

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA CASA DE
VERANEIO EM POUSO DA CAJAÍBA-PARATY**

Marcos Antonio dos Santos Serrão

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

Prof. Luís Guilherme Barbosa Rolim
(Orientador)

Prof. Walter Issamu Suemitsu

Prof. Celso Alexandre Souza de Alvear

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2010

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Localização do Pouso da Cajaíba	1
Figura 1.2 – Recursos energéticos conhecidos e o consumo mundial.....	2
Figura 1.3 - Planta da casa considerada	3
Figura 2.1 – Sistema Fotovoltaico ligado à rede elétrica.....	6
Figura 2.2 – Sistema fotovoltaico autônomo	6
Figura 2.3 – Representação de uma célula fotovoltaica.....	7
Figura 2.4 – Simulação de uma célula fotovoltaica.....	8
Figura 2.5 – Ligação de painéis em série	9
Figura 2.6 – Ligação de painéis em paralelo.....	9
Figura 2.7 – Ligação de painéis em série-paralelo	10
Figura 2.8 – Variação da posição do sol com as estações do ano	11
Figura 2.9 – Esquema de uma Célula Eletroquímica.....	12
Figura 2.10 - Funcionamento de um Controlador Série	14
Figura 2.11 – Funcionamento de um Controlador Shunt	14
Figura 2.12 - Funcionamento de um Controlador com MPP.....	15
Figura 2.13 – Formas de onda típicas de inversores	16
Figura 2.14 – Circuito básico de um inversor.....	16
Figura 2.15 – Curva característica para diversos modelos de inversor.....	17
Figura 2.16 –Circuito montado para determinar a curva característica do inversor	17
Figura 2.17 – Tensão de saída sem carga	18
Figura 2.18 – Curva de rendimento do Inversor de onda retangular	19

Figura 3.1 – Funcionamento da esfera de medições.....	21
Figura 3.2 – Eficiência das lâmpadas ensaiadas	22
Figura 3.3 – Placa de 48 LEDs	22
Figura 3.4 – Lâmpada Eletrônica Aram 15W.....	23
Figura 4.1 – Radiação diária média mensal para cada localidade	27
Figura 4.2 – Esquema das ligações para o projeto de iluminação em LEDs	30
Figura 4.3 – Planta de instalação para o projeto de iluminação em LEDs	30
Figura 5.1 – Inversor de 300W, 12VDC-220VAC	37
Figura 5.2 - Esquema das ligações para o projeto de iluminação em 220V	38
Figura 5.3 – Planta de instalação para o projeto de iluminação em 220V	39
Figura 6.1 – Ventilador de 30cm, Mondial V-03.....	41
Figura 6.2 – Inversor de 600W, 12VDC-220VAC	48
Figura 6.3 – Inversor de 800W, 12VDC-220VAC	49
Figura 6.4 – Esquema das ligações para o projeto de carga geral com placas de LEDs	51
Figura 6.5 - Esquema das ligações para o projeto de carga geral com fluorescentes	52
Figura 6.6 – Planta de instalação elétrica para o projeto de carga geral com fluorescentes.....	52
Figura 6.7 - Planta de instalação elétrica para o projeto de carga geral com LEDs	53
Figura 7.1 – Inversor de 75W, 12VDC-220VAC	61
Figura 7.2 – Esquema das ligações para o projeto de carga reduzida com placas de LEDs	64

Figura 7.3 - Esquema das ligações para o projeto de carga reduzida com fluorescentes..... 64

Figura 7.4 - Planta de instalação elétrica para o projeto de carga reduzida com LEDs 65

Figura 7.5 – Planta de instalação elétrica para o projeto de carga reduzida com fluorescentes..... 65

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Dados de placa do painel MST-20LV.....	11
Tabela 2.2 – Dados do inversor coletados no laboratório.....	17
Tabela 3.1 – Dados das luminárias coletados no laboratório	21
Tabela 4.1- Consumo estimado no verão usando LEDs.....	24
Tabela 4.2 – Consumo estimado no inverno usando LEDs.....	25
Tabela 4.3 – Radiação diária média por localidade	27
Tabela 4.4 – Quadro de cargas para o projeto de iluminação em LEDs	31
Tabela 5.1 - Consumo estimado no verão usando lâmpadas eletrônicas.....	33
Tabela 5.2 - Consumo estimado no inverno usando lâmpadas eletrônicas	34
Tabela 5.3 – Quadro de cargas para o projeto de iluminação em 220V.....	39
Tabela 6.1 – Consumo de cada aparelho para o caso geral no verão.....	42
Tabela 6.2 - Consumo de cada aparelho para o caso geral no inverno.....	42
Tabela 6.3 – Quadro de cargas para o projeto de carga geral com fluorescentes	53
Tabela 6.4 – Quadro de cargas para o projeto de carga geral com LEDs.....	54
Tabela 7.1 – Consumo de cada aparelho para o caso com pouca carga no verão	56
Tabela 7.2 - Consumo de cada aparelho para o caso com pouca carga no inverno	56
Tabela 7.3 – Quadro de cargas para o projeto de carga reduzida com fluorescentes	66
Tabela 7.4 – Quadro de cargas para o projeto de carga reduzida com LEDs .	66

Tabela 8.1 – Itens necessários utilizando a placa de LEDs..... 68

Tabela 8.2 – Itens necessários utilizando as lâmpadas eletrônicas..... 68

Sumário

Lista de Figuras	ii
Lista de Tabelas	v
Sumário	6
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização dos Capítulos	4
2 Conhecimentos Básicos	5
2.1 Histórico da Energia Solar Fotovoltaica.....	5
2.2 Painéis Fotovoltaicos	6
2.3 Baterias	12
2.4 Controladores de Carga	13
2.5 Inversores.....	15
3 Alternativas de Iluminação	21
4 Projeto de Iluminação em 12V	24
4.1 Cálculo do Consumo Diário.....	24
4.2 Dimensionamento da Baterias	25
4.3 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos	26
4.4 Dimensionamento do Controlador de Carga	29
4.5 Esquema de Ligação	29
5 Projeto de Iluminação com Lâmpadas Eletrônicas	33

5.1	Cálculo do Consumo Diário.....	33
5.2	Dimensionamento da Baterias	34
5.3	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos	34
5.4	Dimensionamento do Inversor	36
5.5	Dimensionamento do Controlador de Carga	37
5.6	Esquema de Ligação	38
6	Projeto de Tomadas para Uso Geral.....	41
6.1	Cálculo do Consumo Diário.....	41
6.2	Dimensionamento das Baterias	43
6.2.1	Projeto utilizando a placa de LEDs	43
6.2.2	Projeto utilizando lâmpadas eletrônicas	44
6.3	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos	44
6.3.1	Dimensionamento utilizando placas de LEDs	44
6.3.2	Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas	45
6.4	Dimensionamento do Inversor	46
6.4.1	Dimensionamento utilizando placas de LEDs	47
6.4.2	Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas	48
6.5	Dimensionamento do Controlador de Carga	49
6.5.1	Dimensionamento utilizando placas de LEDs	50
6.5.2	Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas	50
6.6	Esquemas de Ligação	51
7	Projeto de Tomadas para Carga Reduzida	56

