulo 6- CONCLUSÃO: capítulo final do trabalho, apresentando a conclusão a respeito do projecto e proposta de futuros trabalhos.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

A área das telecomunicações em Moçambique vem crescendo rapidamente e o nível de concorrência entre as operadoras de telefonia móvel também, tendo em conta esses aspectos urge a necessidade de se expandir a rede de telefonia móvel para as zonas remotas em que a rede de distribuição eléctrica convencional ainda não alcançou (ou que alcançou mas o fornecimento de energia é feito de uma forma deficiente) com intuito de se beneficiar todos moçambicanos com os serviços da telefonia móvel. De referir que actualmente o distrito de Mavago dispõe de serviços de telefonia móvel fornecido por uma das operadoras, neste caso a Moçambique Celular (Mcel) mas que no entanto o fornecimento de energia eléctrica á ERB é feito por um sistema híbrido constituído por painés solares e geradores a *diesel*, sistema este que por vezes não tem bom desempenho em virtude de algumas vezes o gerador não arrancar, sendo assim necessário a deslocação de um recurso humano da empresa para colmatar tal situação. É nesse contexto que surgem as seguintes questões de pesquisa, que servem de base para elaboração do presente projecto:

1. Quais as condições para implantação de uma ERB alimentada com energia solar (fotovoltaica)?
2. É possível alimentar uma ERB com um sistema fotovoltaico isolado?
3. Qual é a necessidade e vantagem do uso de energia fotovoltaica em relação a energia tradicional?
4. Em que locais podem ser implantados ERB's alimentados apenas com energia fotovoltaica?
5. Qual é o impacto sócio-económico do uso deste tipo fonte de energia para alimentação de ERB's?

1.3 OBJECTIVOS

1.3.1 Objectivo Geral

Analisar a viabilidade técnica de utilização de células fotovoltaicas na alimentação de energia eléctrica de uma Estação Rádio Base no distrito de Mavago.

1.3.2 Objectivos Específicos

1. Analisar e caracterizar o princípio de funcionamento de uma rede de telefonia celular;
2. Avaliar a capacidade de utilização de células fotovoltaicas na alimentação da ERB;
3. Analisar uma alternativa de alimentação eléctrica de mínimo impacto ambiental e alta confiabilidade;
4. Projectar e Dimensionar a Estação Rádio Base alimentada com energia fotovoltaica.

1.4 HIPÓTESES

As vantagens do investimento da energia solar nesta região (Mavago) são animadoras, pois ela apresenta-se como uma fonte permanente, limpa, não trazendo prejuízos para a saúde da população.

Além dos aspectos supracitados existem ainda outros aspectos positivos advindos da implantação de ERB's alimentadas com energia fotovoltaica, que são:

1. Estações Rádio Base situadas em locais recônditos aumentam muita sua confiabilidade quando alimentadas localmente com sistemas fotovoltaicos em vez de redes eléctricas pois a primeira apresenta-se como uma fonte permanente e limpa;
2. Redução do impacto ambiental causado pelas Estações Rádio Base tradicionais pois as alimentadas com energia fotovoltaica consomem 60% menos de energia que as tradicionais;³
3. Expansão da rede de telefonia móvel para as diversas regiões recônditas do país;

³ Disponível em www.permacoletivo.files.wordpress.com/.../curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf acessado em 05.fev.2010

1.5 JUSTIFICATIVA

As redes eléctricas tradicionais podem trazer para dentro da instalação do consumidor distúrbios eléctricos que podem ocasionar danos a equipamentos e seres vivos pois os equipamentos electrónicos são muito sensíveis a surtos de tensão provocados principalmente por descargas atmosféricas, muito comuns em redes de distribuição tradicional.

Sabe-se que em Moçambique a distribuição de energia eléctrica nas regiões recônditas é feito de uma forma deficiente e que assim sendo as Estações Rádio Base situadas nessas regiões normalmente não têm uma boa performance em virtude desse aspecto. Neste caso o uso de energia fotovoltaica para alimentar ERB's faria com que o distrito de Mavago estivesse ligado as restantes regiões do país através da rede de telefonia móvel, e desta maneira aproximadamente 20.308 habitantes⁴ deste distrito seriam beneficiados com os serviços de telefonia móvel.

De salientar que com projectos similares a este Estações Rádio Base poderão ser implementados em outras regiões recônditas do país.

⁴ Dados do Censo Geral da População de 2007. Disponível em www.ine.gov.mz acessado em 12.mar.2010

1.6 MOTIVAÇÃO

A pesquisa se torna interessante, pois segundo as entrevistas feitas pode-se notar que poucas pessoas sabem da possibilidade de se alimentar uma ERB usando energia solar.

* Outro factor que contribui para a escolha e desenvolvimento do presente projecto é o facto desta forma de energia renovável garantir uma produção a larga escala de energia eléctrica mas com um menor impacto ambiental em relação as fontes energéticas tradicionais.

Acrescente-se ainda a este interesse, questões relacionadas a possibilidade de se realizar uma pesquisa que cumpra um papel responsável com a sociedade, devolvendo-lhe informações úteis ao encaminhamento de acções impulsionadoras do desenvolvimento, contribuindo, no entanto, com uma utilização de uma fonte de energia limpa e renovável.

1.7 METODOLOGIA

A metodologia a ser usada será “estudo de caso” onde a pesquisa será caracterizada por trabalho de campo por meio de entrevista estruturada, aplicada a empresa de telefonia móvel, Moçambique Celular (MCEL).

Sendo assim, a elaboração do trabalho consistirá em três etapas:

1º. Etapa de pesquisa

A revisão bibliográfica constitui o tipo de pesquisa que vai ser mais utilizado nesta etapa. No qual a partir das referências teóricas publicadas, manuais disponíveis na Internet, trabalhos finais de curso e outros documentos pertinentes ao assunto vai se procurar conhecer e analisar as contribuições científicas do passado e do presente existente sobre o tema.

2º. Etapa de pesquisa

Nesta etapa vai-se priorizar a entrevistas estruturadas na empresa de telefonia móvel supracitada e entrevistas não estruturadas na Electricidade de Moçambique (EDM), Instituto Nacional de Estatística (INE), Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) com o intuito de se obter dados precisos e fiáveis acerca do fornecimento de energia, mapa de distribuição populacional /territorial e por fim condições climáticas do distrito de Mavago.

3º. Etapa de pesquisa

A terceira e última fase de pesquisa incidirá no dimensionamento e conclusão sobre a análise da viabilidade técnica e económica do uso de Estações Rádio Base alimentadas com um sistema de energia fotovoltaica isolado.

GLOSSÁRIO

Antena: estrutura fundamental para transmissão e recepção de sinais electrónicos. Nos telefones celulares, a antena é uma pequena vareta metálica retrátil ou embutida no aparelho.

Antena Omnidireccional: é aquela que irradia no plano horizontal formando um ângulo de 360°.

Antenas Sectoriais: são aquelas que possuem um sector de 120° na emissão de informação.

Banda: nome que designa uma faixa de frequência delimitada no espectro magnético. A autoridade que regulamenta as telecomunicações reserva uma banda para cada tipo de serviço, para evitar interferências entre os sinais. Para o caso de Moçambique o organismo regulador é o Instituto Nacional de Comunicações de Moçambique (INCM).

Canal: percurso definido para a transmissão eléctrica entre dois ou mais pontos. Também denominado de enlace, linha, circuito ou instalação.

ERB (Estação Radio Base): antena utilizada na telefonia celular, que cobre uma determinada área geográfica (célula), com capacidade para atender um determinado número de assinantes simultâneamente.

GSM (*Global System for Mobile Communications*): padrão digital para telefonia móvel amplamente usado na Europa e cuja presença está aumentando na África Austral, inclusive em Moçambique. Suas especificações são abertas e favorecem a mobilidade do assinante (roaming). Em Moçambique o padrão está sendo desenvolvido e implementado para o uso de serviços multimídia de terceira geração (3G).

ITU (*International Telecommunications Union*): órgão internacional vinculado à Organização das Nações Unidas que actua como comité consultor internacional na recomendação da padrões de telecomunicações.

Link: conexão estabelecida entre dois pontos de uma rede de comunicação. Diz-se que o *link* está estabelecido quando as duas pontas estão efectivamente conectadas, o que pode ser indicado por uma luz de controle (LED) no aparelho de rede. Em *broadcasting*, é o termo usado para representar a transmissão entre unidades móveis e a sede da emissora, ou entre a conexão estabelecida com satélites e estações terrestres.

Microondas: onda electromagnética que vibra a 1 GHz ou mais e corresponde a um comprimento de onda inferior a 30 cm.

Operadora: empresa que possui a concessão para oferecer um serviço público de comunicação de voz ou dados. É adoptado como referência para as empresas de telefonia fixa, celular, de longa distância ou transmissão de dados.

PCM (*Pulse Code Modulation*): é um procedimento para a adaptação, durante a transmissão, de um sinal analógico (como voz) num feixe digital de bits a 64 Kbps.

Satélite: equipamento de comunicação que gira sobre a órbita terrestre. Seu funcionamento consiste em reflectir sinais de microondas enviados da superfície da Terra para outro satélite ou directamente para uma antena no solo. Surgido na esteira da corrida espacial, o satélite viabiliza a transmissão de sinais de telefonia e dados para todo o mundo, aproveitando o facto de estar acima do obstáculo representado pela curvatura terrestre.

SMS (*Short Message Service*): Tecnologia que habilita telefones celulares a receber e enviar mensagens alfanuméricas.

Transmissão: transferência de dados por um canal de comunicação. Existem várias modalidades de transmissão: analógica, assíncrona, serial e síncrona.

CAPÍTULO II

2. Telefonia Celular

Toda comunicação feita através do ar, considerado como meio de ligação, para transmitir a informação ou voz baseia-se em ondas electromagnéticas. Exemplos de aparelhos que utilizam este tipo de propagação são o radar, satélites, as emissoras de rádios, os aparelhos celulares, dentre outros. Pode-se destacar também que a energia eléctrica ao ser transmitida ou transformada gera ondas electromagnéticas que acabam interferindo em nosso meio.

O aparelho celular comunica, via ondas electromagnéticas, com as antenas que estão no topo das torres (ERB – Estação Rádio Base). Em alguns casos, as antenas das ERB's são instaladas nos topos de edifícios ou nas margens dos mesmos, sendo a torre substituída pelo edifício para a sustentação das antenas. Em outros casos, são instalados em ambientes fechados, dentro de edifícios, sendo chamados de ERB *indoor*.

