

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Avaliação da Eficiência de Sistemas Fotovoltaicos

Por

Diego Christofolletti Vitti
Leandro Miranda Alvares

Orientador:

Prof. Dr. Marco Aurélio de Oliveira

Brasília/DF Março de 2006

Agradecimentos

Agradeço a meus pais pela vida e por torná-la tão agradável com seu carinho, respeito, educação e confiança que a mim sempre foram transmitidos. Agradeço aos amigos de longa data que também influenciaram na minha formação e às novas e grandes amizades firmadas nesses cinco anos de UnB, que com certeza vou levar pra toda a vida.

Aos professores, técnicos e funcionários que, cada um da sua forma, contribuíram para minha formação profissional.

E por fim, apesar de já estar incluso nas amizades, destaco um agradecimento ao Leandro Miranda Alvares por além de amigo, ter confiado em mim para juntos realizarmos esse trabalho.

Diego Christofolletti Vitti

Agradeço meus pais Adilson e Neaires pelo incentivo, apoio e dedicação. Aos meus irmãos Leonardo e Lílían que sempre estiveram ao meu lado. A minha namorada Thalita pelo companheirismo e carinho. Agradeço também a meu companheiro de projeto Diego C. Vitti pela amizade e dedicação. Sinto-me também eternamente grato a Deus por ter me abençoado durante essa longa caminhada, aos professores por me mostrarem os atalhos desse caminho e a todos meus amigos que fizeram de cada erro uma piada e de cada tombo um motivo para seguir em frente.

Leandro Miranda Alvares

Agradecemos ao professor Dr. Marco Aurélio de Oliveira pelo apoio e orientação na realização deste projeto. Ao mestrando Rafael Shayani pela ajuda e disposição para diversos esclarecimentos, aos funcionários do SG-11 sempre dispostos a auxiliar e viabilizar o projeto e finalmente aos amigos Filipe Vignoli e Bruno Vilhena pela cooperação.

Índice

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos.....	2
1.2 - Estrutura do Relatório.....	2
Capítulo 2 - O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO.....	3
2.1 - TECNOLOGIAS DE MEIOS DE TRANSMISSÃO	3
2.2 - COMUNICAÇÃO EM PARALELO	5
2.3 - COMUNICAÇÃO EM SÉRIE.....	5
2.3.1 - Interface de comunicação serial	6
2.4 - COMUNICAÇÃO SEM FIO	10
2.4.1 - Transmissão por Frequência de Rádio (Radiodifusão)	11
2.4.1.1 Atenuação e propagação.....	11
2.4.1.2 Composição da atmosfera.....	12
2.4.1.3 Sistemas em trapodifusão.....	12
2.4.1.4 Espectro de frequência.....	12
2.5 - AQUISIÇÃO DE DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLOGICA	13
2.6 - COMUNICAÇÃO ESTAÇÃO/LABORATÓRIO	14
Capítulo 3 - SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	16
3.1 - UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR	16
3.2 - ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
3.2.1 - Efeito Fotovoltaico	17
3.2.2 - Células Fotovoltaicas.....	18
3.2.3 - Perdas por conversão das células fotovoltaicas	18
3.2.3.1 Comprimento de Onda.....	18
3.2.3.2 Recombinação.....	19

3.2.3.3	<i>Resistência Ôhmica.....</i>	19
3.2.3.4	<i>Temperatura.....</i>	19
3.2.3.5	<i>Reflexão.....</i>	19
3.2.3.6	<i>Resistência Elétrica.....</i>	19
3.3	RADIAÇÃO SOLAR.....	19
3.3.1	<i>Perdas Pela Orientação do Arranjo.....</i>	21
3.4	EFICIÊNCIA:.....	22
3.5	SISTEMA FOTOVOLTAICO	23
3.5.1	<i>Módulo Fotovoltaico</i>	24
3.5.1.1	<i>Curvas Características dos Módulos Fotovoltaicos.....</i>	24
3.5.2	<i>Controlador de Carga.</i>	26
3.5.3	<i>Baterias.....</i>	26
3.5.4	<i>Inversores de Carga</i>	27
Capítulo 4	MATERIAIS	28
4.1	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	28
4.2	ARRANJOS FOTOVOLTAICOS	30
4.2.1	<i>Arranjos de 4 Painéis</i>	33
4.2.2	<i>Arranjos Individuais.....</i>	35
4.3	LABORATÓRIO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA.....	36
4.3.1	<i>Cabeamento.....</i>	36
4.3.2	<i>Arranjo de Lâmpadas</i>	37
4.3.3	<i>Controladores de Carga e Carregamento.....</i>	37
4.3.4	<i>Baterias.....</i>	38
4.3.5	<i>Disjuntores</i>	43
4.3.6	<i>Inversores de frequência</i>	43
4.3.7	<i>Fusível</i>	46
4.3.8	<i>Reostato (Carga).....</i>	47
4.3.9	<i>Ventilador.....</i>	47
Capítulo 5	INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE RÁDIO.....	48

5.1 - VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA DE RÁDIO.....	48
5.2 - TESTES.....	50
5.3 - INSTALAÇÃO DEFINITIVA.....	53
5.4 - ANÁLISE DE CUSTOS	54
Capítulo 6 - TESTES DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.	56
6.1 - TESTE DE EFICIÊNCIA DA BATERIA	56
<i>6.1.1 - Eficiência das baterias durante um ciclo profundo e lento de descarga</i>	<i>56</i>
<i>6.1.1.1 Descarga das baterias.....</i>	<i>57</i>
<i>6.1.1.2 Recarga das baterias.....</i>	<i>58</i>
<i>6.1.2 - Eficiência das baterias durante um ciclo raso e rápido de descarga</i>	<i>58</i>
<i>6.1.2.1 Eficiência da bateria no período de 1h.....</i>	<i>58</i>
<i>6.1.2.2 Eficiência da bateria no período de 2h.....</i>	<i>60</i>
6.2 - EFICIÊNCIA DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA	61
6.3 - EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS.....	64
<i>6.3.1 - Determinação do Coeficiente de Poeira</i>	<i>64</i>
<i>6.3.2 - Comparação da eficiência dos painéis individuais.....</i>	<i>65</i>
<i>6.3.3 - Eficiência dos painéis com diferentes orientações.....</i>	<i>67</i>
<i>6.3.4 - Corrente de curto-circuito (CC) dos arranjos fotovoltaicos.....</i>	<i>69</i>
<i>6.3.5 - Eficiência de conversão das células.....</i>	<i>70</i>
6.4 - COMPORTAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO COM DIFERENTES PERÍODOS DE SOLICITAÇÃO DE CARGA.....	72
Capítulo 7 - CONCLUSÃO.....	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS.....	78

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema de ligação entre equipamento DTE e DCE.....	7
Figura 2 – Definição dos sinais para um dispositivo DTE.....	8
Figura 3 – Definição dos sinais para um dispositivo DCE.....	9
Figura 4 – Convenção utilizada para sinais.....	10
Figura 5 – Registrador CR10X e interface de conversão SC - 932 para RS – 232.....	14
Figura 6 – Área de perfurações do ENC.....	15
Figura 7 – Conversão Fotovoltaica da Energia Solar.....	16
Figura 8 – Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,5°.....	20
Figura 9 – Perdas entre a Energia disponibilizada pelo Sol e à entregue a carga.....	23
Figura 10 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico.....	23
Figura 11 – Curva característica IxV mostrando a corrente Isc e a tensão Voc.....	25
Figura 12 – Curva típica de Potência versus tensão mostrando a potência Pm e a tensão Vmp.....	25
Figura 13 – Curva característica IxV mostrando a corrente Isc e a tensão Voc.....	26
Figura 14 – Torre da estação meteorológica.....	29
Figura 15 – Caixa metálica da estação.....	30
Figura 16 – Especificações Físicas do KC 45.....	31
Figura 17 – Disposição dos painéis.....	32

Figura 18 – Visão geral dos painéis instalados.....	32
Figura 19 – Estrutura de fixação dos painéis que permite sua movimentação.....	33
Figura 20 – Base de fixação dos arranjos de quatro e de 1 painel respectivamente.....	33
Figura 21 – Vista explodida do arranjo de 4 painéis.	34
Figura 22 – Arranjo fotovoltaico com 4 painéis.....	34
Figura 23 – Vista explodida do arranjo individual.	35
Figura 24 – Arranjo fotovoltaico com painéis individuais.....	35
Figura 25 – Foto do Laboratório de Fontes Alternativas de Energia.	36
Figura 26 – Visão frontal e lateral do modelo C40.	37
Figura 27 – Jumper para seleção de voltagem.....	38
Figura 28 – Jumper de seleção para módulo de operação.	38
Figura 29 – Bateria utilizada nos testes.....	39
Figura 30 – Gráfico comparativo de diferentes baterias em relação ao vazamento de eletrólito.	39
Figura 31 – Gráfico de seleção de capacidade (a 25°C).....	40
Figura 32 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga.....	40
Figura 33 – Expectativa de vida em função da temperatura de trabalho.....	41
Figura 34 – Quadro de disjuntores do sistema.	43
Figura 35 – Inversor de frequência Xantrex modelo Prosine 1000/24.....	43
Figura 36 – Onda real de saída (Modelo 120V CA).....	44
Figura 37 – Painel de Controle.....	44

Figura 38 – Orientações aprovadas para montagem do inversor e fixação do painel de controle.....	45
Figura 39 – Curvas de Potencia de saída X Temperatura ambiente.....	45
Figura 40 – Curvas de Eficiência X Potência.....	46
Figura 41 – Fusíveis utilizados entre as baterias e o inversor.	47
Figura 42 – Reostatos para a descarga das baterias.....	47
Figura 43 - Rádio Spread Spectrum RF401 da Campbell Sci.	48
Figura 44 – Interface direta entre o RF401 e o Datalogger CR10X.....	49
Figura 45 – Visão da estação meteorológica de cima do laboratório.....	49
Figura 46 – Rádio UHF SPM2-433-14 da Radiometrix.....	50
Figura 47 – Eval-Kit da Radiometrix.	50
Figura 48 – Configuração Hyperterminal.....	51
Figura 49 – Teste de Comunicação entre o computador e o datalogger.....	52
Figura 50 – Interface entre o eval-kit e um DCE (<i>Data Communications Equipament</i>).	53
Figura 51 – Instalação definitiva do sistema de rádio.na estação e no laboratório..	54
Figura 52 – Descarga da bateria 9 realizada no dia 04/02.....	57
Figura 53 – Teste de Eficiência da bateria quando descarregada em 1 hora.....	59
Figura 54 – Banco de baterias 8 e 9 ligados em paralelo e banco 7 individual.....	60
Figura 55 – Teste de Eficiência da bateria quando descarregada em 2 horas.	60
Figura 56 – Esquema de ligação para o teste de eficiência do inversor.	62
Figura 57 – Tensão na banco 9 durante descarga.....	63

Figura 58 – Gráfico comparativo das correntes dos painéis individuais.....	66
Figura 59 – Curvas das razões entre as correntes dos painéis e o de referência (Painel 3).....	68
Figura 60 – Corrente de Curto-Circuito dos Painéis.	69
Figura 61 – Esquemático do teste de eficiência de conversão das células fotovoltaicas	70
Figura 62 – Eficiência Painel 4.	71
Figura 63 – Painéis em diferentes posições em relação ao sol.....	72
Figura 64 – Curva de tendência de corrente do painel, radiação e carga.	73

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tabela Comparativa.....	6
Tabela 2 –Tabela com os dados colhidos do CR10X.....	13
Tabela 3 – Especificações Elétricas do Modelo KC 45.....	31
Tabela 4 – Especificações Físicas do KC 45.....	31
Tabela 5 – Modelos de Baterias.	41
Tabela 6 – Capacidade nominal (Ah) a 25°C em diferentes regimes.....	42
Tabela 7 – Watts a 25°C em diferentes regimes.....	42
Tabela 8 – Descarga máxima (A) a 25°C em diferentes regimes.....	42
Tabela 9 – Catálogo de seleção do fusível.	46
Tabela 10 – Cotação do sistema de radio adquirido.....	54
Tabela 11 – Cotação da solução por cabeamento.....	55
Tabela 12 – Tensões de configuração para bateria 12V Moura Clean MC.....	57
Tabela 13 – Recarga do banco de baterias 9.	58
Tabela 14 – Eficiência do inversor na segunda descarga da bateria.	63
Tabela 15 – Eficiência do inversor na primeira descarga de 2 horas da bateria.....	64
Tabela 16 – Eficiência do inversor na primeira descarga de 2 horas da bateria.....	64
Tabela 17 – Corrente em cada painel e média dos painéis 3 e 4.	65
Tabela 18 – Corrente nos painéis limpos.	66

Tabela 19 – Correntes em cada painel com diferentes inclinações.	67
Tabela 20 – Correntes médias em cada período.	73
Tabela 21 – Valores de Ah fornecidos, consumidos e o saldo na bateria.	74
Tabela 22 – Valores para recarga da bateria por período em que a carga ficou ligada.	74

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do motor a combustão interna e de diversas turbinas incrementaram tanto a potência das diversas unidades de produção como o número total de unidades existentes, aumentando assim a capacidade de produção do homem e seu consumo de combustível. O crescimento exponencial desse consumo se iniciou com a Revolução Industrial do século XVIII [1].

O consumo crescente e o impacto ambiental e social causados pelas fontes de energias tradicionais levam governo e sociedade a pensar em novas alternativas para geração de energia elétrica. No entanto, 90% da energia elétrica do país é gerada em grandes usinas hidrelétricas, o que provoca grande impacto ambiental como o alagamento dessas áreas e a conseqüente perda da biodiversidade local.

Diante desse cenário, as fontes alternativas de energia como a eólica, a solar e a biomassa são vistas com bons olhos. Além de causarem impactos substancialmente menores ao meio ambiente, ainda evitam a emissão de toneladas de gás carbônico na atmosfera. O debate sobre os impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis contribui para o interesse mundial por soluções sustentáveis por meio da geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis [2].

Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos aparecem como uma fonte promissora de geração de energia elétrica. Esses sistemas produzem energia elétrica a partir da conversão da energia solar sem a emissão de gases poluentes, além de ser uma fonte renovável de energia.

Este trabalho tem o objetivo de testar a eficiência dos diversos componentes de um sistema fotovoltaico através de um conjunto de testes realizado em um sistema montado nas dependências do prédio SG-11 no Laboratório de Fontes Alternativas de Energia. Também é detalhada a metodologia adotada na instalação de um sistema de comunicação sem fio entre uma estação de rádio remota instalada na estação meteorológica e uma estação de rádio base instalada no laboratório de forma que fosse facilitada a coleta de dados do registrador de medidas da estação.

A aquisição de dados no próprio laboratório é de fundamental relevância para realização de alguns testes visto que torna possível a visualização em tempo real dos valores de radiação solar além de seu valor diário acumulado.

1.1 - Objetivos

O objetivo desse trabalho é determinar a eficiência dos componentes de um sistema fotovoltaico verificando a validade dos valores citados na literatura e nos catálogos, além da determinação da eficiência global do sistema analisando sua viabilidade e a configuração mais adequada de acordo com o tipo de carga que o sistema irá alimentar.

Visando ainda melhorar o projeto original da estação meteorológica é concebida a instalação de um sistema de rádio tornando mais eficiente e rápida as etapas de coleta e análise dos dados recebidos da estação.

1.2 - Estrutura do Relatório

Nos capítulos 2 e 3 é realizada a revisão bibliográfica sobre os sistemas de comunicação, utilizados para a instalação do rádio, e os conceitos básicos dos sistemas fotovoltaicos, detalhando seu funcionamento e sua eficiência.

No capítulo 4 são descritos todos os materiais e métodos utilizados na montagem do sistema fotovoltaico no laboratório de fontes de energia.

O capítulo 5 detalha a concepção e instalação do sistema de comunicação sem fio entre a estação e o laboratório e o capítulo 6 apresenta minuciosamente a bateria de testes realizados na tentativa de levantar a eficiência do sistema fotovoltaico assim como a análise dos resultados obtidos. Esse capítulo conta ainda com a viabilidade energética da utilização de sistemas de armazenamento em relação ao tipo de carga a ser alimentada pelo sistema.

No capítulo 7 são relatadas as conclusões ao longo dos vários testes realizados e nos anexos constam desenhos técnicos e manuais de alguns equipamentos.

Capítulo 2 - O SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

No final do séc. XX, dispõe-se de várias tecnologias que permitem transmitir bits a distâncias que podem ir a milhares de quilômetros: fios de cobre trançados, cabos coaxiais, fibra óptica, transmissão por rádio, microondas, recurso a satélites etc. Uma comunicação entre computadores distantes pode envolver várias tecnologias de transmissão dos bits.

Cada uma das tecnologias de meios de transmissão possui as suas vantagens e os seus inconvenientes. Qualquer que seja o meio de transmissão utilizado, os bits de informação assumem uma representação física e é através dessa representação que são transmitidos da origem para o destino. Ao longo do percurso, podem ser utilizadas diferentes tecnologias e meios de transmissão: os bits ora são transportados sob a forma de ondas analógicas, ora sob uma representação digital.

O objetivo, no entanto, é sempre o mesmo, que os bits cheguem ao seu destino e que nele possam ser decodificados, para que a mensagem que eles transportam possa ser transmitida.

2.1 - TECNOLOGIAS DE MEIOS DE TRANSMISSÃO

O usuário se comunica com o núcleo do computador (composto por UCP e memória principal) através de dispositivos de entrada e saída (dispositivos de E/S ou *I/O devices*).

Os dispositivos de entrada e saída têm como funções básicas:

- A comunicação do usuário com o computador;
- A comunicação do computador com o meio ambiente (dispositivos externos a serem monitorados ou controlados) e;
- Armazenamento (gravação) de dados.

As características que regem a comunicação de cada um dos dispositivos de E/S (entrada e saída) com o núcleo do computador (composto de UCP e memória principal) são muito diferentes entre si. Cada dispositivo de E/S se comunica com o núcleo de forma diversa do outro. Entre outras diferenças, os dispositivos de entrada e saída são muito mais lentos que

o computador, característica essa que impõe restrições à comunicação, uma vez que o computador precisaria esperar muito tempo pela resposta do dispositivo[3].

A compatibilização de velocidades é feita geralmente por programa, usando memórias temporárias na interface chamadas *buffers* que armazenam as informações conforme vão chegando da UCP e as libera para o dispositivo à medida que este as pode receber.

Os dispositivos de ENTRADA são: teclado, mouse, scanner, leitora ótica, leitora de cartões magnéticos, câmera de vídeo, microfone, sensor, transdutor etc. As funções desses dispositivos são coletar informações e introduzir as informações na máquina, converter informações do homem para a máquina e vice-versa, e recuperar informações dos dispositivos de armazenamento.

Os dispositivos de SAÍDA são: impressora, monitor de vídeo, *plotter*, atuador, chave dentre outros periféricos.

As funções desses dispositivos são exibir ou imprimir os resultados do processamento, ou ainda controlar dispositivos externos.

A UCP não se comunica diretamente com cada dispositivo de E/S e sim com interfaces, de forma a compatibilizar as diferentes características. O processo de comunicação ("protocolo") é feito através de transferência de informações de controle, endereços e dados propriamente ditos. Inicialmente, a UCP interroga o dispositivo, enviando o endereço do dispositivo e um sinal dizendo se quer mandar ou receber dados através da interface. O periférico, reconhecendo seu endereço, responde quando está pronto para receber (ou enviar) os dados. A UCP então envia (ou recebe) os dados através da interface, e o dispositivo responde confirmando que recebeu (ou enviou) os dados (*acknowledge* ou ACK) ou que não recebeu os dados, neste caso solicitando retransmissão (*not-acknowledge* ou NAK).

De uma forma geral, a comunicação entre o núcleo do computador e os dispositivos de E/S pode ser classificada em dois grupos: comunicação paralela ou serial. A seguir há uma análise das características desses grupos.

2.2 - COMUNICAÇÃO EM PARALELO

Na comunicação em paralelo, grupos de *bits* são transferidos simultaneamente (em geral, *byte a byte*) através de diversas linhas condutoras dos sinais. Desta forma, como vários *bits* são transmitidos simultaneamente a cada ciclo, a taxa de transferência de dados (*throughput*) é alta.

No entanto, o processo de transferência em paralelo envolve um controle sofisticado e é razoavelmente complexo, o que o torna mais caro. Um dos problemas importantes diz respeito à propagação dos sinais no meio físico

Como os condutores que compõem o cabo usualmente terão pequenas diferenças físicas, a velocidade de propagação dos sinais digitais nos condutores poderá ser ligeiramente diferente nos diversos fios. Dependendo do comprimento do cabo, pode ocorrer que um determinado fio conduza sinais mais rápido (ou mais lento) que os demais fios e que desta forma um determinado *bit* x em cada *byte* se propague mais rápido e chegue à extremidade do cabo antes que os outros $n-1$ *bits* do *byte*. Este fenômeno é chamado *skew*, e as consequências são catastróficas: os *bits* chegariam fora de ordem (os *bytes* chegariam embaralhados) e a informação ficaria irre recuperável. Em decorrência desse problema, há limites para o comprimento do cabo que interliga um dispositivo ao computador, quando se usa o modo paralelo.

As restrições citadas contribuem para que a utilização da comunicação em paralelo se limite a aplicações que demandem altas taxas de transferência. Em geral, o comprimento dos cabos paralelos é limitado a até um máximo de 1,5 metro.

2.3 - COMUNICAÇÃO EM SÉRIE

Na comunicação serial, os *bits* são transferidos um a um, através de um único par condutor. Os *bytes* a serem transmitidos são serializados, isto é, são "desmontados" *bit a bit*, e são transmitidos um a um. Na outra extremidade do condutor, os *bits* são contados e quando formam 8 *bits*, são remontados, reconstituindo os *bytes* originais. Nesse modo, o controle é comparativamente muito mais simples que no modo paralelo e é de implementação mais barata.

Como todos os *bits* são transferidos pelo mesmo meio físico (mesmo par de fios), as eventuais irregularidades afetam todos os bits igualmente. Portanto, a transmissão serial não é afetada por irregularidades do meio de transmissão e não há *skew*. No entanto, a transmissão serial é intrinsecamente mais lenta (apenas um *bit* é transmitido de cada vez).

Como os *bits* são transmitidos sequencialmente um a um, sua utilização é normalmente indicada apenas para periféricos mais lentos, como por exemplo teclado, mouse etc. ou quando o problema da distância for mandatório, como nas comunicações a distâncias médias (tal como em redes locais) ou longas (comunicações via linha telefônica usando *modems*). Comparativamente, a transmissão serial tem recebido aperfeiçoamentos importantes (seja de protocolo, de interface e de meio de transmissão) que vêm permitindo o aumento da velocidade de transmissão por um único par de fios, cabo coaxial ou por fibra ótica. Como o aumento da velocidade de transmissão em interfaces paralelas ocasiona mais *skew*, a tendência tem sido no sentido do aperfeiçoamento das interfaces seriais que hoje permitem taxas de transferência muito altas com relativamente poucas restrições de distância. Em microcomputadores, a interface USB - *Universal Serial Bus* permite hoje ligar até 128 dispositivos a taxas muito altas (centenas de kbps).

Dessa forma podemos chegar a seguinte tabela comparativa:

Tabela 1 – Tabela Comparativa.

Tipo de comunicação	Custo	Distância	Throughput
Paralelo	Maior	Menor (máx. 1,5m)	Alto
Serial	Menor	Ilimitada (teoricamente)	Baixo

2.3.1 - Interface de comunicação serial

RS232 é uma interface serial que relata uma padronização de uma interface comum para a comunicação de dados entre equipamentos (RS é uma abreviação de *Recommended Standard*). Ela foi criada no início dos anos 60 por um comitê atualmente conhecido como “*Electronic Industries Association*”. Mas desde então, muitos fabricantes adotaram soluções distintas, que tornaram impossível a simplificação da padronização proposta.

Se a norma EIA232 completa for implementada, o equipamento que faz o processamento dos sinais é chamado DTE (*Data Terminal Equipment* – usualmente um computador ou terminal), tem um conector DB25 macho, e utiliza 22 dos 25 pinos disponíveis para sinais ou terra[4].

O equipamento que faz a conexão (normalmente uma interface com a linha telefônica) é denominado de DCE (*Data Circuit-terminating Equipment* – usualmente um modem), tem um conector DB25 fêmea, e utiliza os mesmos 22 pinos disponíveis para sinais e terra. Um cabo de conexão entre dispositivos DTE e DCE contém ligações em paralelo, não necessitando mudanças na conexão de pinos[4].

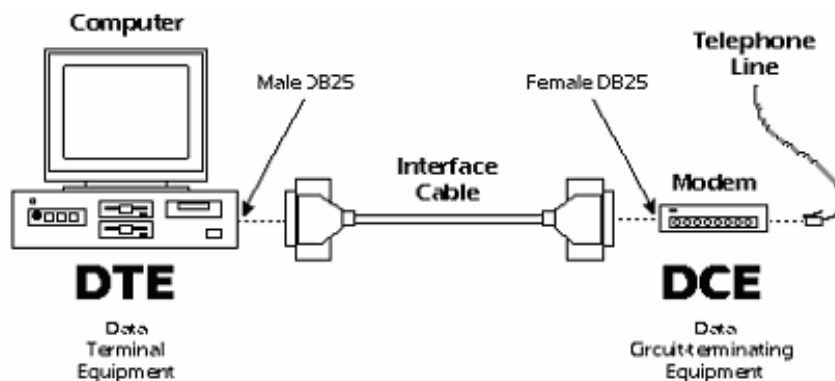


Figura 1 – Esquema de ligação entre equipamento DTE e DCE.

Se todos os dispositivos seguissem essa norma, todos os cabos seriam idênticos, e não haveria chances de haver conexões incorretas.

Os conectores geralmente usados são o DB25, conforme descrito na norma acima, e o DB9, que apresenta funções semelhantes de sua pinagem mas seu conector possui apenas nove pinos.

Na figura a seguir é apresentada a definição dos sinais para um dispositivo DTE (usualmente um micro PC). Os sinais mais comuns são apresentados em negrito.

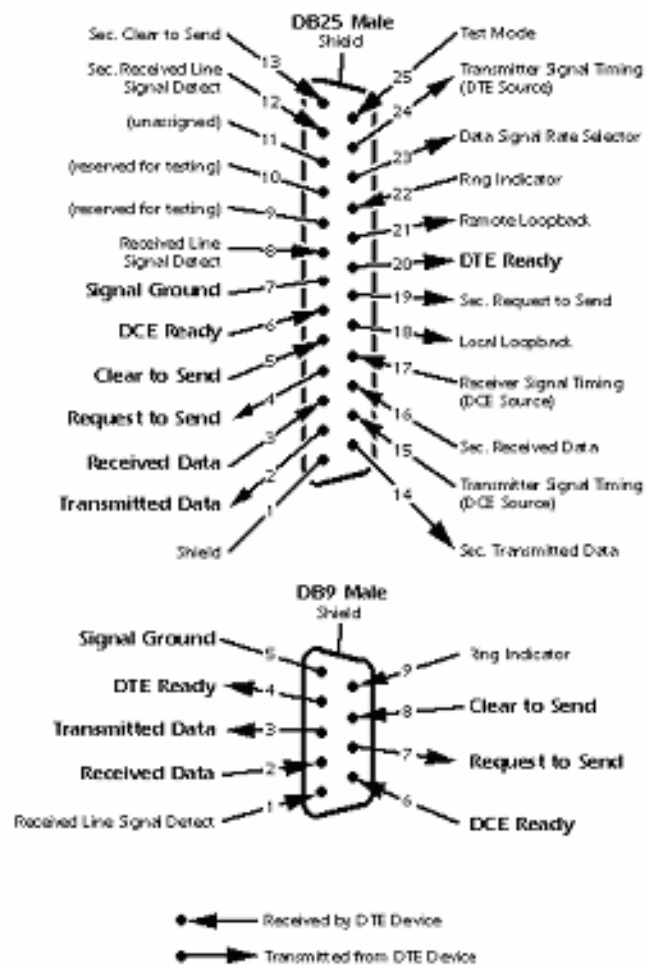


Figura 2 – Definição dos sinais para um dispositivo DTE.

Na figura a seguir é apresentada a definição dos sinais para um dispositivo DCE (usualmente um modem). Os sinais mais comuns são apresentados em **negrito**.

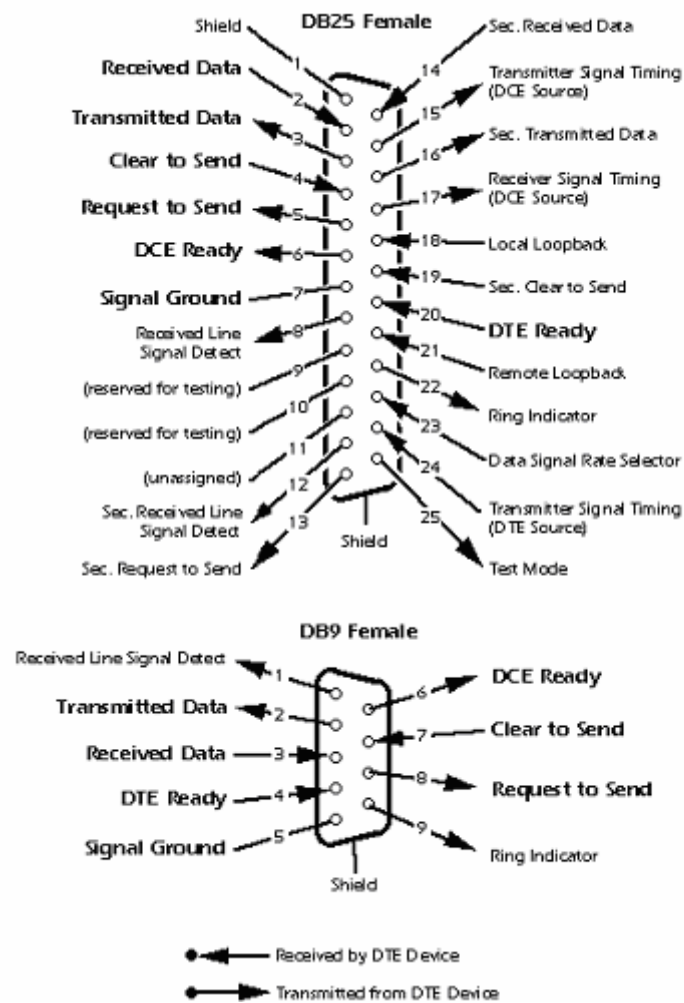


Figura 3 – Definição dos sinais para um dispositivo DCE.