7.1	Cálculo do Consumo Diário.....	56
7.2	Dimensionamento da Baterias	57
7.2.1	Projeto utilizando a placa de LEDs	57
7.2.2	Projeto utilizando lâmpadas eletrônicas	58
7.3	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos	58
7.3.1	Dimensionamento utilizando placas de LEDs	58
7.3.2	Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas	59
7.4	Dimensionamento do Inversor	60
7.4.1	Dimensionamento utilizando placas de LEDs	61
7.4.2	Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas	61
7.5	Dimensionamento do Controlador de Carga	62
7.5.1	Dimensionamento utilizando placas de LEDs	62
7.5.2	Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas	63
7.6	Esquemas de Ligação	63
8	Análise dos Projetos	68
8.1	Lista de Itens	68
8.2	Análise Crítica.....	69
9	Conclusão.....	70
10	Referências Bibliográficas	71
11	Anexos	72
	Anexo 1 - Fator de Demanda para instalações em geral	72
	Anexo 2 – Tabela de Consumo Médio Mensal	76

1 Introdução

1.1 Motivação

A comunidade do Pouso da Cajaíba, localizada no município de Paraty-RJ, possui cerca de 200 habitantes [Guilherme1] [8], é acessível apenas por barco, ou através de uma longa trilha na floresta, e nunca foi conectada ao sistema brasileiro de energia elétrica. [Guilherme2] O Laboratório de Fontes Alternativas de Energia (LFAE/UFRJ) vem realizando ações no local desde o final de 2008. Atualmente a atividade conta créditos curriculares através do Requisito Curricular Complementar (RCC), coordenado pelo professor Guilherme Rolim. A Figura 1.1 mostra a localização da comunidade na região da Costa Verde fluminense.



Figura 1.1 – Localização do Pouso da Cajaíba
FONTE: Google Maps, 2010

[Guilherme3] A utilização da energia solar fotovoltaica para o projeto em questão é justificada devido às características peculiares do local (não ligação à rede convencional e alta luminosidade). Possui diversas vantagens se comparada com um gerador a diesel - alternativa também bastante adotada em sistemas isolados - não necessita de combustível, é silenciosa e não polui para gerar energia. [Guilherme4] Em 2003 foram instaladas algumas placas solares na região, através de um projeto do governo estadual em parceria com uma determinada empresa privada, porém como não houve manutenções periódicas, vários equipamentos se degradaram com o tempo ou deixaram de funcionar por utilização indevida, como algumas baterias e inversores [9].

Atualmente, cerca de 90% da produção mundial de energia tem origem fóssil[Guilherme5], sendo o carvão ainda respondendo por grande parte desse total [2], o que contribui enormemente para a poluição atmosférica e o aquecimento global. Em média, uma pessoa consome o equivalente a 2 toneladas de carvão por ano para a produção de energia elétrica[Guilherme6]. Esse consumo obviamente não é uniforme no planeta, enquanto que um europeu médio consome mais de 6 toneladas por ano, um cidadão de Bangladesh não chega a consumir 0,15 toneladas, ou seja, 40 vezes menos [2]. Assim, a reflexão sobre novos hábitos de consumo e fontes de energia menos poluentes tem recebido um grande destaque nos últimos anos.

A Figura 1.2 mostra uma comparação esquemática da energia que poderia ser produzida utilizando as várias reservas conhecidas de combustíveis no planeta de Urânio (gerando energia através da fissão nuclear), Gas Natural, Petróleo e Carvão; a energia incidente pelo sol durante um ano; e o consumo mundial. Pode-se observar claramente que a energia solar excede em cerca de 10.000 vezes a demanda anual do planeta, constituindo portanto um recurso com um potencial praticamente inesgotável a ser explorado.

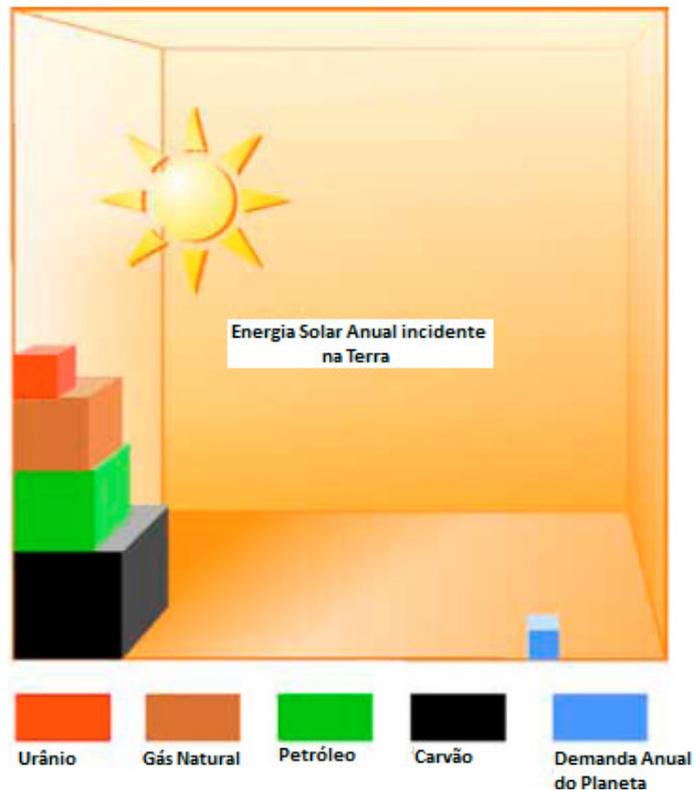


Figura 1.2 – Recursos energéticos conhecidos e o consumo mundial
 FONTE: Greenpro, 2004

A grande motivação deste trabalho vem justamente da oportunidade de se colocar em prática conhecimentos adquiridos em sala de aula de uma tecnologia relativamente nova e sustentável, realizando um projeto de engenharia que possa [Guilherme7]transformar a vida da comunidade local. Uma das maiores preocupações do RCC era justamente relativa à percepção dos moradores locais sobre o projeto, o objetivo não era substituir políticas públicas, mas sim melhorar a qualidade de vida da região levando em conta as demandas dos moradores e as tecnologias a nosso alcance.