Estas ERB's são imprescindíveis para um telefone celular poder operar, fazendo a intercomunicação com uma *Mobile-Services Switching Centre* (MSC), ou seja, com uma Central de Comutação de Controle. É no MSC que ocorrerá a conexão entre os usuários com as demais operadoras, celulares ou fixas, quando a ligação é completada.

Toda regulamentação que se aplica ao serviço de telefonia celular, fixa ou rádio comunicação em Moçambique é da responsabilidade do Instituto Nacional de Comunicações de Moçambique (INCM).⁵

⁵Disponível em www.incm.gov.mz acessado em 24.mai.2010

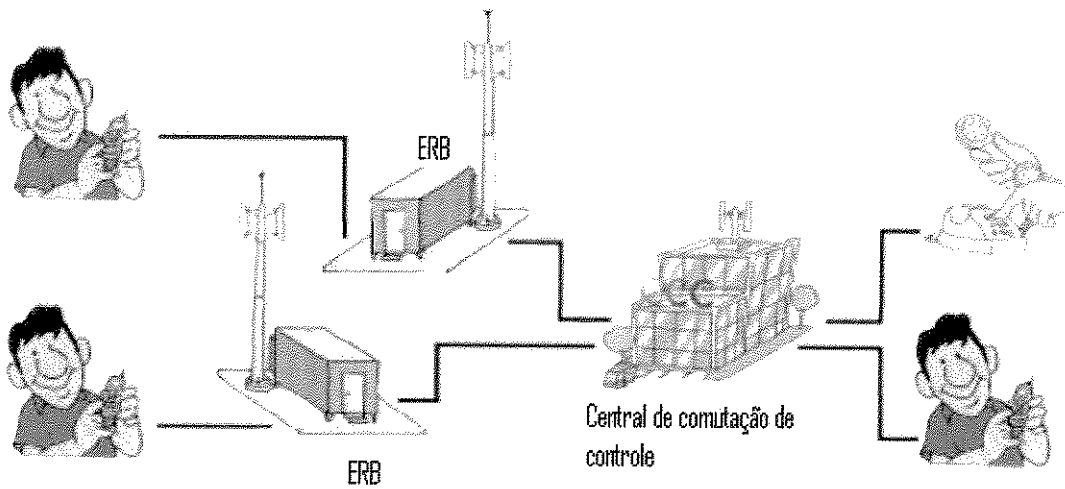


FIGURA 1. Rede de Telefonia Celular [9]

Para a implantação e otimização da telefonia celular, é necessário dividir uma área geográfica em pequenas *células hexagonais*, que formam uma área de cobertura, cada uma dispoñdo de uma ERB e de conjuntos de antenas para supervisão e controle das rádios frequências disponíveis, que serão responsáveis pela comunicação com o aparelho celular. Na **Figura 2** pode se observar um exemplo de uma Estação Rádio Base.

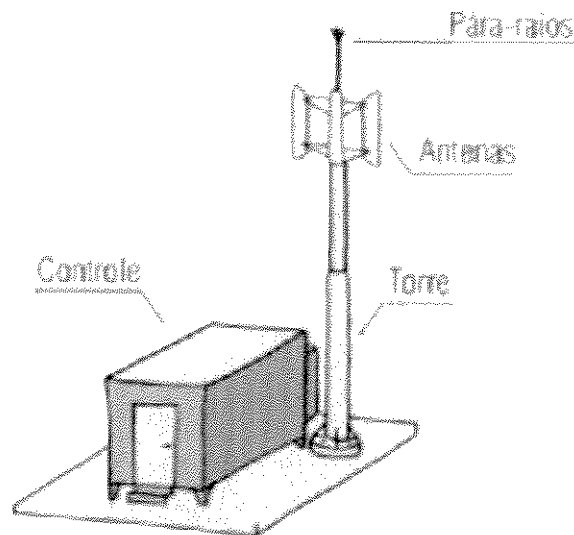


FIGURA 2. Estação Rádio Base [9]

O tamanho de cada *célula hexagonal* é definido através da potência dos transmissores das ERB's, do telefone celular e pela atenuação do sinal. Por isso que é necessária a instalação de um número maior de ERB's a fim de atender melhor os assinantes. A única forma de prestar o serviço celular é através de instalação de antenas de baixa potência, distribuídas em diversos locais, onde se encontram as pessoas que vão utilizar o serviço, e assim sendo quanto maior for o número de antenas menor é a potência de cada uma.

Cada célula possui um grupo específico de rádios frequências e como existe um número limitado de rádios frequências disponíveis, para comunicação, elas são utilizadas mais de uma vez. A fim de se evitar que haja interferência entre células vizinhas, o reuso de uma rádio frequência não pode ser utilizado nas fronteiras de cobertura destas células vizinhas. O padrão de reuso de frequências conhecido como 1 para 73 é normalmente utilizado em telefonia celular e está ilustrado na **Figura 3**.

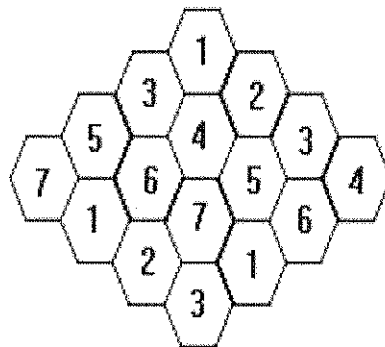


FIGURA 3 – Reuso de Frequência 1 para 73 [9]

2.1 Gerações da telefonia Celular

O termo GSM pode ser usado colectivamente para descrever os padrões GSM900 e DCS1800. Em todos aspectos, o GSM900 e o DCS1800 são iguais. Basicamente foram definidas as seguintes gerações de telefonia celular móvel:

1ª Geração

O GSM900 é o sistema original também conhecido como GSM primário. Este sistema utiliza frequências na banda de 900 MHz, tendo sido projectado para operação celular em uma área ampla. Utiliza unidades móveis com valores de potência de saída de 1 a 8W.

Características

- Ocupa 2 bandas de 25 MHz cada (*uplink* na banda de 890 a 915 MHz, *downlink* em 935-960 MHz);
- 125 portadoras de 200 KHz (16 por célula com $N=7$), numeradas de 0 a 124;
- 8 slots de tempo por portadora.

O GSM900 oferece uma largura de banda maior e mais canais, denominados E-GSM (GSM de banda estendida) e menores níveis de controlo de potência para as unidades móveis, permitindo a operação com microcélulas.

2ª Geração

O DCS1800 é uma adaptação do GSM900. O termo GSM pode ser usado colectivamente para descrever os padrões GSM900 e DCS1800. A criação do DCS1800 envolveu a ampliação das bandas reservadas ao GSM e a passagem destas a 1,8 GHz. O padrão DCS1800 foi criado para permitir a formação das PCN (Redes de Comunicações Pessoais), aumentando a concorrência no mercado de comunicações celulares.

Características

- Análogo ao GSM (mesmas mensagens, arquitectura, etc)
- Banda de 1800 MHz (1710 à 1785 MHz para *uplink*, e de 1805 à 1880 MHz *downlink*) oferece espaço para 374 canais de 200 KHz.

* Geração 2,5

Tecnologia intermediária entre a 2G da telefonia móvel e a 3G. Permite que celulares tenham acesso rápido à internet móvel, conexão permanente e uma vasta gama de serviços. Mensagens

instantâneas, serviços de localização baseados no sistema de GPS e jogos são apenas algumas das aplicações. 2,5G é uma tecnologia representada pelas transmissões por pacotes e, principalmente, pelos serviços diferenciados, possíveis pelo aumento das velocidades.

3ª Geração *explicar melhor*

A Terceira Geração de sistemas celulares (3G) oferece serviços de dados sem necessidade de estabelecimento de uma conexão (conexão permanente) e taxas de até 2 Mbps. Os principais sistemas são: o WCDMA e o CDMA2000 1xEV.

4ª Geração

A quarta geração de telefones celulares ainda está em desenvolvimento, mas promete velocidades de transmissão bastante superiores aos celulares 3G. Com esta tecnologia todos os serviços deverão ser prestados tendo como premissas a otimização do uso de espectro, troca de pacotes em ambiente IP, grande capacidade de assinantes simultâneos, banda mínima de 100 Mbit/s para assinantes móveis e 1 Gbit/s para estações fixas, interoperabilidade entre os diversos padrões de redes sem fio.

2.2 Padrões de Tecnologia

2.2.1 AMPS

O AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) foi o padrão dominante para os sistemas celulares analógicos de primeira geração. Foi desenvolvido pelos Laboratórios Bell da AT&T e os primeiros sistemas entraram em operação em 1983 nos Estados Unidos tendo sido posteriormente adoptado por vários países. No AMPS a comunicação entre terminal móvel e ERB é feita na faixa de 800 MHz através de sinais analógicos em canais de 30 kHz.

2.2.2 TDMA (IS 136)

O TDMA (*Time Division Multiple Access*), padronizado pelo IS 54 e, posteriormente, aperfeiçoado pelo IS 136, é um padrão desenvolvido para aumentar a capacidade de sistemas AMPS pelo aumento do número de assinantes compartilhando o canal de 30 kHz. A utilização de canais digitais de comunicação entre terminal móvel e ERB permite que até 3 assinantes compartilhem um mesmo canal pela utilização de diferentes *slots* de tempo.

2.2.3 CDMA (IS 95)

O CDMA (*Code Division Multiple Access*), padronizado pelo IS 95, é um padrão que revolucionou os conceitos empregados na comunicação entre terminal móvel e ERB. No lugar de dividir a banda disponível em canais que seguem um padrão de reuso de frequências o CDMA consegue atingir uma grande capacidade de assinantes pela utilização de *spread spectrum* em uma banda de 1,25 MHz onde para cada comunicação utiliza-se um código de espalhamento espectral do sinal diferente. O número de assinantes em uma célula é limitado pelo nível de interferência presente que é administrado através de controlo de potência e outras técnicas. O objectivo é diminuir a interferência em células adjacentes que utilizam a mesma banda de frequências, mas com códigos diferentes.

2.2.4 GSM

O GSM (*Global System for Mobile Communication*), originalmente conhecido como Groupe Special Mobile, é um padrão digital de segunda geração do celular desenvolvido na Europa para substituir os diferentes padrões analógicos utilizados pelos países europeus nas faixas de 800 e 450 MHz. Ele utiliza canais de 200 kHz na faixa de 900 MHz e foi desenvolvido, posteriormente, uma versão adaptada para as faixas de 1800 e 1900 MHz.

A gestão das frequências na rede GSM é feita através de uma combinação de duas tecnologias: FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*) para interface de ar, sendo utilizada geralmente a banda de 900 MHz ou a de 1800 MHz, ou ainda as duas bandas em simultâneo.