Os nomes dos sinais que implicam em uma direção, como “*Transmit Data*” e “*Receive Data*”, são nomeados do ponto de vista dos dispositivos DTE. Se a norma EIA232 for seguida, estes sinais terão o mesmo nome e o mesmo número de pino do lado do DCE. Infelizmente, isto não é feito na prática pela maioria dos engenheiros, provavelmente porque em alguns casos torna-se difícil definir quem é o DTE e quem é o DCE. A figura a seguir apresenta a convenção utilizada para os sinais mais comuns.

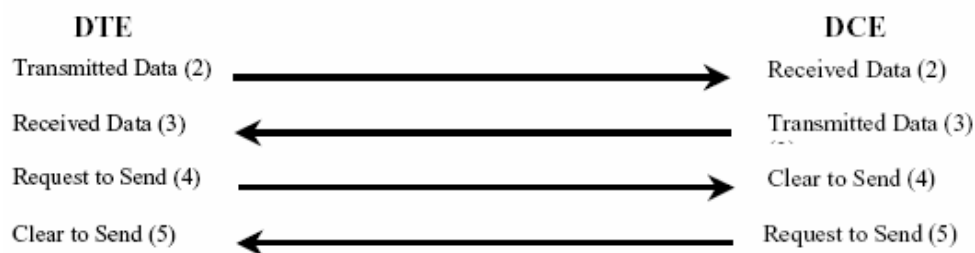


Figura 4 – Convenção utilizada para sinais.

Por ser uma interface comum à maioria dos computadores portáteis, a RS232 (tanto a DB25 quanto a DB9) é muito utilizada para conectar periféricos ou outro computador ao computador utilizado.

Esta conexão, que geralmente é feita por cabeamento serial pelas vantagens já abordadas, dependendo das necessidades e impossibilidades, necessita ser feita e vem sendo cada vez mais, por uma rede sem fio (*wireless*).

2.4 - COMUNICAÇÃO SEM FIO

Uma rede sem fio constitui uma boa opção quando o terreno entre as partes que desejam se comunicar não possibilita a passagem de cabeamento (terrenos alagados, área de escavações, existência de construções etc.).

Nos meios de transmissão sem fio os dados se propagam através de ondas eletromagnéticas. O ar constitui um meio natural para a propagação de sinais eletromagnéticos, podendo talvez ser considerado o melhor suporte de transmissão, quando se fala em conectividade. Isto pelo fato de que o ar provê uma interconexão completa, e permite uma grande flexibilidade na localização das estações[5].

Nas redes sem fio (*wireless*) as informações são transmitidas em canais de frequência de rádio, infravermelho, laser ou microondas.

A transmissão de dados via redes sem fio é altamente confiável e usada na maioria das vezes onde é difícil ou, por algum motivo, impossível de se instalar cabos metálicos ou fibra ótica, ou quando não podem ser instalados como em salas de reunião ou auditórios.

A respeito da segurança e confiança, deve-se tomar algum cuidado, como por exemplo a criptografia, pois um sinal pode ser captado por receptores não autorizados. Outro cuidado

deve ser tomado com a possível existência de interferência, provocada por fontes que geram sinais na mesma banda de frequência da rede. Várias estações podem compartilhar o meio de transmissão, para isso utiliza-se a multiplexação por divisão da frequência, multiplexação por divisão de tempo e multiplexação por divisão do espaço.

2.4.1 - Transmissão por Frequência de Rádio (Radiodifusão)

A transmissão de dados via rádio é uma tecnologia que permite aos usuários implantarem uma rede de comunicação completa, sem o emprego de cabos, ou então complementarem suas atuais redes a cabo.

As ondas de rádio são fáceis de gerar, percorrem longas distâncias, penetram os prédios facilmente e, portanto, são largamente utilizadas para comunicação, seja em ambientes fechados ou abertos. As ondas de rádio são onidirecionais, o que significa que elas percorrem todas as direções a partir da origem; portanto, o transmissor e o receptor não precisam estar cuidadosa e fisicamente alinhados[5].

A constituição de redes baseadas em ondas de rádio implica a instalação de antenas ou dispositivos de emissão e recepção, que devem estar em linha de vista para transmitir e receber os sinais. O seu principal uso é interligar redes locais em diferentes prédios ou estações remotas de coleta de dados a um computador fixado em um laboratório (conseguem ultrapassar pequenos obstáculos como, por exemplo, paredes finas e pequenos arbustos ou árvores). Porém, a partir de certa distância, torna-se necessário a instalação de repetidores entre as antenas do emissor e receptor.

Existem algumas características peculiares na transmissão de dados por radiodifusão que merecem ser citada e estão descritas abaixo.

2.4.1.1 Atenuação e propagação

Quando existe algum obstáculo a ser transposto pelas ondas de rádio, utiliza-se alguns fenômenos como refração, difração, reflexão, espalhamento ou vinculação, apesar de deixarem algumas seqüelas como atenuações ou distorções.

2.4.1.2 Composição da atmosfera

A atmosfera possui 3 camadas (troposfera, estratosfera e ionosfera) que atuam de maneira diferente na propagação de ondas de rádio através dela. Na troposfera, a onda de rádio refrata (muda de forma ou direção) a medida em que aumenta de altitude. Na estratosfera não ocorre nada. Na ionosfera, podem ocorrer diversos fenômenos, dependendo das atividades elétricas que ocorrem neste lugar. Os mais comuns são os de reflexão.

2.4.1.3 Espectro de frequência

A medida em que as frequências de rádio vão aumentando, mais em linha reta elas se propagam. Quando elas ultrapassam 300 MHz necessitam que antenas transmissoras e receptoras fiquem de frente uma para a outra. Relevos acentuados e distâncias elevadas podem inviabilizar o sistema.

ELF (*Extremely Low Frequency*) 300Hz até 3KHz;

VLF (*Very Low Frequency*) 3KHz até 30KHz;

LF (*Low Frequency*) 30KHz até 300KHz;

MF (*Medium Frequency*) 300KHz até 3MHz;

HF (*High Frequency*) 3MHz até 30MHz;

VHF (*Very High Frequency*) 30MHz até 300MHz;

UHF (*Ultra High Frequency*) 300MHz até 3GHz;

SHF (*Super High Frequency*) 3GHz até 30GHz;

EHF (*Extremely High Frequency*) 30GHz até 300GHz.

2.4.1.4 Sistemas em trapodifusão

Quando as frequências estão entre 300 MHz e 30 GHz podem refletir-se na troposfera, que funciona como um espelho, e serem captadas por antenas que estejam fora do campo de visualização do transmissor. Utiliza-se também satélites artificiais para retransmitir, o sinal transmitido, de volta para a Terra.

2.5 - AQUISIÇÃO DE DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Atualmente os dados fornecidos pelos sensores da estação meteorológica são armazenados no registrador (CR10X da *Campebl Scientific*) e devem ser coletados periodicamente. Esse registrador tem capacidade para armazenar até 30 dias de dados. Passado esse período, os dados mais antigos começam a ser sobrescritos pelos novos dados.

Tabela 2 – Dados colhidos do CR10X.

15	Year	RTM	Day	RTM	Hour	Minu	Temp_AR	Umid_Rel	Vel_Vento	Dir_Vento	Dir_Vento	Press_Atn	Rad_W_m	Rad_KJ_rr	Chuva_mrr	T_Solo_1	T_Solo_2
15	2005	50		730			22,19	82,3	1.453	327,5	26,11	899,4	110,19	99,168	0	23,01	24,16
15	2005	50		745			22,49	81,8	1,75	345,6	18,67	899,61	189,96	170,97	0	23,1	24,14
15	2005	50		800			22,61	82	1.923	337,3	20,98	899,79	190,6	171,54	0	23,23	24,13
15	2005	50		815			23,08	78	1.843	344,8	20,34	899,92	267,82	241,04	0	23,39	24,13
15	2005	50		830			23,43	76,7	2.193	357,4	17,15	900,1	316,47	284,82	0	23,6	24,15
15	2005	50		845			23,57	76,9	1.931	353,5	20,55	900,24	260,04	234,03	0	23,87	24,18
15	2005	50		900			23,76	75,7	1.855	356,3	22,72	900,28	276,25	248,63	0	24,12	24,24
15	2005	50		915			24,46	72	1,55	24,29	16,24	900,36	371,54	334,39	0	24,36	24,29
15	2005	50		930			25,25	68,28	1.076	26,68	34,67	900,39	465,12	418,61	0	24,64	24,37
15	2005	50		945			25,58	69,9	1.154	168,5	54,68	900,43	516,03	464,43	0	24,98	24,46
15	2005	50		1000			27	67,37	1.179	79,9	70,3	900,36	741,38	667,24	0	25,39	24,56
15	2005	50		1015			26,5	68,53	1.552	27,41	52,91	900,34	738,85	664,96	0	25,91	24,7
15	2005	50		1030			26,66	67,19	1.512	44,03	46,06	900,34	562,52	506,27	0	26,53	24,87
15	2005	50		1045			26,32	66,39	1.851	122,9	42,02	900,29	607,95	547,16	0	27,06	25,06
15	2005	50		1100			26,42	63,63	1.931	159,4	36,74	900,15	453,17	407,85	0	27,47	25,28
15	2005	50		1115			27,31	62,23	1.164	334,4	92,5	900,02	444,03	399,63	0	27,71	25,5
15	2005	50		1130			27,91	64,82	2.799	51,49	27,62	899,82	1174,9	1057,4	0	27,96	25,72
15	2005	50		1145			23,62	79	4.759	325,7	47,83	899,97	433,36	390,03	0,4	28,55	25,92
15	2005	50		1200			19,83	91,4	6.527	270	24,78	900,35	22,978	20,68	18	28,95	26,55
15	2005	50		1215			19,41	93,8	3.659	192	30,36	900,42	42,352	38,117	8,2	27,68	27,15
15	2005	50		1230			19,79	95,9	1.458	261,3	59,04	899,94	89,556	80,601	1,4	26,65	26,64

A saída do registrador de dados é uma porta do tipo SC-932. Como essa porta não é padrão dos computadores convencionais, usou-se uma interface de conversão SC-932 para RS-232. Além disso, é usado um modem de curta distância para a transmissão do sinal. Um adaptador serial macho/fêmea é usado para que se possa ligar o modem ao computador.

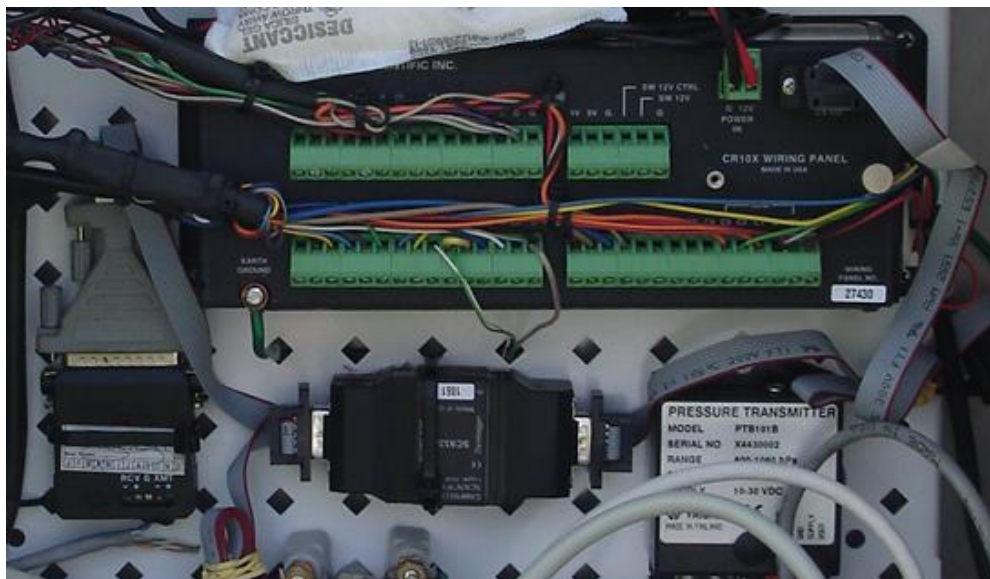


Figura 5 – Registrador CR10X e interface de conversão SC - 932 para RS – 232.

Os dados são coletados periodicamente, mas para tal, é necessário o deslocamento tanto das pessoas que fazem a coleta, quanto do computador com o programa que se comunica com o registrador (*LoggerNet* da *Campbell Scientific*). Fatores como variações climáticas adversas, falta de acessórios como cabo serial ou a chave da estação e até mesmo o próprio esquecimento dos responsáveis pela coleta são fatores complicantes que podem acarretar em perda de dados.

O desejável seria que o computador que se comunica com o registrador, ficasse fixo no laboratório, facilitando o acesso aos dados da estação tanto a professores quanto a alunos. Assim, todos poderiam fazer a coleta dos dados quando quisessem e sem a necessidade de deslocamento de pessoal e equipamentos a estação. Existe ainda a possibilidade dessa coleta ser realizada automaticamente, em datas agendadas, tornando a perda de dados ainda mais improvável.

2.6 - COMUNICAÇÃO ESTAÇÃO/LABORATÓRIO

Para que o computador fique fixo no laboratório, é necessário que os dados da estação cheguem até lá.

Devido à presença do modem de curta distância e a estação estar disposta a cerca de 200 metros do laboratório, essa comunicação poderia continuar sendo feita por um cabo serial, só que com comprimento suficiente para chegar até o laboratório. O cabo pode ser enterrado em uma valeta, não ficando exposto ao tempo e nem a vandalismos.

No entanto essa solução, de certa forma simples e barata, não pôde ser aplicada devido ao fato da área que separa a estação do laboratório ser campo de testes do Departamento de Engenharia Civil (ENC) onde são realizados constantemente ensaios de fundações nos quais são feitas perfurações e aberturas de valetas nessa área. Há também um rua no fundo do SG-11, que dificultaria ou até mesmo impediria a abertura de uma valeta para a passagem do cabeamento.



Figura 6 – Área de perfurações do ENC.

Por esses motivos não seria o mais conveniente passar o cabo por essa área de testes, pois mais cedo ou mais tarde poderíamos ter problemas de rompimento do cabo serial, o que impossibilitaria a comunicação da estação com o laboratório, caracterizando uma solução fácil e barata, mas não totalmente segura e confiável.

Devido a essa impossibilidade de cabeamento entre os dois terminais (Estação/Computador), visualizou-se a idéia de comunicação sem fio, o que tornaria esse processo de comunicação mais caro, entretanto mais confiável e de fácil instalação.

Tornou-se necessário então a aquisição de um par de rádios para que se pudesse fazer a comunicação entre o laboratório e uma estação remota. Esse rádio deveria possuir interface adaptável ao sistema existente, por isso, foram escolhidos rádios com interface serial que poderiam ser facilmente adicionados ao sistema atual.

Dessa forma acredita-se solucionar o problema de comunicação de maneira definitiva e confiável, eliminando a probabilidade de invalidar alguma das experiências devido à perda de dados meteorológicos.

Capítulo 3 - SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS

Uma das principais características de nossa sociedade é o aumento cada vez maior da demanda por abastecimento energético. A industrialização, o aumento dos veículos de transporte e até mesmo a agricultura e a vida urbana, fizeram crescer exponencialmente a dependência mundial sobre a geração de energia através de fontes não-renováveis.

3.1 - UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol.

A energia solar é uma das fontes alternativas que pode suprir com grandes vantagens necessidades, apesar de não ser uma solução total ou definitiva para o problema.

Uma das formas de se obter energia solar é através dos sistemas fotovoltaicos. Esses sistemas produzem energia elétrica a partir da conversão da luz. O principal elemento desses sistemas são as células fotovoltaicas, feitas geralmente de silício. Um conjunto de células fotovoltaicas ligadas em paralelo, em série ou ambos, constituem um coletor ou painel fotovoltaico.

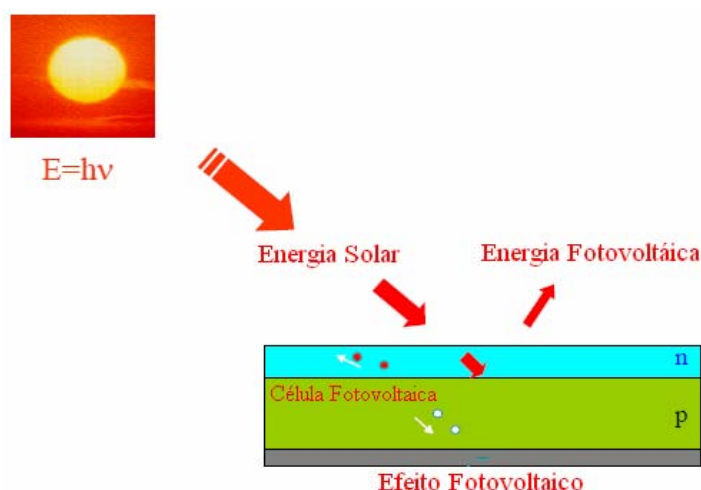


Figura 7 – Conversão Fotovoltaica da Energia Solar.

Este método de conversão energética apresenta como grandes vantagens sua extrema simplicidade, sua característica modular (desde mW até MW), os curtos prazos de instalação, o elevado grau de confiabilidade dos sistemas e baixa manutenção. Além disso, sistemas solares fotovoltaicos representam uma fonte silenciosa, não-poluente e renovável de energia elétrica bastante adequada à integração no meio urbano, reduzindo quase completamente as perdas por transmissão e distribuição da energia devido à proximidade entre geração e consumo. Outra vantagem expressiva é a descentralização da geração, ficando acessível a qualquer comunidade em qualquer local, por mais remota que seja.

A maior utilização em larga escala acontece na Califórnia, Estados Unidos, onde foram implantadas centrais elétricas fotovoltaicas pioneiras de grande porte. Compostas por gigantescos painéis com milhares de células, controlados por computador para acompanhar a trajetória do sol tal qual girassóis, elas dão suporte à rede pública fornecendo mensalmente centenas de megawatts. Os painéis solares cobrem o aumento de consumo justamente ao meio-dia, quando o sol é mais intenso e a demanda de eletricidade aumenta, porque os aparelhos de ar condicionado funcionam com potência máxima. Para substituir toda a produção de energia elétrica dos Estados Unidos por fontes de origem fotovoltaica, seria preciso um painel solar de 34 000 quilômetros quadrados, ou 0,37 por cento da área total do país [6].

3.2 - ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através do efeito fotovoltaico. Esse efeito nada mais é do que a conversão direta da luz em eletricidade.

O efeito fotovoltaico pode ser obtido em materiais semicondutores, cuja principal característica é apresentar duas bandas de energia, uma positiva e a outra negativa. Esse efeito é descrito com detalhes nos tópicos abaixo.

3.2.1 - Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.

A tecnologia fotovoltaica utiliza células de material semicondutor e tais células têm, geralmente, alguns centímetros quadrados de área. A célula solar trabalha segundo o princípio de que os fótons incidentes, colidindo com os átomos de certos materiais, provocam um deslocamento dos elétrons, carregados negativamente, gerando uma corrente elétrica. Este processo de conversão não depende do calor, pelo contrário, o rendimento da célula solar cai quando sua temperatura aumenta.

3.2.2 - Células Fotovoltaicas

Apesar do silício ser o semicondutor mais utilizado, pode-se obter o efeito fotovoltaico com células de selênio, de óxido de cobre, entre outros. O silício pode se apresentar em 3 diferentes formas: monocristalino, policristalino e amorfo.

O silício monocristalino é o que costuma apresentar os maiores índices de eficiência. As fotocélulas comerciais obtidas a partir desse processo atingem uma eficiência de até 15%.

Um processo inovador dentre as tecnologias fotovoltaicas são os filmes finos, cujos materiais constituintes são o arsenieto de gálio, o telureto de cádmio e o disseleneto de cobre-índio. Esses compostos são depositados diretamente em vidro, aço inoxidável ou cerâmica e possuem alguns micrômetros de espessura.

3.2.3 - Perdas por conversão das células fotovoltaicas

As características físicas dos materiais que compõem a célula limitam sua eficiência. Pesquisas são realizadas constantemente visando à melhora da pureza dos semicondutores e de seu processo de dopagem. Essas práticas tendem a tornar as células mais eficientes, podendo baixar os custos das tecnologias fotovoltaicas e torná-las mais competitivas.

Os próximos itens descrevem quais são esses fatores que limitam a eficiência na conversão de energia das células fotovoltaicas.

3.2.3.1 Comprimento de Onda

O material das células fotovoltaicas não é capaz de responder todo o espectro da luz solar. Por isso nem toda a energia emitida pelo sol será absorvida pela célula, impedindo que ela seja completamente eficiente. Calcula-se que 55% da energia fornecida pelo sol é perdida em interações ineficientes entre o material da célula e a luz solar.

3.2.3.2 Recombinação

Os elétrons gerados na interação entre a luz solar e o material semicondutor pode se recombinar, na própria célula, antes mesmo de circular como corrente elétrica. Outra possibilidade é que esses portadores ou as lacunas se recombinem quando encontram uma impureza ou defeito na estrutura cristalina, diminuindo a eficiência das células.

3.2.3.3 Resistência Ôhmica

Como os outros materiais, a célula fotovoltaica possui uma resistência ôhmica característica. Essa resistência dificulta o fluxo de elétrons no material e conseqüentemente diminui a eficiência da célula.

3.2.3.4 Temperatura

Como dito anteriormente, por mais controversa que pareça, a eficiência das células diminuem com o aumento da temperatura. O efeito fotovoltaico se relaciona com a incidência solar e não com o calor emitido por ele. As células fotovoltaicas apresentam melhor rendimento em temperaturas mais baixas.

3.2.3.5 Reflexão

A reflexão de luz pela superfície da célula fotovoltaica representa desperdício de energia solar. O material da célula deve ser tratado com substâncias anti-reflexo de forma reduzir a reflexão da luz solar que pode chegar a 30%. Quanto maior se tornar a absorção de luz pela célula, maior será a eficiência da mesma.

3.2.3.6 Resistência Elétrica

Contatos elétricos maiores reduzem sua resistência elétrica., no entanto, o espaço ocupado por ele reduz a superfície dos semicondutores. Deve-se usar um contato que mantenha uma boa relação entre resistência e área ocupada aumentando assim a eficiência da célula fotovoltaica.

3.3 - RADIAÇÃO SOLAR

O traçado do caminho que a Terra percorre em torno do Sol durante seu movimento de translação é uma elipse O eixo de inclinação da Terra é de $23,5^\circ$ em relação ao plano

equatorial. Essa inclinação faz com que cada hemisfério receba quantidades de energia diferentes, dependendo da posição em que a Terra se encontra. É o movimento de translação da Terra, associado a essa inclinação, que determina as estações do ano: primavera, verão, outono e inverno.

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte Positivo) é chamado de Declinação Solar (δ). Este ângulo, que pode ser visto na figura abaixo, varia de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites:

$$-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$$

A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra.

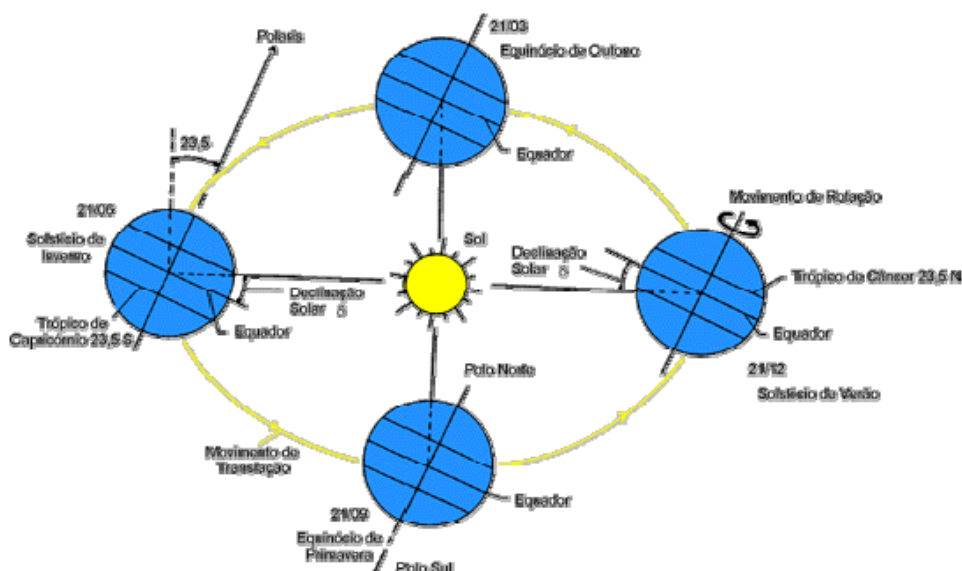


Figura 8 – Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,5°.

O movimento aparente do sol e a latitude definem a duração do dia. Os dias são longos no verão e curtos no inverno. Assim, quanto mais longo o dia, maior é a quantidade de insolação recebida pela superfície e quanto mais curto o dia menor a quantidade de insolação recebida pela superfície. Pôr isso, o hemisfério de verão recebe mais energia solar que o de inverno

As relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento aparente do sol e a superfície terrestre, são descritas através de vários ângulos que são definidos a seguir:

- *Declinação solar*: pode ser definida como o ângulo entre a linha que liga o centro do sol ao centro da terra e o plano do Equador.
- *Ângulo zenital*: é o ângulo formado entre as linhas normal do local e a que liga o centro do sol ou do satélite ao local.
- *Ângulo azimutal*: juntamente com o ângulo zenital, permite determinar a posição do sol num instante em relação ao referencial local. Este é definido como o ângulo compreendido entre a projeção do vetor posição do sol sobre o plano do horizonte e o vetor norte verdadeiro. O azimute é considerado positivo, quando medido a partir da orientação positiva do norte verdadeiro, ou seja, no mesmo sentido dos ponteiros de um relógio.
- *Altura Solar*: ângulo compreendido entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre um plano horizontal.

A radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, podendo-se observar aspectos ondulatórios e corpusculares. Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de 0,1mm a 5mm, tendo uma máxima densidade espectral em 0,5mm, que é a luz verde.

Nem toda energia que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície. Na verdade 31% é refletida para o espaço devido à reflexão e à absorção dos raios solares pela atmosfera. O restante da energia incidente é absorvida pela superfície da terra.

3.3.1 - *Perdas Pela Orientação do Arranjo.*

A fração de radiação solar que atinge o solo é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa.

É importante ressaltar que se a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno. O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado “albedo”.

O recurso energético solar apresenta grande variabilidade devido à alternância de dias e noites, das estações do ano e períodos de passagem de nuvens e chuvosos. Dependendo da variação desses fatores em um determinado local, pode-se escolher a melhor forma de estocagem para a energia resultante do processo de conversão.

Teoricamente, para otimizar o processo de captação solar em sistemas com painéis fixos, deve-se orientá-los sempre em direção à linha do Equador, ou seja, se estiver no Hemisfério Sul, o painel deve ser orientado para o Norte, caso esteja no Hemisfério Norte deve ser orientado para o Sul e caso esteja próximo a linha do Equador, o painel deve estar o mais próximo da horizontal possível (nesse caso deve-se atentar para que água e sujeira não se acumulem na superfície do painel). Ainda para os sistemas com montagens fixas, costuma-se utilizar um ângulo de inclinação do painel igual à latitude do lugar, ao longo das estações do ano [7].

3.4 - EFICIÊNCIA:

Juntamente com o custo da energia por kWh produzido, o grau de eficiência dos sistemas fotovoltaicos é parâmetro fundamental de comparação entre as diferentes tecnologias de geração de energia fotovoltaica. Esse também é ponto fundamental de motivação para realização deste trabalho.

A eficiência dos painéis fotovoltaicos está ligada diretamente a dois parâmetros. O primeiro é a eficiência de conversão das próprias células fotovoltaicas. A maior parte da energia solar é perdida antes mesmo de ser convertida em eletricidade. O outro parâmetro é à disposição dos painéis em relação ao sol. A incidência solar sobre os painéis varia de acordo com a orientação do sistema, sua inclinação e nível de sombreamento sobre os painéis.

Em um sistema fotovoltaico completo, ainda existem outros três fatores que influenciam diretamente em sua eficiência. Além das perdas nos painéis fotovoltaicos, temos ainda as perdas causadas pelo efeito da massa de ar atmosférica, as perdas nos sistemas de armazenamento de energia (baterias) e as perdas no inversor de frequência. Todas essas perdas devem ser dimensionadas e minimizadas, possibilitando uma maior eficiência do sistema fotovoltaico.

A figura abaixo ilustra as perdas entre a Energia disponibilizada pelo Sol e à entregue a carga.