Várias reuniões foram realizadas com os moradores da região para entender suas reais necessidades e anseios, bem como explicar as limitações técnicas e econômicas do projeto. Assim, foi possível traçar metas e objetivos viáveis do ponto de vista prático e que correspondessem às expectativas dos moradores.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de um sistema fotovoltaico para uma casa sem energia elétrica no Pouso da Cajaíba, [Guilherme8] com quatro quartos, dois banheiros, uma sala, uma cozinha e uma varanda, como mostrado na Figura 1.1. A casa está localizada na parte oeste da praia do Pouso, sendo utilizada principalmente como uma residência de veraneio. Nosso desafio será realizar um projeto com equipamentos de baixo custo num sistema eficiente como um todo, devido às demandas do local e à baixa disponibilidade de recursos.

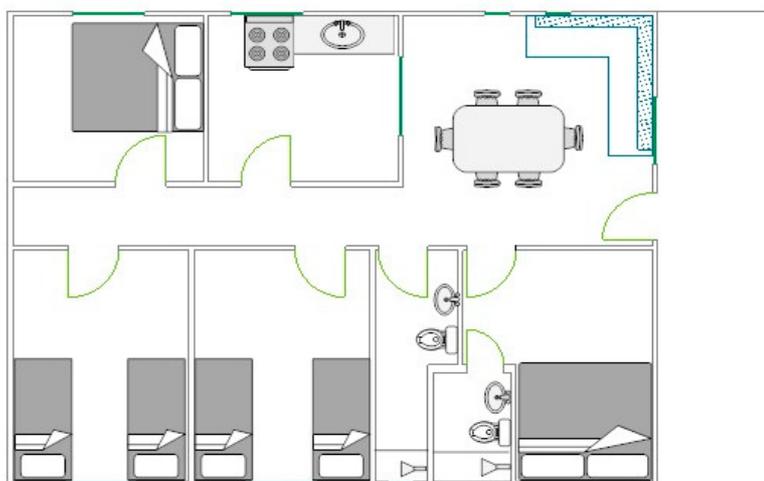


Figura 1.1 - Planta da casa considerada

[Guilherme9] Para o projeto, será levado em consideração a utilização das placas fotovoltaicas de 20W disponíveis no Laboratório de Fontes Alternativas de Energia (LAF/AE/UFRJ). Será dado um grande destaque em modelar o consumo de energia o mais próximo possível da realidade, pois ao equilibrá-lo com a produção de energia, um possível super ou sub-dimensionamento será evitado.

Uma vez que os painéis fotovoltaicos disponíveis são de baixa potência, os aparelhos a serem utilizados na casa deverão possuir uma alta eficiência e baixo consumo de energia, levando em conta se os preços praticados no mercado são condizentes. Um gasto maior na compra de equipamentos mais eficientes pode ser plenamente justificado num gasto menor com equipamentos do sistema

fotovoltaico, como placas fotovoltaicas auxiliares, baterias ou inversores de grande potência.

O trabalho esta dividido em sub-projetos levando em consideração apenas as necessidades de iluminação e as diversas cargas que poderão ser conectadas no sistema (aparelho de som, computador, carregador de celular, etc.). Assim, dependendo da disponibilidade de recursos, pode-se implementar um projeto em detrimento do outro.

Serão levados em consideração ainda dois cenários distintos para cada sub-projeto: um durante o verão, quando o consumo é consideravelmente maior, e outro durante o inverno, quando a incidência solar é mais baixa. De posse desses dados, o sistema será dimensionado para funcionar corretamente mesmo no pior caso.

Finalmente, será feita uma análise crítica das alternativas de alimentação de energia em 12, 127 ou 220V levando-se em conta a disponibilidade/preço dos equipamentos no mercado e a eficiência energética. Também será realizado o dimensionamento das baterias, painéis fotovoltaicos e inversores com modelos disponíveis no mercado. Como a maioria de suas características é normatizada, podem ser facilmente substituídos por outras marcas.

1.3 Organização dos Capítulos

No Capítulo 1, foi realizada uma rápida apresentação da motivação e dos objetivos do trabalho. No Capítulo 2, serão abordados os principais conceitos e equipamentos relacionados à energia fotovoltaica, e calculada a eficiência de um inversor com dados medidos em laboratório. No Capítulo 3, serão apresentadas três alternativas inicialmente consideradas para iluminação da casa. Nos Capítulos 4, 5, 6 e 7, será abordado o dimensionamento propriamente dito dos equipamentos, considerando alguns cenários. No Capítulo 8, será apresentada a conclusão do trabalho.[Guilherme10]

2 Conhecimentos Básicos

2.1 Histórico da Energia Solar Fotovoltaica

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia oriunda da transformação direta de luz em energia elétrica. Esse fenômeno foi descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, ao relatar as propriedades do Selênio, que produzia uma corrente elétrica diretamente proporcional à radiação incidente.

O assunto passou a receber um grande destaque a partir dos anos 60, durante a guerra fria, pois apesar de seu custo elevado, essa tecnologia se mostrou apropriada para suprir as demandas energéticas em missões aeroespaciais bem como para a manutenção de satélites.

Devido à crise do petróleo na década de 70, investiram-se [Guilherme11] vultosos recursos em fontes alternativas de energia. As aplicações terrestres divergiam bastante das aplicações espaciais, agora era fundamental ter um balanço energético positivo, ou seja, os módulos fotovoltaicos deveriam produzir mais energia do que a energia que foi gasta na sua produção [1].

Outro grande desafio era reduzir seus custos de fabricação, visando sua popularização. Nessa época, foram desenvolvidas as células de silício policristalino, que eram muito mais fáceis e baratas de se fabricar, porém possuíam uma eficiência inferior aos modelos feitos com silício monocristalino. Programas governamentais de países como Alemanha, Espanha e Japão estimularam a aplicação doméstica dessa tecnologia, o que permitiu uma produção em escala, reduzindo ainda mais os custos.

Atualmente também são bastante populares as células fotovoltaicas produzidas com filmes finos, estas utilizam ainda menos materiais e energia no seu processo de fabricação do que as de silício policristalino, o que justifica o seu preço mais acessível. Estas são bastante flexíveis mecanicamente, possibilitando aplicações em diversas situações. Como desvantagens possuem uma vida útil reduzida e um rendimento inferior às convencionais, necessitando assim de uma área maior para a mesma produção energética.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos quanto às suas formas de aplicação: os sistemas autônomos e os sistemas ligados à rede elétrica. Em vários países europeus há diversas políticas de incentivo para que pequenos sistemas domésticos vendam sua energia à rede, usufruindo de tarifas especiais. No Brasil, não há regulamentação alguma sobre esse tipo de ligação, prevalecendo assim os sistemas autônomos, como o que será apresentado no presente trabalho.