O FDMA divide os 25 MHz disponíveis de frequência em 124 canais com uma largura de 200 kHz e uma capacidade de transmissão de dados na ordem dos 270 Kbps. Uma ou mais destas frequências é atribuída a cada ERB e dividida novamente, em termos de tempo, utilizando o TDMA, em oito espaços de tempo (*timeslots*). Esta divisão de tempo também é chamada de *full rate*. As redes também podem dividir as frequências em 16 espaços, processo designado como *half-rate*, mas a qualidade da transmissão é inferior.⁶

⁶ Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/GSM> acessado em 19.maio.2010

Cada assinante tem uma taxa de transmissão bruta de 33,854 kbps, o que permite transmitir voz a 13 kbps. A voz é codificada de uma forma complexa, de forma que erros na transmissão possam ser detectados e corrigidos. Cada terminal deve possuir uma agilidade de frequência, podendo deslocar-se entre os *timeslots* utilizados para envio, recepção e controle dentro de um *frame* completo.

Actualmente, este padrão é adoptado pela Europa, por diversos países asiáticos, América e inclusive por Moçambique.

No capítulo 3, serão especificadas as características da rede celular GSM e será mostrada a sua respectiva arquitectura.

CAPÍTULO III

3. Arquitectura do Sistema GSM

A arquitectura do sistema GSM, foi desenhada de forma a minimizar a complexidade das estações base de transmissão, para em caso de alterações topológicas, como a criação ou sectorização de células, o custo seja o menor possível. Outro conceito importante em conta no desenho, foi a gestão e manutenção centralizada da rede como a interligação a outras redes, particularmente á rede fixa.

A estrutura básica do GSM, apresentada na **Figura 4**, é similar a dos outros sistemas celulares, oferecendo as mesmas funcionalidades desses sistemas associadas à mobilidade, tais como: *roaming* e *handover* entre células.

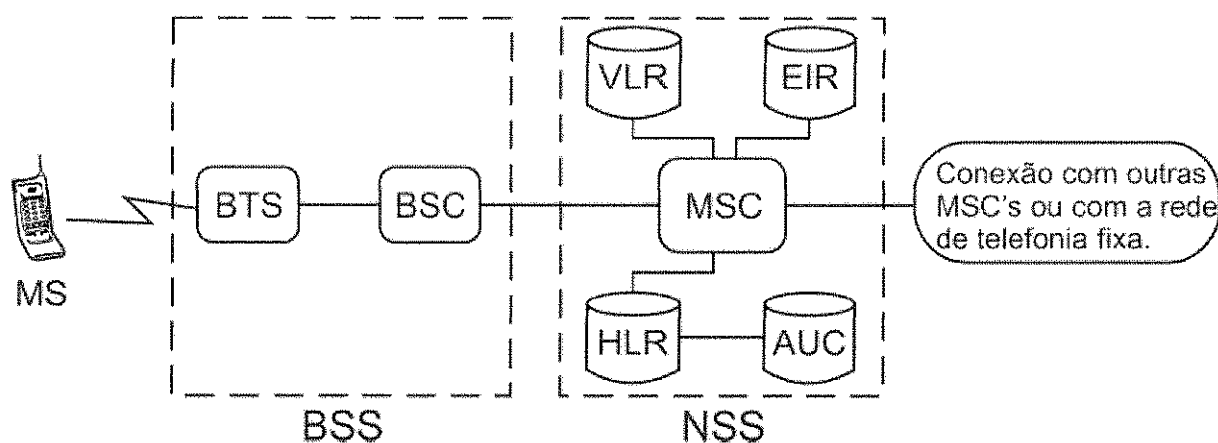


FIGURA 4. Arquitectura da Rede GSM

Basicamente a estrutura da rede GSM consiste em três subsistemas interconectados que interagem entre si e com os assinantes através de interfaces de rede. Esses subsistemas são:

1. Subsistema Estação Rádio Base (*BSS – Base Station Subsystem*)
2. Subsistema de Rede e Comunicação (*NSS – Network and Switching Subsystem*)
3. Subsistema de Suporte e Operação (*OSS – Operation Support Subsystem*)

Além dos 3 subsistemas principais, também fazem parte da rede GSM os seguintes:

3.1 Mobile Station (MS)

É o terminal utilizado pelo assinante. Possui um cartão chamado de “*SIM card*”, que contém todos os dados do mesmo, assim como todas as funções pré-inscritas, dando assim uma versátil mobilidade de comunicação, pois esse cartão pode ser inserido em qualquer outro aparelho e usufruir dos serviços da rede GSM. Esse cartão possui uma identificação única, assim como o terminal, dando uma maior segurança e mobilidade pessoal. A estação móvel apesar de também ser considerada um subsistema, normalmente é tratada como parte do BSS, por propósito de arquitectura.

3.2 Mobile-Services Switching Centre (MSC)

É a central responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas em uma área geográfica designada como a área do MSC. Na estrutura lógica da rede o MSC é tratado como parte do NSS e define um de seus principais equipamentos.

3.3 Base Station Subsystem

O BSS é um conjunto de equipamentos que provê e administra o canal entre a estação móvel (MS) e a central de comutação MSC, bem como faz a gerência da interface de rádio entre as estações móveis e todos os demais subsistemas pertencentes às redes GSM.

Cada BSS da rede é constituído de um conjunto de controladores de estações rádio BSC's (*Base Station Controllers*), as quais conectam os terminais móveis à MSC através de uma BTS (*Base Transceiver Station*). A BTS faz a interface rádio com a estação móvel e é gerenciado pela MSC.

3.4 Network and Switching Subsystem

O NSS detém um sistema de administração das funções de comutação do sistema que permite as MSC's se comunicarem com outras redes, como a de telefonia pública comutada e a ISDN. No NSS encontram-se quatro bases de dados, sendo:

3.4.1 HLR (Home Location Register)

Mantém informações e localização de cada assinante que reside na mesma região onde actua uma MSC. Esse controle é feito através da IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) que é o número utilizado por cada assinante em um mercado GSM.

3.4.2 VLR (Visitor Location Register)

É uma base de dados temporária que armazena a IMSI e informações de assinantes para cada *roamer* que está visitando a área de cobertura de uma MSC particular. Quando o *roamer* está devidamente registado no VLR, a MSC fornece informações ao HLR de tal forma que seus dados possam ser devidamente roteados na rede.

3.4.3 AUC (Authentication Center)

É uma base de dados fortemente protegida cuja função é manipular as chaves de autenticação e criptografia de cada assinante no HLR e no VLR. No AUC está contido o EIR o qual impossibilita duplicidade de registos no HLR ou no VLR.

3.4.4 EIR (Equipment Identity Register)

É a base de dados que armazena a *Identidade Internacional do Equipamento Móvel* (IMEI) dos terminais móveis de um sistema GSM.

3.5 Operation Support Subsystem

Este subsistema dá suporte para a realização de operações e manutenções do sistema GSM através de núcleos chamados OMC (Operations Maintenance Center). É nas OMC's que os engenheiros fazem o monitoramento, diagnosticam e resolvem problemas de todas as espécies no GSM. O OSS possui três funções principais:

1. Manter a operação de todo o hardware e rede de telecomunicações de um determinado mercado;
2. Gerenciar todo o processo de tarifação;
3. Gerenciar todos os terminais móveis do sistema.

3.6 Processo de efectuação e recepção de uma chamada

3.6.1 Efectuação

Cada telefone celular, transitando por uma determinada área, quando deseja fazer uma chamada, envia uma mensagem a ERB. Quando a ERB recebe ondas de rádio provenientes de telefones celulares, transmite-as para o MSC, que encaminha a chamada para outra ERB ou para a rede da linha fixa, conforme o tipo de chamada feita.

O MSC por sua vez conecta o telefone celular ao terminal o qual deseja manter uma comunicação. Esta comunicação é feita através de uma concessão de rádio-frequência disponível. Todas as transmissões são feitas com um canal de transmissão e outro de recepção, chamados de *uplink* (canal utilizado do celular para a ERB) e *downlink* (canal utilizado da ERB para o celular).

3.6.2 Recepção

Quando há uma chamada para um aparelho celular, a informação é enviada a MSC da operadora celular da qual o assinante é cliente, que se encarrega de localizar o número solicitado, através de sinais enviados a várias ERB's, que por sua vez repassam este sinal até encontrar o celular. A partir daí, o aparelho celular envia um sinal para a ERB que ele está conectado, fechando um fluxo de comunicação, através dos canais de *uplink* e *downlink*.

3.7 Serviços

A princípio a rede GSM procura oferecer serviços na rede móvel que estão disponíveis na rede de telefonia fixa, porém a estrutura flexível de seus canais físicos, bem como o seu sistema de sinalização dão liberdade à implantação de novos serviços. Estes serviços foram definidos nos seguintes grupos:

3.7.1 Bearer Services

explicar...

Serviços de Transporte de dados, para prover conexão entre dois elementos da rede. Taxas de 2400 a 9600 bits/s.

3.7.2 Teleservices

Serviços de comunicação entre assinantes como telefonia, SMS e Fax.

3.7.3 Serviços Suplementares

Diversos serviços suplementares são suportados pela rede GSM, dentre eles: Identificação de Número, Chamada em Espera, etc.

3.7.4 Serviços de Localização

Estes serviços além de permitir estimar com precisão a localização de um determinado terminal móvel, ainda servem de base para diversos outros serviços tais como: controle, monitoramento, localização e bloqueio de veículos e frotas pelo melhor custo-benefício do mercado.⁷

3.7.5 Serviços GPRS

Este serviço, que transfere dados por pacotes através de aparelhos móveis, aumenta a taxa de dados das redes GSM que nos antigos aparelhos era de 9,6 ou 14,4 Kbps. Em circunstâncias ideais, o GPRS pode operar a taxas de até 171,2 Kbps, o que ultrapassa a taxa de acesso de uma conexão ISDN, porém as estimativas mais realistas para as primeiras implementações é que a taxa de dados fique em torno de 40 Kbps utilizando um *timeslot* para *uplink* e três para *downlink*.

Sendo o GPRS um serviço “sempre activo”, ele dá as operadoras a possibilidade de fornecer a seus clientes acesso à Internet a um custo plausível, e ainda tarifar pela quantidade de dados transferidos e não somente pelo tempo de conexão.

A técnica de comunicação, utilizada pelo GPRS, é a *comutação de pacotes*, onde os recursos são alocados para o assinante somente quando for necessário enviar ou receber dados. Estes são enviados em pacotes, os quais são roteados pela rede juntamente com o tráfego de outros assinantes, permitindo que várias pessoas compartilhem os mesmos recursos, isto aumenta a capacidade da rede e permite que os recursos sejam gerenciados com eficiência.