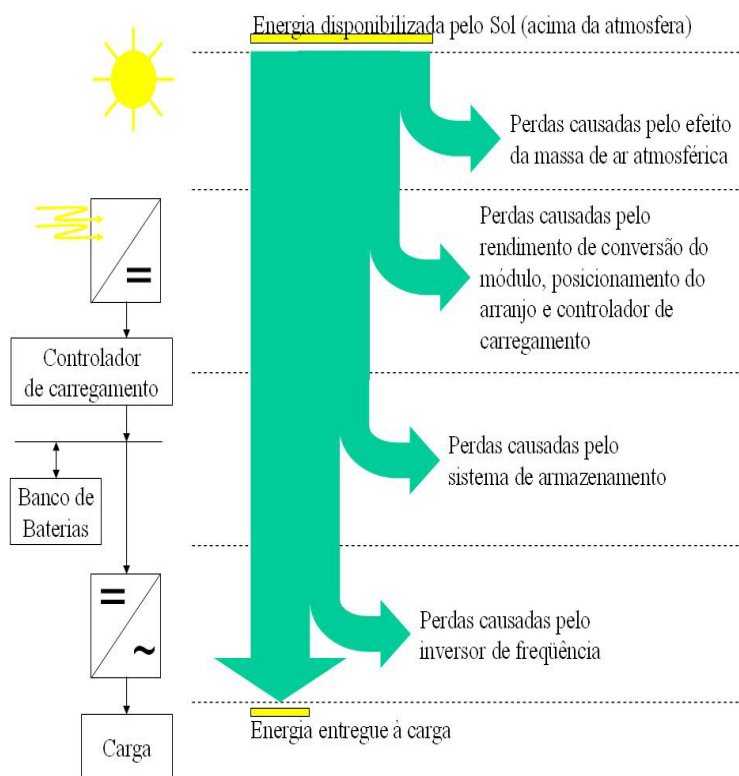


Figura 9 – Perdas entre a Energia disponibilizada pelo Sol e à entregue a carga.

3.5 - SISTEMA FOTOVOLTAICO

Em geral, os sistemas fotovoltaicos são compostos por:

- Módulo Fotovoltaico;
- Controlador de Carga;
- Baterias;
- Inversor de Frequência;
- Carga;

Uma configuração básica de um sistema fotovoltaico está representada na figura abaixo.

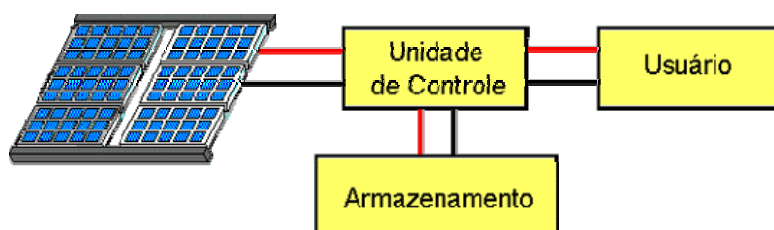


Figura 10 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

3.5.1 - Módulo Fotovoltaico

Esta é a unidade básica do sistema. Ele é composto por células fotovoltaicas, arranjadas geralmente em série, que convertem energia solar em corrente e tensão que será fornecida pelo sistema[8].

3.5.1.1 Curvas Características dos Módulos Fotovoltaicos

A potência dos módulos, geralmente, é dada pela potência de pico. No entanto outros parâmetros podem fornecer importantes meios de comparação entre diferentes tipos de módulos.

A potência de pico corresponde ao ponto da curva no gráfico $I \times V$ onde o produto das duas variáveis é máximo. Nas células fotovoltaicas os principais fatores que influenciam as características elétricas de um painel é a *intensidade luminosa* e a *temperatura das células*. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada. As principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são as seguintes:

- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})
- Corrente de Curto Circuito (I_{sc})
- Potência Máxima (P_m)
- Tensão de Potência Máxima (V_{mp})
- Corrente de Potência Máxima (I_{mp})

Quando uma carga é conectada ao arranjo, as medidas de tensão e corrente podem ser plotadas em um gráfico (vide Figura 11). Normalmente estas curvas estão associadas às condições em que foram obtidas (intensidade de radiação, temperatura, etc).

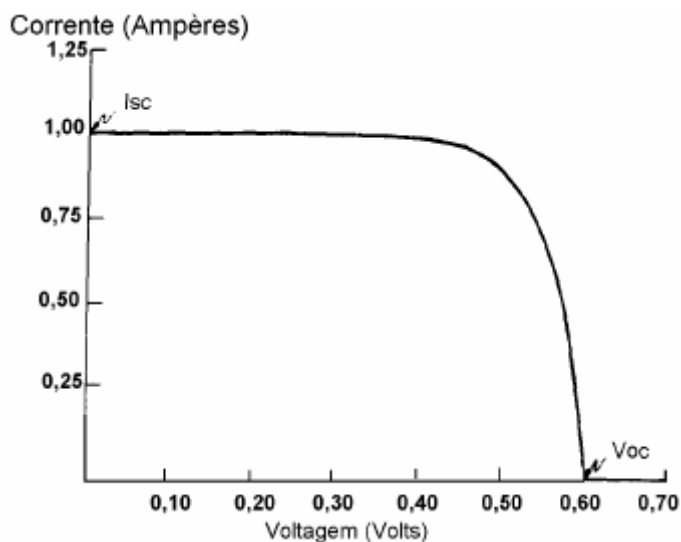


Figura 11 – Curva característica IxV mostrando a corrente I_{sc} e a tensão V_{oc}.

Para cada ponto IxV, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. É importante ressaltar que não existe geração de potência para condições de circuito aberto e curto-circuito, já que tensão ou corrente são zero, respectivamente. O ponto de potência máxima corresponde ao produto da tensão de potência para análise dos parâmetros.

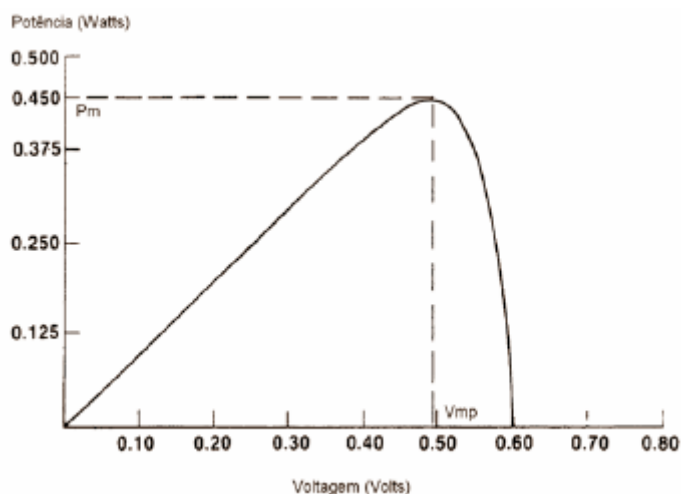


Figura 12 – Curva típica de Potência versus tensão mostrando a potência P_m e a tensão V_{mp}

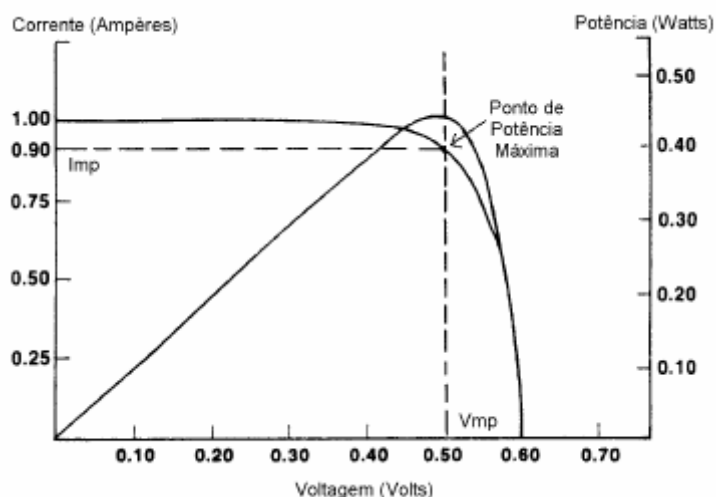


Figura 13 – Curva característica IxV mostrando a corrente Isc e a tensão Voc.

3.5.2 - Controlador de Carga.

Possuem a função de controlar a carga elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos impedindo a descarga completa da bateria ou sua sobrecarga. São de fundamental importância para aumentar o rendimento do banco de baterias e também sua vida útil.

Os Controladores devem desconectar o arranjo fotovoltaico do sistema quando a bateria atinge carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança.

3.5.3 - Baterias

Elementos que armazenam energia. Com o auxílio delas, os consumidores podem usar a energia acumulada à noite ou em períodos de mau tempo.

Nos sistemas fotovoltaicos as baterias chumbo-ácido respondem pela quase totalidade dos sistemas instalados e têm-se dado preferências às abertas para sistemas grandes e às seladas para sistemas pequenos.

A eficiência da bateria poder ser encontrada pela relação entre a saída útil e a entrada de energia, seja ela em Ah, tensão média ou Wh. O valor padrão para a eficiência da bateria é 95% [9].

Abaixo são descritos alguns conceitos fundamentais relativos ao uso das baterias:

- ***Ciclo***

Seqüência carga-descarga de uma bateria até uma determinada profundidade de descarga.

- ***Carga***

Conversão de energia elétrica em potencial eletroquímico no interior da célula.

- ***Descarga***

Processo de retirada de corrente de uma célula ou bateria através da conversão de potencial eletroquímico em energia elétrica, no interior da célula. Quando a descarga ultrapassa 50% da capacidade da bateria, ela é chamada de “Descarga Profunda”.

3.5.4 - Inversores de Carga

A maioria dos motores, eletrodomésticos e eletro-eletrônicos necessitam de corrente alternada para funcionar. Como a corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos é contínua os inversores de carga são utilizados para conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA).

Inversores isolados comumente operam com tensões de entrada de 12, 24, 48 ou 120 Volts (CC) que geralmente são convertidos em 120 ou 240 Volts(CA), na frequência de 60 ou 50 Hertz.

Os inversores são dimensionados levando-se em consideração basicamente dois fatores. O primeiro é a potência elétrica que deverá alimentar, em operação normal, por determinado período de tempo. O segundo é a potência de pico necessária para a partida de motores e outras cargas, que requerem de duas a sete vezes a potência nominal para entrarem em funcionamento.

Quanto menos potência dissipar, mais eficiente será o inversor e menor será sua influência nas perdas do sistema. A eficiência dos inversores varia, normalmente , na faixa de 50 a 90%[9].

Capítulo 4 - MATERIAIS

Para realização desse projeto foram utilizadas uma estação meteorológica já existente além da montagem de um laboratório de testes e a fixação de arranjos fotovoltaicos.

A estação meteorológica fica situada entre o SG11 e a L3 Norte, no Campus Universitário Darcy Ribeiro sendo responsável pela medida e armazenamento dos dados relativos ao clima, descrito com maiores detalhes no item 4.1.

Os arranjos, descritos no item 4.2, foram confeccionados para suportar um ou quatro painéis fotovoltaicos e se encontram sobre o telhado do SG11.

No Laboratório de Fontes Alternativas de Energia é onde se encontra o laboratório de testes, onde são feitas as configurações dos equipamentos descritos no item 4.3 e medições dos valores testados em cada experimento realizado.

4.1 - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

A torre é uma estrutura tubular em alumínio dividida em três partes, com base triangular usada para fixação dos sensores. Sendo do modelo U30 de fabricação da *Campbell Scientific*, tem 10 metros de altura. Sua construção é feita de forma que uma das pontas da base triangular esteja orientada para o Norte geográfico, desta forma os elementos fixados em sua estrutura também estão com a mesma orientação.



Figura 14 – Torre da estação meteorológica.

Além de um anemômetro, um piranômetro, um pluviômetro e um sensor de pressão atmosférica, a estação possui uma sonda de temperatura/umidade relativa do ar, três termômetros de solo e uma sonda de umidade do solo.

Uma caixa metálica foi fixada na estrutura da torre, onde estão o sistema digital de aquisição de dados com o registrador (do inglês *datalogger*), o modem de transmissão e o rádio transmissor, um controlador de carga e uma bateria 12V para alimentação do sistema durante a noite. Durante o dia, um painel solar da Unicoba de 12V e 10Wp supre a energia necessária ao funcionamento dos sensores e demais equipamentos e ainda recarrega a bateria.

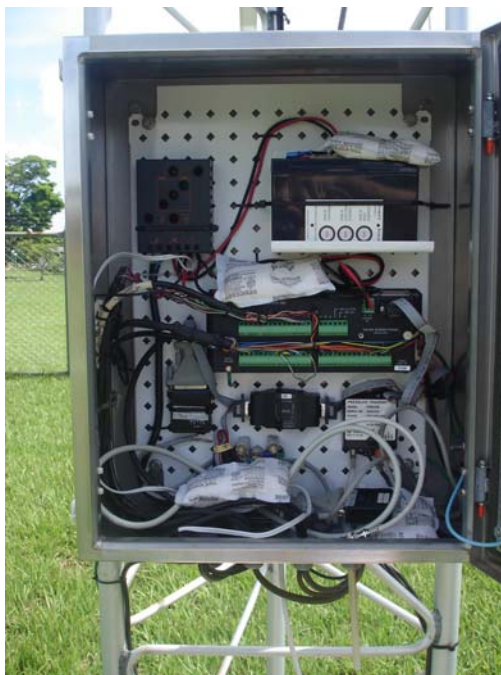


Figura 15 – Caixa metálica da estação.

Informações de instalação, manuseio e funcionamento dos equipamentos acima foram omitidas desse trabalho por já constarem no Projeto final de graduação em Engenharia Elétrica de título: “Eficiência de painéis fotovoltaicos” dos alunos Jill Rochette Anahita Hutin e Roberton Goston Madeira Júnior, apresentado em Fevereiro de 2005.

4.2 - ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

Nos arranjos fotovoltaicos, foram utilizados Módulos Policristalinos de Alta Eficiência do modelo KC 45 da marca Kyocera.

Esses módulos são produzidos de forma automatizada e com uma avançada tecnologia de processamento de células, o que gera uma eficiência de conversão das células acima de 14%.

As células são encapsuladas entre camadas de vidro temperado como cobertura, acetato de vinil etilênico e polivinil fluorídrico como fundo, para dar a máxima proteção contra os serenos e condições ambientais.

Abaixo está descrita a especificação elétrica e física dos módulos utilizados.

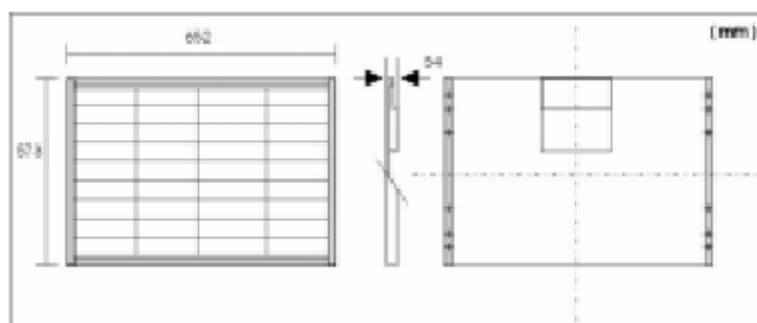
Tabela 3 – Especificações Elétricas do Modelo KC 45.

Máxima Potência	45,0 W
Voltagem de Máxima Potência	15,0 V
Corrente de Máxima Potência	3,00 A
Voltagem de Circuito Aberto	19,2 V
Corrente de Curto-Circuito	3,10 A

Nota: As especificações Elétricas estão sob Condições de teste de irradiação de 1KW/m^2 . Espectro de 1,5 de Massa de Ar e Temperatura de célula de 25°C .

Tabela 4 – Especificações Físicas do KC 45.

Altura	573 mm
Largura	652 mm
Espessura	54 mm
Peso	4.5 kg

**Figura 16** – Especificações Físicas do KC 45.

Foram feitos três arranjos com quatro painéis e outros seis arranjos com painéis individuais, dispostos sobre o telhado do SG11 conforme o esquema da Figura 17.

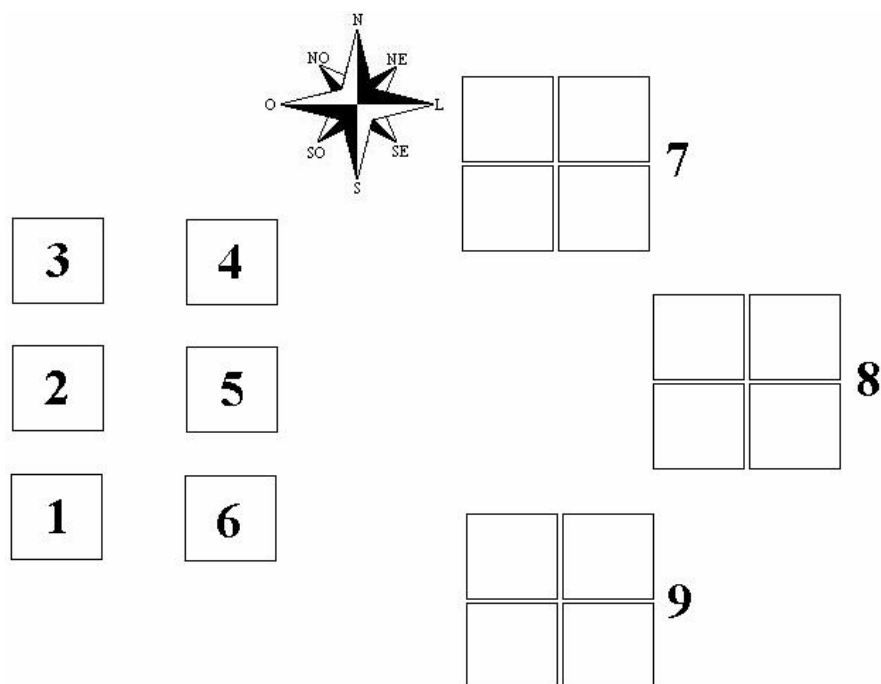


Figura 17 – Disposição dos painéis.

As estruturas de fixação obedecem a alguns requisitos pré-definidos e por isso são fixadas sobre o laje mas de forma que não seja necessário a realização de furos na estrutura do telhado do SG11. A Figura 18 mostra uma visão geral e ampla dos arranjos instalados.



Figura 18 – Visão geral dos painéis instalados.

Além disso é necessário que a estrutura seja capaz de girar em torno de seu eixo e inclinar, para que seja possível ajustar sua orientação e inclinação.



Figura 19 – Estrutura de fixação dos painéis que permite sua movimentação.



Figura 20 – Base de fixação dos arranjos de quatro e de 1 painel respectivamente.

4.2.1 - Arranjos de 4 Painéis

Esses arranjos se encontram em uma estrutura maior, capaz de sustentar os quatro painéis, além de permitir incliná-los e girá-los em torno do eixo central, o que possibilita o ajuste do arranjo da maneira mais conveniente para realização de cada teste.

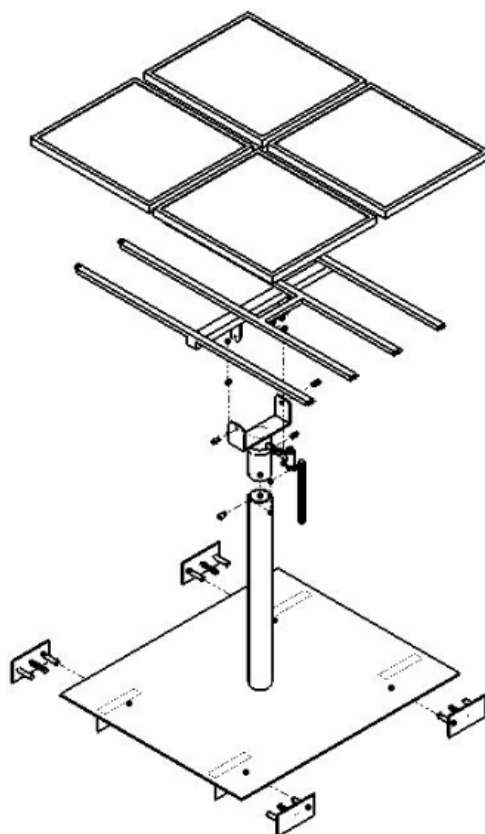


Figura 21 – Vista explodida do arranjo de 4 painéis.

Embaixo de cada arranjo, fixada na haste central de sustentação, há um caixa metálica que abriga um quadro de disjuntores, com os quais é possível configurar a tensão de saída do arranjo, ligando os painéis em série ou paralelo.



Figura 22 – Arranjo fotovoltaico com 4 painéis.

4.2.2 - Arranjos Individuais

Para a fixação dos módulos individuais, foram construídas estruturas semelhantes às dos arranjos de quatro módulos, só que esses, de menor porte, por sustentarem apenas um painel e sem a caixa metálica dos disjuntores.

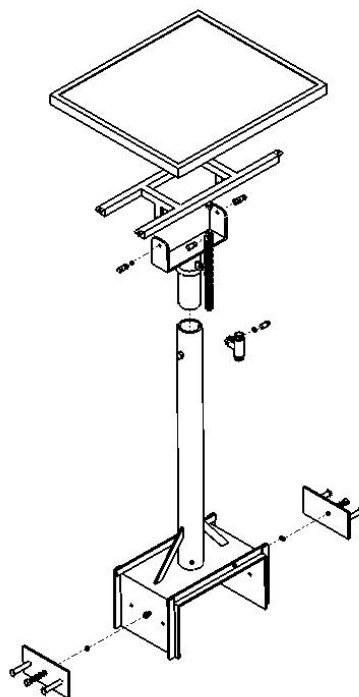


Figura 23 – Vista explodida do arranjo individual.



Figura 24 – Arranjo fotovoltaico com painéis individuais.

4.3 - LABORATÓRIO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

No laboratório existem três sistemas idênticos, cada um ligado aos arranjos com 4 painéis através de cabos de mesmo diâmetro e comprimento. Cada sistema é composto por um controlador, um banco de duas baterias de 12V ligadas em série e um inversor de frequência, além de disjuntores e fusíveis para garantir a segurança do sistema.



Figura 25 – Foto do Laboratório de Fontes Alternativas de Energia.

Existe também um suporte com seis arranjos de lâmpadas para servir de carga para os seis painéis individuais, que também são ligados por cabos de mesmo diâmetro e comprimento.

4.3.1 - Cabeamento

Todo o cabeamento dos painéis ao laboratório foi feito com cabos de 16 mm. da marca Pirelli sendo todos rigorosamente do mesmo comprimento, fazendo com que a resistência que causa perdas por queda de tensão seja a mesma. A única exceção são os cabos que vão do banco de baterias ao inversor de frequência, passando pelos fusíveis, que são de 25 mm., também da Pirelli.

4.3.2 - Arranjo de Lâmpadas

Pequeno suporte com seis arranjos de lâmpadas, cada um contendo duas lâmpadas, sendo uma de 5 W e a outra de 20W. Esse arranjo de lâmpadas serve de carga para os seis painéis individuais e permite observar de maneira rápida, porém pouco detalhada o funcionamento dos seis painéis.

4.3.3 - Controladores de Carga e Carregamento

Antes de serem ligados nas baterias, os cabos vindos dos arranjos dos painéis passam pelos controladores de carga, que são responsáveis por controlar os ciclos de carga e descarga do banco de baterias para impedir que ela carregue ou descarregue além dos limites estipulados no catálogo. Quando estão sendo usados na descarga das baterias, devem ficar entre as baterias e a carga usada para descarregá-las.

Foram utilizados controladores de carga marca Xantrex modelo C40. Foram adquiridos junto com os controladores, seus mostradores opcionais, que incluem um *LCD* de duas linhas e 32 caracteres e um *LED* indicador de *status*.



Figura 26 – Visão frontal e lateral do modelo C40.

O mostrador fornece as seguintes informações:

- Tensão na Bateria : 4 a 100 volts CC
- Corrente : 0 a 85 Amps CC
- Potência : 0 a 3600 Watts
- Amperes-hora : 0 a 65536 Ah, que pode ser resetada para 0.
- Totalizador de Amperes-hora : 0 a 65536 Ah, reseta para 0 quando desconectado da energia.
- *LED* de status: verde, vermelho ou laranja.

Todas as medições de tensão e corrente realizadas nos testes são feitas por esse medidor digital do controlador.

Esse modelo pode ser configurado para atuar em sistemas 12V, 24V ou 48V através de um *jumper* que deve ser selecionado antes do sistema ser energizado.

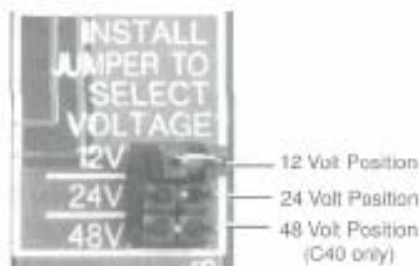


Figura 27 – Jumper para seleção de tensão.

Através de *jumper*, também é feita a configuração do controlador para “controle de carregamento fotovoltaico” (*charge control*) ou “modo de controle de carga CC”(load control) .



Figura 28 – Jumper de seleção para módulo de operação.

Quando configurado como controlador de carga o módulo desconecta a carga CC 6 minutos após sua tensão atingir o valor *low voltage disconnect* (LVD). O controlador é novamente reconectado quando o valor de *low voltage reconnect* (LVR) é atingido.

4.3.4 - Baterias

As baterias utilizadas para servirem como acumuladores de energia do sistema fotovoltaico foram da marca MOURA, e do modelo 12MC63, da linha MOURA CLEAN.



Figura 29 – Bateria utilizada nos testes.

Foram selecionadas essas baterias porque a restrição mais importante ao uso de baterias ventiladas próximas a equipamentos eletrônicos é a corrosão provocada pelos gases ácidos, juntamente com o vazamento do eletrólito, e ao contrario das baterias de tecnologia VRLA (Baterias reguladas a válvula) as baterias usadas, com tecnologia SPV, apresentam solução para ambos os problemas e sem a necessidade de um controle da temperatura. Sendo assim a melhor relação custo-benefício para aplicação estacionária.

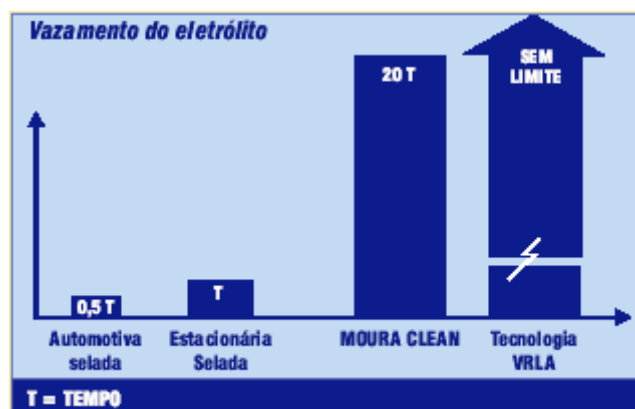


Figura 30 – Gráfico comparativo de diferentes baterias em relação ao vazamento de eletrólito.

Para selecionar a bateria a ser utilizada, deve-se utilizar o gráfico abaixo e seguir os seguintes passos:

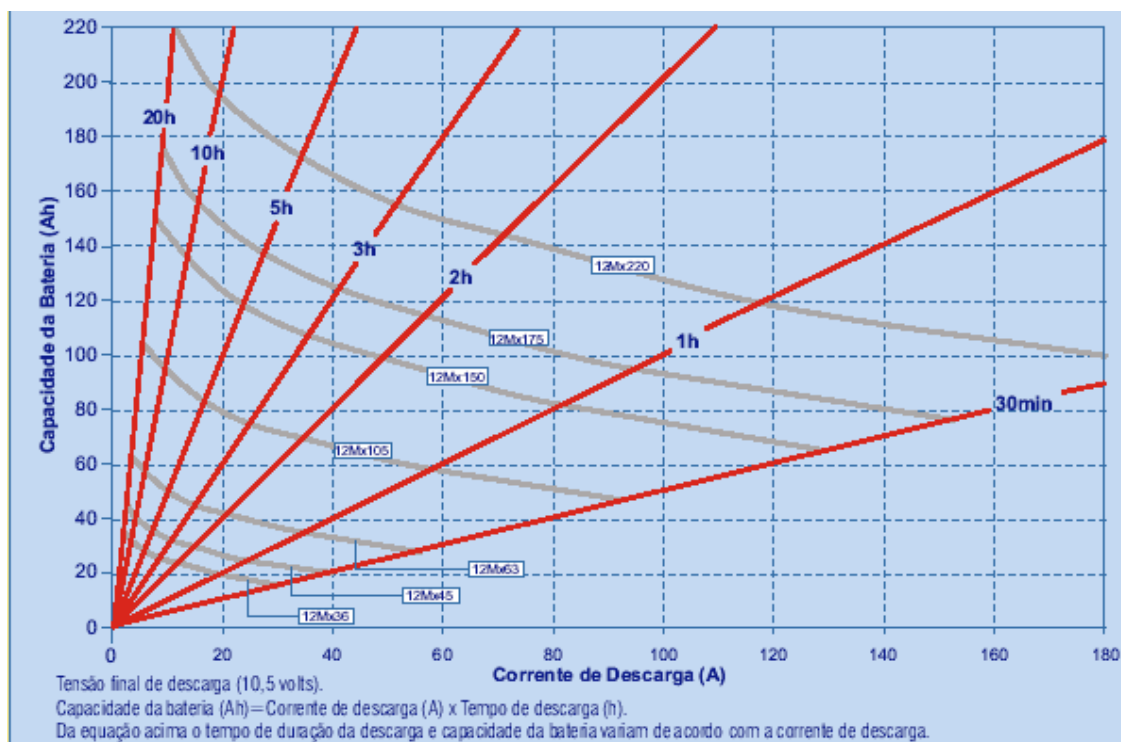


Figura 31 – Gráfico de seleção de capacidade (a 25°C).

- 1) Selecione a intensidade de corrente em Ampere (A) desejada (eixo “corrente de descarga”).
- 2) Selecione por quanto tempo você precisa desta corrente (retas vermelhas).
- 3) Escolha a bateria representada pela reta que cruza o ponto selecionado ou que passa imediatamente acima (linhas cinzas).
- 4) Consulte o gráficos de ciclos para determinar a expectativa de vida da bateria em função da profundidade de descarga.