Nos sistemas ligados à rede, além dos geradores fotovoltaicos, é preciso conectar algum equipamento de proteção aos painéis, prevenindo-os de correntes reversas, além de um inversor, que transforme a energia - sempre gerada em corrente contínua - numa forma compatível com a rede elétrica, ou seja, em corrente alternada. A Figura 2.1 mostra o esquema básico de um pequeno sistema fotovoltaico ligado à rede.

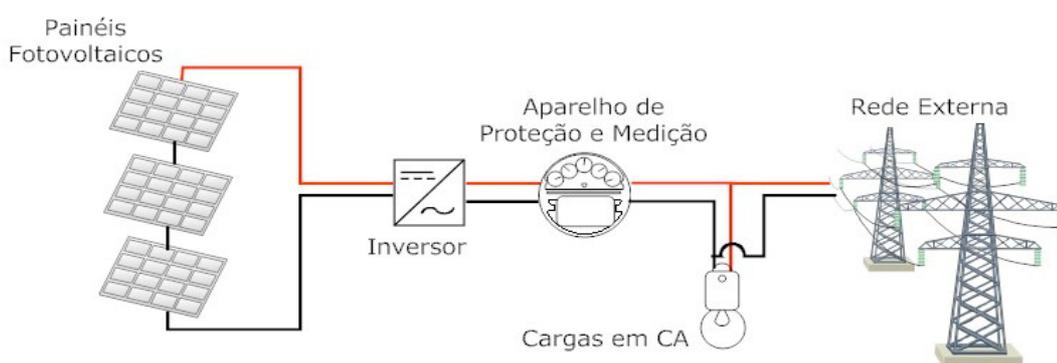


Figura 2.1 – Sistema Fotovoltaico ligado à rede elétrica

Nos sistemas autônomos, é preciso um sistema de armazenamento de energia, papel comumente desempenhado pelas baterias. Deve-se proteger as baterias contra sobre-tensões, descargas excessivas, entre outros. Assim, é fundamental a utilização de um controlador de carga. Caso as cargas a serem conectadas não sejam compatíveis com a tensão da bateria, ou ainda, sejam em corrente alternada (mais comumente), também será preciso adotar um conversor ou inversor, como exemplificado na Figura 2.2. Falaremos mais detalhadamente sobre os componentes relativos a sistemas autônomos a seguir.

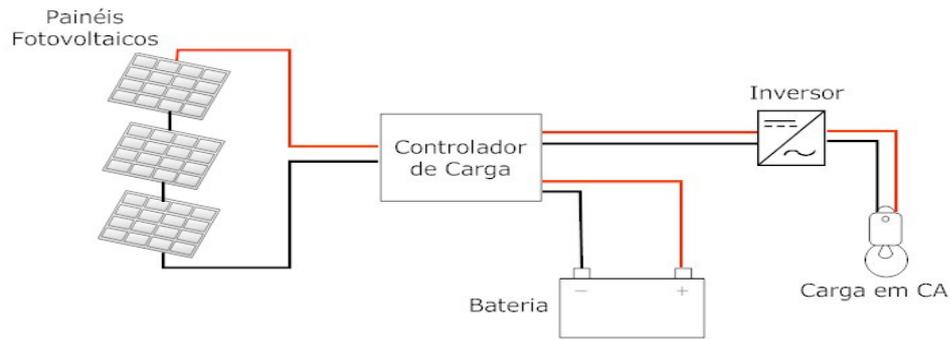


Figura 2.2 – Sistema fotovoltaico autônomo

2.2 Painéis Fotovoltaicos

Células solares ou fotovoltaicas são os elementos responsáveis pela transformação da energia solar em energia elétrica, estas utilizam as propriedades dos materiais semicondutores (na maioria dos casos, o Silício). Estes, quando devidamente dopados com elementos químicos como o Boro e o Fósforo, formam a chamada *junção pn*, num lado se concentram as cargas positivas, e no outro, as cargas negativas, criando um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de elétrons de um lado para o outro. Caso um fóton incida com energia suficiente para excitar um elétron, haverá a circulação de corrente elétrica, gerando energia em corrente contínua, constituindo assim o chamado *Efeito Fotovoltaico*.

Uma célula solar produz apenas cerca de 0,4 Volts no seu ponto de máxima potência, sendo necessário conectarem-se várias em série para obter-se tensões mais altas. Assim, a maioria dos painéis fotovoltaicos é composto por algo entre 36 a 72 células, produzindo tensões de saída apropriadas para sistemas CC de 12 a 24V. Uma simbologia comumente utilizada para representar as células e os painéis fotovoltaicos é apresentada na Figura 2.1, bem como o circuito elétrico equivalente para a célula solar.

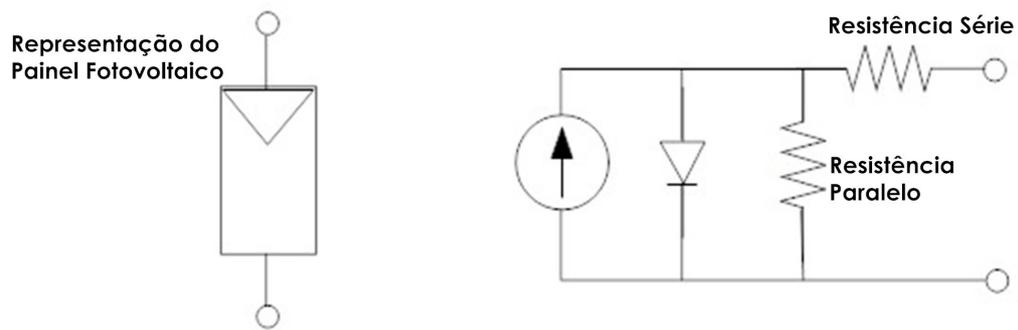


Figura 2.1 – Representação de uma célula fotovoltaica

No modelo equivalente, a intensidade da corrente produzida varia linearmente com a incidência solar, a resistência paralela representa a corrente de fuga e a resistência série, a queda de tensão entre o semicondutor e os contatos elétricos. Tipicamente, a resistência série assume um valor de poucos miliohms, e a resistência paralela, de vários ohms. Com o auxílio do programa de simulação Circuit Maker, uma célula fotovoltaica foi modelada como um diodo do tipo 1N4001 com valores típicos nas resistências, uma resistência paralela de 200Ω , uma resistência série de $3m\Omega$, e uma carga de tensão variável. Para uma corrente de 8A, os valores de corrente, tensão e potência na carga são apresentados na Figura 2.2 a seguir.