⁷ Disponível em www.sascar.com.br/servicos/gsm-gps acessado em 04.set.2010

Por utilizar a comutação de pacotes, os telefones GPRS não necessitam de circuitos dedicados alocados para si. Dinamicamente é estabelecido um canal físico, que permanece enquanto os dados estiverem sendo transmitidos e poderá ser atribuído a outro usuário assim que for concluída a transmissão, tornando mais eficiente o uso da rede.

Por ter seus pacotes trafegando entre sua rede e redes TCP/IP, o GPRS inclui novos procedimentos de transmissão e sinalização, bem como novos protocolos para integração com o ambiente IP. Novos sistemas de detecção/correção de erros e múltiplos *timeslots* também são implementados no GPRS, o que permite operar com taxas de dados mais altas.

No próximo capítulo são apresentadas as fontes para produção de energia a larga escala através de fontes fotovoltaicas.

CAPÍTULO IV

4. Energia Solar

4.1 História da Célula Fotovoltaica

A conversão da energia solar em energia eléctrica é realizada através do efeito fotovoltaico observado por *Edmond Becquerel* em 1839, para tal foi observada uma diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura semicondutora, quando incidia uma luz sobre ela. Impulsionadas pelas novas descobertas da microelectrónica, em 1956 foram construídas as primeiras células fotovoltaicas industriais.⁸

O elevado custo na sua fabricação inviabilizava sua utilização prática a não ser em aplicações especiais, como sistema autónomo de fornecimento de energia eléctrica para satélites. Neste caso o custo não era um factor limitante e as características de confiabilidade e de baixo peso, tornaram as células fotovoltaicas a maneira mais conveniente e segura de gerar electricidade no espaço. Em estações remotas de telecomunicações foram empregadas células fotovoltaicas para o fornecimento de energia eléctrica, devido a comprovação das suas características e desempenho no espaço.

Outro agente impulsionador das pesquisas dessa tecnologia para aplicações diversas, inclusive para complementar o sistema eléctrico existente, foi a crise do petróleo em 1973. A energia solar passou a atrair o interesse da sociedade, com a possibilidade real do esgotamento das reservas petrolíferas. Mas o custo de produção das células era um factor preocupante em relação a quantidade de energia produzida por ela. Era preciso reduzir o custo significativamente por isso o desenvolvimento do mercado foi muito lento. Mas em 1978 a produção já chegava a 1 Mwp/ano. Com o aumento da escala de produção e a pesquisa de tecnologia em materiais usados na fabricação das células o custo e o preço começaram a diminuir. Após quinze anos a produção já alcançava 60 Mwp/ano.⁹

⁸ Disponível em: http://wikipedia.org/wiki/Energia_solar acessado em 20.mar.2010

⁹ Disponível em: www.agg.ufba.br/cier_solarfotovoltaica.pdf acessado em 12.jun.2010

A década de 90 marca o desenvolvimento acelerado da indústria fotovoltaica. Visando aumentar os horizontes para utilização em massa da energia solar como opção energética, inúmeros programas mundiais foram lançados para a demonstração de viabilidade técnica-comercial da energia solar fotovoltaica em projectos de electrificação rural nos países em desenvolvimento.

Passada a crise do petróleo, muitas empresas petrolíferas deixaram o ramo do desenvolvimento de novas células. Mas outros factores continuaram impulsionando a indústria: o fortalecimento do movimento de defesa do meio ambiente e o desenvolvimento do grande mercado da electrificação rural principalmente nos países subdesenvolvidos. A produção mundial em 1998 era prevista em torno de 100 Mwp/ano¹⁰. Hoje um dos maiores desafios que o sector enfrenta é a redução de custos dos sistemas fotovoltaicos. Com as novas tecnologias em desenvolvimento, principalmente a dos filmes finos, poderão provocar reduções significativas nos custos dos módulos fotovoltaicos. O desenvolvimento de modelos auto-sustentados de electrificação rural com sistemas fotovoltaicos é o maior desafio. O baixo nível cultural e económico da maior parte das populações limita o desenvolvimento do mercado.¹¹

4.2 A Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar é uma fonte de energia limpa e inesgotável, com um enorme potencial energético. Além disso, a descentralização de sua geração torna seu uso acessível a qualquer comunidade em qualquer local. A energia solar também apresenta facilidade e baixo custo da instalação, transmissão e manutenção, juntamente com a longa duração e estabilidade de um sistema adequadamente projectado, proporcionando grande satisfação e retorno do investimento ao usuário. As facilidades de um sistema fotovoltaico como modularidade, baixos custos de manutenção e vida útil longa, fazem com que sejam de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede eléctrica.

¹⁰ 1 Mwp - mega watt pico (condição de máxima potência)

¹¹ Disponível em: www.permacoletivo.files.wordpress.com/.../curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf acessado em 05.fev.2010

4.3 Radiação Solar

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este facto vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, eléctrica, etc.).¹² Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como *células fotovoltaicas*. Estas células são componentes optoelectrónicos que convertem directamente a radiação solar em electricidade.

4.4 Tipos de Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de *cristais monocristalino, policristalinos* ou de *silício amorfo*.

4.4.1 Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor directo de energia solar em electricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído.

A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado.

Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob os pontos de vista energético e de custo. Este silício para funcionar como células fotovoltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior, devendo chegar na faixa de 99,9%.¹³

¹² Disponível em <http://www.anatel.gov.br> acessado em 20.fev.2010

¹³ Disponível em www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.htm acessado em 05.maio.2010

As células são obtidas por corte das barras de dióxido de silício em forma de pastilhas quadradas finas (0,4 - 0,5 mm de espessura). A sua eficiência na conversão de luz solar em electricidade é de aproximadamente 12%. Isto significa que aproximadamente 12% da energia solar que incide sobre a célula é transformada em energia eléctrica e o restante é reflectido ou transformado em calor. A **Figura 5** mostra a estrutura de uma célula de silício monocristalino.

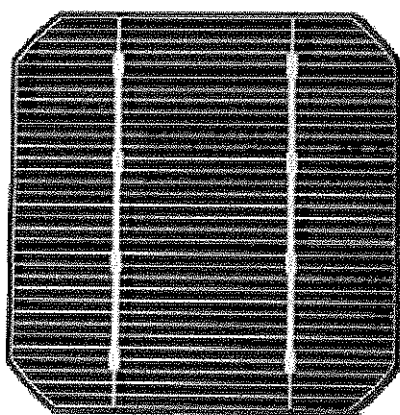


FIGURA 5. Célula de Silício Mono Cristalino [2]

4.4.2 Silício Policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino.

O processo de pureza do silício utilizado na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do silício monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menores rigores de controlo.

O processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais. A **Figura 6** ilustra uma célula de silício policristalino.

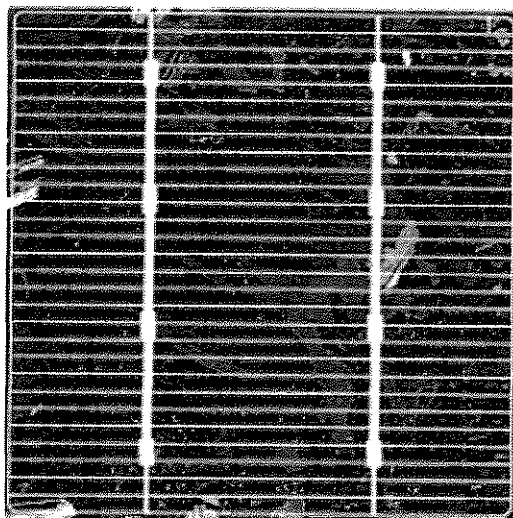


FIGURA 6. Células de Silício Policristalino [2]

4.4.3 Silício Amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação.

Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são

afectadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil.¹⁴

4.5 Classificação de Sistemas Fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: *sistemas isolados*, *híbridos* e *conectados a rede*. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento. A **Figura 7** ilustra a arquitectura básica de um sistema fotovoltaico.

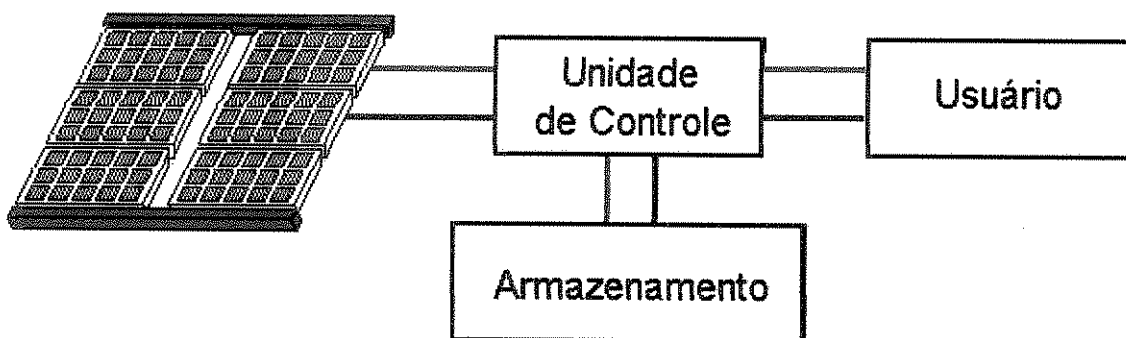


FIGURA 7. Configuração básica de um sistema fotovoltaico [7]

4.5.1 Sistemas Isolados

Também conhecidos como autônomos, isto é, independentes da rede elétrica convencional, estes sistemas utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento é obtido através de baterias, as quais são associadas a um dispositivo de controle de carga e de descarga. A **Figura 8** representa a configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.