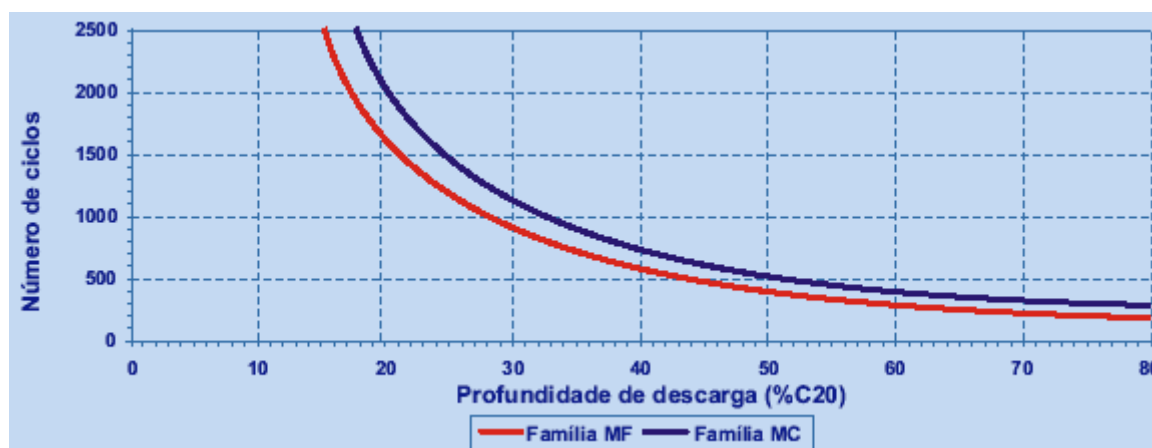


Figura 32 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga.

Tabela 6 – Capacidade nominal (Ah) a 25°C em diferentes regimes.

Modelo	Horas																	
	20	10	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,75	0,5	0,25
12MF36 12MC36	36,1	32,2	31,8	31,1	30,4	29,6	28,6	28,0	27,3	26,6	25,8	24,8	23,6	22,0	19,8	18,2	16,0	12,2
12MF45 12MC45	45	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	28	25	23	20	15
12MF63 12MC63	63	57	56	54	53	52	50	49	48	47	45	43	41	39	35	32	28	21
12MF105 12MC105	105	94	93	91	89	86	83	82	80	78	75	72	69	64	58	53	47	36
12MF150 12MC150	151	135	132	130	127	123	119	116	113	110	107	103	97	91	81	75	65	49
12MF175 12MC175	174	156	153	150	146	142	137	134	131	128	124	119	113	105	95	87	76	58
12MF220 12MC220	218	195	192	188	183	178	172	169	165	160	155	149	141	132	118	109	95	72

Tabela 7 – Watts a 25°C em diferentes regimes.

Modelo	Horas																	
	20	10	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,75	0,5	0,25
12MF36 12MC36	22	35	40	43	47	52	65	62	67	73	91	91	105	126	164	197	234	401
12MF45 12MC45	28	44	50	54	59	65	81	78	85	92	116	114	132	159	206	248	293	502
12MF63 12MC63	39	62	70	76	82	91	113	109	118	129	160	160	184	221	288	345	410	699
12MF105 12MC105	65	103	117	126	137	152	188	182	197	214	269	266	307	369	480	577	683	1168
12MF150 12MC150	93	153	166	179	195	215	258	258	278	303	366	375	432	519	672	807	975	1623
12MF175 12MC175	108	173	192	207	225	248	300	299	322	351	425	435	502	604	783	941	1139	1901
12MF220 12MC220	136	216	240	259	282	311	376	374	403	439	533	544	628	754	977	1174	1420	2368

Tabela 8 – Descarga máxima (A) a 25°C em diferentes regimes.

Modelo	Horas																	
	20	10	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,75	0,5	0,25
12MF36 12MC36	1,8	3,2	3,5	3,9	4,3	4,9	5,7	6,2	6,8	7,6	8,6	9,9	11,8	14,7	19,8	24,3	32,0	48,9
12MF45 12MC45	2,3	4,1	4,4	4,9	5,4	6,2	7,2	7,8	8,6	9,5	10,8	12,4	14,8	18,4	24,8	30,4	40,1	61,2
12MF63 12MC63	3,2	5,7	6,2	6,8	7,6	8,2	10,0	10,9	12,0	13,3	15,0	17,4	20,6	25,7	34,6	42,5	56,1	85,7
12MF105 12MC105	5	9	10	11	13	14	17	18	20	22	25	29	34	43	58	71	94	143
12MF150 12MC150	8	13	15	16	18	20	24	26	28	32	36	41	49	60	81	99	130	196
12MF175 12MC175	9	16	17	19	21	24	27	30	33	36	41	48	56	70	95	116	152	231
12MF220 12MC220	11	20	21	23	26	30	34	37	41	46	52	60	71	88	118	145	191	289

4.3.5 - Disjuntores

Os disjuntores utilizados na montagem do sistema são da marca Siemens e do modelo 5SX1 110-6 monopolar com tensão e corrente nominais máximas de 60VCC e 10A respectivamente.



Figura 34 – Quadro de disjuntores do sistema.

4.3.6 - Inversores de frequência

Os inversores de frequência são responsáveis por transformar a energia em corrente contínua fornecida pelas baterias em corrente alternada capaz de substituir a rede elétrica na alimentação de equipamentos CA sem prejuízo algum.

Os inversores utilizados são da marca Xantrex do modelo Prosine 1000/24. Esses inversores têm uma potência de saída de 1000W e devem ser alimentados com uma tensão de entrada de 24 VCC, fornecendo assim em sua saída uma tensão CA de 120 V. Sua eficiência de pico é de 90%.



Figura 35 – Inversor de frequência Xantrex modelo Prosine 1000/24.

A forma de onda da saída do inversor de frequência é uma “onda senoidal verdadeira” com uma distorção harmônica total de 1%. A Figura 36 ilustra a forma de onda da saída do

inversor, que é praticamente idêntica à fornecida pela rede elétrica, podendo em alguns casos, onde o fornecimento elétrico é precário, ser até melhor.

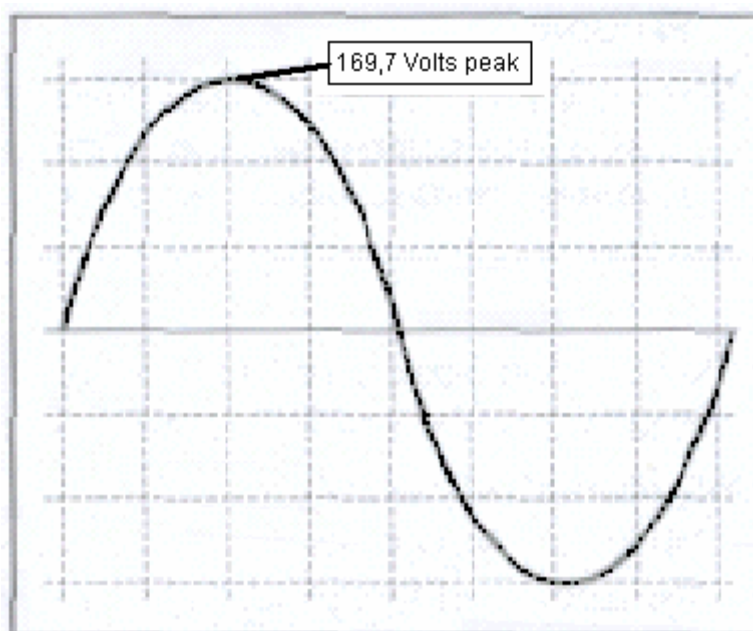


Figura 36 – Onda real de saída (Modelo 120V CA).

O inversor possui um Painel de controle que funciona como uma interface entre o usuário e o inversor.

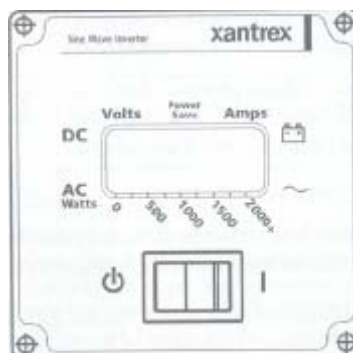


Figura 37 – Painel de Controle.

Este painel de controle permite ligar ou deixar o inversor no estado *Bypass*. Ele é projetado para ser montado em múltiplas posições, podendo ser retirado e montado no chassi do inversor com incrementos de 90°, dependendo da orientação do inversor.

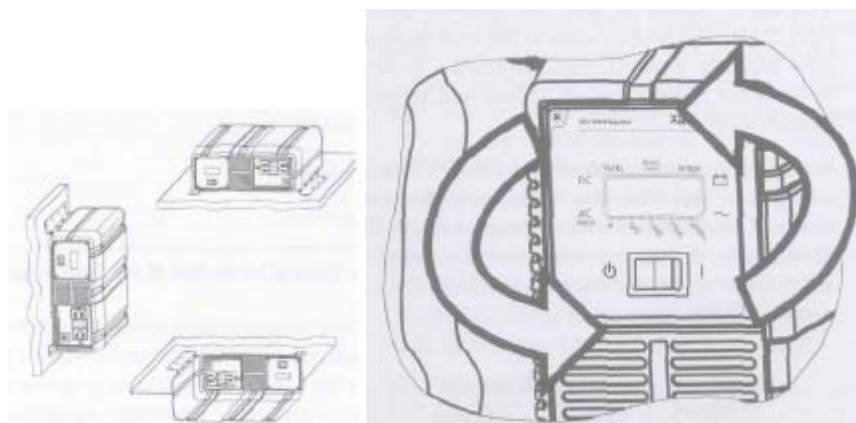


Figura 38 – Orientações aprovadas para montagem do inversor e fixação do painel de controle.

No painel tem ainda um *display* de cristal liquido (*LCD*) que mostra a numericamente a corrente da bateria e sua voltagem e uma barra gráfica multi-segmentada que mostra a potência de saída atual do inversor quando uma carga está sendo operada. Quando ocorre uma falha, o erro é imediatamente mostrado no *display* e um alarme sonoro é disparado para chamar a atenção para o erro acontecido.

Como todo inversor, a potência que o inversor de onda senoidal Xantrex consegue fornecer sem sobre-aquecimento é limitada à temperatura ambiente. As curvas abaixo mostram essa relação.



Figura 39 – Curvas de Potencia de saída X Temperatura ambiente.

A taxa de eficiência do inversor indica o percentual da potência CC é convertida em potência CA útil. As curvas abaixo mostram essa relação eficiência do inversor e a faixa de potência de trabalho.

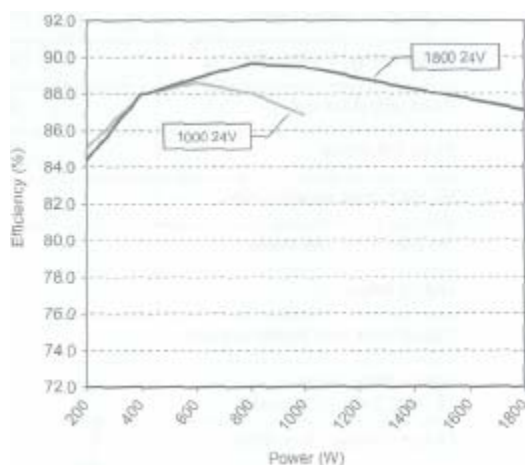


Figura 40 – Curvas de Eficiência X Potência.

4.3.7 - Fusível

Por sugestão do fabricante do inversor de frequência, usou-se um fusível na ligação entre o banco de bateria e o inversor. O fusível usado foi da marca Siemens, tipo NH 80. O modelo usado foi o 3NA3 824, da corrente nominal de 80A.

Tabela 9 – Catálogo de seleção do fusível.

Tamanho	Corrente nominal (A)	Fusíveis <i>Indicador de atuação no topo</i>	<i>Indicador de atuação frontal ¹⁾</i>
000	6	3NA3 801	–
	10	3NA3 803	3NA7 803
	16	3NA3 805	3NA7 805
	20	3NA3 807	3NA7 807
	25	3NA3 810	3NA7 810
	32	3NA3 812	3NA7 812
	40	3NA3 817	3NA7 817
	50	3NA3 820	3NA7 820
	63	3NA3 822	3NA7 822
	80	3NA3 824	3NA7 824
	100	3NA3 830	3NA7 830
00	125	3NA3 832	3NA7 832
	160	3NA3 836	3NA7 836



Figura 41 – Fusíveis utilizados entre as baterias e o inversor.

4.3.8 - Reostato (Carga)

Como carga para o sistema fotovoltaico, foram utilizados reostatos de 0 – 55 Ω ou combinações em paralelo de dois deles, para dividir a corrente passante em cada um deles e evitar o superaquecimento ou até mesmo a queima dos reostatos.



Figura 42 – Reostatos para a descarga das baterias.

4.3.9 - Ventilador

Para evitar o superaquecimento dos reostatos enquanto esses se encontrassem em uso, foi usado um ventilador de uso doméstico ligado diretamente sobre os reostatos.

Capítulo 5 - INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE RÁDIO

5.1 - VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA DE RÁDIO

Buscando encontrar a solução mais eficaz e economicamente viável para solucionar o problema de comunicação sem fio, entre o laboratório e a torre, foi feita uma pesquisa de mercado em busca da melhor solução.

Como sensores, *dataloggers*, *modems*, *software* de aquisição de dados e demais componentes de interface entre a estação e o computador eram todos da marca *Campbell Sci*, parecia mais conveniente que fosse encontrada uma solução dessa mesma marca, para que assim, a integração do rádio com o resto do sistema fosse mais rápida e fácil.

Foi encontrado então no site da *Campbell Sci* (www.campbellsci.com) um módulo de rádio com tecnologia *Spread Spectrum* denominado RF401 com capacidade de transmissão por até 1600m de distância, já acompanhado de antena, cabo serial e até mesmo um adaptador CA. Sua principal vantagem é que sua interface com o datalogger é realizada de forma direta sem a necessidade da utilização de conversores ou modems.



Figura 43 – Rádio Spread Spectrum RF401 da Campbell Sci.

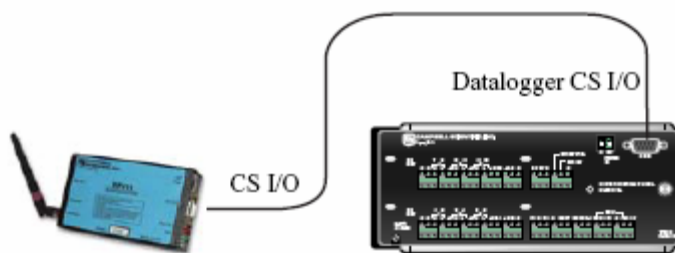


Figura 44 – Interface direta entre o RF401 e o Datalogger CR10X.

Apesar de parecer eficiente, essa solução se tornou inviável após um orçamento feito junto à representante da *Campbell Sci* no Brasil e a constatação de que seu preço era cerca de R\$ 6000,00, quantia essa que extrapolava as previsões orçamentárias do nosso projeto.

Vale a pena lembrar que a distância aproximada entre a estação meteorológica e o laboratório não ultrapassa 90m.



Figura 45 – Visão da estação meteorológica de cima do laboratório.

Procurou-se então uma opção que fosse mais economicamente viável que a encontrada sem que a eficiência na comunicação fosse perdida. Depois de algumas pesquisas foi encontrado um rádio da marca *Radiometrix* que se comunica através de ondas *UHF*. Esse rádio é denominado *SPM2-433-28 (Space Port Modem)* e possui visada de até 200m. Como

pode ser visto na Figura 46, esse rádio consiste apenas em um Circuito Integrado sem nenhuma interface definida com o *PC* o que dificultava o processo de integração.



Figura 46 – Rádio UHF SPM2-433-14 da Radiometrix.

Visando solucionar esse novo problema, foi adquirido juntamente ao rádio, um Kit responsável por sua interface com uma porta serial RS232, kit esse denominado *SPM Eval-Kit* que igualmente ao rádio também é da marca *Radiometrix*. Além de possibilitar essa interface, esse kit contém entrada de energia tanto de uma fonte externa quanto através de baterias de 9V (PP3). Ele possui também um conector BNC integrado ao kit para o acoplamento de uma antena externa além de *LEDs* indicadores das operações do rádio.



Figura 47 – Eval-Kit da Radiometrix.

5.2 - TESTES

Adquirido o rádio e o kit foi adotado então um regime de testes para verificar a eficiência do rádio na transmissão de dados além da adaptação a suas funções.

Primeiramente, foi realizada uma tentativa de comunicação entre dois PCs comuns utilizando o Hyperterminal do Windows XP. Atendendo ao manual, foi escolhida a seguinte configuração para o canal de comunicação:

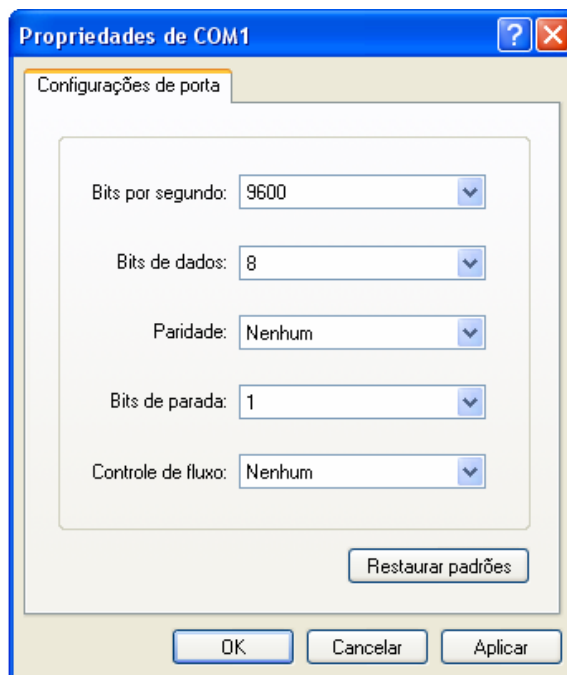


Figura 48 – Configuração Hyperterminal.

Além das configurações de porta, os rádios também devem ser configurados de acordo com manual. Para acessar o *set* de configurações do rádio, é necessário utilizar o *jumper* de *setup* existente no *Eval-Kit*.

Realizada as configurações, o próximo passo foi realizar um teste de radar entre os dois rádios para verificar se efetivamente estava havendo comunicação entre eles. O teste de radar consiste no envio de pequenos pacotes de dados por um rádio e espera de uma resposta do outro. Ao receber uma resposta positiva é mostrado então a porcentagem dos dados transmitidos com sucesso.

Como era esperado, pelos rádios estarem próximos, sem nenhuma barreira entre eles, o teste de radar foi realizado com sucesso. Para verificar a confiabilidade do rádio, foi feito o envio de pequenos arquivos no formato .txt entre os PCs.

Foram feitos testes de arquivos com até 500Kb de tamanho e todos eles foram transmitidos entre os PCs de forma rápida e sem perda nenhuma de dados.

Sabendo da confiabilidade da transmissão entre os rádios, o próximo passo é fazer a integração entre o software de aquisição de dados *LoggerNet*, instalado no PC, e o *Datalogger* instalado na estação meteorológica.

Nessa etapa foi realizado primeiramente o teste de comunicação entre a estação e um *Notebook* com o *software LoggerNet* instalado. Assim como acontecia quando o sistema de rádio era conectado ao PC via *Hyperterminal*, ao conectar o rádio ao cabo RS232 vindo do *Datalogger*, além do *LED* de *power* o *LED* Rx também piscava incessantemente, indicando a primeira vista que o rádio estava pronto para se comunicar.

Na outra ponta, foi conectado o outro rádio junto ao *Notebook* via porta serial. Para realizar o teste de conectividade entre o *software* e o *datalogger* via rádio, foi utilizada a ferramenta *Communication Test* disponibilizada pelo *LoggerNet*. Essa ferramenta funciona da seguinte maneira: ao selecionar o *datalogger* no qual se deseja comunicar e pressionar o botão de comando *Test*, o círculo ao lado fica verde caso a conectividade seja realizada com sucesso ou vermelha caso não seja.



Figura 49 – Teste de Comunicação entre o computador e o datalogger.

Mesmo aparentemente tudo estando correto, a conectividade entre o *software* e o *datalogger* não era estabelecida. Foi realizado então um levantamento procurando identificar o problema que ocorria.

Primeiramente, foi verificado o endereçamento dos rádios para ver se existia algum conflito. De acordo com o manual do rádio RF401 da *Campbell Sci.*, para comunicação ponto a ponto, como o caso em questão, os endereços dos dois rádios poderiam ser semelhante e era assim que estava sendo feito até então.

Foram configurados então o rádio da base, ligado ao PC, com o endereço 0 e o rádio da estação remota, ligado a estação, com o endereço 1. Mesmo assim, ao realizar o teste de conectividade, o resultado foi negativo.

Em seguida, foi verificado que o problema provavelmente estaria na interface física entre o *eval-kit* e o *datalogger* já que o modem instalado na torre previa a comunicação entre o *datalogger* e um equipamento DCE. Por sua vez, o cabo serial tradicionalmente usado só poderia ser utilizado caso o rádio seja usado como um DTE. Foi consultado então o manual e a partir de então feito um cabo que fizesse corretamente a interface entre o *eval-kit* e um DCE.

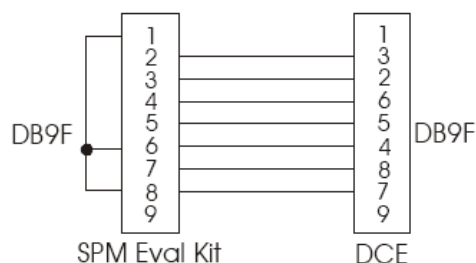


Figura 50 – Interface entre o eval-kit e um DCE (*Data Communications Equipment*).

Já com o novo cabo, não foram encontrados mais problemas de comunicação entre o *datalogger* e o rádio e já era possível coletar os dados através da comunicação sem fio.

5.3 - INSTALAÇÃO DEFINITIVA

Finalmente, foi realizado um teste de radar com o computador no laboratório. Depois de subir o cabo da antena na torre a uma altura que melhorasse a visada, não foram encontrados problemas de comunicação e o teste de radar foi realizado com sucesso.

Foi feita então a instalação definitiva dos rádios, antenas e cabos tornando a coleta de dados da estação meteorológica mais simples, possibilitando inclusive que se agende intervalos de coleta de dados ou a monitoração em tempo real dos dados da estação.

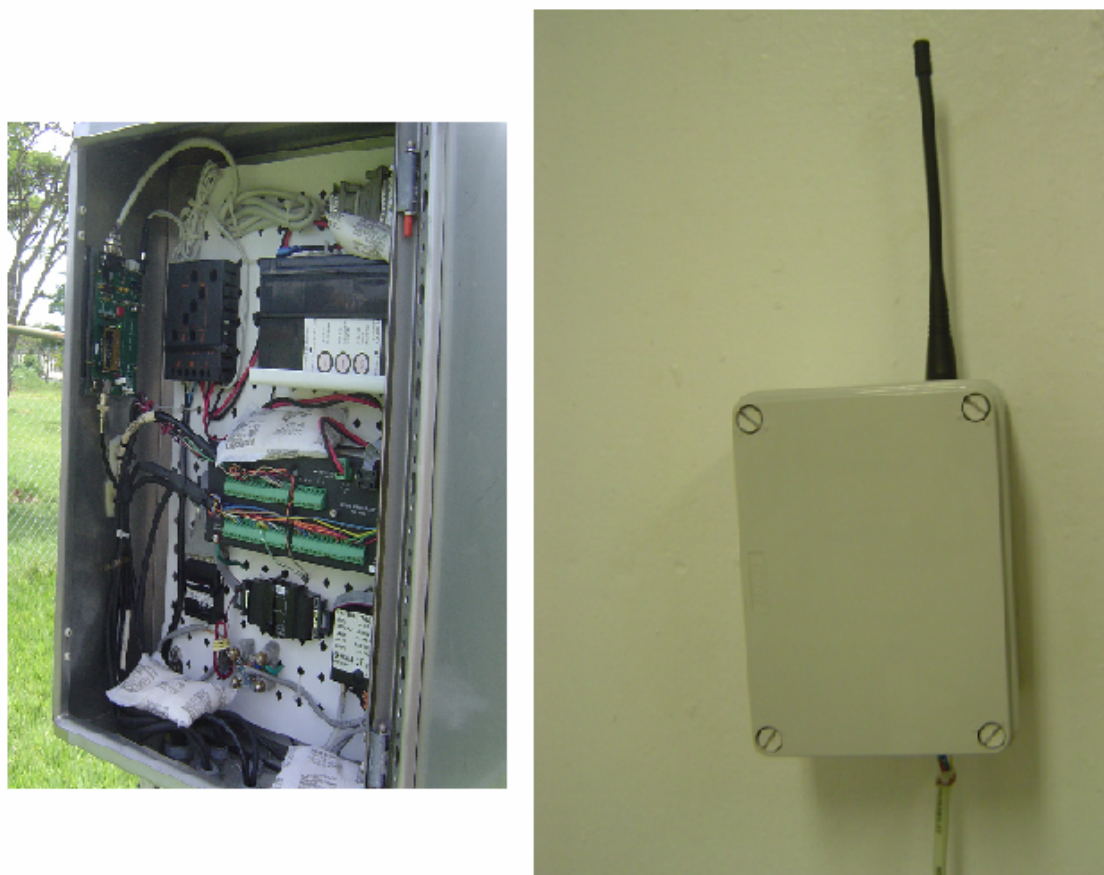


Figura 51 – Instalação definitiva do sistema de rádio na estação e no laboratório.

5.4 - ANÁLISE DE CUSTOS

A instalação definitiva do sistema de comunicação teve como gasto apenas a aquisição do equipamento descrito na Tabela 10, uma vez que sua instalação e configuração são simples e foram realizadas sem custos adicionais.

Os valores da Tabela 10 são calculados com base na cotação do EURO, e portanto, podem apresentar variações. Os valores tabelados foram calculados com a cotação do EURO do dia 24/05/2005, que era de 3,06 reais.

Tabela 10 – Cotação do sistema de radio adquirido.

Produto	Qtde.	Preço Unit. c/ICMS s/ IPI Valores em R\$	IPI	ICMS	Preço Total c/ICMS c/ IPI Valores em R\$
SPM2-433-28	2	287,96	15,0	18,0	662,31
SPM2-EVAL KIT	1	727,24	10,0	18,0	799,96
TOTAL					1.462,27

O custo para a aquisição da solução por cabeamento é estimada na Tabela 11.

Tabela 11 – Cotação da solução por cabeamento.

Produto	Qtde.	P. Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Conector DB9	2	0,90	1,80
Fio Manga (12 pares)	100m	4,00	400,00
Mão de obra (Abertura de valeta)	1	900,00 (estimado)	900,00
TOTAL			1.301,80

Além dos gastos com a aquisição do material, existe ainda o custo da mão de obra para a instalação do sistema que é mais trabalhosa e menos confiável. Seria necessário abrir um valeta durante toda a extensão do percurso entre a estação e o laboratório, o que inclui um rua pavimentada. Diante dessas dificuldades, o sistema via rádio foi escolhido mesmo sendo mais oneroso, por apresentar instalação e manutenção simples e uma confiabilidade maior.

Capítulo 6 - TESTES DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Antes de iniciar a realização dos testes, ainda na fase de montagem do laboratório, foram realizadas algumas mudanças em relação ao planejamento inicial.

Devido ao fato do inversor de frequência possuir uma tensão de entrada de 24 VCC, os três arranjos de 4 painéis, os controladores de carga e o sistema de armazenamento foram configurados de acordo com esse parâmetro.

As ligações dos painéis foram rearranjadas, as baterias foram ligadas duas a duas, em série, e o controlador calibrado através do *jumper* para funcionar com essa tensão de trabalho.

6.1 - TESTE DE EFICIÊNCIA DA BATERIA

Os sistemas de armazenamento de energia, geralmente compostos por bancos de baterias, são fundamentais para fornecer energia à carga nos períodos sem incidência solar.

Para garantir um maior rendimento no armazenamento da energia gerada pelos painéis, foram realizados alguns testes na tentativa de encontrar a eficiência das baterias quando submetidas a diferentes situações de carga e descarga.

Para garantir a confiabilidade do teste, primeiramente todas as baterias são totalmente carregadas. Nesta etapa, toda a energia gerada pelos arranjos é direcionada exclusivamente para o sistema de armazenamento de energia.

6.1.1 - *Eficiência das baterias durante um ciclo profundo e lento de descarga*

O catálogo das baterias indica os parâmetros de configuração da Tabela 12.

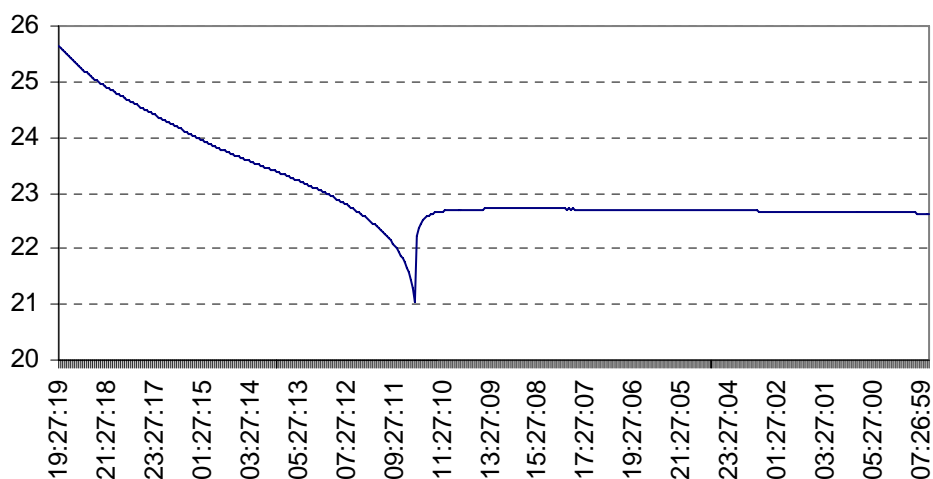
Tabela 12 – Tensões de configuração para bateria 12V Moura Clean MC.