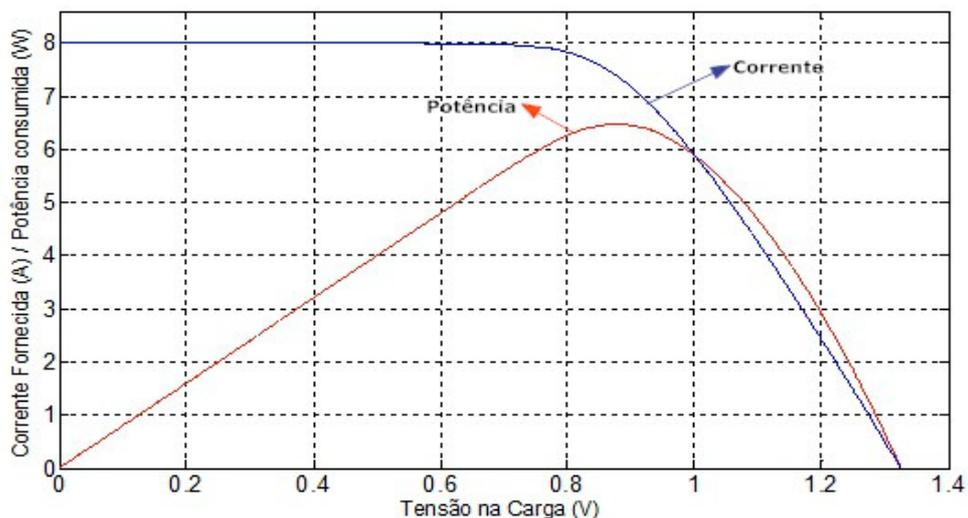


Figura 2.2 – Simulação de uma célula fotovoltaica

É possível observar que tanto na condição de curto-circuito (tensão na carga igual a zero) quanto em circuito aberto, a potência fornecida vale zero. Existe ainda um único ponto onde a potência fornecida é máxima, mais conhecido pela sua

sigla em inglês: MPP (Maximum Power Point). Caso não haja um sistema de rastreamento, em geral o sistema irá operar fora desse ponto. A potência nominal descrita pela maioria dos fabricantes corresponde a esse ponto, com uma incidência solar de $1000\text{W}/\text{m}^2$, equivalente a um dia de sol forte sem nuvens. Assim a maioria dos sistemas fotovoltaicos trabalha a maior parte do tempo abaixo do seu valor nominal.

Caso a energia produzida por um único painel fotovoltaico não seja mais suficiente para suprir a demanda das cargas, é possível aumentar a geração simplesmente conectando outros painéis no sistema. Ao se conectar painéis em série, como mostrado Figura 2.3, a tensão de saída do sistema será proporcional à quantidade de painéis, porém o valor da corrente permanecerá o mesmo, permitindo assim o uso de cabos de mesma bitola. Um conjunto de painéis ligados em série forma uma fileira. A grande desvantagem dessa solução é que o sombreamento de um único módulo fotovoltaico afeta a produção da fileira como um todo.

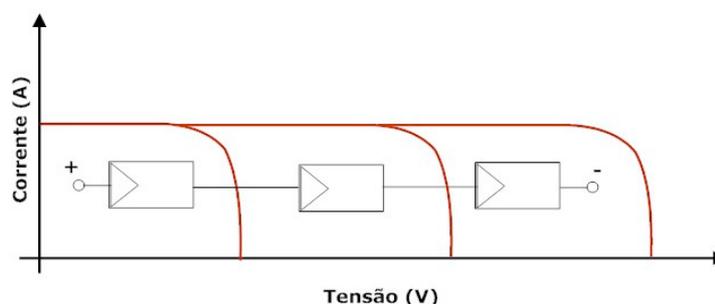


Figura 2.3 – Ligação de painéis em série

Ao alocarmos painéis em paralelo, como mostrado na Figura 2.4, não iremos alterar o valor da tensão de saída, assim vários equipamentos que exigem uma determinada tensão de entrada utilizados no projeto para apenas um painel, como inversores e baterias poderão ser aproveitados. Como a corrente irá aumentar bastante, será necessário fazer uma reavaliação das quedas de tensão no sistema. Caso haja um sombreamento nessa configuração, apenas os módulos afetados deixarão de contribuir na geração de energia.

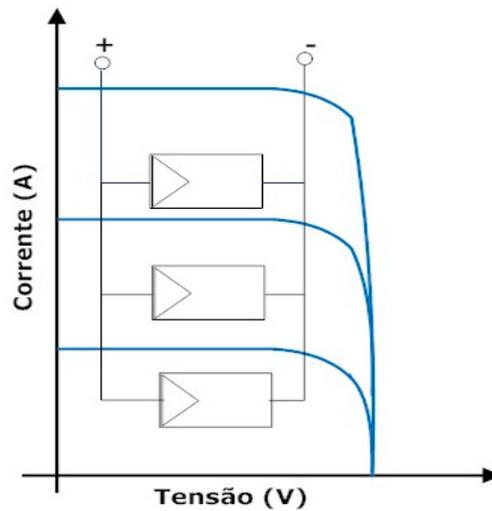


Figura 2.4 – Ligação de painéis em paralelo

Outra alternativa de interligação é conectar fileiras de painéis em paralelo, constituindo uma ligação série-paralelo, como mostrado na Figura 2.5. Essa configuração é bastante utilizada em projetos que exigem um determinado nível de tensão de saída, como nos sistemas ligados à rede.

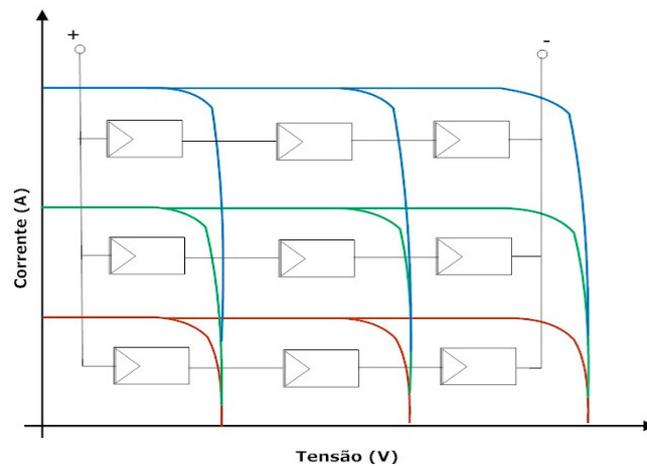


Figura 2.5 – Ligação de painéis em série-paralelo

Caso uma corrente elétrica atravessasse um painel fotovoltaico no sentido contrário ao que ele foi projetado, seu funcionamento pode ficar comprometido permanentemente, gerando os chamados 'hot-spots' nos modelos cristalinos. A fim de se evitar tais correntes, pode-se colocar diodos de bloqueio nas fileiras, porém isso causará perdas significativas de energia (até 2%). Assim, projetaremos fusíveis nas fileiras, que deverão ser substituídos sempre que houver um defeito.