¹⁴ Disponível em www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.htm acessado em 05.mai.2010

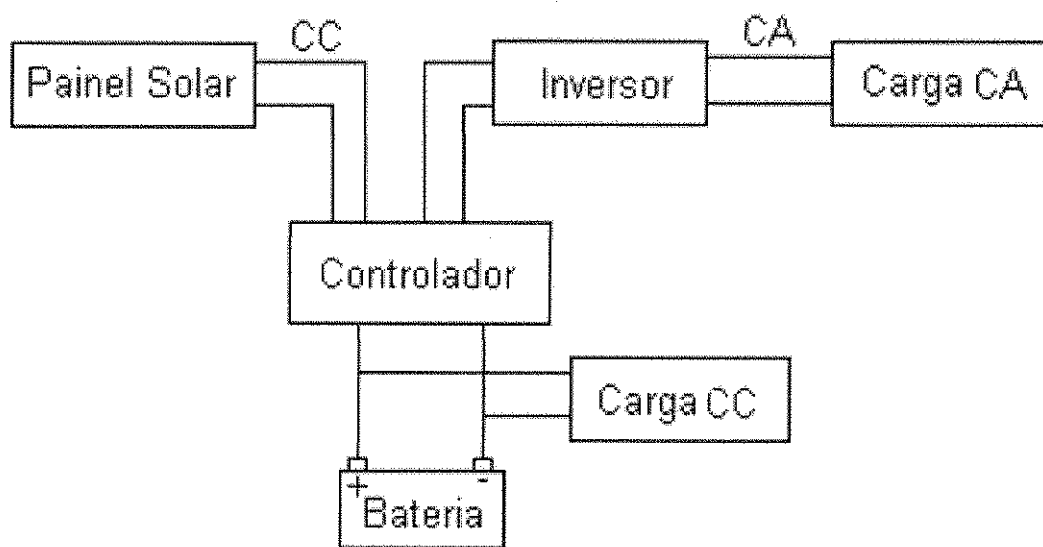


FIGURA 8. Configuração Básica dum sistema fotovoltaico isolado[6]

4.5.1.1 Princípio de Funcionamento

O painel solar, através dos módulos fotovoltaicos, carrega as baterias durante os períodos de insolação. Estas baterias fornecem energia eléctrica ao sistema. As cargas cc podem ser alimentadas directamente pela bateria. O inversor será necessário para a alimentação das cargas de corrente alternada (ca). O controlador de carga é responsável pela vida útil da bateria, impedindo-a de carregar ou descarregar demasiadamente. (ALVARENGA, 2001).

4.5.2 Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos são aqueles que, desconectado da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia eléctrica torna-se complexo na necessidade de optimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário. A **Figura 9** mostra o exemplo de um sistema híbrido.

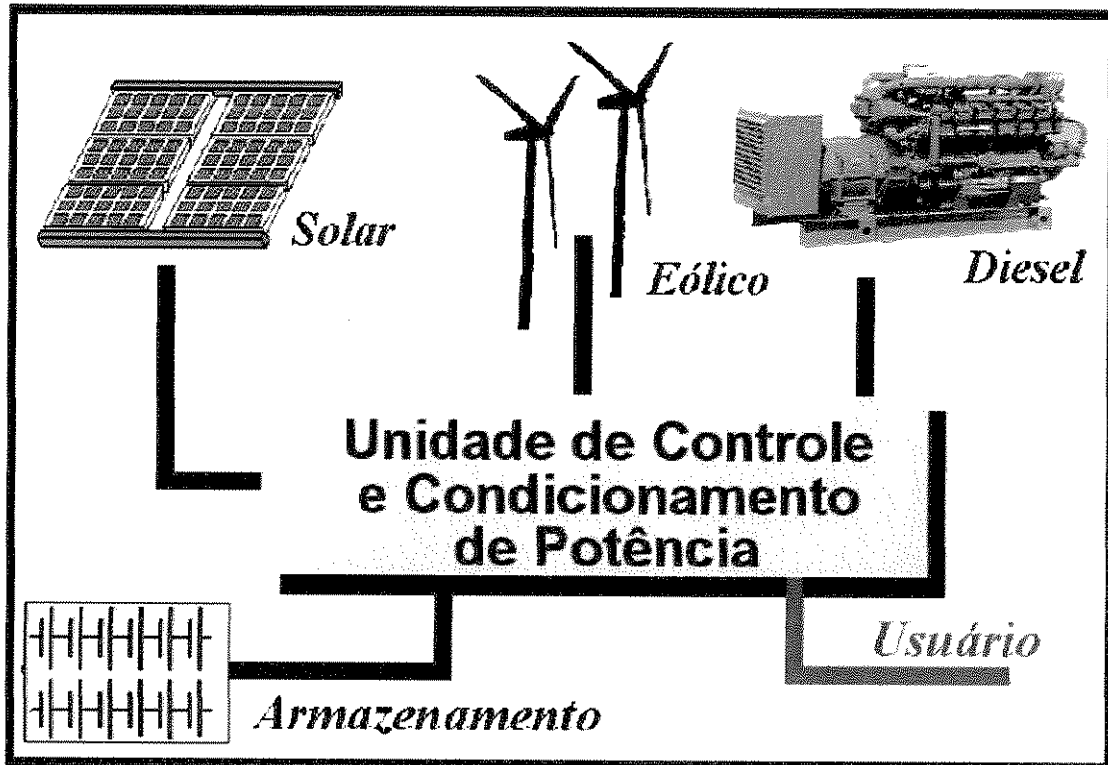


FIGURA 9. Exemplo de sistema híbrido [7]

Em geral, os sistemas híbridos são empregados para sistemas de médio a grande porte vindo a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um inversor.

4.5.3 Sistemas Interligados à Rede

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia pois toda a geração é entregue directamente à rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema eléctrico de grande porte ao qual esta conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados directamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afectada. A **Figura 10** ilustra um sistema interligado a rede.

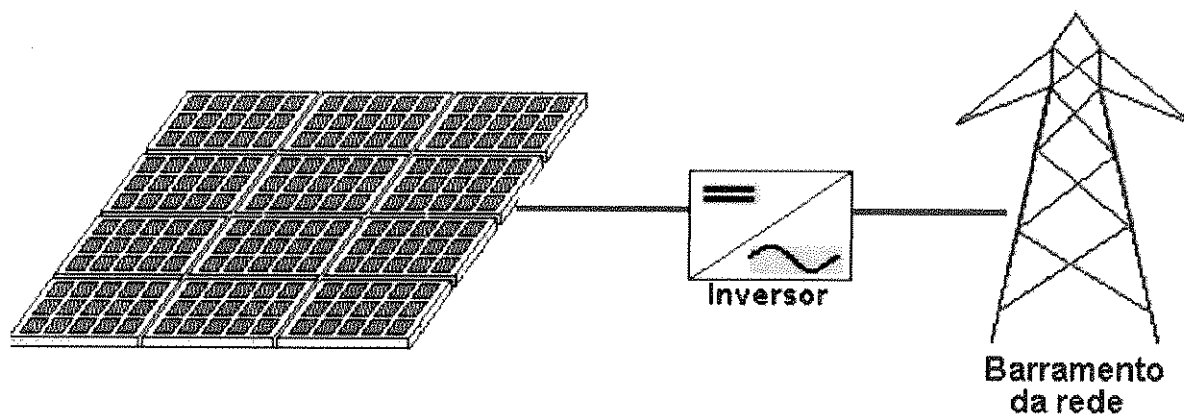


FIGURA 10. Sistema conectado à rede [7]

4.6 Características dos Módulos Fotovoltaicos

Quando o módulo está exposto ao Sol, ele gera energia eléctrica em corrente contínua, com uma intensidade dependente do nível da radiação solar e da temperatura ambiente. Dentre os vários parâmetros eléctricos característicos de um módulo, os mais importantes são a corrente e a tensão na saída, que revelam sua capacidade de gerar energia para o sistema.

A capacidade de um módulo fotovoltaico é dada pela sua potência de pico em Watt (Wp) que é o produto tensão x corrente. A condição padrão para determinação desta potência é definida para o módulo exposto a uma radiação solar de 1000 W/m^2 (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia) e temperatura ambiente de 25°C .¹⁵ Estas condições são de um dia ensolarado, ao meio dia, sem nuvens e temperatura amena. As medidas de tensão e corrente de um módulo, conectado a uma carga variável podem ser mostradas em um gráfico, que é chamado *curva característica do módulo*, básica para avaliar seu desempenho eléctrico e energético (ver fig. 11).

¹⁵ Valores definidos pela norma IEC 61215

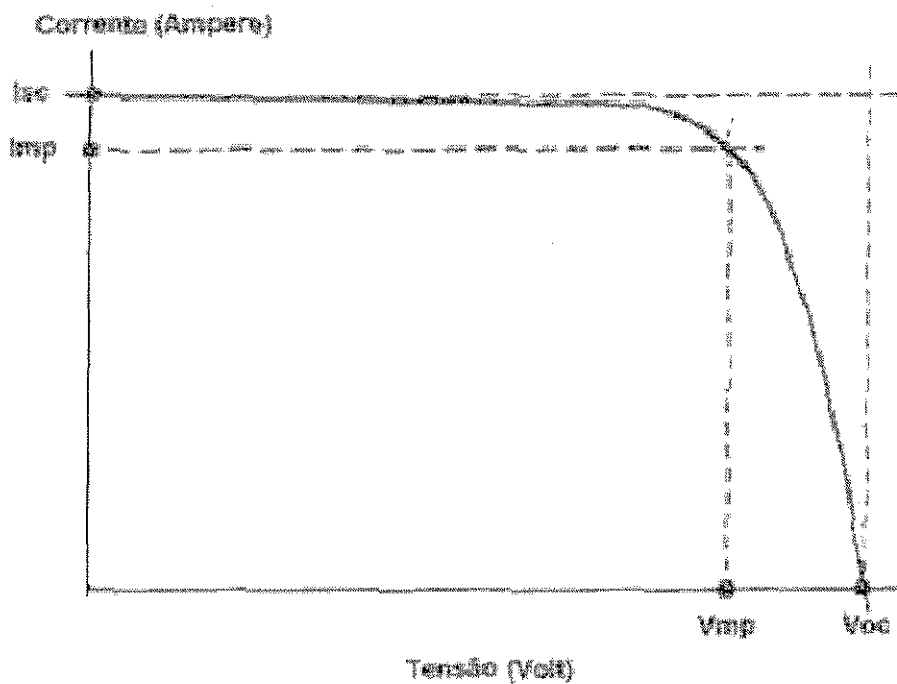


Figura 11. Curva característica de um módulo fotovoltaico [5]

Onde:

I_{sc} (*Corrente de curto-circuito*): é o valor máximo da corrente de carga, igual, portanto a corrente do efeito fotovoltaico;

V_{oc} (*Tensão de circuito aberto*): é máximo valor de tensão nos terminais do módulo fotovoltaico, quando nenhuma carga esta conectada a ele;

V_{mp} : Tensão de Máxima Potência;

I_{mp} : Corrente de máxima Potência.

A corrente eléctrica produzida varia significativamente com a intensidade da luz incidente. Já a tensão é fortemente influenciada pela temperatura. O aumento da intensidade da luz incidente no módulo aumenta a temperatura das células, diminuindo a tensão do módulo, e reduzindo sua eficiência. A tensão diminui significativamente com o aumento da temperatura enquanto que a corrente sofre uma elevação muito pequena. O ponto de potência máxima (P_m) é o ponto da curva $I \times V$ para o qual a máxima potência é extraída. Este ponto corresponde ao produto da tensão de potência máxima (V_{mp}) e corrente de potência máxima (I_{mp}), dado por:

$$P_m = I_{mp} \times V_{mp} \quad (1)$$

A carga é que determinará em que ponto da curva $I \times V$ o módulo fotovoltaico irá operar, determinando a corrente e a tensão nominal de operação (que depende da carga). Para cada ponto na curva $I \times V$, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação.