Característica	Parâmetro de configuração
Tensão de equalização (em massa, BULK)	14,20 a 14,40 V
Tensão de flutuação (FLOAT)	13,20 a 13,38 V

Com a bateria completamente carregada, realizou-se sua descarga com uma carga resistiva de maneira que fosse drenada uma corrente a uma taxa que exaurisse o banco de baterias em 20 horas. Conforme catálogo do fabricante, a corrente deve ser de 3,2A, logo a carga deve ser $\frac{24V}{3,2A} = 7,5\Omega$.

6.1.1.1 Descarga das baterias

Foram realizadas as descargas de todas as baterias. Como se tratavam de baterias novas, do mesmo lote e de mesma idade, foi acompanhada a descarga de apenas um banco de baterias, identificada no sistema, como banco 9. Foi ligado ao computador um multímetro digital que acompanhava a tensão nos terminais da bateria, minuto a minuto.

**Figura 52** – Descarga da bateria 9 realizada no dia 04/02.

Através da análise da curva verifica-se que o processo iniciou as 19h27 e que a bateria atingiu seu valor mínimo as 10h17 do dia seguinte, quando o controlador atingiu sua tensão *LVD* (*Low Voltage Disconnect*) desconectando a carga.

De acordo com o catálogo da bateria a descarga deveria ocorrer em 20 horas fornecendo um total de 63 Ah. Como o teste teve duração de 14h50, pode-se calcular teoricamente a quantidade de Ah fornecida à carga.

$$\frac{14h50}{20h} \times 63Ah = 74\% \times 63 = 46,7Ah \quad (1)$$

Com os dados obtidos, tem-se uma tensão média $\bar{V} = 23,7V$, logo:

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}}{R} = \frac{23,7}{7,5} = 3,16A \times 14h50 = 46,9Ah \quad (2)$$

Como referência para os testes de eficiência das baterias, será utilizado o valor médio de 46,8Ah registrado durante a descarga.

6.1.1.2 Recarga das baterias

O banco de baterias 9 foi recarregado pelo arranjo 9 de 4 painéis. A leitura do controlador forneceu:

Tabela 13 – Recarga do banco de baterias 9.

Bateria	Ah	Observação
9 A e 9 B	49,4	Carregada

Com esse valor de recarga, pode-se calcular a eficiência do banco de bateria:

$$\eta = \frac{46,8}{49,4} = 0,947 = 94,7\% \quad (3)$$

6.1.2 - Eficiência das baterias durante um ciclo raso e rápido de descarga

Para avaliar a eficiência das baterias durante diferentes períodos de solicitação de carga, foram realizados dois testes de descarga de forma que a carga exaurisse 20% da capacidade nominal da bateria durante dois períodos distintos: 1h e 2h.

6.1.2.1 Eficiência da bateria no período de 1h

Nesse teste, o banco de baterias 9 que se encontrava completamente carregado, foi submetido a um ciclo de descarga seguido de um ciclo de recarga. A carga ligada ao banco deveria exaurir 20% da capacidade de armazenamento do banco de baterias 9 – 13Ah – no período de uma hora. Essa carga foi dimensionada da seguinte forma:

- 1) A tensão do inversor de frequência é constante e igual a 120V;

2) Como a tensão do inversor é 5 vezes maior que da bateria, para a potência permanecer constante, a corrente drenada deve ser 5 vezes menor do que uma carga ligada diretamente à bateria;

3) Temos então uma tensão de 120V e uma corrente $I = \frac{13}{5} = 2,6A$;

4) Finalmente é possível calcular a carga necessária para o teste:

$$R = \frac{V}{i} = \frac{120}{2,6} \approx 46\Omega \quad (4)$$

5) Por aproximação foi utilizada um reostato de 50Ω ;

Foi montado então o teste seguindo o esquemático da Figura 53.

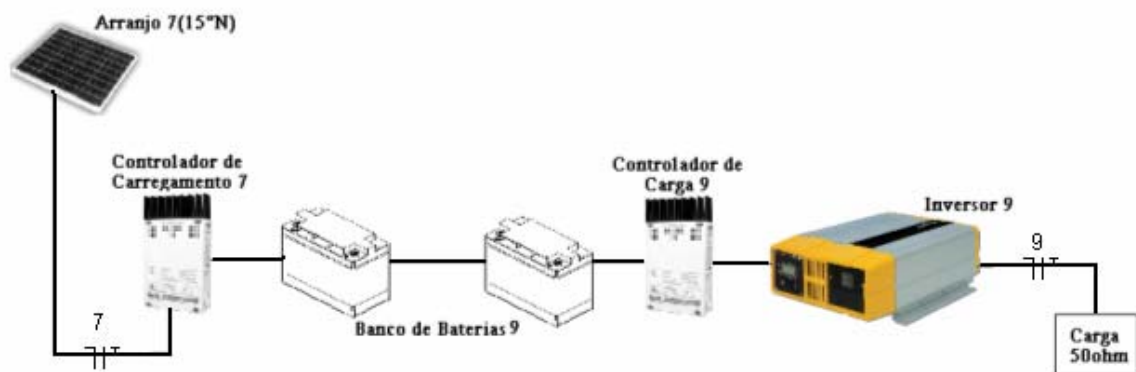


Figura 53 – Teste de Eficiência da bateria quando descarregada em 1 hora.

Na descarga, o disjuntor 9 foi ligado enquanto o 7 desligado. No intervalo de uma hora foram drenados 13,1Ah da bateria, valor medido pelo controlador de carregamento 7.

No dia seguinte à descarga, o disjuntor 7 foi ligado e o 9 desligado para que o banco de baterias 9 fosse recarregado. Constatou-se que a bateria conseguiu absorver 21,2Ah, valor medido pelo controlador de carga 9.

A partir desses valores de descarga e recarga, é possível obter o valor do rendimento da bateria quando essa é submetida a um ciclo raso de descarga pelo período de uma hora.

$$\eta = \frac{I_{descarga}}{I_{carga}} = \frac{13,1}{21,2} = 61,79\% \quad (5)$$

6.1.2.2 Eficiência da bateria no período de 2h

Para realizar esse teste os bancos de baterias 8 e 9 foram ligados em paralelo. Dessa forma, a quantidade de Ah fornecida pelo banco é duplicada enquanto a tensão permanece constante.



Figura 54 – Banco de baterias 8 e 9 ligados em paralelo e banco 7 individual.

Como a capacidade do banco foi aumentada duas vezes mantendo o reostato de 50Ω , do teste anterior, seria necessário exatamente duas horas pra que 20% da carga do novo banco de baterias – $26Ah$ – fossem exauridos.

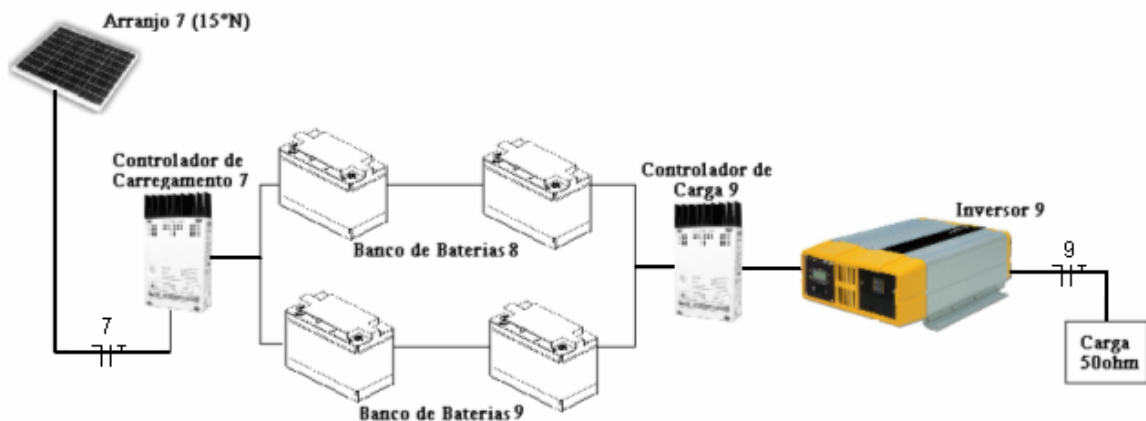


Figura 55 – Teste de Eficiência da bateria quando descarregada em 2 horas.

Para análise mais detalhada da eficiência da bateria durante ciclos repetitivos de carga e descarga o disjuntor 9 era desligado durante o dia, fazendo com que toda energia gerada pelo painel fosse armazenada na bateria, e durante a noite era ligado durante 2 horas, drenando 26Ah do banco de baterias.

Esse ciclo foi realizado por 4 dias seguidos e no dia seguinte o banco de baterias era novamente recarregado.

No final do teste, o controlador de carregamento 7 marcava 146,6Ah enquanto o controlador de carga 9 105,9Ah. O valor de Ah do controlador 9 mostra que a carga de 50Ω realmente drenou em média 20% da carga nominal da bateria já que durante os 4 ciclos de descarga drenou uma corrente próxima de $26Ah \times 4 \text{ ciclos} = 104Ah$.

A partir desses valores de descarga e recarga é possível obter o valor do rendimento da bateria quando essa é submetida a um ciclo raso de descarga pelo período de duas horas.

$$\eta = \frac{I_{descarga}}{I_{carga}} = \frac{105,9}{146,6} = 72,24\% \quad (6)$$

6.2 - EFICIÊNCIA DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A eficiência do inversor de frequência depende basicamente de sua capacidade em gerar corrente alternada a partir de corrente contínua.

Para aferir sua eficiência, deve-se calcular a razão entre a quantidade de energia consumida pela carga e a quantidade de energia fornecida pela bateria.

Esse teste foi realizado juntamente com os testes de eficiência da bateria 6.1.2.1 e 6.1.2.2 onde o controlador de carga 9 media a corrente fornecida pela bateria e um multímetro digital ligado ao computador monitorava minuto a minuto a tensão nos terminais da bateria.

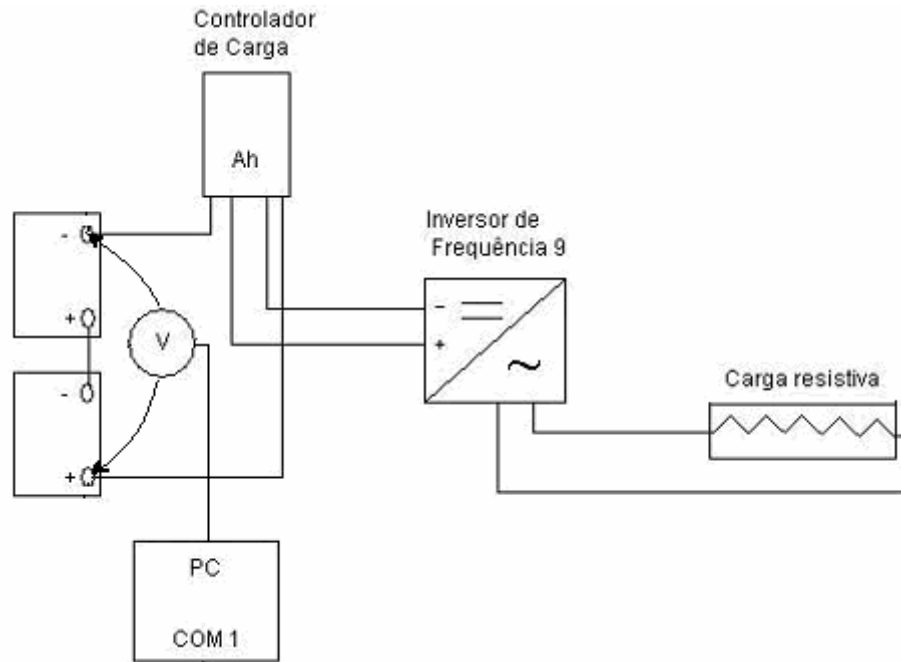


Figura 56 – Esquema de ligação para o teste de eficiência do inversor.

Como a tensão e a carga na saída do inversor são constantes, $V = 120,3 \text{ V}$ e $R = 50 \Omega$, pode-se calcular a energia consumida pela carga.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{120,3^2}{50} = 289,4 \text{ W} \quad (7)$$

Para o teste 6.1.2.1 com descarga de uma hora tem-se:

$$E_{\text{carga}} = P \times t = 289,4 \times 1 = 289,4 \text{ Wh} \quad (8)$$

A energia fornecida pelo banco de baterias pode ser calculada multiplicando o valor da tensão média nos terminais do banco, obtido do gráfico da Figura 57, pelo valor de Ah registrado pelo controlador:

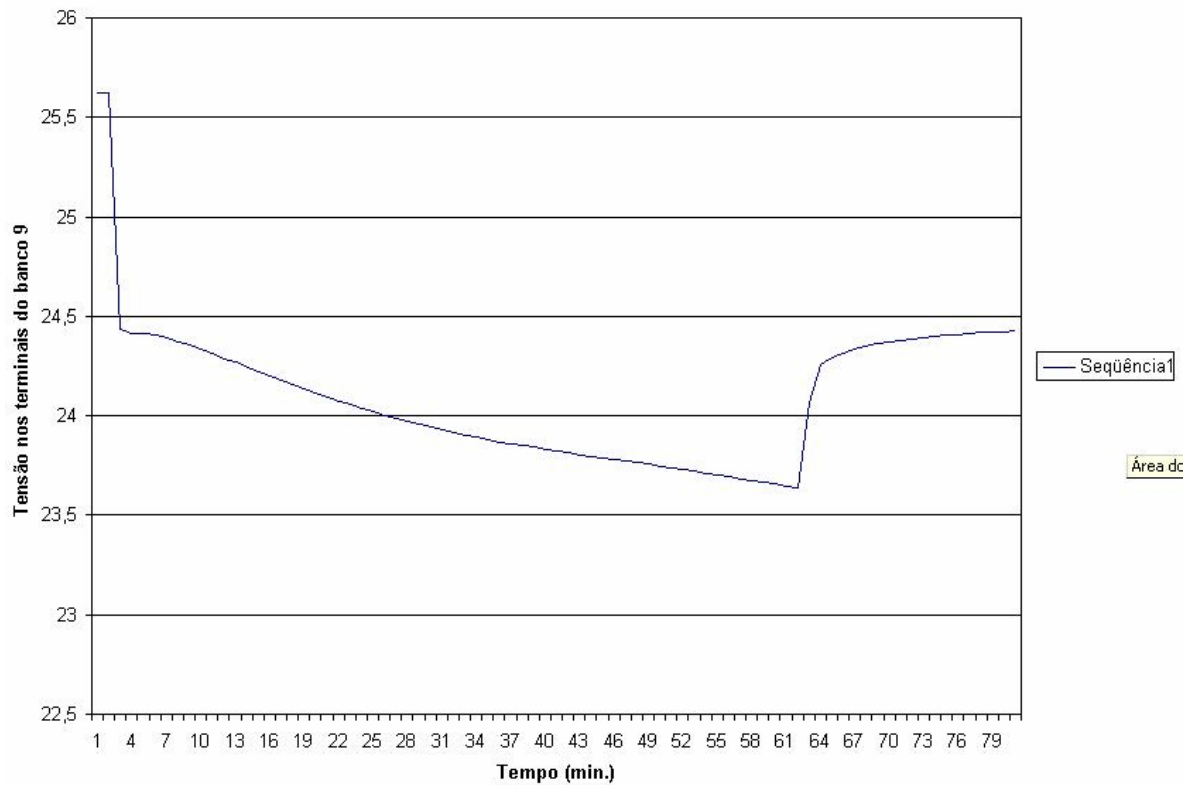


Figura 57 – Tensão na banco 9 durante descarga.

$$E_{bat} = \bar{V} \times Ah = 23,97 \times 13 = 311,6Wh \quad (9)$$

Calculando a razão entre esses dois valores, tem-se a eficiência do inversor:

$$\eta = \frac{E_{carga}}{E_{bat}} = \frac{289,4}{311,6} = 92,9\% \quad (10)$$

Este procedimento foi repetido por mais um ciclo de descarga da bateria fornecendo os seguintes dados:

Tabela 14 – Eficiência do inversor na segunda descarga da bateria.

Grandeza	Energia (W)
Energia consumida pela carga	289,4
Energia fornecida pelo banco de baterias	314,0
Eficiência (η)	92,2

Para o teste 6.1.2.1 com descarga de duas horas tem-se para dois ciclos de descarga da bateria:

1ª Descarga:

Tabela 15 – Eficiência do inversor na primeira descarga de 2 horas da bateria.

Grandeza	Energia (W)
Energia consumida pela carga	578,9
Energia fornecida pelo banco de baterias	623,9
Eficiência (η)	92,8

2ª Descarga:

Tabela 16 – Eficiência do inversor na primeira descarga de 2 horas da bateria.

Grandeza	Energia (W)
Energia consumida pela carga	578,9
Energia fornecida pelo banco de baterias	616,8
Eficiência (η)	93,9

Fazendo uma média dos valores encontrados para a eficiência do inversor, tem-se um valor mais confiável para a eficiência do inversor:

$$\bar{\eta} = (92,9 + 92,2 + 92,8 + 93,9) / 4 = 92,95 \%$$

6.3 - EFICIÊNCIA DOS PAINÉIS

Diversos são os parâmetros que determinam a eficiência dos painéis em um sistema fotovoltaico. Sua orientação e inclinação além dos coeficientes de eficiência intrínsecos a cada tipo de painel são fundamentais para análise de um projeto de sistema fotovoltaico. Será levantada aqui uma análise detalhada da eficiência do módulo cristalino KC 45 instalado nas dependências do prédio SG-11.

6.3.1 - Determinação do Coeficiente de Poeira

Todos os painéis foram colocados na horizontal e apenas os painéis 3 e 4 foram limpos. Os valores de corrente instantânea gerada em cada um dos painéis foram anotados e com os valores de corrente referentes aos painéis 3 e 4, calcula-se a média, que será tratada como referência.

Tabela 17 – Corrente em cada painel e média dos painéis 3 e 4.

DATA	HORA	1 (A)	2 (A)	3 (A)	4 (A)	5 (A)	6(A)	média 3 e 4 (A)
22/fev	09:53	1,281	1,287	1,3	1,28	1,286	1,281	1,290
22/fev	11:40	1,85	1,851	1,89	1,989	1,865	1,876	1,940
22/fev	11:43	2,1	2,02	2,062	2,035	2,03	2,03	2,049
23/fev	08:50	0,993	0,998	1,028	1,001	0,997	0,985	1,015
23/fev	09:30	2,325	2,337	2,391	2,3	2,215	2,237	2,346
23/fev	10:00	1,92	1,95	1,982	1,975	1,945	1,939	1,979
23/fev	10:20	2,721	2,744	2,832	2,772	2,754	2,715	2,802
23/fev	10:35	3,01	3,04	3,115	3,055	2,993	2,974	3,085
23/fev	10:55	3,273	3,311	3,386	3,289	3,305	3,275	3,338
23/fev	11:10	3,155	3,189	3,282	3,19	3,167	3,171	3,236

Fazendo a razão entre os valores medidos nos demais painéis e a referência calculada, determina-se o valor do coeficiente de poeira no sistema em teste.

Painel 1: 0,981

Painel 2: 0,985

Painel 5: 0,978

Painel 6: 0,975

Calculando-se um valor médio para o coeficiente de poeira do sistema, tem-se:

$$CP = 0,980$$

Com esse teste pôde-se observar a influência da sujeira depositada sobre os painéis em sua eficiência além de comparar os valores de coeficiente de poeira obtidos com valores teóricos. Os valores tabelados dizem respeito a Valor Padrão para Correção do Módulo e giram em torno de 0,9. A diferença entre os dois valores pode ser explicada porque esse valor para correção leva em conta não só a sujeira sobre o painel, ele inclui também perdas entre módulos mal conectados, degradação ao longo do tempo etc.

6.3.2 - Comparação da eficiência dos painéis individuais

De forma a comprovar o bom funcionamento dos painéis e validar os resultados dos demais testes, manteve-se os painéis com mesma inclinação do teste anterior, ou seja, todos na horizontal e os painéis que ainda estavam sujos foram limpos. Dessa forma todos os painéis estão submetidos a condições idênticas de manutenção, inclinação e orientação

podendo comparar o comportamento de cada um deles em relação aos demais. Foram anotados os valores de corrente instantâneo gerados por cada painel.

Tabela 18 – Corrente nos painéis limpos.

HORA	1 (A)	2 (A)	3 (A)	4 (A)	5 (A)	6 (A)
11:20	3,348	3,388	3,442	3,4	3,385	3,38
11:37	1,534	1,54	1,572	1,56	1,54	1,528
09:11	2,096	2,158	2,189	2,14	2,152	2,085
09:30	2,236	2,296	2,334	2,277	2,25	2,225
09:45	2,404	2,459	2,5	2,45	2,414	2,411
10:05	2,846	2,899	2,945	2,898	2,865	2,858
10:50	3,101	3,142	3,194	3,14	3,113	3,111
11:10	3,255	3,286	3,243	3,284	3,258	3,261
09:25	1,964	2,009	2,045	1,998	1,975	1,97

Com esses valores é possível comparar o rendimento de todos os painéis. Uma vez que algum painel apresentar comportamento fora do esperado, ou diferente dos demais, deve-se descartar seus valores nos testes posteriores.

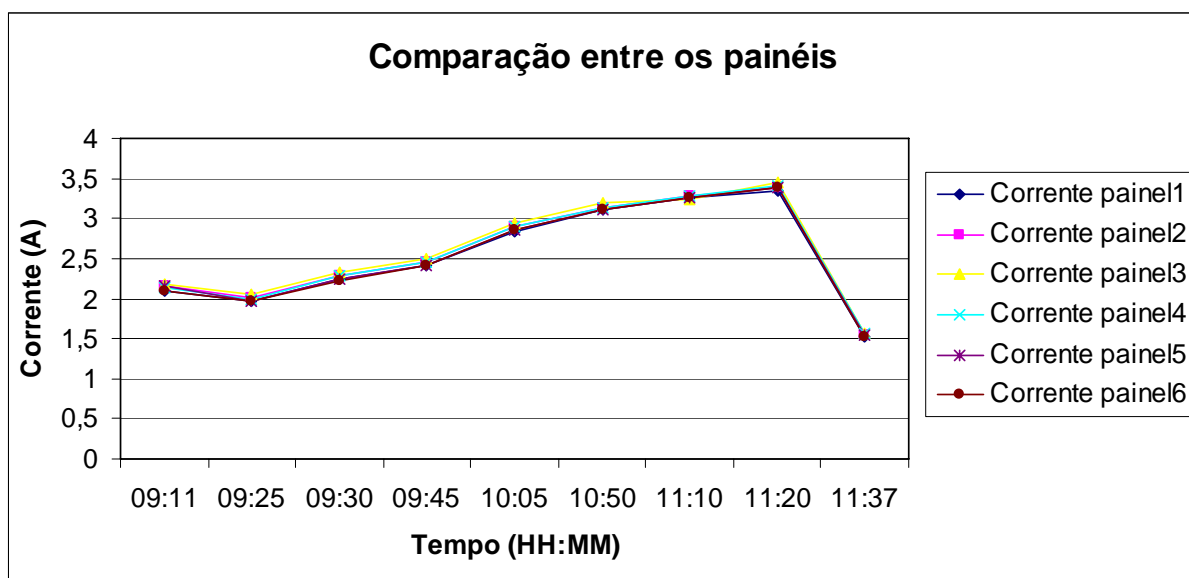


Figura 58 – Gráfico comparativo das correntes dos painéis individuais.

De acordo com os dados obtidos e com o gráfico da Figura 58, é possível observar que as correntes dos painéis submetidos a condições idênticas são bastante semelhantes e garantem o funcionamento adequado de todos os painéis.

6.3.3 - Eficiência dos painéis com diferentes orientações

Este teste é uma forma de analisar uma maneira de aumentar a eficiência global do sistema quando a carga nele conectada é ligada por um determinado período durante o dia.

Como já sabemos, a bateria quando submetida a ciclos de descargas rápidos apresenta uma eficiência abaixo da informado no catálogo, portanto tentou-se aproveitar ao máximo a energia originada pelos painéis fotovoltaicos e eliminar, sempre que possível, a descarga da bateria.

Essa etapa consiste na comparação da eficiência ao longo do dia de painéis com diferentes orientações. Os painéis 2 e 5 foram apontados para o Leste (Nascer do Sol) com inclinação de 15°, os painéis 1 e 6 para o Oeste (Por do Sol) também com inclinação de 15°, o painel 4 permaneceu na horizontal e o painel 3 foi colocado na posição indicada para nossa localização, direcionado para o Norte com uma inclinação de 15° (Latitude de Brasília).

Através dos valores de corrente instantânea medidos em cada painel em diferentes períodos do dia (manhã, meio-dia, tarde), é possível definir o melhor posicionamento dos painéis de acordo com o horário em que a carga vai ser usada, tentando, assim, melhorar a eficiência total do sistema.

Tabela 19 – Correntes em cada painel com diferentes inclinações.

DATA	HORA	1 (A)	2 (A)	3 (A)	4 (A)	5 (A)	6 (A)
04/mar	09:55	0,985	1,067	1,062	1,073	1,061	0,971
04/mar	15:12	0,394	0,364	0,374	0,366	0,362	0,36
05/mar	14:00	1,541	1,392	1,531	1,511	1,405	1,545
05/mar	16:38	2,079	0,755	1,369	1,433	0,786	2,079
05/mar	17:00	1,952	0,632	1,215	1,299	0,662	1,935
05/mar	18:10	0,127	0,074	0,083	0,096	0,074	0,123
06/mar	09:10	1,024	1,863	1,532	1,516	1,853	1,074
06/mar	09:30	1,533	1,465	2,144	2,1	2,467	1,591
06/mar	10:50	3,062	3,634	3,512	3,425	3,573	3,073
06/mar	11:07	0,97	1,016	1,079	1,051	1,059	0,973
06/mar	12:00	3,553	3,616	3,751	3,698	3,627	3,563
06/mar	13:57	2,78	2,345	2,648	2,629	2,357	2,735
06/mar	15:25	2,795	1,64	2,245	2,277	1,682	2,78
Valor médio		1,75	1,53	1,73	1,73	1,61	1,75

Com os dados obtidos, calcula-se a razão entre os valores de corrente de cada painel e os valores do painel 3, que são os de referência, por esse estar sem inclinação alguma.

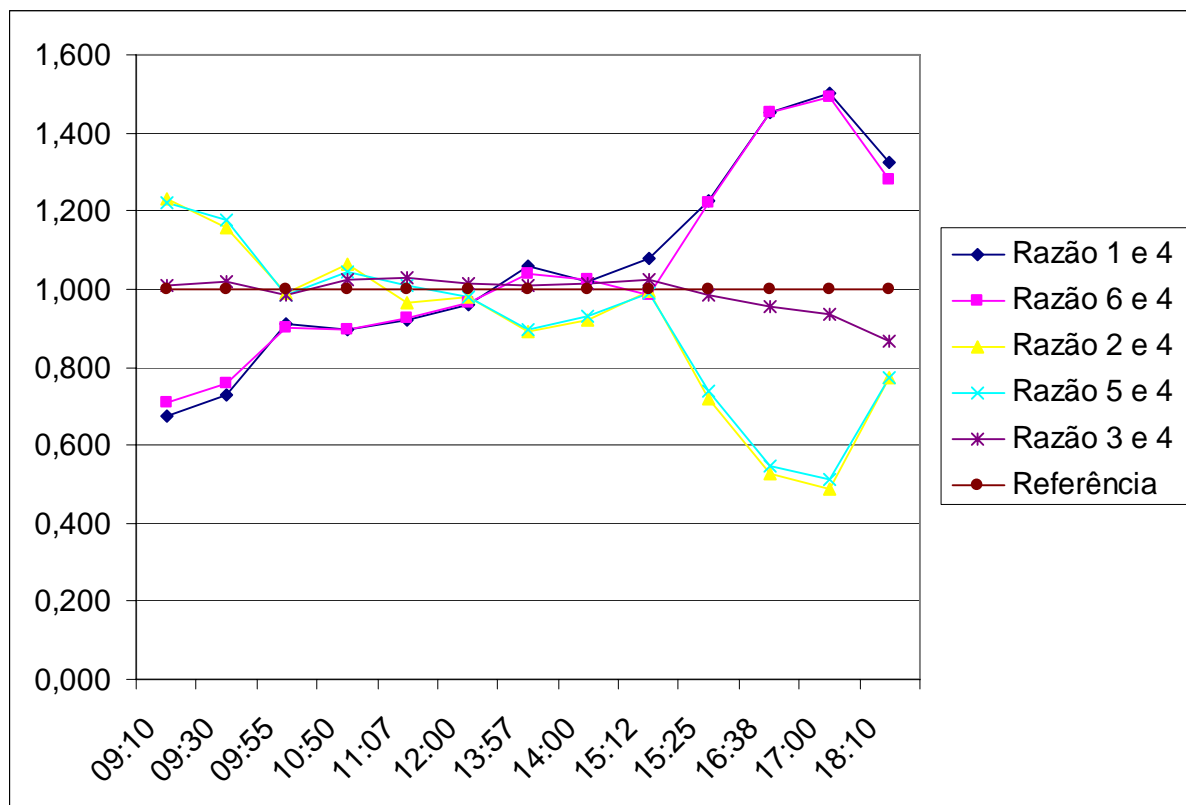


Figura 59 – Curvas das razões entre as correntes dos painéis e o de referência (Painel 3).