Uma das grandes preocupações nos sistemas fotovoltaicos é relativa aos efeitos de sombreamento, pois estes impedem a incidência solar em determinadas células. Caso uma pequena parte de um painel esteja sombreada, por exemplo, devido ao acúmulo de sujeira, isso pode ser suficiente para praticamente zerar a produção de energia não somente na área sombreada, mas em todo o ramo série correspondente. Em geral, os painéis são afixados com uma inclinação mínima de 15° para evitar o acúmulo de sujeira e que a água da chuva possa limpá-los.

O levantamento de possíveis sombreamentos e o estudo do posicionamento do sol durante o ano é fundamental para o sucesso de qualquer projeto. A produção energética dos sistemas fotovoltaicos varia nos meses do ano, não somente devido às condições meteorológicas, mas também devido ao movimento da Terra ao redor do sol, como mostrado na Figura 2.6. No hemisfério sul, recomenda-se que as placas estejam viradas para o norte geográfico, enquanto que no hemisfério norte, recomenda-se que as placas estejam voltadas para o sul para se obter um melhor aproveitamento energético durante o ano.

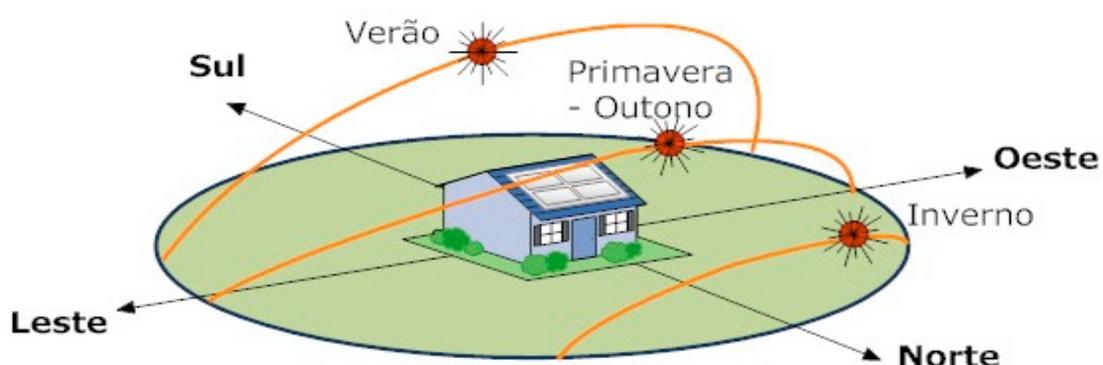


Figura 2.6 – Variação da posição do sol com as estações do ano

Dependendo da inclinação dos painéis, pode-se produzir mais energia em determinadas épocas do ano em detrimento de outras, o que pode ser bastante interessante para o caso do consumo variar significativamente durante o ano (por exemplo, numa residência de veraneio). Como é de se esperar, tais ângulos variam de acordo com o posicionamento global (latitude e longitude) de onde será instalado o sistema. Muitas vezes, os aspectos visuais e arquitetônicos justificam a

instalação dos painéis fotovoltaicos em inclinações diferentes da ótima, por exemplo, seguindo a inclinação do telhado.

Os painéis disponibilizados pelo Lafae são feitos com a tecnologia de filme fino de silício amorfo, modelo MST-20LV, da marca BP Solarex. Devido ao efeito [Guilherme12]Staebler-Wronski [2], a eficiência dessas placas deverá cair nos primeiros 6 a 12 meses, até se estabilizar na potência nominal especificada. A Tabela 2.1 abaixo mostra os dados de placa dos painéis.

Grandeza	Inicial	Nominal
Potência Máxima	24,1 W	20 W
Tensão de Circuito Aberto	22,3 V	22 V
Corrente de Curto Circuito	1,72 A	1,56 A
Tensão para Potência Máxima	17,2 V	16,2 V
Corrente para Potência Máxima	1,40 A	1,30 A

Tabela 2.1 – Dados de placa do painel MST-20LV

Nos módulos convencionais (feitos de silício cristalino), a produção energética costuma cair para abaixo da potência nominal quando a temperatura nas células fotovoltaicas é superior aos 25°C, cenário bastante comum ao caso brasileiro. Já nos módulos amorfos, ocorre uma redução média de apenas 0,4% por grau Celsius, porém dependendo da radiação incidente, o coeficiente de temperatura pode inclusive assumir valores positivos, ou seja, o painel pode produzir mais potência para temperaturas superiores aos 25°C convencionais [Guilherme13] [2].

Outra grande vantagem desses módulos diz respeito à sensibilidade aos efeitos de sombreamento, pois dependendo do posicionamento das fitas e da direção do sombreamento, a potência produzida por esses painéis será menos afetada que seus equivalentes cristalinos.

2.3 Baterias

Fontes convencionais de energia podem armazenar energia na forma de carvão, petróleo, gás natural, represas d'água, entre outros, e assim combinar a

geração com o consumo. O grande desafio das fontes alternativas de energia como a solar e a eólica está justamente no fato que o consumo não se dá necessariamente no momento da geração.

Nos sistemas interligados a rede, as fontes alternativas estarão produzindo energia sempre que os recursos estiverem disponíveis (sol, vento, etc.), enquanto que as fontes tradicionais atuarão quando a energia gerada não for suficiente para atender a carga. Nos sistemas autônomos, as fontes convencionais não estão disponíveis, sendo assim necessário armazenar a energia para o uso posterior, podendo ser adotados sistemas de bombeamento d'água, hidrogênio, fly-wheels, entre diversas outras formas, porém a solução mais amplamente divulgada e adotada é o uso de baterias devido a sua boa relação preço-eficiência.

A célula eletroquímica é a unidade responsável pelo processo de acumulação de energia propriamente dito das baterias. São formadas basicamente por dois eletrodos isolados de diferentes polaridades (positivo e negativo) imersos num meio eletrolítico. No processo de descarga, o material ativo dos eletrodos reage quimicamente com o eletrólito liberando energia elétrica. Durante processo de carga é aplicada uma tensão superior à dos eletrodos, assim os elétrons fluirão na direção contrária e a reação química inversa ocorrerá, consumindo energia. Como as células possuem uma tensão nominal baixa para a maioria das aplicações, na maioria dos casos uma bateria é constituída por diversas células associadas em série ou paralelo, formando níveis de tensão e capacidade adequados. A Figura 2.1 abaixo mostra um esquema simplificado de uma célula.