Pelas baixas tensões e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos podem ser feito conectando-as em *série* ou em *paralelo*.

4.6.1 Conexão em Paralelo

Ao conectar as células em paralelo, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exactamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado salvo em condições muito especiais. A **Figura 12** mostra um exemplo de conexão em paralelo.

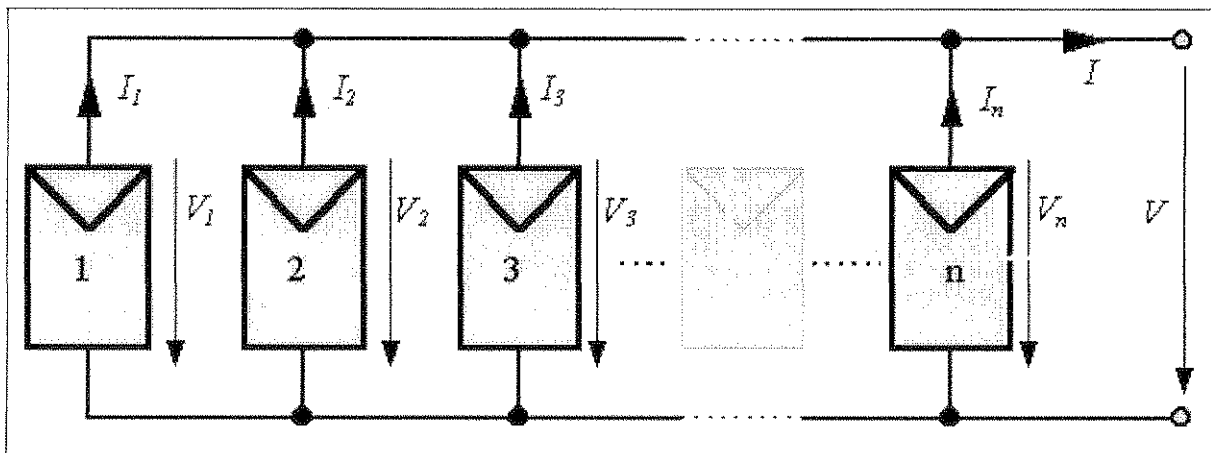


FIGURA 12. Conexão de Células em Paralelo [2]

4.6.2 Conexão em Série

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série. Este tipo de conexão permite adicionar tensões. A tensão nominal do módulo será igual ao produto do

número de células que o compõem pela tensão de cada célula (aproximadamente 0,5 volts). Agrupa-se um certo número de células em série chegando a um valor final de 12V o que possibilita a carga de acumuladores (baterias) que também funcionam na faixa dos 12V. Geralmente produzem-se módulos formados por células em série, conforme a aplicação requerida. Na **Figura 13** é mostrado como é feito o arranjo de células em série.

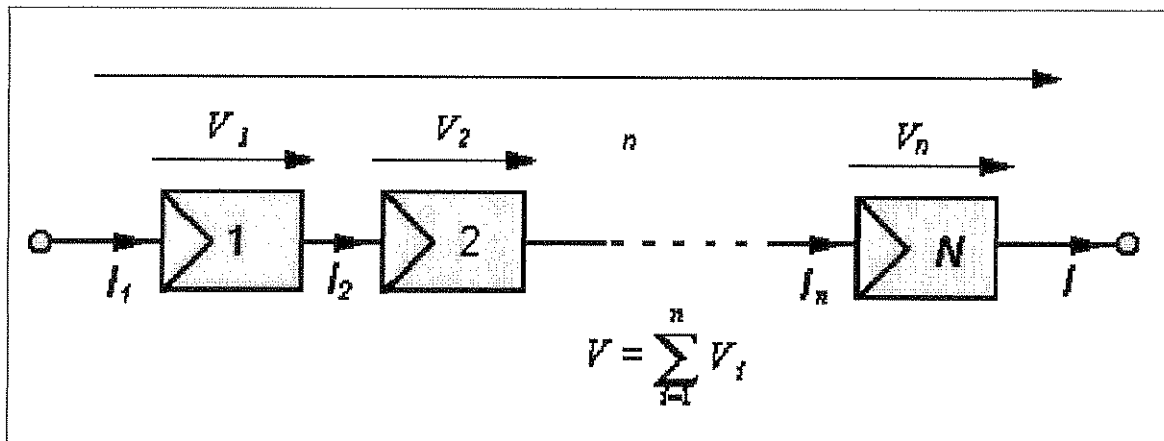


FIGURA 13. Arranjo de Células em Série [2]

Quando uma célula fotovoltaica dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta a potência de saída do módulo cairá drasticamente que, por estar ligada em série, comprometerá todo o funcionamento das demais células no módulo. Para que toda a corrente de um módulo não seja limitada por uma célula de pior desempenho (o caso de estar encoberta), usa-se um *díodo de passo ou de "bypass"*. Este díodo serve como um caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de calor na célula defeituosa. A **Figura 14** ilustra um exemplo de uma possível ligação de um díodo "Bypass" entre células.

Geralmente o uso do díodo bypass é feito em agrupamentos de células o que, torna muito mais barato comparado ao custo de se conectar um díodo em cada célula.

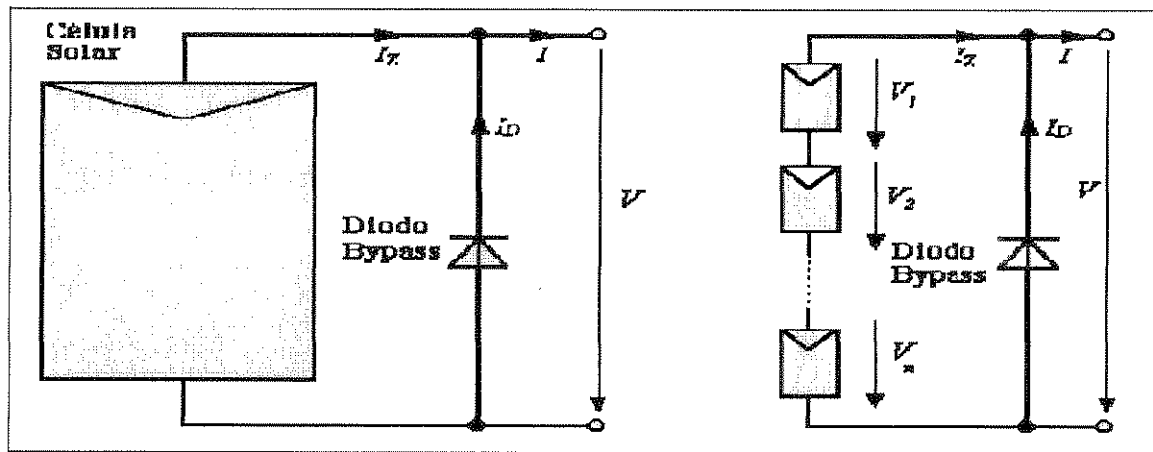


FIGURA 14 – Possível ligação para um diodo “ByPass” entre células [2]

Um outro problema que pode acontecer é quando surge uma corrente negativa fluindo pelas células, ou seja, ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber muito mais do que produz. Esta corrente pode causar queda na eficiência das células e, em caso mais drástico, a célula pode ser desconectada do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um *diodo de bloqueio* impedindo assim correntes reversas que podem ocorrer caso liguem o módulo directamente em um acumulador ou bateria. O exemplo de um diodo de bloqueio é mostrado na **Figura 15**.

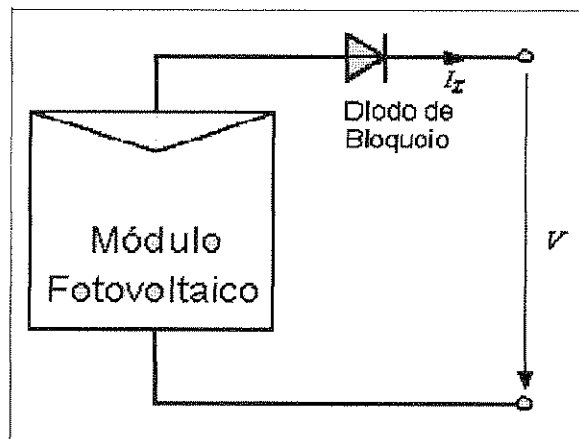


FIGURA 15 – Diodo de Bloqueio [2]

Procura-se, ainda, dar ao módulo rigidez na sua estrutura, isolamento eléctrico e resistência aos factores climáticos. Por isso, as células conectadas em série são encapsuladas num plástico elástico (Etilvinilacelato) que faz também o papel de isolante eléctrico, um vidro temperado com baixo conteúdo de ferro, na face voltada para o sol, e uma lâmina plástica multicamada (Poliéster) na face posterior. Em alguns casos o vidro é substituído por uma lâmina de material plástico transparente. O módulo tem uma moldura composta de alumínio ou poliuretano e caixas de conexões às quais chegam aos terminais positivo e negativo da série de células.

4.7 Vantagens da Energia Fotovoltaica

A utilização da energia solar fotovoltaica apresenta as seguintes vantagens fundamentais:

- Não consome combustível;
- Não produz contaminação ambiental;
- É silencioso;
- Tem uma vida útil superior a 20 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e humidade);
- Não tem peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (só a limpeza do painel);
- Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais;
- Pode trabalhar de forma independente ou combinada com sistemas de produção eléctrica convencional.

No capítulo 5 será realizado um estudo sobre o dimensionamento da ERB alimentada com energia fotovoltaica para o distrito de Mavago.

CAPÍTULO V

5. ESTUDO DO CASO: PROJECTO DE DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÃO RÁDIO BASE ALIMENTADA COM ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA O DISTRITO DE MAVAGO

5.1 Introdução

Uma vez delineadas as tecnologias para a produção de energia eléctrica a larga escala através de fontes fotovoltaicas, apresenta-se de seguida o projecto preliminar de dimensionamento da Estação Rádio Base alimentada com energia fotovoltaica para o distrito de Mavago, utilizando o padrão GSM900. O projecto tem como objectivo garantir a qualidade do sistema, visando atender a capacidade de tráfego, cobertura do sinal, entre outros aspectos relevantes.

5.2 Distrito de Mavago

É um distrito situado na província de Niassa, em Moçambique, com sede na localidade de N'kalapa-Mavago (também conhecida como Mavago-Sede). Tem limite, a norte com a República da Tanzânia, a oeste com os distritos de Muembe e Sanga, a sul com os distritos de Majune e Marrupa, e a este com o distrito de Mecula.