Pela análise do gráfico, fica comprovado que os painéis orientados para o Leste (Nascer do sol) apresentam melhor rendimento pela manhã, enquanto os orientados para o Oeste têm seu rendimento maximizado no período da tarde. O painel 3 apresenta um valor de certa forma constante e similar ao de referência (Painel 4).

A eficiência dos painéis orientados para leste chega a ultrapassar em 20% aos de referência (Painéis 3 e 4) pela manhã e os orientados para oeste apresentam um rendimento cerca de 50% superior aos de referência pela tarde. Entretanto se a análise for feita sobre o valor médio durante todo o dia vê-se que os painéis 1 e 6 apresentam um valor médio de corrente de 1,75A, superior a dos painéis 3 e 4 (1,73 A) e dos painéis 2 e 5 (1,53A e 1,61A) respectivamente.

O resultado esperado seria que o arranjo dos painéis 3 e 4 apresentassem média diária superior a do arranjo dos painéis 1 e 6, e do arranjo do 2 e 5, mas mesmo assim o teste comprova que se a carga for ligada durante um período fixo durante a manhã ou principalmente a tarde, recomenda-se usar a orientação do painel de forma que esse aponte diretamente ao sol no período, mesmo que isso proporcione um rendimento menor durante todo o dia, como é o caso dos painéis orientado para o leste.

As vantagens desse procedimento ao variar a orientação dos painéis de acordo com o horário de solicitação da carga é discutido de forma numérica no item 1.4 deste relatório.

6.3.4 - Corrente de curto-circuito (CC) dos arranjos fotovoltaicos

Visando medir a eficiência dos painéis em relação a sua inclinação com a horizontal, realizou-se um teste onde são medidos os valores instantâneos de corrente nos arranjos 7, 8 e 9 em diferentes horários do dia.

Como os arranjos estão orientados na mesma direção e a corrente é medida ao mesmo tempo, pode-se considerar que todos os painéis estão submetidos a uma mesma radiação solar. O valor médio das correntes instantâneas de cada painel pode ser considerado parâmetro de medida de eficiência de cada um deles.

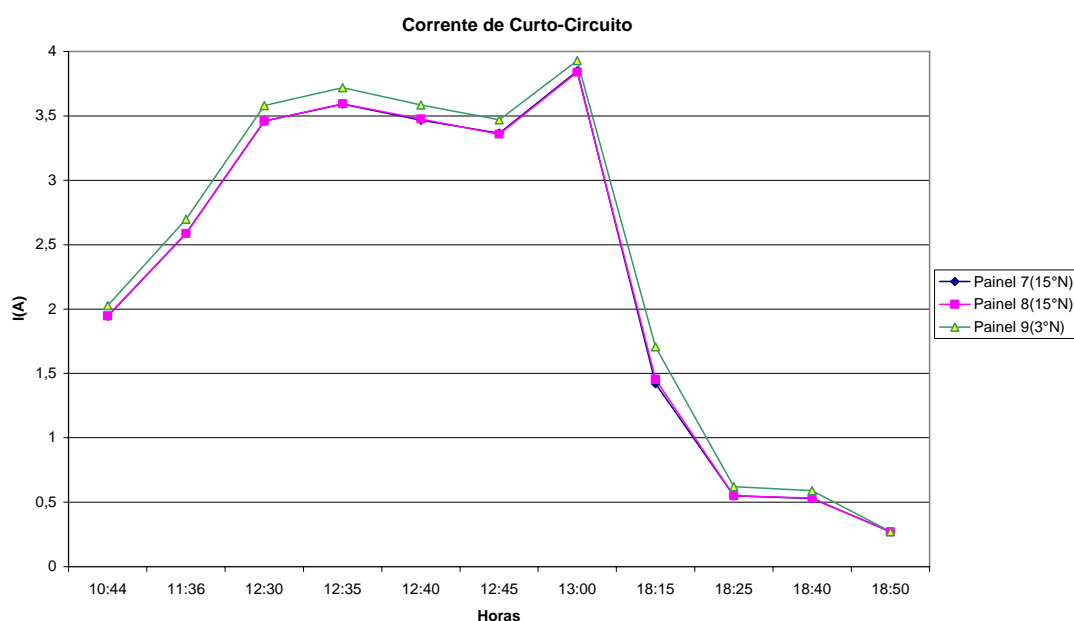


Figura 60 – Corrente de Curto-Circuito dos Painéis.

É possível perceber que o rendimento do painel 9 ao longo do dia é um pouco superior aos outros painéis. Ao avaliar as medidas de corrente é possível determinar uma corrente média de 0,1A a mais no painel 9 que os demais, totalizando 2,4Ah extras por dia.

Essa eficiência se deve ao fato da estação atual ser o verão, na qual a maioria dos raios solares incide perpendicularmente ao painel, fazendo com que o de menor inclinação

apresente maior rendimento. Vale a pena lembrar, que se o mesmo teste tivesse sido realizado em diferentes períodos do ano, os dados obtidos seriam diferentes tornando a eficiência anual dos painéis 7 e 8 maior que a do painel 9.

6.3.5 - Eficiência de conversão das células

Para verificar se a eficiência de conversão das células dos painéis se aproximava da citada pelo catálogo – 14% – foi realizado um teste onde o painel 4, que apresenta o maior rendimento por estar na horizontal, era ligado diretamente a uma carga. Como os painéis fornecem até 45W, duas lâmpadas do arranjo foram ligadas em paralelo, consumindo juntas uma potência de 42W. Por se tratar de uma carga puramente resistiva, foram medidos tensão e corrente momentânea nas lâmpadas de modo obter a potência instantânea consumida pela carga.

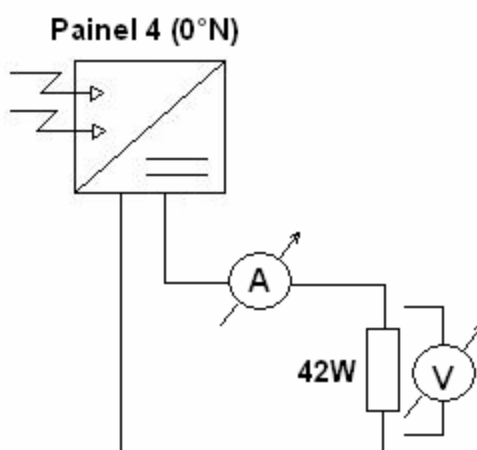


Figura 61 – Esquemático do teste de eficiência de conversão das células fotovoltaicas

O sistema de comunicação à rádio foi ligado ao PC do laboratório possibilitando a visualização em tempo real dos valores de radiação solar

Foi medida também a área do painel coberta apenas pelas células de silício. Esse parâmetro serve para determinar o quanto de energia o painel poderia gerar caso seu rendimento fosse 100%.

Apurou-se uma área efetiva de geração de energia fotovoltaica de $0,296 m^2$. A partir desses dados podemos realizar a seguinte análise:

1) Multiplicando o valor de radiação solar coletado pela área do painel é possível determinar qual seria a geração do painel caso seu rendimento fosse 100%.

Ex: Radiação Solar: $900\text{W}/\text{m}^2$

$$\text{Geração}(100\%) = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,296\text{m}^2 = 266,4\text{W}$$

2) Como temos o consumo efetivo da carga através das medições de potência nas lâmpadas, é possível apurar de fato o rendimento instantâneo do painel.

Ex: Tensão: 15V
Corrente: 2A

$$P = U \times i = 15 \times 2 = 30\text{W}$$

$$\eta = \frac{30\text{W}}{266,4\text{W}} = 0,11 = 11\%$$

3) Com várias medições realizadas ao longo da manhã do dia 16/03/2006 é possível traçar a seguinte curva de rendimento dos painéis:

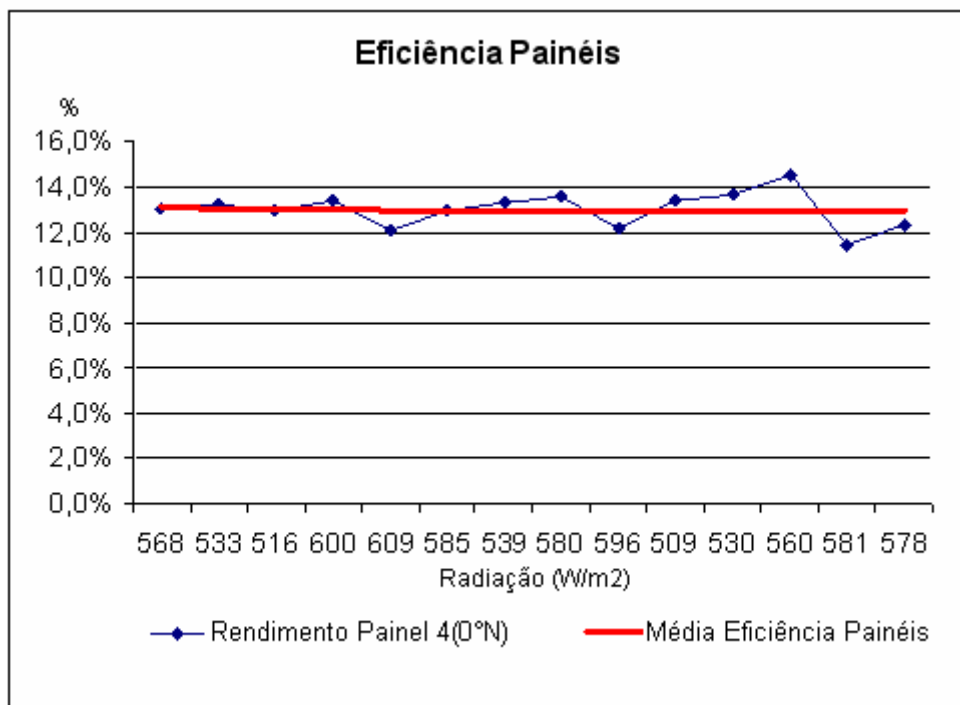


Figura 62 – Eficiência Painel 4.

É possível notar no gráfico que o rendimento médio do painel se encontra em torno dos 13%, valor próximo ao 14% citado pelo catálogo.

6.4 - COMPORTAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO COM DIFERENTES PERÍODOS DE SOLICITAÇÃO DE CARGA.

Visando analisar as vantagens e desvantagens no armazenamento de energia quando o período de solicitação da carga compreende somente um período do dia, o painel 2 (orientado pra o leste) foi ligado diretamente a uma carga de 1Ω e seu valor de corrente foi monitorado ao longo do dia.

Os valores de radiação obtidos da estação meteorológica ao longo desse mesmo dia foram transformados em corrente seguindo as orientações do manual do painel fotovoltaico, ou seja, com uma radiação de 1000 W/m^2 ele fornece uma corrente $I_{cc} = 3,1\text{A}$.

Comparando os valores de corrente do painel 2 e os valores de radiação solar da estação, é possível traçar o gráfico da Figura 63.

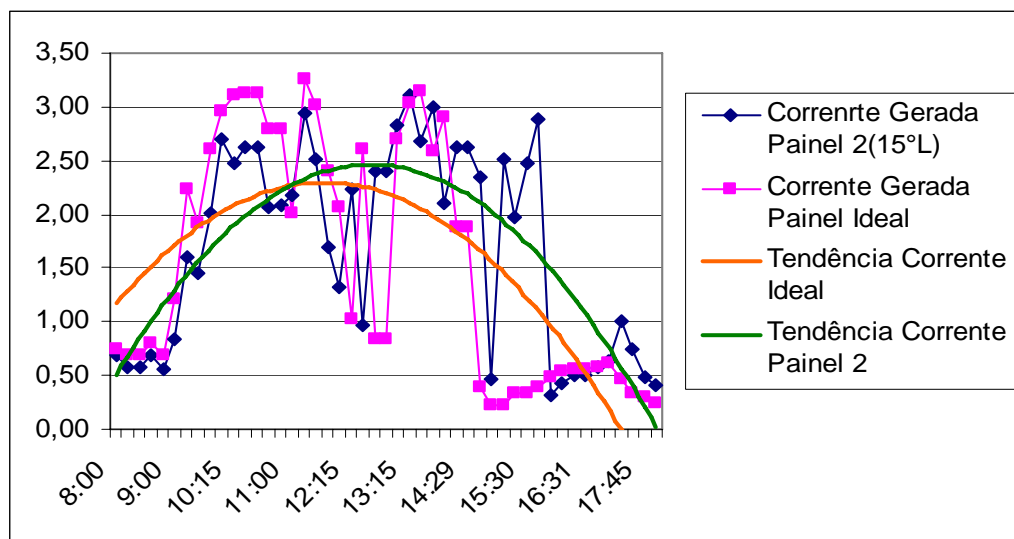


Figura 63 – Painéis em diferentes posições em relação ao sol.

Aproveitando as curvas de corrente da Figura 63, calcula-se teoricamente o comportamento do sistema. Supondo uma carga que drene uma corrente de 2A ligada ao arranjo fotovoltaico e ao banco de bateria durante um período de 2 horas, durante os períodos indicados:

I = 8:30 as 10:30

II = 11:00 as 13:00

III = 14:30 as 16:30

pode-se traçar o gráfico da Figura 64.

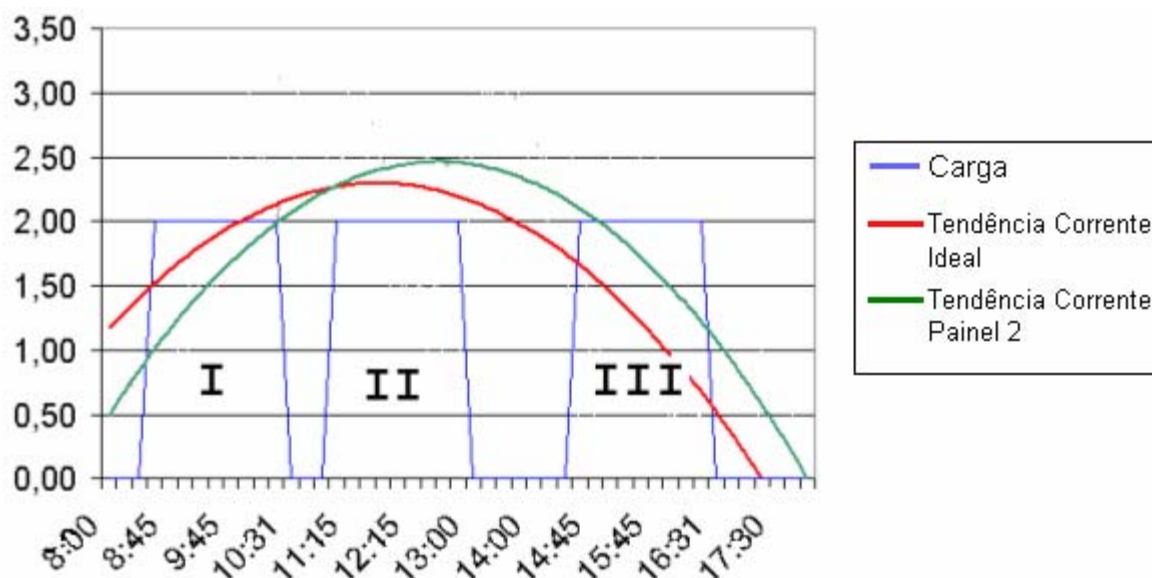


Figura 64 – Curva de tendência de corrente do painel, radiação e carga.

Pelo gráfico obtém-se o valor médio da corrente durante os intervalos em que a carga encontra-se conectada.

Tabela 20 - Correntes médias em cada período.

Período	Corrente média do Paine 2 (A)	Corrente média da Radiação (A)
I	2,07	1,66
II	2,07	2,15
III	0,39	1,55

Como a carga permanece conectada por duas horas, a Tabela 21 representa uma primeira análise dos valores de Ah absorvidos ou fornecidos pela bateria durante esse intervalo.

Tabela 21 – Valores de Ah fornecidos, consumidos e o saldo na bateria.

Período	Painel 2 (Ah)	Radiação (Ah)	Carga (Ah)	Saldo Painel 2 (Ah)	Saldo Radiação (Ah)
I	4,14	3,32	4,00	0,14	- 0,68
II	4,14	4,30	4,00	0,14	0,30
III	0,78	3,1	4,00	- 3,22	- 0,9

Os valores negativos representam corrente fornecida pela bateria, isso ocorre quando apenas os painéis não conseguem suprir a corrente que a carga demanda. Dessa forma a bateria será submetida a ciclos de descargas menores e menos intensos, melhorando assim o rendimento do sistema.

De acordo com testes anteriores, vê-se que para uma descarga de 20% (13 Ah), a eficiência da bateria é de 72,2% (Item 6.1.2.2). Como essa descarga foi de apenas 4Ah em duas horas, é de esperar que ela apresente um rendimento superior, no entanto, para que se possam ter dados numéricos usa-se esse valor obtido anteriormente.

Se a carga tivesse sido alimentada exclusivamente pela bateria, esta teria fornecido 4Ah para a carga e, de acordo com a eficiência calculada no item 6.1.2.2, seria necessário 5,55 Ah para carregá-la.

A quantidade de Ah necessários para recarregar a bateria é obtida multiplicando a quantidade que foi descarregada pela eficiência da bateria. Os valores de recarga por período estão tabelados abaixo.

Tabela 22 – Valores para recarga da bateria por período em que a carga ficou ligada.

Período	Painel 2 (Ah)	Radiação (Ah)
I	0	0,94
II	0	0
III	4,47	1,25

Com esses dados, fica evidente que o desempenho do sistema, e principalmente das baterias, foi melhorado. Mesmo com uma configuração totalmente desaconselhável, caso do painel 2 com a carga no período III, a bateria apresentaria um ciclo de carga e descarga menos severo.

Capítulo 7 - CONCLUSÃO

Em uma avaliação final, este projeto conseguiu cumprir com sucesso seus objetivos, tendo sido instalado o sistema fotovoltaico de geração de energia com parâmetros de eficiência dentro do esperado.

Para a bateria, foi encontrada uma eficiência de 94,7% em regime de descarga padrão (20 horas e 63Ah) o qual se aproxima bastante do valor citado na literatura de 95%. A eficiência dos inversores girou em torno de 92,95% superando inclusive a eficiência de 90% prevista pelo catálogo. Já a eficiência de conversão de energia solar pelos painéis fotovoltaicos foi em média de 13%, próxima ao valor previsto pelo catálogo de 14%. Calculando a eficiência total do sistema, encontramos um rendimento total $\eta_{total} = 13\% \times 92,95\% \times 94,7\% = 11,44\%$.

Durante os testes 6.1.2.1 e 6.1.2.2 ficaram evidentes a diminuição da eficiência das baterias quando seu ciclo de descarga é mais severo. Quanto menor o período de descarga da bateria menor será sua eficiência.

O teste 6.3.2 compara a eficiência dos seis painéis individuais quando estes estão submetidos às mesmas condições meteorológicas. A curva da Figura 58 mostra um comportamento semelhante, quando não idêntico, das correntes geradas por cada painel no mesmo instante. Este teste atesta o bom funcionamento dos painéis e valida todos os outros valores obtidos em outros experimentos.

As figuras 59 e 60 comprovam a influência da orientação dos painéis em sua eficiência. A Figura 60 mostra que, nessa época do ano, a corrente gerada pelo arranjo 9 é maior que as geradas pelos outros dois.

Pelas curvas da Figura 59, é possível concluir que a eficiência dos painéis é maximizada quando este se encontra orientado de maneira que os raios solares incidam

perpendicularmente à sua superfície. Dessa forma pode-se concluir que se uma carga é ligada sempre em um período fixo do dia, é mais vantajoso orientar o painel para uma posição que maximize sua eficiência naquele momento do que durante todo o dia, reduzindo assim a atuação da bateria no processo e conseqüentemente reduzindo as perdas devido à sua participação.

Devido a esta constatação, sugere-se a continuidade do projeto com a construção de um mecanismo capaz de movimentar automaticamente os arranjos fotovoltaicos, possibilitando que esses sejam capazes de “seguir” o sol, ficando sempre na posição que permita maior absorção dos raios solares a cada instante.

Paralelo aos testes, o sistema de comunicação sem fio entre a estação e o Laboratório foi instalado e encontra-se em funcionamento, agilizando a aquisição e análise de dados armazenados no registrador da estação.

Referências Bibliográficas

- [1] Faculdade Engenharia Mecânica - Unicamp
<http://www.fem.unicamp.br/>
- [2] Revista Com Ciência
<http://www.comciencia.br>
- [3] Dispositivos de E/S – Organização de Computadores.
<http://www.organizacaodecomputadores.kit.net>
- [4] Norma de Comunicação Serial.
<http://www.professores.aedb.br>
- [5] Transmissão sem fio
<http://www.sentaoaco.com/lanradio.doc>
- [6] Arquitextos
<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos>
- [7] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Alvo Brito - Cresesb
<http://www.cresesb.cepel.br>
- [8] Energia Solar: fundamentos e tecnologia de conversão heliotermoelétrica e fotovoltaica, Recife –PE, Ed. Universitária da UFPE, 1995.
- [9] Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos, Rio de Janeiro-RJ, CRESESB, 1999.

ANEXOS

ANEXO A – Manual do Rádio UHF SPM2-433-28 da Radiometrix

ANEXO B – Manual do Eval-Kit da Radiometrix

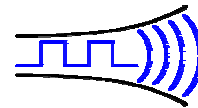
ANEXO C – Desenhos técnicos dos suportes dos painéis fotovoltaicos.

NEW

Radiometrix

Hartcran House, Gibbs Couch, Watford, WD19 5EZ, England

Tel: +44 (0) 20 8428 1220, Fax: +44 (0) 20 8428 1221



12 May 2003

SPM2-433-28

SpacePort Modem

Available in 433.92MHz, 869.85MHz and 914.5MHz

The SpacePort Modem (SPM) is a low cost highly integrated intelligent radio packet modem that enables a radio network/link to be simply implemented between a number of digital devices. The SPM uses addressable data packets with error checking, packet acknowledgements and retransmissions to achieve a reliable invisible wireless data link. Built for ease of use and rapid installation, the serial interface ensures direct connection to microprocessors or to RS232 port via RS232 driver while remote configuration enables post installation setup of the modem.

Features

- ◆ Addressable point-to-point
- ◆ Point-to-Multipoint
- ◆ Inverted RS232 interface at TTL level
- ◆ DTE speed 600-115200bps.
- ◆ Air data speed 1200-14400bps.
- ◆ Flow control – Hardware, None.
- ◆ Up to 200m outdoor & 50m in-door range.
- ◆ Built-in command line configuration.
- ◆ Built-in RF link diagnostics.
- ◆ Remote over-air unit configuration.
- ◆ Low operating current, Auto standby mode.
- ◆ Conforms to ETSI EN 300 220-3 and EN 301 489-3
- ◆ Dimensions - 23mm X 39mm X 6.5mm



SPM2-433-28

Applications

- ◆ PDAs, organisers & laptops
- ◆ Handheld / portable terminals
- ◆ EPOS equipment, barcode scanners, belt clip printers
- ◆ Remote data acquisition system, data loggers
- ◆ Audience response systems
- ◆ In-building, environmental monitoring and control systems
- ◆ High-end security and fire alarms
- ◆ Restaurant ordering systems
- ◆ Vehicle data up/download

INTRODUCTION

The *SPM2* is a self-contained radio packet modem module that requires only a simple antenna, 5V supply and a serial I/O port on a host microcontroller or PC.

The module provides all the RF circuits and processor intensive low level packet formatting and packet recovery functions required to inter-connect any number of devices with serial port in a radio network.

A continuous stream of serial data downloaded by a Host microcontroller into the *SPM* serial receive buffer is transmitted by the *SPM*'s transceiver and will "appear" in the serial buffer of the addressed *SPM* within radio range.

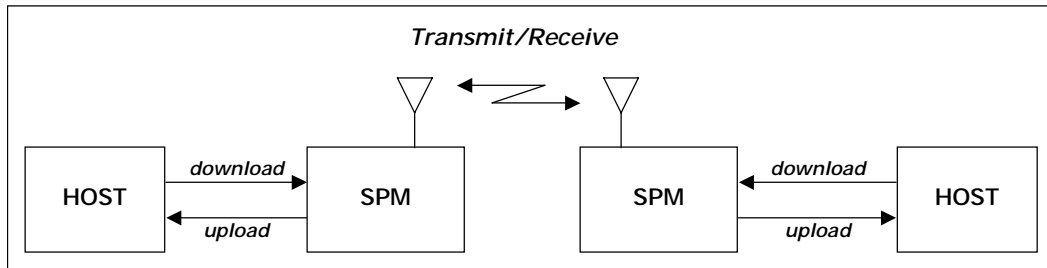


Figure 1: SPM + Host μ -controller

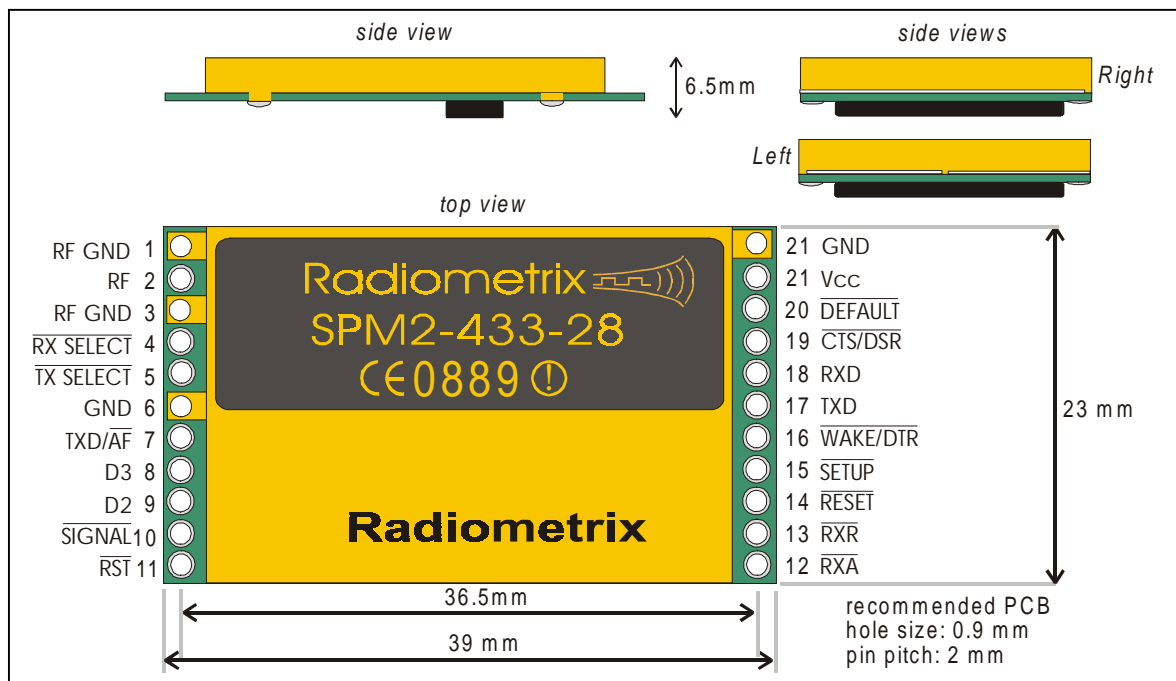


Figure 2: Physical dimensions and pinouts

TECHNICAL SPECIFICATION

General

<i>Operating Voltage</i>	5VDC
<i>Operating Current</i>	
<i>Transmitting/Receiving</i>	Average 40mA (Data streaming)
<i>Standby/Power-down</i>	15mA/400uA
<i>Operating frequency</i>	Single channel 433.920 MHz Also available in 869.85MHz (Europe) and 914.50MHz (USA)

<i>Operating Temperature</i>	0 to +55°C
------------------------------	------------

<i>Configuring options</i>	Built-in command line configurator
----------------------------	------------------------------------

Interface

• Serial Interface	TTL level
• Serial Protocol	8 data/1 stop/no parity
• Serial Signals	RXD, TXD, RXFLOW, WAKE
• Power down Control	Via WAKE signal
• Serial Handshaking	Selectable as TXFLOW signal or none
• DTE Interface Speed	600/1200/2400/4800/9600/14400 19200/38400/57600/115200 bps
• Air Interface Speed	600/1200/2400/4800/9600/14400 bps

Receiver

Sensitivity	-100 dBm for 1ppm BER
-------------	-----------------------

Transmitter

Output Power	10mW ERP
Spurious Emissions	-70 dB

Approval

European Standards	EN 300-220-3, EN 301 489-3
--------------------	----------------------------

1. FUNCTIONAL DESCRIPTION

The *SPM* is a connection oriented modem module for sending and receiving serial data via an RF communications link.

The *SPM* handles all necessary protocol related functions of validation and retries to ensure error free and uninterrupted data is sent over the communications link. All data transfers between a pair of *SPMs* are fully acknowledged, thus preventing the loss of data. Checksums are appended to data packets to ensure the validity of the received data at the remote end.

1.1 OPERATING STATES

The *SPACEPORT* Modem has three normal operating states:

- *SHUTDOWN*
- *STANDBY*
- *CONNECTED*

SHUTDOWN

The *SHUTDOWN* state is entered by asserting the SHDN input pin. It effectively forces the *SPM* into a suspended state. No communications can be made with the *SPM* in this state.

STANDBY

Immediately after power up and during normal operation, the *SPM* will enter standby mode where it is waiting for a connection request from a remote *SPM* module.

While in this mode a remote connection request can be received which will place the *SPM* into a connected state allowing it to then start receiving data from the remote unit. The connected host device can also send data to the *SPM* via the serial interface which will force the module to send a connection request to the remote *SPM* module, thus effectively setting up a logical connection between two units and allowing data to be transferred.