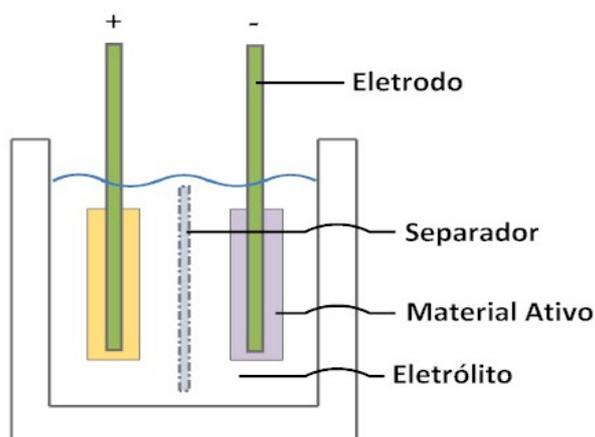


Figura 2.1 – Esquema de uma Célula Eletroquímica

Como os processos de carga/descarga não são totalmente reversíveis, à medida que as descargas ocorrerem, a vida útil da bateria é reduzida. É observado que quanto maior for a profundidade da descarga, mais a sua vida útil será sacrificada, ou seja, caso se deseje que o nível de ciclos de uma bateria seja o maior possível, deverão ser realizadas apenas descargas fracas. A vida útil de uma bateria é definida como o tempo médio em que a bateria levará a possuir apenas 80% da sua capacidade nominal quando completamente carregada, levando em conta descargas diárias de 20%.

As baterias de chumbo-ácido são as mais comumente utilizadas nos sistemas fotovoltaicos e podem ser divididas em três tipos principais: úmidas, de gel e seladas.

As baterias úmidas são bastante utilizadas em automóveis, e devido à grande difusão têm o custo mais baixo, podendo fornecer uma alta corrente num curto período de tempo. Caso se opte por utilizar esse tipo em sistemas fotovoltaicos, o ideal é limitar seu nível de descarga em apenas 10% para que não se torne rapidamente inutilizável, o que implicaria um projeto envolvendo uma grande quantidade/capacidade de baterias. Também são fabricadas baterias úmidas especiais para aplicações solares, estas são produzidas de modo a maximizar a sua vida útil, atingindo 1.000 ciclos para descargas de 20%. É recomendado que os controladores de carga protejam as baterias contra descargas acima dos 50%.

2.4 Controladores de Carga

Para que um banco de baterias seja carregado, é necessário que a tensão de carga seja sempre superior à tensão da bateria, caso contrário as baterias enviarão energia para o sistema. Essa tensão não deve ser superior a um determinado limite, uma vez que cargas muito rápidas diminuem a vida útil das baterias, havendo um ponto ótimo de funcionamento. Também é importante monitorar para que descargas muito profundas não ocorram, pois dependendo da intensidade, podem causar danos irreversíveis às baterias.

Assim, é necessário um mecanismo que controle a tensão a ser aplicada no banco de baterias, e que não permita a circulação de corrente para os painéis. Os

controladores de carga utilizam diodos de bloqueio que não permitem a circulação de corrente reversa, em geral possuem uma chave que desliga a carga caso a tensão baixe a determinado nível, e podem diferir no modo de proteção das baterias contra sobre cargas basicamente através de três formas: desligando o circuito dos geradores, curto-circuitando os painéis fotovoltaicos, ou ainda, através de um mecanismo MPP.

Nos controladores tipo série, uma chave logo após os painéis fotovoltaicos permite desconectar o sistema quando as baterias estão plenamente carregadas, como mostrado na Figura 2.1.

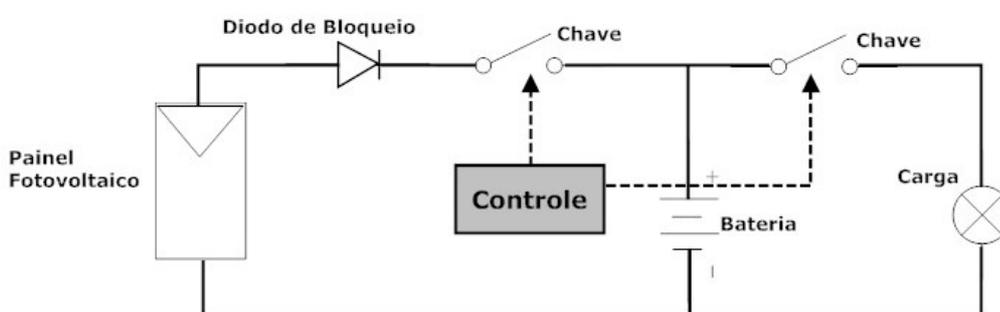


Figura 2.1 - Funcionamento de um Controlador Série

Os controladores tipo paralelo possuem uma chave na entrada dos geradores fotovoltaicos, assim quando a tensão na bateria atinge sua tensão máxima, os painéis são curto-circuitados, como mostrado na Figura 2.2. Esse método consome menos energia e é mais eficiente com as baterias, sendo o mais comumente utilizado.

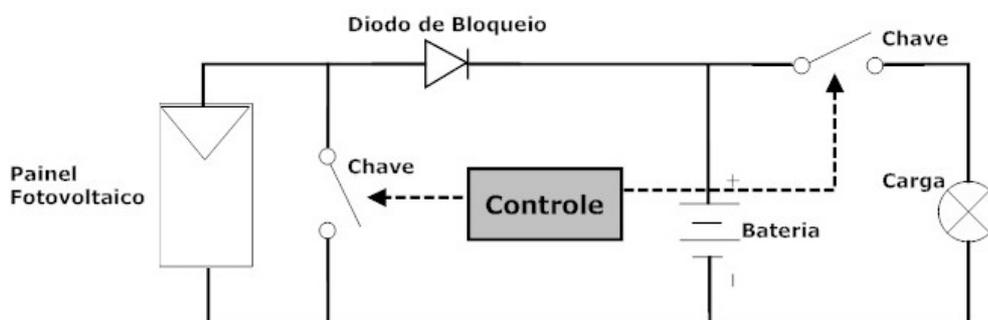


Figura 2.2 – Funcionamento de um Controlador Paralelo

Como nos controladores tipo série e paralelo é a tensão da bateria que determina o ponto de operação do sistema, em geral a operação se dá fora do

ponto de máxima potência na maior parte do tempo. Nos controladores com um sistema de rastreamento do *MPP*, um conversor CC-CC é conectado logo na saída dos painéis fotovoltaicos, e através de um sistema de rastreamento, é determinado o ponto ótimo de operação, sendo a saída do conversor ajustada para a tensão de carga da bateria, como mostrado na Figura 2.3. Devido a sua maior complexidade, esses controladores são bem mais caros, e também devido às perdas no conversor CC-CC, normalmente são adotados apenas para os sistemas com potência instalada superior a 500W.