De acordo com o III Recenseamento Geral da População e Habitação de 2007, o distrito tem 20,241 habitantes e uma área de 9,219 km², daqui resultando uma densidade populacional de 2,20 h/km² e um número total de agregados familiares de 4,340.¹⁶

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) as temperaturas médias, máxima absoluta e mínima absoluta em °C para este distrito são de 22.3, 30.2 e 8.6, respectivamente.

Por ser uma região de difícil acesso e uma comunidade isolada onde, segundo a Electricidade de Moçambique (EDM), a distribuição da energia eléctrica é feita através de um gerador eléctrico, torna-se praticamente impossível a implantação de uma ERB alimentada com energia convencional.

Segundo a empresa de telefonia móvel, Mcel, o distrito dispõe de uma ERB alimentada com um sistema híbrido constituído por paines solares e geradores a *gasóleo*. No entanto o sistema aqui

¹⁶ Dados do Instituto Nacional de Estatística. Disponível www.ine.gov.mz acessado em 24.mar.2010

tratado será o isolado, uma vez que a demanda de energia eléctrica das ERB's será atendida apenas pela energia solar. Um sistema isolado seria capaz de garantir suprimento de energia 24horas ininterruptas, pois uma ERB não pode ter seu funcionamento interrompido em momento algum.

5.3 Parâmetros básicos para dimensionamento

Três definições são básicas para o projecto: o cálculo da quantidade de energia que será produzida, a quantidade de energia que será consumida e a autonomia que se deseja para o sistema em casos de períodos prolongados sem insolação. Os dois primeiros parâmetros levam ao dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e a autonomia permite dimensionar o banco de baterias. A seguir são feitas algumas considerações para se definir esses parâmetros.

5.3.1 Cálculo da radiação solar incidente

O objectivo básico desta etapa é obter uma tabela com níveis médios de radiação solar para cada mês do ano. Estão normalmente disponíveis em valores da quantidade média de energia solar que incide durante um dia em uma área de 1 metro quadrado situada em um plano horizontal na superfície da Terra. Esses valores são usualmente especificados em unidades de energia (kWh/m²/dia) ou unidades de potência (W/m²). Uma outra forma de apresentar o mesmo dado, também bastante utilizada, é transformá-lo em número médio diário de horas em que o sol brilharia em sua potência máxima convencional que é de 1 kW/m².

Segundo o INAM (Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique) o distrito de Mavago apresenta um nível médio de radiação solar incidente em um plano horizontal de 5 kWh/m²/dia ou 208 W/m² ou 5 horas de sol pleno, com variações específicas para cada mês do ano (A **Tabela 1** mostra a título de exemplo dados solarimétricos disponíveis para a esta região):

Mês	kWh/m ² /dia	W/m ²	Horas/dia
Janeiro	4,7	197	4,7
Fevereiro	5,8	242	5,8
Março	5,5	230	5,5
Abril	5,0	210	5,0
Maió	4,3	181	4,3
Junho	4,4	182	4,4
Julho	4,4	183	4,4
Agosto	4,7	196	4,7
Setembro	5,0	207	5,0
Outubro	5,5	228	5,5
Novembro	5,6	233	5,6
Dezembro	5,0	207	5,0
Ano	5,0	208	5,0

Tabela 1. Dados Solarimétricos do distrito de Mavago. Fonte INAM

5.3.2 Levantamento das cargas

Nessa etapa se levanta o consumo médio diário de energia eléctrica, ou seja, define-se a curva de carga tanto em termos diários quanto sazonais. Com estes dados consegue-se visualizar as características previstas para o consumo de electricidade adequando-se o sistema para que o consumo e a produção sejam compatíveis ao longo do dia e ao longo do ano.

O produto final dessa etapa é uma planilha com definição dos equipamentos que serão ligados, suas potências eléctricas, tensões (corrente alternada ou contínua) e o tempo diário em que ficarão ligados.

Com estes dados pode-se estimar o consumo diário de cada aparelho. Este consumo pode ser apresentado em Watt-hora ou em Ampère-hora. A **Tabela 2** ilustra o levantamento de cargas para o presente projecto.

Aparelho	n ^o	Tensão	Potência Total	Corrente contínua	Operação	Consumo	Consumo
		V	W	A	Horas/dia	Wh/dia	Ah/dia
Lâmpada 20W	2	12cc	120	10,0	0,1	12	1
Lâmpada 9W	2	12cc	54	4,5	0,1	5,4	0,5
Rádio	1	120cc	54	4,5	0,1	5,4	0,5
Transmissor	1	120cc	100	8,3	12	1200	99,6
Receptor	1	120cc	100	8,3	24	2400	199,2
Rádio	1	12cc	50	4,2	24	1200	100,8
Total	16		484	40,3		6257	521,1

Tabela 2. Levantamento de Cargas para a Estação Rádio Base

5.3.3 Definição da autonomia do sistema sem insolação

Outro parâmetro importante que deve ser estabelecido é o tempo de autonomia que se quer para o sistema sem a presença da insolação. Ou seja, por quanto tempo a ERB poderá funcionar normalmente sem que haja insolação suficiente para carregar as baterias. Para esta região do norte do país, com um clima bastante estável vai se trabalhar com um nível de autonomia de 4 dias.

5.4 Dimensionamento do Sistema

5.4.1 Dimensionamento do banco de baterias

A função prioritária das baterias no sistema de geração fotovoltaico isolado é acumular a energia que se produz durante as horas de luminosidade a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos prolongados de mau tempo. Outra importante função das baterias é de prover uma

intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar. Para o presente projecto serão usadas baterias de chumbo-ácido que tem uma profundidade de descarga para ciclos diários em torno de 20% e de 40% para ciclos esporádicos.

No caso específico do presente projecto o consumo previsto é de 520 Ah/dia distribuídos durante todo o dia. Para uma profundidade diária de descarga de 20% seria necessário um banco de baterias de 10400 Ah. Para uma autonomia de 4 dias e ciclo de descarga esporádico de 40% seria necessário um banco de 5200 Ah.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total } \left(\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right) \times \text{Autonomia (dias)}}{\text{Profundidade de Descarga no final de autonomia (pu)}}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{520 \times 4}{0,2} \quad (2)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 10400 \text{ Ah}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total } \left(\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right) \times \text{Autonomia (dias)}}{\text{Profundidade de Descarga no final de autonomia (pu)}}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{520 \times 4}{0,4} \quad (3)$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 5200 \text{ Ah}$$

5.4.2. Dimensionamento do gerador fotovoltaico

O dimensionamento do gerador fotovoltaico está vinculado basicamente a dois parâmetros: aos níveis de energia solar incidente e ao consumo de electricidade previsto. Quanto mais insolarado é o local menor área de captação de energia será necessária. Quanto maior o consumo de energia maior área de captação será necessária.

Para o presente projecto serão usados 28 módulos de silício monocristalino (modelo I170/24) de 170W-24V. Com esta escolha disponibiliza-se cerca de **5,8A -12V** para alimentação da ERB, e

considerando um nível médio de insolação para o distrito de Mavago de 5 horas de sol máximo por dia e uma eficiência total de 85%, tem-se um fornecimento de cerca de 9 kWh/mês para cada módulo alimentando a ERB.

$$\text{Potência mínima do grupo gerador} = \frac{\text{Consumo Total } \left(\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \right) \times V_{mp} \text{ módulo}}{\text{Horas equivalentes de sol pleno} \times \text{Factor de perdas e segurança}}$$

$$\text{Potência mínima do grupo gerador} = \frac{520 \times 17,4}{5 \times 0,8}$$

$$\text{Potência mínima do grupo gerador} = \frac{9048}{4}$$

$$\text{Potência mínima do grupo gerador} = 2262 \text{ Wp}$$

5.4.3 Controlador de carga

O controlador de carga suportará a corrente que for para as cargas e a corrente de curto-circuito do módulo. Será o equipamento utilizado para a protecção das baterias, garantindo assim, uma vida útil maior para as mesmas. Também será responsável pela protecção contra as descargas profundas e contra o carregamento excessivo, evitando aumentos de temperatura.

O controlador de carga será responsável em alimentar as baterias com uma tensão de 48V.

5.5 Interações entre os Módulos Fotovoltaicos e as Baterias

Durante a noite toda a energia que for pedida pela carga será fornecida pelo banco de baterias. Em horas matutinas os módulos começaram a gerar, mas se a corrente que fornecerem for menor que aquela que a carga exigir, a bateria deverá contribuir.

Tendo em conta que a partir de uma determinada hora da manhã a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos supera a energia média procurada, os módulos não só atenderão a procura e, além disso, o excesso será armazenado na bateria que começará a carregar-se e a recuperar-se da sua descarga da noite anterior.

Finalmente durante à tarde, a corrente gerada diminuirá e qualquer diferença em relação à procura será entregue pela bateria. Durante a noite, a produção será nula e todo o consumo virá da(s) bateria(s) de acumuladores.

5.6 Configuração dos Elementos de Rede

Neste tópico é definida a configuração dos elementos de rede do projecto de rádio frequência:

- BTS (Estação Rádio Base);
- ANP (Elemento do Sistema Irradiante: Antena);
- Faixa de Frequência.

5.6.1 - BTS

Funciona com uma tensão de 120V/cc com o consumo médio de: $6,0 \text{ kW} \times 24\text{h} = 144,0 \text{ kWh/dia}$. A BTS do presente projecto será do tipo *outdoor*, que é uma unidade autónoma, previamente concebida para exposição ao ar livre e dimensionada para obter uma ventilação apropriada.

5.6.2 ANP Antena

Tendo em conta que a escolha da antena deve ser de acordo com seu ganho e sua abertura, para esta estação rural em 900 MHz, foram seleccionadas antenas omnidireccionais com 360° de abertura horizontal, abertura vertical variável e ganho de 18dBi, conforme mostra a figura 16:

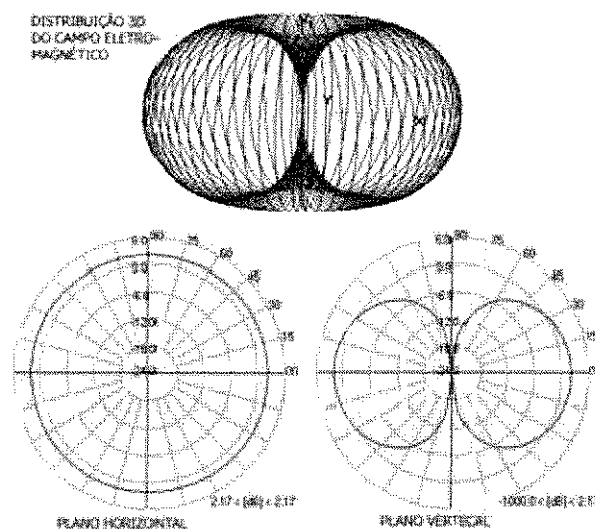


Figura 16. Diagrama de irradiação de um dipolo omnidireccional [3]

5.6.3 Faixa de Frequência

O sistema utiliza um espectro de 900 MHz, nas faixas de 890 à 915 MHz para o *uplink*; 935 à 960 MHz para o *downlink*. No entanto existe uma possibilidade de utilizar o espectro de 1800 MHz quando a capacidade máxima de 900 MHz estiver atingida. Neste caso, as faixas seriam de 1710–1785 MHz para o *uplink* 1805–1880 MHz para o *downlink* mas para tal seria necessário sectorizar a Estação Rádio Base.