CONNECTED

On receipt of a connection request from a remote unit, the *SPM* immediately enters a connected state. This effectively allows the *SPM* modems to start sending and receiving data.

In-coming data is sent to the host via the serial port in the same form as it was given to the remote *SPM* module.

2 THE HOST INTERFACE

2.1 SIGNALS

The connection to the SPM is a full duplex serial interface supporting baud rates from 600bps to 115200bps. Additional control signals are provided to assist in flow control, configuration and power saving in the SPM. Figure 3 shows an overview of the interface signals to the SPM.

<i>Pin name</i>	<i>Pin number</i>	<i>Pin function</i>	<i>I/O</i>	<i>Description</i>
<i>RESET</i>	6	Reset	I/P	Hardware reset of the SPM
<i>SHDN</i>	7	Shutdown	I/P	Low power shutdown of the SPM
<i>RXD</i>	8	Serial RX	I/P	Host to SPM serial data
<i>TXD</i>	9	Serial TX	O/P	SPM to host serial data
<i>RXFLOW</i>	2	Flow control	O/P	Host to SPM flow control
<i>DEFAULT</i>	3	Force 9600bps	I/P	Force the DTE serial interface to 9600bps
<i>SETUP</i>	4	Enter Setup	I/P	Enter SPM configurator after a reset

- notes:**
1. RXD/TXD lines true data
 2. The 4 input control lines are active low
 3. Logic levels are 5V CMOS. See electrical specifications
 4. Input control pins must be terminated, as pull-ups are not provided

2.2 SPACEPORT RESET

RESET

The Reset signal may either be driven by the host (recommended) or pulled up to Vcc via a suitable resistor (10kΩ). A reset aborts any transfers in progress and restarts the SPM.

HOST DRIVEN RESET

Minimum low time: 1.0 μs, after reset is released (returned high). The host should allow a delay 1ms after reset for the SPM to initialise itself.

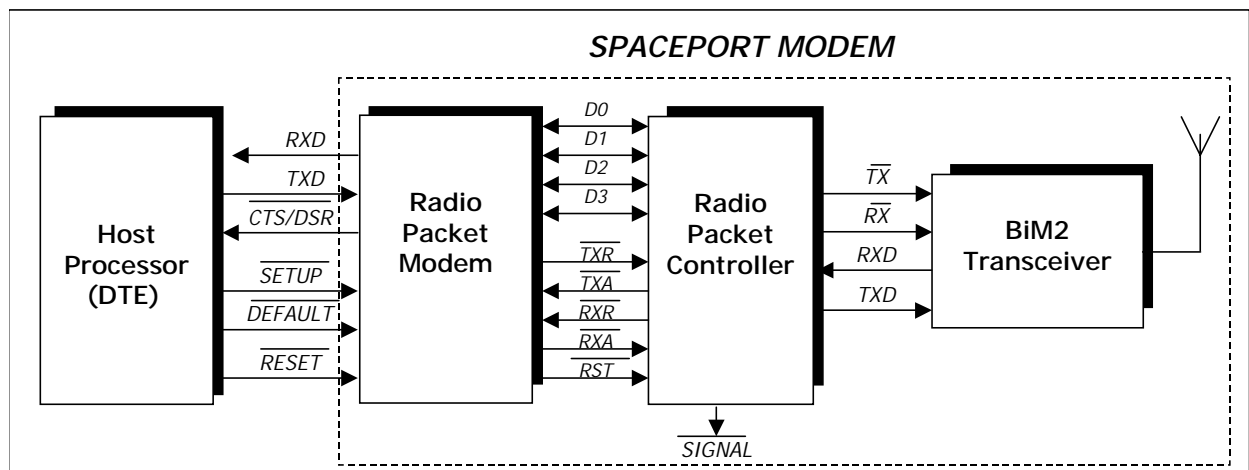


figure 3: Host to SPM connection

2.3 HOST TO SPACEPORT DATA TRANSFER

Data is transferred between the SPM and the *HOST* using an asynchronous serial protocol. The default protocol settings are 8 data bits, no parity and 1 stop bit (8n1). The baud rate setting for the serial interface is user settable from 600bps to 115200bps.

TXD

Data from the connected host is received by the SPM using *TXD* signal.

CTS

A single handshake line, *CTS*, controls the flow of data into the SPM. The serial receive buffer of the SPM is 96 bytes deep. The *CTS* will be asserted by the SPM when the receive buffer hits approximately 66% full. It is advisable to limit the number of characters sent to the SPM after the *CTS* control line is asserted. This will help to reduce the possibility of lost data due to internal buffer overruns in the SPM. The SPM will clear the *CTS* when the internal serial receive buffer falls below 33% full.

RXD

Upon the SPM receiving data from a remote unit, the received data is sent to the connected host device using the *RXD* signal.

2.4 ENTERING SPACEPORT MODEM CONFIGURATOR

Configuring the SPM is accomplished by using a built-in command line configurator. The configurator is entered by asserting the *SETUP* input of the SPM while resetting the SPM.

SETUP

Holding *SETUP* low during a reset cycle will force the modem into the configurator. The state of this input is checked while the SPM starts up from either power on or reset.

HOST DRIVEN SETUP

The Setup pin may either be driven by the host (recommended) to enable host controlled configuration of the SPM or pulled up to VCC via a suitable resistor (10kΩ).

2.5 FORCING DEFAULT SERIAL BAUD RATE

Asserting this pin low forces the SPM to startup with a default baud rate of 9600bps, 8 data, one stop and not parity.

DEFAULT

During a *RESET* the *HOST* must hold *DEFAULT* low to force the SPM serial interface to default to 9600bps. This is ideal if the serial baud rate has been forgotten or incorrectly set.

HOST DRIVEN DEFAULT

The *DEFAULT* pin may either be driven by the host (recommended) or pulled up to VCC via a suitable resistor (10kΩ).

2.6 FORCING SPACE MODEM IN TO SLEEP MODE

Asserting the *SHDN* input low forces the modem into a low power sleep mode. This effectively shuts down the SPM and prevents it from sending or receiving any data. It is a method for conserving power when the modem is not required.

SHDN

During normal operation *SHDN* pin can be asserted to force the SPM to shutdown into low power mode.

HOST DRIVEN SHDN

The *SHDN* pin may either be driven by the host (recommended) or pulled up to VCC via a suitable resistor (10kΩ).

3.0 SPACEPORT CONFIGURATION

3.1 ENTERING THE CONFIGURATOR

The SPM is configured by entering the built-in software configurator.

3.2 USER CONFIGURABLE PARAMETERS

CONFIG	<i>Display a list of the current SPM configuration.</i>
Valid range	None
DEFAULT	<i>Set all SPM configuration settings to their factory default values.</i>
Valid range	None
RESET	<i>Exit the modem and force a software reset.</i> Any changed parameters will take effect after the modem has restarted. When exiting the configurator, the <i>HOST</i> device must ensure the <i>SETUP</i> pin is high otherwise the configurator will be re-entered after the reset.
Valid range	None
UNIT	<i>Sets the unit number.</i> Two SPM modules can communicate with each other provided they have matching Unit numbers and Site codes.
default	0
Valid range	0 to 15
Format	unit
SITE	<i>Sets the Site address</i> The site number is used to distinguish between groups of operating modems. The site code is an address extension to the unit number.
default	0
valid range	0 to 7
ADDR	<i>Updates the unit number value.</i> This command is used for changing the unit number without updating the stored value. This enables the <i>SPACEPORT</i> to support point-to-multipoint communications. Upon using this command the configurator is exited and the modem operation is resumed. The modem is not reset when the configurator is exited.
Valid range	0 to 15
BAUD	<i>Sets the host interface baud rate.</i> The changed baud rate will take effect after resetting the SPM.
default	9600
valid range	600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200
THRUPUT	<i>Sets the on-air data throughput.</i> Three possible settings are provided. Max: sets the maximum data throughput of the SPM. Slots: effectively reduces the on-air throughput. This opens up 'time slots' allowing other SPM pairs, operating within close proximity, equal opportunity to transmit data. FCC: sets the on-air throughput to a rate which is compatible with <i>FCC</i> regulations (max 10% air time) for use in the US.
default	max
valid range	max, slots, fcc

FLOW	<p>Sets the serial flow control between the host and SPACEPORT.</p> <p>Using no flow control enables the SPM to be used with a 3 wire serial link (TXD, RXD, GND). Care must be taken in order to prevent overflowing the 96 byte serial receive buffer in the SPM.</p> <p>Using hardware flow control enables the SPM to control the flow of serial data being received.</p>
default	hw
valid range	hw, none
SERDLY	<p>Sets the serial data receive to packet transmit delay.</p> <p>When the SPM receives the first byte of data from the host, it starts a timer running. Either a full buffer of data to send or a timeout of this timer will allow the packet to be transmitted.</p> <p>Fine tuning this delay for the baud rate the SPM is operating at can significantly increase throughput while reducing unnecessary transmissions.</p>
default	30 (x10ms)
valid range	10 to 255 (x10ms)
SHDN	<p>Sets the action of the SHDN input.</p> <p>Setting shutdown to <i>ON</i> will cause the SPM to monitor the <i>SHDN</i> input. When <i>SHDN</i> is taken low the SPM will be forced into low power shutdown mode, thus reducing current consumption. Subsequently raising the <i>SHDN</i> input will bring the SPM out of low power shutdown.</p>
default	Off
valid range	on, off
RETRY	<p>Sets the number of data retry attempts.</p> <p>RF interference can cause a transmitted data packet to be lost or corrupt on reception. If this happens the SPM will retransmit any unacknowledged transfer. The transmission will be retried the specified number of times before the link to the remote unit is considered 'lost' and the data purged.</p>
default	5
valid range	1 to 65
STRMSG	<p>Enables the startup message.</p> <p>The startup message is enabled by default, thus giving an immediate indication of the operation of the SPM. The message can be disabled prior to deployment of the SPM module.</p>
default	On
valid range	on, off
REMOTE	<p>Enables remote configuration.</p> <p>Over-air remote configuration of a SPM module is possible once it has been enabled. The remote command is used to send remote configuration commands. See the following chapter for an overview of remotely configuring a SPM module.</p>
default	Off
valid range	on, off
RADAR	<p>Starts the radar test.</p> <p>Used as a range or confidence test between SPM modules.</p>
parameter	Unit number between 0 and 15.

4.0 EXTENDED SPACEPORT FEATURES

4.1 THROUGHPUT

The SPM supports two rates, *MAX* and *SLOTS*, of over-air throughput. A third rate is also provided which can be used during normal operation, but is specifically supplied for compliance with FCC regulations.

MAX: When set to *MAXimum* and streaming data at the SPM, the data is sent as quick as possible. For host baud rates of 19200 and above, data is transmitted continuously with minimal delay between sequential packets. When this occurs, there is effectively no airtime for another pair, operating in close proximity, to transmit without causing collisions. The maximum over-air throughput that can be achieved is 14400bps.

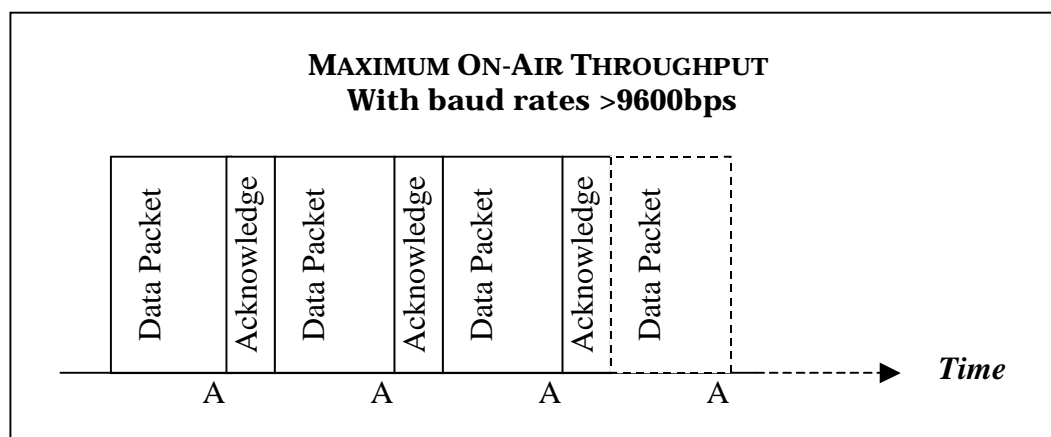


Figure 4: A SPACEPORT MODEM pair streaming at maximum throughput

SLOTS: Setting the throughput to *SLOTS* provides a method of opening 'time slots' for other SPM pairs operating in close proximity. The effective streaming on-air throughput between a pair of SPM is effectively reduced to approximately 2400bps.

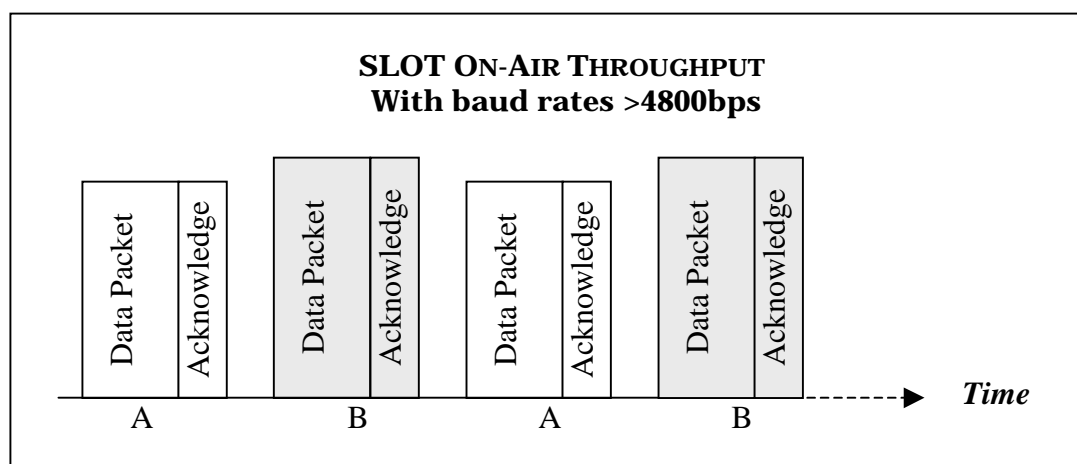


Figure 5: Two SpacePort Modem pairs operating Slot throughput

FCC: This setting is effectively the same as *SLOTS*, however it further slows the over-air throughput to approximately 1200bps. This mode is provided to enforce the modem to comply with FCC regulations of 10% maximum airtime usage. The *THRUPUT* should be set to *FCC* for all SPM modules used in all equipment subject to FCC regulations.

4.2 REMOTE CONFIGURATION

Remote configuration of a SPM module is possible using the *REMOTE* command from within the configurator.

Initially the *REMOTE* command is used to enable and disable the ability to remotely configure a module, as described in section 3.2: User Configurable Command.

Once remote configuration is enabled the *REMOTE* command is then used to issue configuration commands to a remote SPM. The format for the remote command then becomes:

REMOTE <SERIAL NUM> <COMMAND> <PARAMETER>

The <SERIAL NUMBER> of the remote SPM must be known in order for the remote configuration request to be executed on the appropriate SPM module.

The <COMMAND> to be executed can be any of the following:

Baud 600,1200,2400,4800,9600,19200,38400,57600,115200

Unit 0 to 15

Site 0 to 7

Shdn on/off

Flow rxflow/none

Serdly 30 to 255

Retry 1 to 63

Signon on/off

The <PARAMETER> is optional, and if not specified the setting for that command is returned and displayed.

4.3 POINT-TO-MULTIPOINT

The *SPM* can be used for point-to-multipoint communications. One module must be considered to be the master, which is used to address up to 15 remote units in any one site.

During normal operation, the base unit can be set to address another unit dynamically by entering the configurator and using the ADDR command to change the unit address. Upon execution of this command, provided the parameters are correct, the configurator is exited immediately. A period (".") is sent to the connected host device to indicate that the change has been registered and the SPM is now ready for communications to the new unit address.

ADDR is very similar to the Unit command, except that ADDR does not update the stored EEPROM unit value. As the EEPROM has a limited number of write cycles, using ADDR for addressing multiple units in a point to multipoint network is recommended. Also, the ADDR command will exit the configurator immediately, which requires to resume communications very quickly.

4.4 RADAR: DIAGNOSTIC TEST

Built into the configurator is a diagnostic test suitable for range testing and link confidence testing. The Radar test effectively sends a small request packet to a remote unit then waits for a reply. The remote unit must not be in the configurator otherwise it will not respond.

Upon receipt of a positive response from the remote unit, a success is recorded before the process is repeated. This test will continue indefinitely until it is ended by a key press.

4.5 SpacePort Modem Error Handling

The SPM's radio decoder module is deliberately non bit error tolerant, i.e. no attempt is made to repair corrupt data bits. All of the redundancy in the code is directed towards error checking. For an FM radio link using short packet lengths, packets are either 100% or so grossly corrupt as to be unrecoverable. By the same reasoning, the Host is not informed or sent corrupt data since corrupt information is of little value. The SPM implements packet acknowledges, timeouts and re-transmission accomplish reliable error handling.

Radiometrix Ltd

**4 Hartcran House
Gibbs Couch
Watford WD19 5EZ
ENGLAND
Tel: 020 8428 1220
Fax: 020 8428 1221
Int ☎: +44 20 8428 1220
www.radiometrix.co.uk
info@radiometrix.co.uk**

Copyright notice

This product data sheet is the original work and copyrighted property of Radiometrix Ltd. Reproduction in whole or in part must give clear acknowledgement to the copyright owner.

Limitation of liability

The information furnished by Radiometrix Ltd is believed to be accurate and reliable. Radiometrix Ltd reserves the right to make changes or improvements in the design, specification or manufacture of its subassembly products without notice. Radiometrix Ltd does not assume any liability arising from the application or use of any product or circuit described herein, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from the use of its products. This data sheet neither states nor implies warranty of any kind, including fitness for any particular application. These radio devices may be subject to radio interference and may not function as intended if interference is present. We do NOT recommend their use for life critical applications.

Radio and EMC regulations

*The Intrastat commodity code for all our modules is: 8542 4090.
The purchaser of Radiometrix subassemblies must satisfy all relevant EMC and other regulations applicable to their finished products.*

R&TTE Directive

After 7 April 2001 the manufacturer can only place finished product on the market under the provisions of the R&TTE Directive. Equipment within the scope of the R&TTE Directive may demonstrate compliance to the essential requirements specified in Article 3 of the Directive, as appropriate to the particular equipment. Further details are available on Radiocommunications Agency (RA) web site: <http://www.radio.gov.uk/topics/conformity/conform-index.htm>

*The Library and Information Service
The Radiocommunications Agency
Wyndham House, 189 Marsh Wall
London E14 9SX
United Kingdom
Tel: +44 (0)20 7211 0502 or 0505
Fax: +44 (0)20 7211 0507
E-mail: library@ra.gtnet.gov.uk*

Radiometrix Ltd

Worldwide Distributors

Radiometrix Ltd

Hartcran House
Gibbs Couch
Watford

WD19 5EZ

ENGLAND

Tel: +44 (0)20 8428 1220

Fax: +44 (0)20 8428 1221

info@radiometrix.com

sales@radiometrix.com

www.radiometrix.com



Telelink Communications

PO Box 5457, North Rockhampton, Queensland 4702

AUSTRALIA (including South Pacific)

Tel: +61 7 49340413, Fax +61 7 49340311

24 hour Message Service +61 7 38300233

sales@telelink.com.au

RS do Brasil Ltda.

Av. Brigadeiro Faria Lima 2413 (6º andar)

01451-001 São Paulo - SP

BRAZIL

Tel: +55 11 3819 0429, Fax: +55 11 3097 0009 or 11 3815 1162

vendas@rsdobrasil.com.br

C-88 AS

Savsvinget 7,

DK-2970 Hørsholm

DENMARK

Tel: +45 7010 4888, Mobile: +45 2320 8589, Fax: +45 7010 4889

jr@c88.dk

Lextronic

36/40 Rue du Gal de Gaulle,

94510 La Queue en Brie

FRANCE

Tél: +33 (0)1 4576 8388, Fax: +33 (0)1 4576 8141

infos@lextronic.fr

Haril

2A Tsokopoulou Street, 152 37 Filothei, Athens

GREECE

Tel : +30 10 6810338, Fax: +30 10 6853359

harico@otenet.gr

Microrobot Co. Ltd.

Bowoo Bldg., 40-26, Cheongdam-dong, Kangnam-gu,

Seoul, 135-102

KOREA

Tel: +82 2 540 1710

Fax: +82 2 540 1720

maroboss@microrobot.com

Wireless World AG

Im Gree 79, CH-8566 Ellighausen

SWITZERLAND

Tel: +41-71-698 6480, Fax: +41-71-698 6481

info@wirelessworldag.ch

IDVISION B.V.B.A

Augustijnenstraat 44

B-8900 Ieper

BELGIUM (including NETHERLANDS, LUXEMBOURG)

Tel.: +32 57 216141, Fax: +32 57 216434

info@idvision.net

Advanced Radio Telemetry

Francouzská 82

602 00 Brno

Tel.: +420 (5)4521 1403, Fax: +420 (5)4521 0506

CZECH REPUBLIC

art@artbrno.cz

TQ Electronic Oy

Suurllohjankatu 22

08100 Lohja

FINLAND

Tel: +358 19 326451, Fax: +358 19 326452,

Mobile: +358 400 670 697

raimo@tqelectronic.fi

HY-LINE Communication Products GmbH

Inselkammerstraße 10,

D-82008 Unterhaching

GERMANY (including AUSTRIA)

Tel: +49 89 61450319, Fax: +49 89 6140960

communication@hy-line.de

Avnet Components Israel Ltd

P.O.BOX 48, Tel Mond, 40600

ISRAEL

Tel : +972 9 7966999, Fax: +972 3 7601115

shuki.herzlinger@avnet.com

Rotrax Technologies

P.O. Box 2499, North Riding, 2162,

SOUTH AFRICA

Tel: +27 11 794 4270, Fax: +27 11 794 5527

rotrax@iafrica.com

Lemos International Co.Inc.

1305 Post Road, Suite 108, Fairfield, Ct.06430

UNITED STATES OF AMERICA

Tel: +1 203 254 1531, Fax: +1 203 254 7442

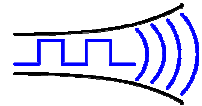
sales@lemosint.com

NEW

Radiometrix

Hartcran House, Gibbs Couch, Watford, WD19 5EZ, England

Tel: +44 (0) 20 8428 1220, Fax: +44 (0) 20 8428 1221



17 June 2003

SPM Eval-Kit

SpacePort Modem Evaluation Kit

Supports Point to Multi Point and Broadcast Mode Test

The SpacePort Modem Evaluation Kit enables SPM / RPM to be transformed into a complete Radio Modem with DCE type RS232 interface.

Range of Features

- ◆ Direct interface to RS232 serial port
- ◆ Onboard regulator can provide 5V, 1A supply to power-up DTE (e.g. barcode scanner)
- ◆ Visual indications of operation through LEDs
- ◆ Access to internal diagnostic/Test modes using HyperTerminal
- ◆ Access to each data/control pins for external interface or testing
- ◆ Set-up and configuration using HyperTerminal
- ◆ Built-in command line configuration.
- ◆ PP3 9V battery powered. DC jack and terminal block provided for external supply

Kit Contents

The SPM Evaluation Kit comes with the following contents:

- 2 SPM Evaluation Board¹
- 2 SPM/RPM modules (ordered separately)
- 2 9V battery (PP3)
- 2 1/4 wavelength whip antenna²
- 4 Jumpers
- 1 SPM data sheet
- 1 SPM Eval-Kit data sheet

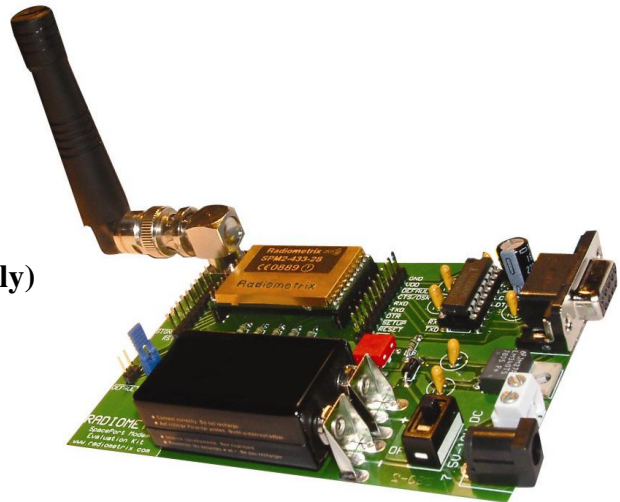


Figure 1: SpacePort Modem Evaluation Kit

Visual Facilities

The following status LEDs will be activated depending on the SPM operation mode.

LED	Indication
TX (Red)	Transmitter enabled;
RX (Green)	Receiver enabled; blinks in Auto standby mode
SIGNAL (bright Red)	Preamble detected
OK (bright Yellow)	Valid packet received / Test passed
Power (Green)	Power Supply on

Notes:

1. The standard SPM evaluation kit comes with 2 Evaluation Board. In order to test the point to multipoint and broadcast modes of the SPM, at least 3 Evaluation Board would be required.
2. BNC connector can be replaced with SMB connector or terminal block to use different antenna connection

Additional requirements

1. DB9M – DB9F straight through serial cable
2. External power supply or DC power adaptor (optional)
3. PC/PDA with terminal program (e.g. Hilgraeve HyperTerminal)

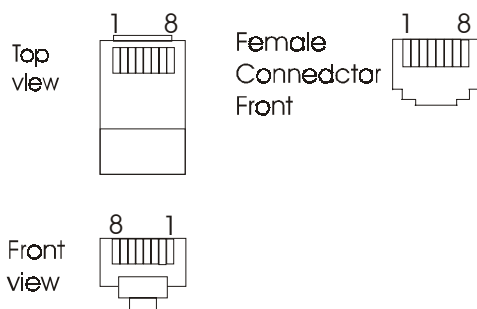
On-board regulator (LM340TS) can supply up to 1A current at 5V. The 5V supply line is connected to the pin 9 (Ring Indicator) of DB9F connector which enables any external host to be powered from pin 9 (+5V DC) and pin 5 (GND). Certain CCD barcode scanner can make use of this feature, eliminating the need for additional external power adaptor.

Serial Pin outs – RS232 (EIA/TIA-574) and RS232D (EIA/TIA-561)

			DB9	DB25	Pin Function	SPM Eval Kit (DCE)		DTE
						SPM Eval Kit (DCE)	DTE	
1	6	1	1	8	Data Carrier Detect (DCD)	Output	Input	
2	7	2	2	3	Data Set Ready (DSR)	Output	Input	
3	8	3	3	2	Receive data (RXD)	Input	Output	
4	9	4	4	20	Request To Send (RTS)	Input	Output	
5	10	5	5	7	Transmit data (TXD)	Output	Input	
6	11	6	6	6	Clear to sent (CTS)	Output	Input	
7	12	7	7	4	Data Terminal Ready (DTR)	Input	Output	
8	13	8	8	5	Vcc (5V)	Output	Input	
9	14	9	9	22	Signal ground	+5V DC output	Input	

Figure 2: DB9 Serial Port pin label

In certain applications a DB9M to RJ45 adaptor cable will be required to interface SPM to Host. e.g. barcode scanners.



Pin No.	Name	Notes/Description
1	DSR/RI	Data Set Ready/Ring Indicator
2	DCD	Data Carrier Detect
3	DTR	Data Terminal Ready
4	SGND	Signal Ground
5	RD	Receive Data
6	TD	Transmit Data
7	CTS	Clear To Send
8	RTS	Request To Send

Figure 3: RJ45 Male and Female connectors

Interfacing SPM Evaluation Kit to Data Terminal Equipment (DTE)

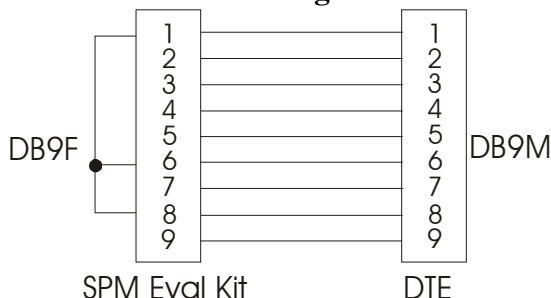


Figure 4: DB9M-DB9F straight through modem cable

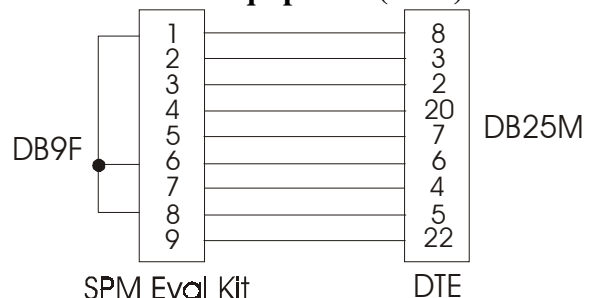


Figure 5: DB9M-DB25F straight through modem cable

The SPM Eval board interface is a 9 way female D type connector. The CTS, DSR and DCD are wired together eliminating the need for special RS232 cables in certain DTE interface configurations.

When using SPM Eval Kit with DTE (e.g. printer and printer driver) which uses DTR/DSR flow control instead of RTS/CTS flow control, the shut down mode should be disabled in configuration by turning SHDN to OFF.

SPM implements DTE to DCE flow control using CTS line. CTS is wired together with DSR and DCD in the Evaluation Kit to meet common DTE interface requirement. However, SPM does not implement DCE to DTE flow control using RTS line. DTR line used to wake up the module if SHDN is turned ON and put it to sleep if the Host (DTE) is detached from SPM.

Therefore, if the receiving DTE(B) [e.g. EPoS printer] cannot process [print] received data fast enough, DTE(B) will not be able to stop attached SPM(B) from sending any further data which SPM(B) received from SPM(A). SPM(A) will assume SPM(B) is ready to receive more data every time SPM(B) sends back a packet acknowledgements as SPM buffers are not filled to stop DTE. DTE(A) [PC] will continue to send more data resulting in data corruption in DTE(B). Simple solution is to reduce the baud rate (e.g. 2,400bps) between SPM(A) and DTE(A) and use maximum possible baud rate (e.g. 9,600bps) between DTE(B) and SPM(B).

Interfacing SPM Evaluation Kit to Data Communications Equipment (DCE)

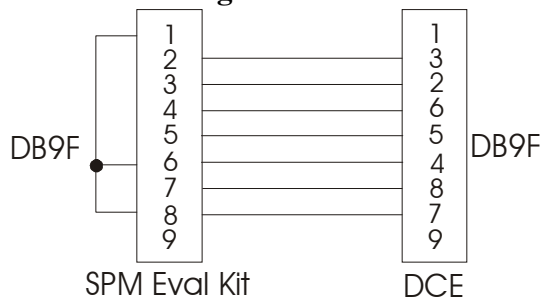


Figure 6: DB9M-DB9M null-modem cable

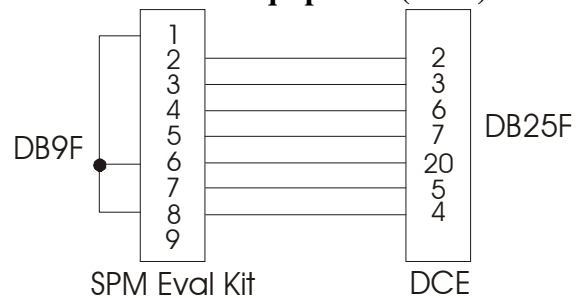


Figure 7: DB9M-DB25F null-modem cable

SPM Configuration

To configure the SPM the HyperTerminal should be set with the following settings. ASCII Setup should be left at default settings with no ticks on *Send line ends with line feeds* and *Append line feeds to incoming line ends*.

Hardware flow control should be disabled. Default baud rate of the SPM is 9600bps. However if the default baud rate of the SPM is changed then the baud rate of the HyperTerminal should be matched or DEFAULT jumper should be connected to force the SPM baud rate to 9600bps.

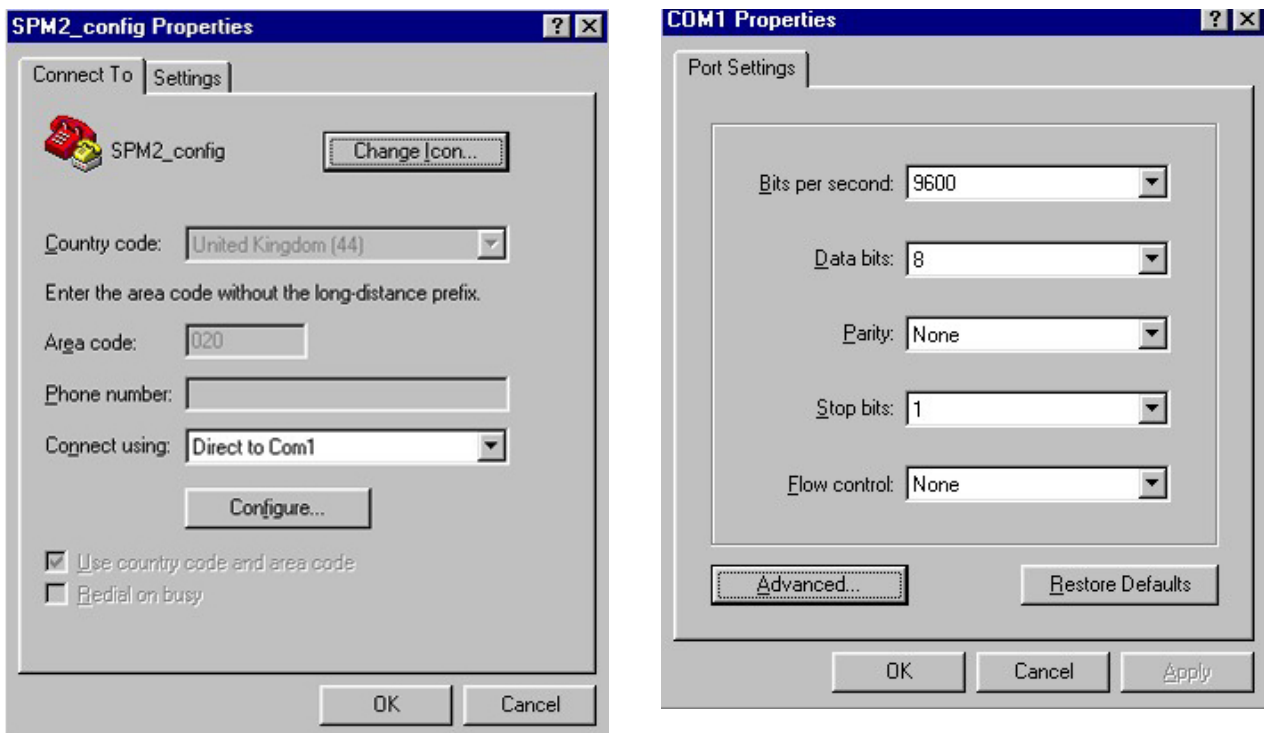


Figure 8: Serial port setting on HyperTerminal to configure SPM

SPM has a 2mm pitch pin-out for embedded system applications where PCB space is very limited. However, for the convenience of evaluating the module, separate rows of 0.1" pitch pin headers are provided on both sides of the SPM sockets.

Oscilloscope probes can be easily connected on these to monitor data transmission on each stage from serial RS232 type data entering SPM, FRPC transmitting packetised data, SPM on receiving and sending serial data to attached Host and sending back Packet Acknowledgements.

Oscilloscope screen capture below were taken during a large file transfer at 115,200bps using HyperTerminal with ZMODEM setting. They were captured on Laptop from Tektronix TDS2024 Digital Storage Oscilloscope fitted with TDS2CM Communications Extension Module. The wireless RS232 link was established using SPM Evaluation Kit with SPM2-433-28.

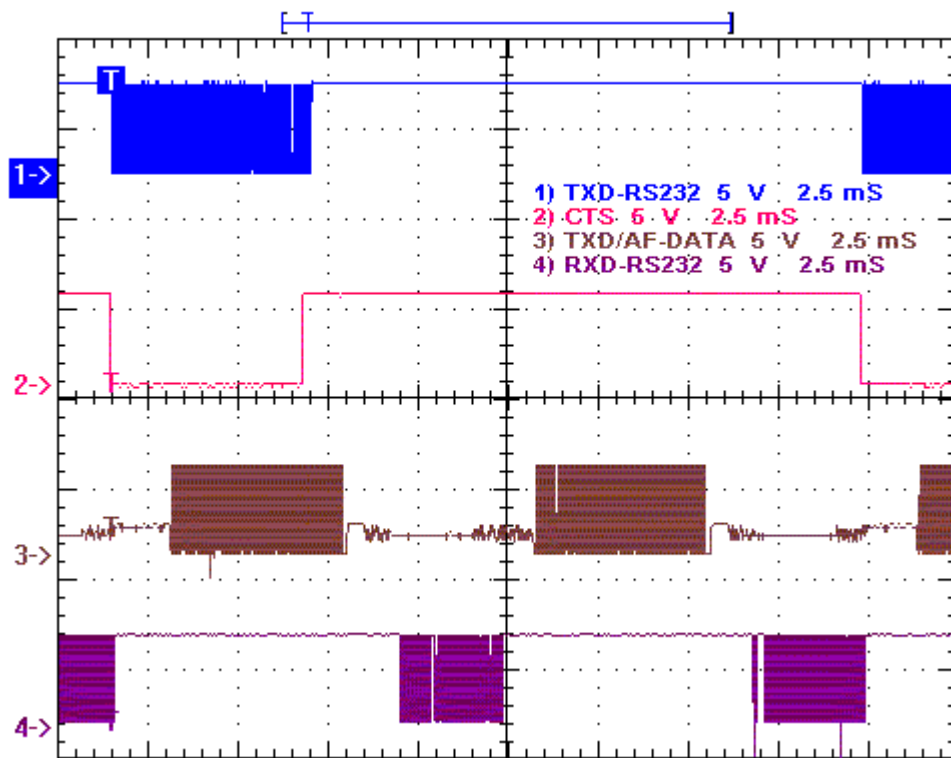


Figure 9: Serial RS232 data transmission and reception with hardware flow control

TXD-RS232 is the inverted RS232 data at TTL level entering the SPM module at 115,200bps.

RPM sends the collected data bytes with necessary site, unit and other control information bytes to FRPC. CTS flow control is set high when the SPM buffer reaches about 66% full, to prevent attached PC from sending further data bytes.

FRPC packetises all the bytes from RPM with preamble, synch byte, check sum and encodes each 8-bit byte into a 12-bit code for reliable transmission over the radio. TXD/AF trace is the packetised data transmission from FRPC to TXD pin of radio transceiver within the SPM module.

RXD-RS232 is the received inverted RS232 data at TTL level sent by SPM to attached host PC. It can be seen from the trace that the RS232 data stream coming into SPM is broken into two parts and transmitted as two packets.

SPM will not transmit the next packet until an acknowledgement for the previously transmitted packet is received if the ACKMODE is turned ON as shown in the following oscilloscope screen capture.

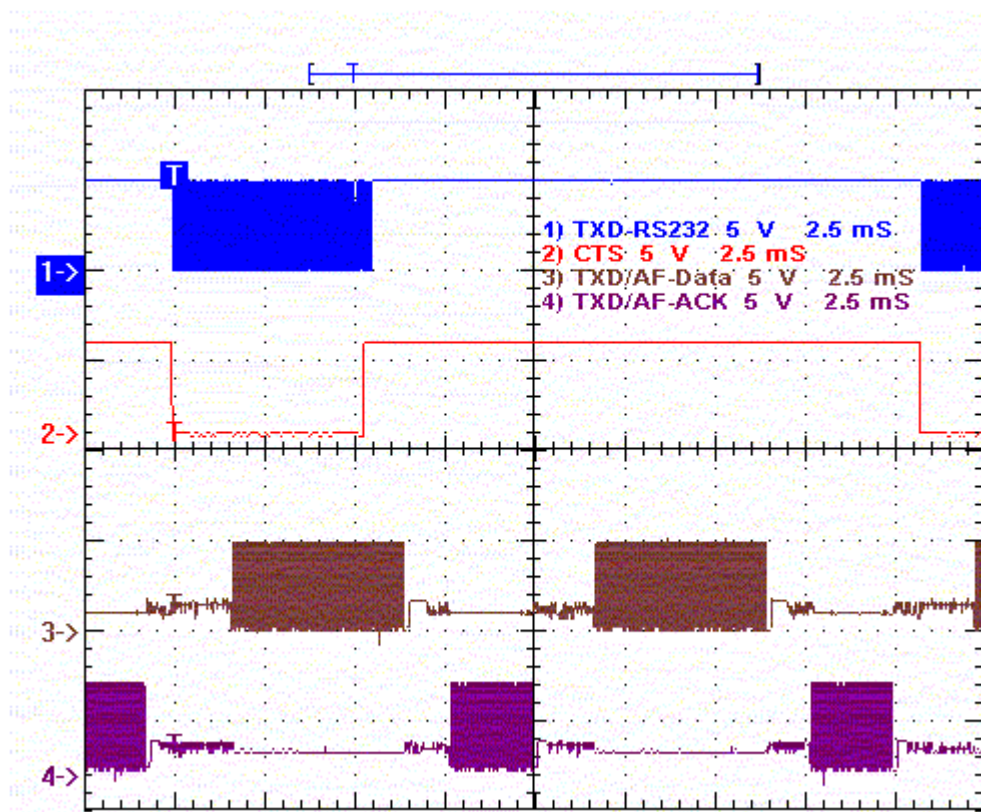


Figure 10: Serial RS232 data transmission with packet acknowledgement

By turning the ACKMODE OFF, the overall data throughput can be increased up to 55kbps with SPM2-433-28. In this fast mode, SPM(A) will not wait for a packet acknowledgement from SPM(B).

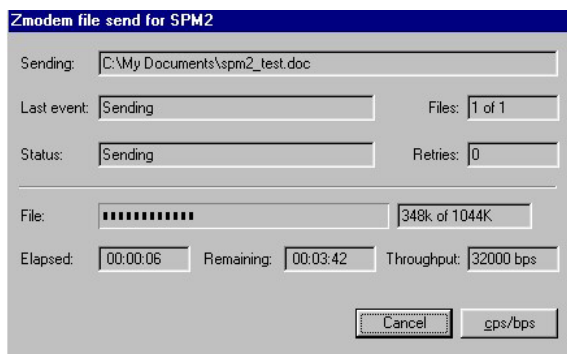


Figure 11: File transfer with ACKMODE ON

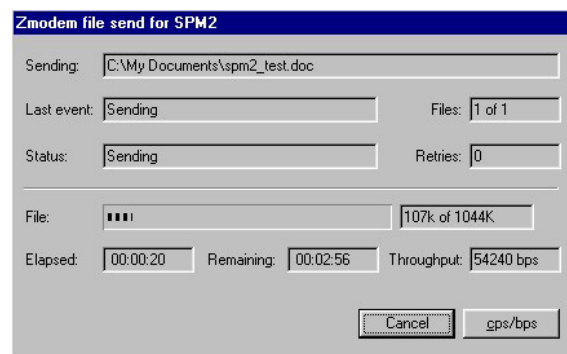


Figure 12: File transfer with ACKMODE OFF

In broadcast mode, same data/file can be transferred to several hosts attached to SPM Eval Kits at the same time. ACKMODE is should also be turned OFF in broadcast mode otherwise the acknowledgements from multiple slave SPMs will cause master SPM hang up.

Usually point-to-multipoint communication is used by a host (e.g. microcontroller) which can pull the SETUP line low and send the command ADDR [new unit address] to change address dynamically to communicate with several other hosts by addressing them individually. This can be simulated in Evaluation Kit by inserting SETUP jumper and typing the new dynamic unit address using HyperTerminal with its flow control disabled.

The SETUP jumper should be removed before pressing the Carriage Return (0Dhex) key. SPM will echo back with dot (2Ehex) to confirm address change. If SETUP jumper is not removed, SPM will remain in configuration mode. Flow control in HyperTerminal should be set to HARDWARE for higher baud rate data transfer.

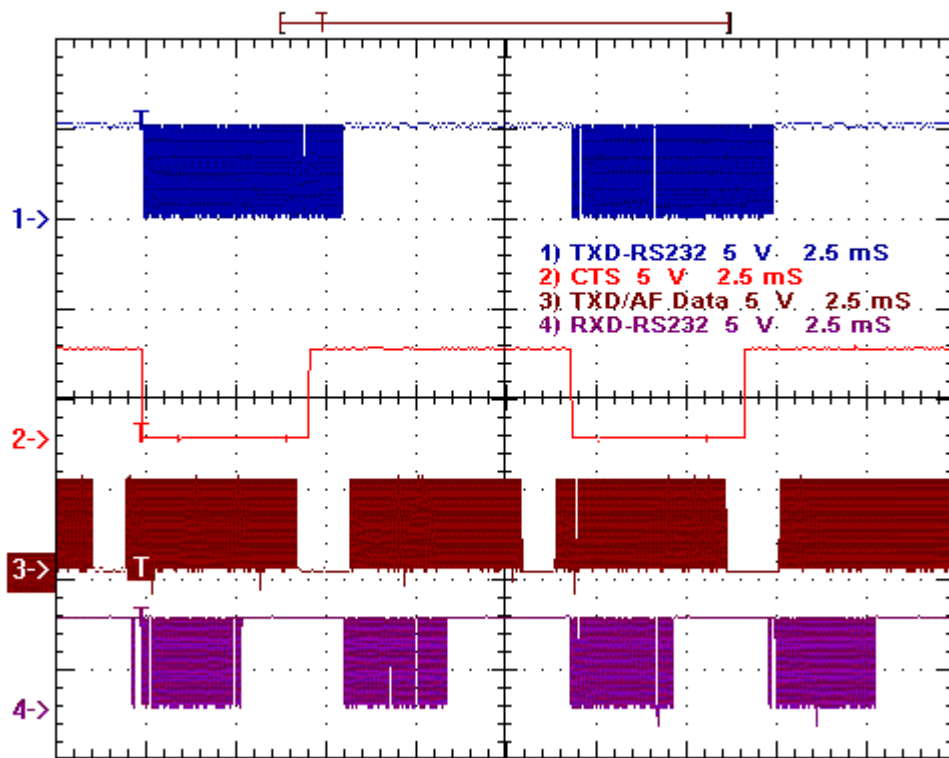


Figure 13: Near continuous streaming of data packets with ACKMODE OFF

SPM2-433-28 implements a very efficient data buffer management algorithm. In most cases at low or default baud rates (e.g. 9600bps), it is capable of transmitting continuous stream of serial data without asserting CTS line (no flow control) as shown below and transmit the data packets in short bursts with long gaps between RF transmission minimising the air-time usage.

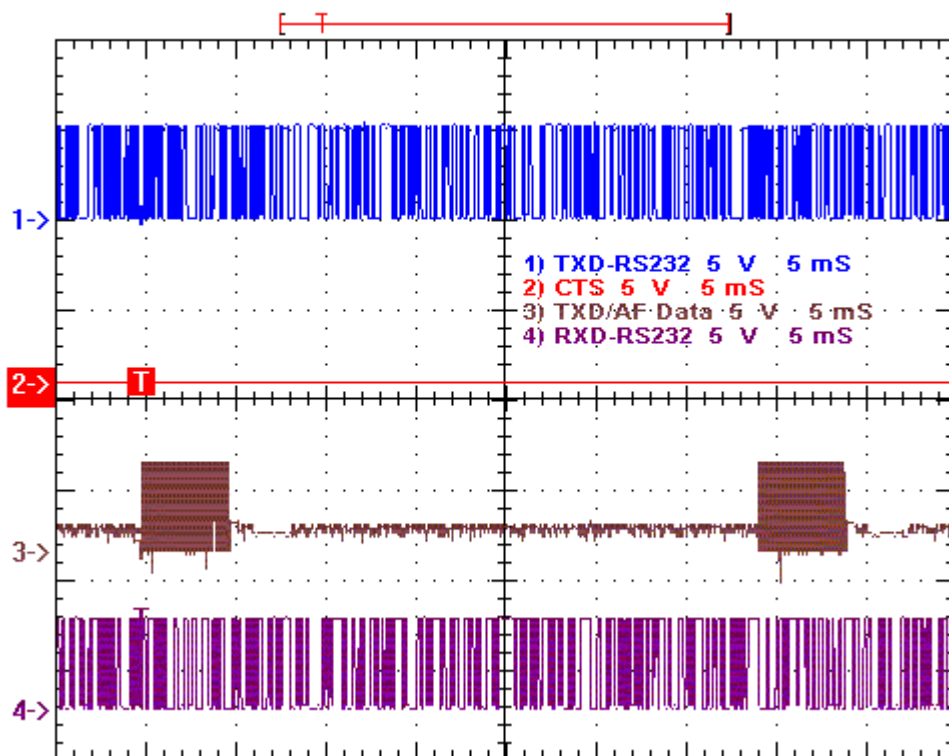


Figure 14: SPM2-433-28 receiving from DTE continuously without asserting CTS at 9600bps

Radiometrix Ltd

**Hartcran House
Gibbs Couch
Watford
WD19 5EZ
ENGLAND**

Tel: +44 (0)20 8428 1220

Fax: +44 (0)20 8428 1221

info@radiometrix.co.uk

www.radiometrix.co.uk

Copyright notice

This product data sheet is the original work and copyrighted property of Radiometrix Ltd. Reproduction in whole or in part must give clear acknowledgement to the copyright owner.

Limitation of liability

The information furnished by Radiometrix Ltd is believed to be accurate and reliable. Radiometrix Ltd reserves the right to make changes or improvements in the design, specification or manufacture of its subassembly products without notice. Radiometrix Ltd does not assume any liability arising from the application or use of any product or circuit described herein, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from the use of its products. This data sheet neither states nor implies warranty of any kind, including fitness for any particular application. These radio devices may be subject to radio interference and may not function as intended if interference is present. We do NOT recommend their use for life critical applications. The Intrastat commodity code for all our modules is: 8542 6000

R&TTE Directive

After 7 April 2001 the manufacturer can only place finished product on the market under the provisions of the R&TTE Directive. Equipment within the scope of the R&TTE Directive may demonstrate compliance to the essential requirements specified in Article 3 of the Directive, as appropriate to the particular equipment.

Further details are available on Radiocommunications Agency (RA) web site:

<http://www.radio.gov.uk/topics/conformity/conform-index.htm>

The Library and Information Service

The Radiocommunications Agency

Wyndham House

189 Marsh Wall

London

United Kingdom

E14 9SX

Tel: +44 (0)20 7211 0502/0505

Fax: +44 (0)20 7211 0507

library@ra.gsi.gov.uk

For further information on radio matters contact the

Agency's 24 Hour Telephone Enquiry Point: +44

(0)20 7211 0211

European Radiocommunications Office (ERO)

Midtermolen 1

DK 2100 Copenhagen

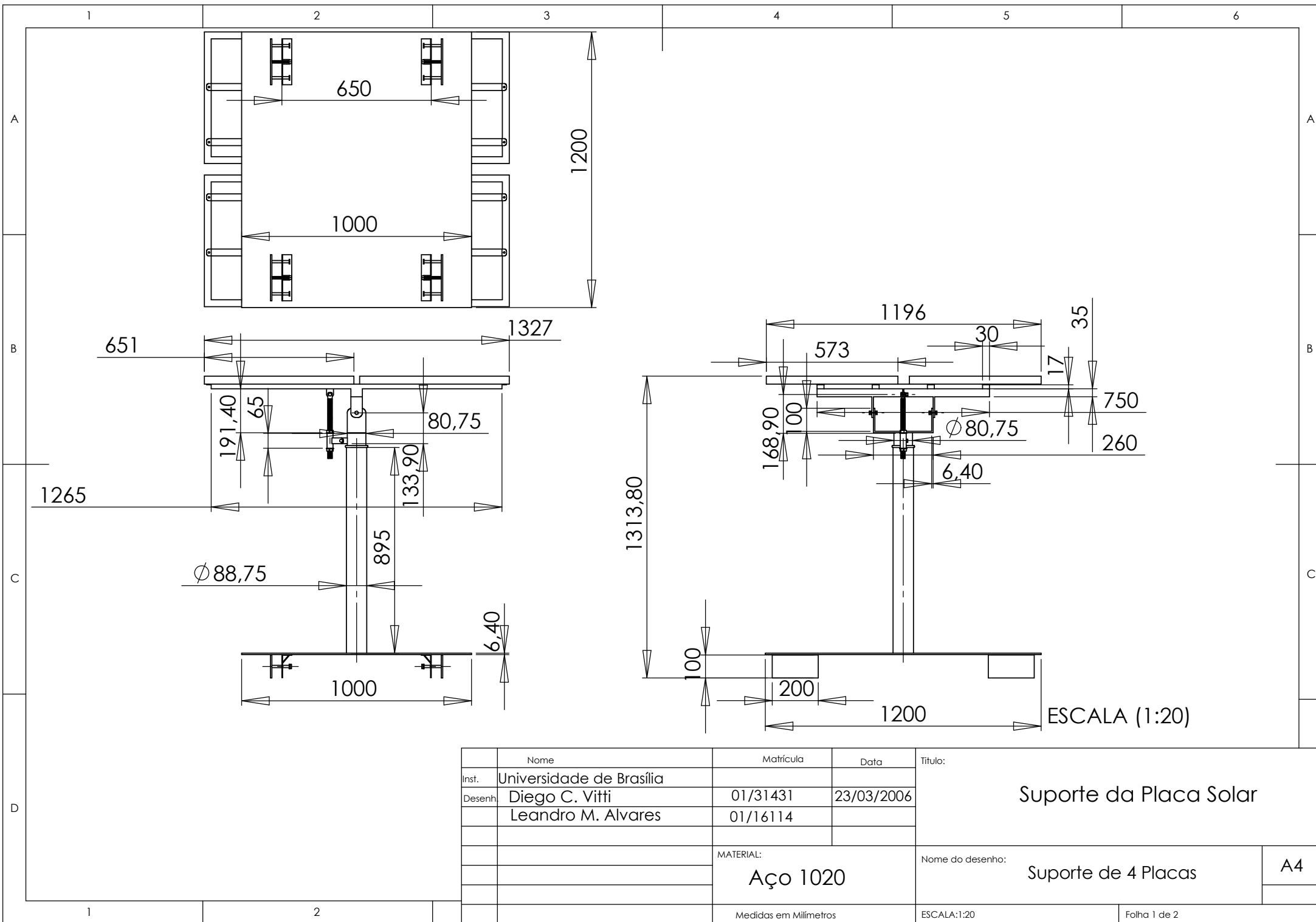
Denmark

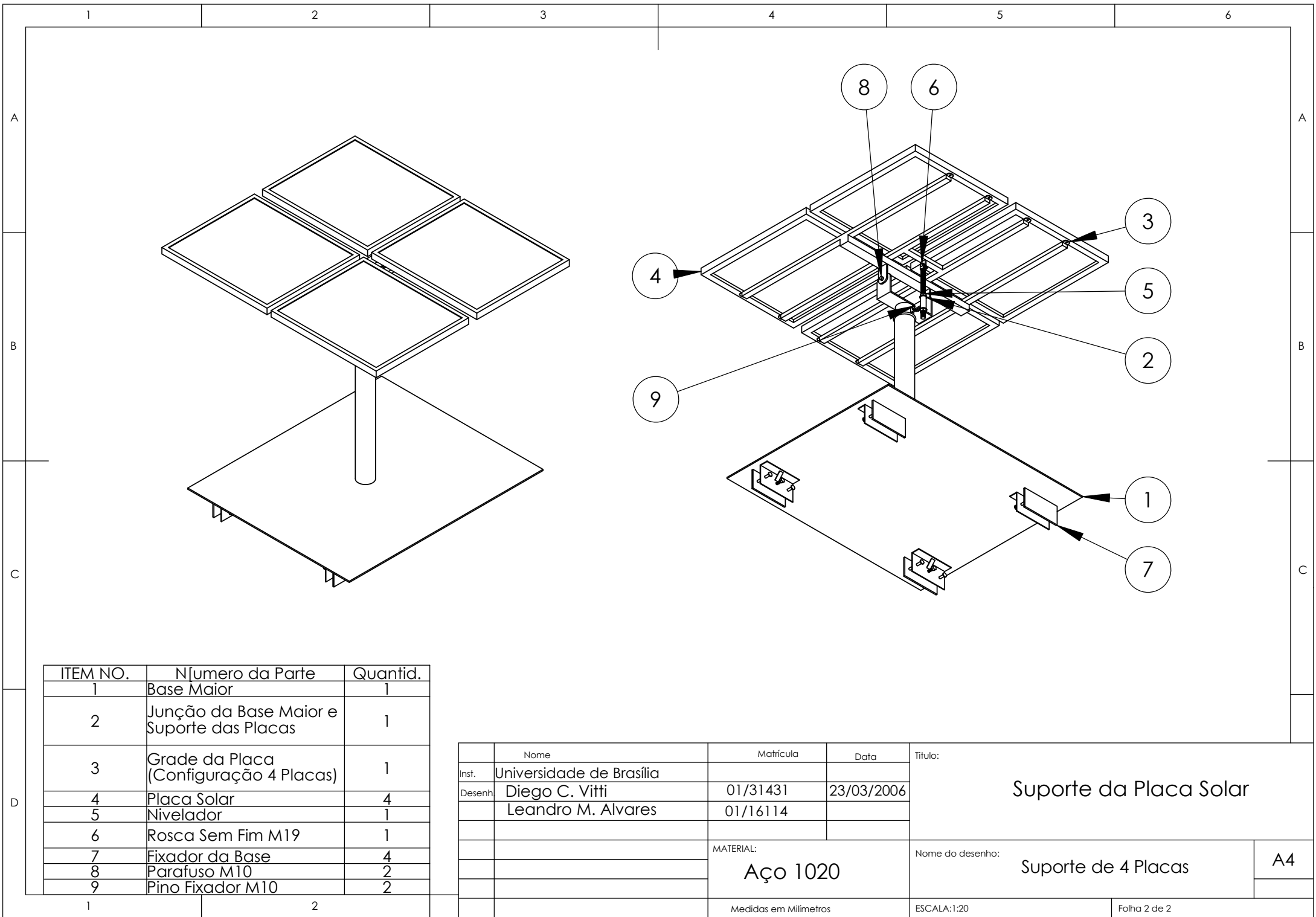
Tel. +45 35250300

Fax +45 35250330

ero@ero.dk

www.ero.dk





ITEM NO.	Número da Parte	Quantid.
1	Base Maior	1
2	Junção da Base Maior e Suporte das Placas	1
3	Grade da Placa (Configuração 4 Placas)	1
4	Placa Solar	4
5	Nivelador	1
6	Rosca Sem Fim M19	1
7	Fixador da Base	4
8	Parafuso M10	2
9	Pino Fixador M10	2

	Nome	Matrícula	Data	Título: Suporte da Placa Solar		
Inst.	Universidade de Brasília					
Desenh	Diego C. Vitti	01/31431	23/03/2006			
	Leandro M. Alvares	01/16114				
		MATERIAL: Aço 1020		Nome do desenho: Suporte de 4 Placas		A4
		Medidas em Milímetros		ESCALA:1:20		Folha 2 de 2