A ERB será dividida em 16 canais de rádio *Full Duplex*, com largura de faixa de 200 KHz e espaçamento entre portadoras TX/RX de 95 MHz.

Capítulo VI

6. CONCLUSÃO

Nestes últimos tempos, pode-se ver que o sector de energia eléctrica, bem como a utilização da energia eléctrica, são focos da maioria dos meios de comunicação em Moçambique. Todo crescimento industrial, só se torna viável, se houver fornecimento contínuo e crescente de energia. É visível que este sector, demanda investimentos altos e contínuos a fim de garantir uma disponibilidade de energia de qualidade.

Enfim, é a energia que impulsiona os mercados mundiais, pois a produção e os demais tipos de serviços, só podem caminhar junto com o desenvolvimento da produção de energia eléctrica.

Na telefonia celular, o cenário não é diferente, pois se trata de um mercado em constante mudança, onde as concorrências se tornam cada vez mais fortes. A economia e a redução de custos operacionais fazem com que as empresas se tornem mais competitivas em quaisquer sectores. Para isto é necessário que o investimento inicial, que é agregado ao imobilizado destas empresas, acabe por se pagar num curto espaço de tempo, fazendo com que sejam pioneiras na redução de custos e preservação do meio ambiente.

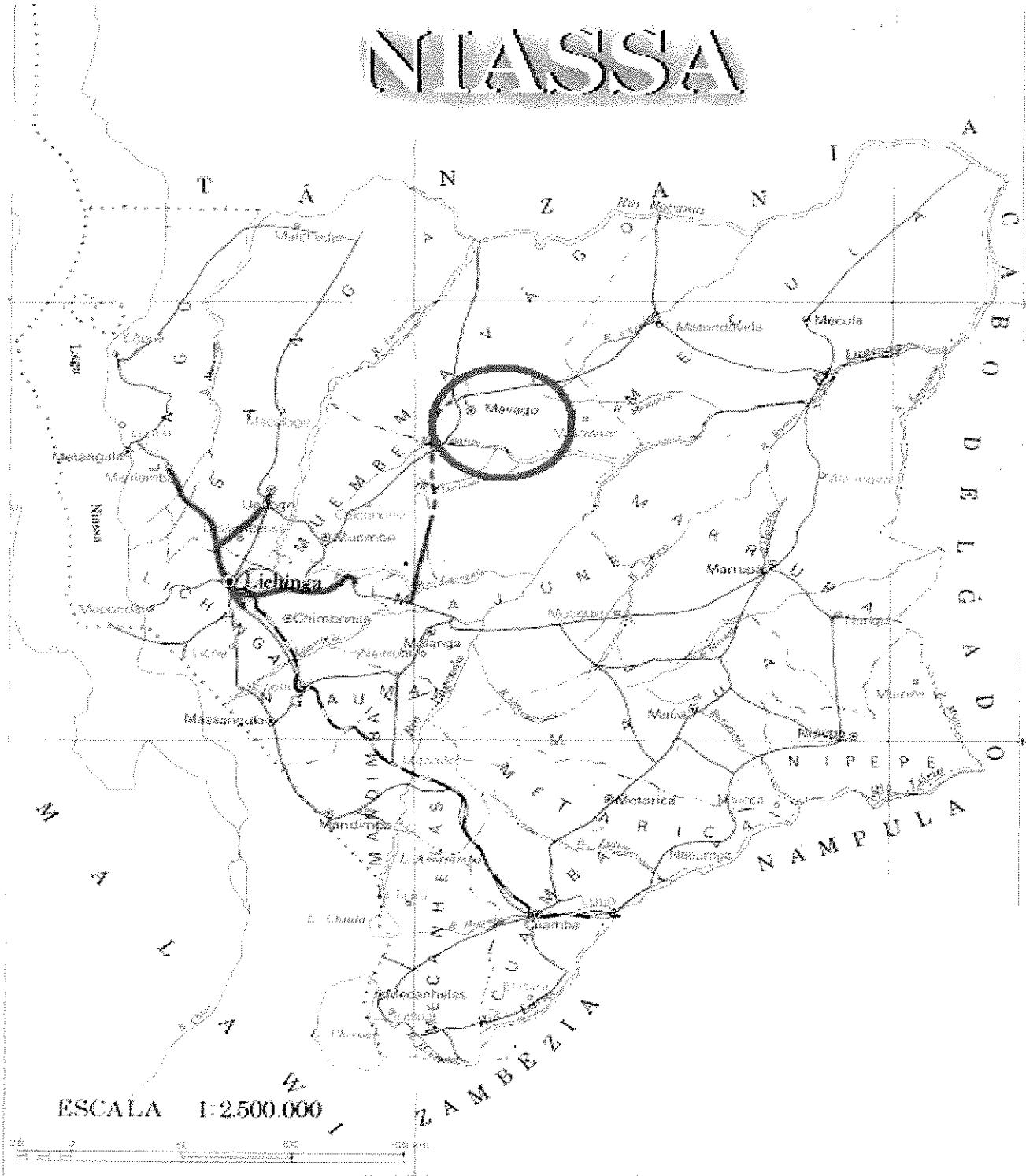
Enfim, pode-se ver neste projecto que a redução de consumo de energia, por parte do sector industrial e de serviços, contribui para um desenvolvimento limpo e sustentável, além de reduzir significativamente seus custos de operação, viabilizando desta forma, o uso de fontes alternativas de energia, no caso, a energia solar.

Os fabricantes de ERB's deveriam investir e implementar seus equipamentos, com dispositivos de alimentação eléctrica proveniente da energia solar, sendo necessário assim, um contínuo desenvolvimento na redução de consumo de energia eléctrica de seus equipamentos, pois actualmente o seu uso pode-se tornar dispendioso e inviável. Os fabricantes deveriam ampliar seu campo de pesquisa, para disponibilizar ERB's de baixo consumo de electricidade com módulos fotovoltaicos já inerentes a sua composição, pois estariam contribuindo para um desenvolvimento sustentável, limpo e financeiramente viável.

Com este projecto mais de 200 famílias do Distrito de Mavago serão beneficiadas com diversos serviços de telefonia móvel e assim sendo contribuiria de certa forma no avanço tecnológico desta região do país.

6.1 ANEXOS

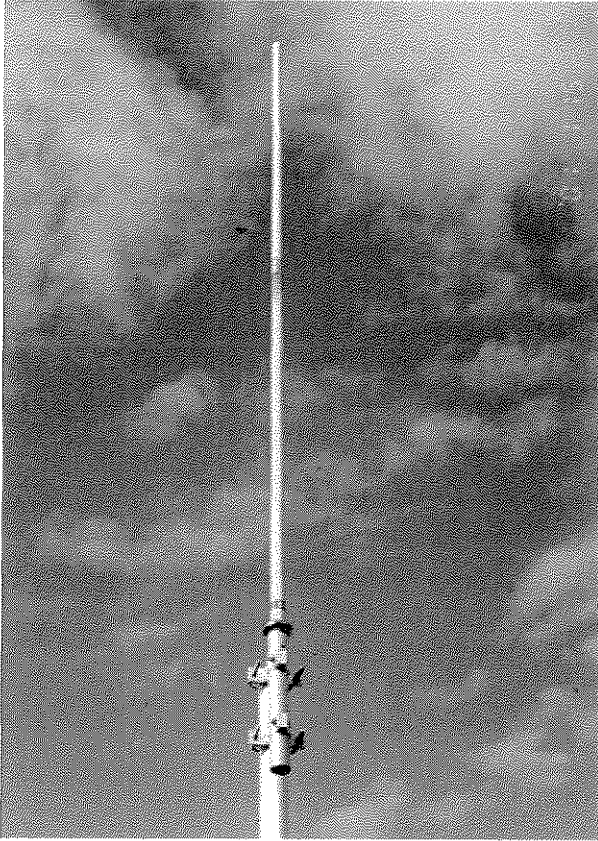
6.1.1 Mapa de Localização do distrito de Mavago



6.1.2 Localização do Distrito de Mavago



6.1.3 Antena Omnidireccional de 18dbi



6.2 BIBLIOGRAFIA

1. ALAVARENGA, C. A.; **Fontes Alternativas de Energia-Energia Solar** . Gráfica Universitária UFLA.2001
2. ANDRADE, Dálcio. **SISTEMA de Gerenciamento de carga da Energia Solar**. Ouro Preto. 2007 disponível em www.docstoc.com/.../SISTEMA-DE-GERENCIAMENTO-DE-CARGA-DA-ENERGIA-SOLAR/ acessado em 07.maio.2010
3. ARQUITECTURA da Rede.
 - a. Disponível em www.gta.ufrj.br/seminarios/.../gsm/arquitetura.htm, acessado em 07.maio.2010
4. CABRAL, Cláudia Valéria Távora. **Análise de dimensionamento estocástico e determinístico e simulação de sistemas fotovoltaicos isolados**. UFV. Viçosa. 2006.
5. COTA, Nuno. **GSM. A Norma – Descrição da Tecnologia**. DEEC/ISEL. 2000
6. DEMONTI, Rogers. **Sistema de Co-geração de Energia a partir de Painéis Fotovoltaicos**. INEP. UNFC, Florianópolis. 1998.
7. **ENERGIA solar Princípios e Aplicações**. CRESESB. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br> acessado em 29.fev.2010
8. RÜTHER, Ricardo., **Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e O Trabalho do Labsolar na Área**. Florianópolis, p. 1 a 6.
9. SANTOS, Pedro Viera. **Uso de Energia Solar para Alimentação de Estações Rádio Base**. LAVRAS. Minas Gerais 2006 disponível em: www.solenerg.com.br/figuras/monografia_pedrobrasil.pdf acessado em 13.abr.2010
10. FILHO, Servolo. **Proposta Para Implantação De Rede GSM em Áreas Urbanas**. Uberlândia. 2002
11. Siemens Solar Industries - **Training Department**, “**Photovoltaic Technology and System Design - Training Manual**”, 1990, Edition 4.0