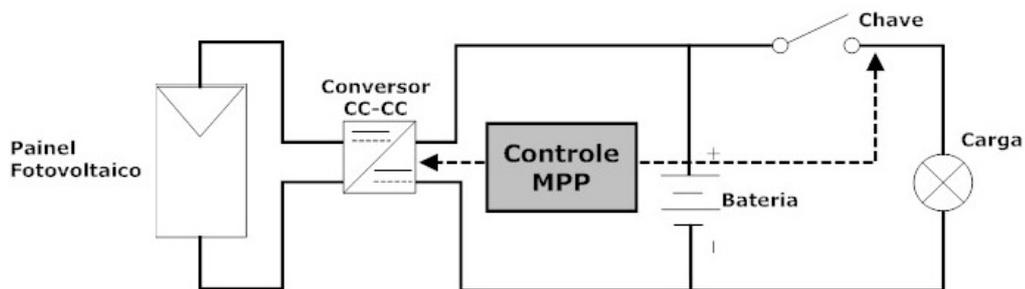


Figura 2.3 - Funcionamento de um Controlador com MPP

2.5 Inversores

Inversores são equipamentos que convertem energia elétrica de corrente contínua para corrente alternada, sendo por isso também conhecidos como conversores CC-CA. A maioria dos equipamentos elétricos que utilizamos no nosso dia-a-dia são alimentados em corrente alternada, compatível com a energia da rede elétrica que chega em nossas casas. Também são produzidos aparelhos especiais que podem ser conectados diretamente em corrente contínua (como a produzida nos painéis fotovoltaicos ou armazenada nas baterias), porém como são mais raros, em geral são demasiadamente caros e como sua produção é limitada, muitas vezes não são tão eficientes.

A energia elétrica em corrente alternada na forma em que é encontrada na rede elétrica assemelha-se muito a uma senóide, assim, a maioria dos aparelhos são projetados para receber uma alimentação ao menos próxima a essa forma de onda. No entanto, alguns equipamentos, especialmente os eletrônicos, possuem um retificador de onda, assim, seu desempenho não será muito afetado pela forma da onda de entrada. Já outros aparelhos mais sensíveis, como máquinas elétricas,

podem ter seu funcionamento prejudicado e a vida útil reduzida caso sejam conectadas a formas de onda muito distorcidas das senoidais.

Podemos classificar os inversores quanto à forma de onda de saída, sendo os principais tipos: onda quadrada; senoidal modificada ou retangular; e senoidal pura. Observamos que há uma oferta grande de inversores de onda retangular no site [Guilherme14]Deal Extreme (www.dealextreme.com) a preços bastante convidativos, [Guilherme15]projetados provavelmente para se conectar aparelhos eletrônicos no carro, podendo ser aplicados aos sistemas fotovoltaicos dependendo do tipo de carga a ser conectada. A Figura 2.1 mostra claramente as diferenças entre as formas de onda. Observe que a forma de onda retangular é sensivelmente mais próxima da senóide que os de onda quadrada[Guilherme16], o que a torna mais adequada para mais aplicações. Os inversores de onda retangular são também conhecidos comercialmente como de onda trapezoidal ou senoidal modificada.

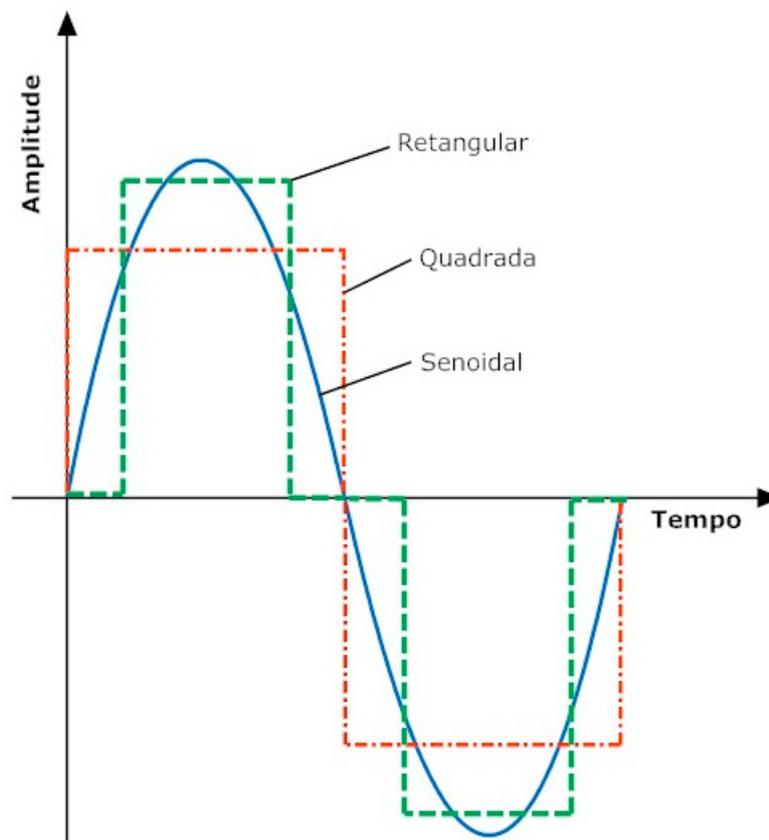


Figura 2.1 – Formas de onda típicas de inversores

O circuito básico de um inversor monofásico é apresentado na Figura 2.2, onde através de chaveamentos alterna-se a tensão de entrada. Os inversores mais complexos, ditos *PWM (Pulse-Width-Modulated)*, possuem um chaveamento com larguras de pulso variáveis, o que permite uma tensão de saída bastante próxima de uma senóide, com um baixo nível de harmônicos. Nos modelos mais simples, como os de onda quadrada ou retangular, os pulsos possuem sempre a mesma largura.

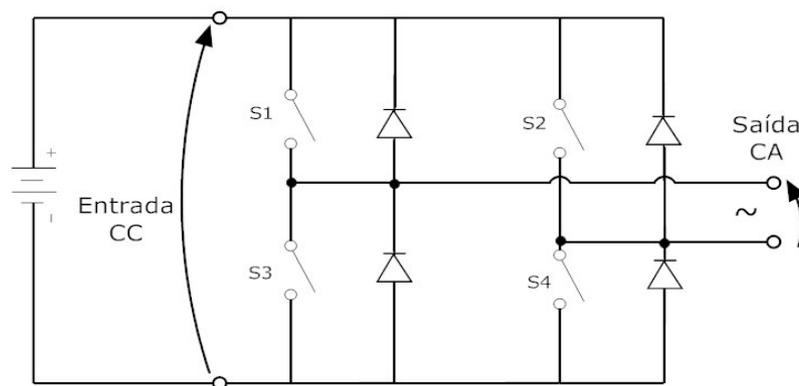


Figura 2.2 – Circuito básico de um inversor

A Figura 2.3 mostra a curva característica de inversores senoidais, num gráfico de rendimento versus carga relativa (Potência Consumida sobre a Potência Nominal do inversor). Podemos facilmente observar que um inversor superdimensionado, não será apenas mais caro e mais pesado, também apresentará um rendimento consideravelmente inferior do que um dimensionado corretamente.

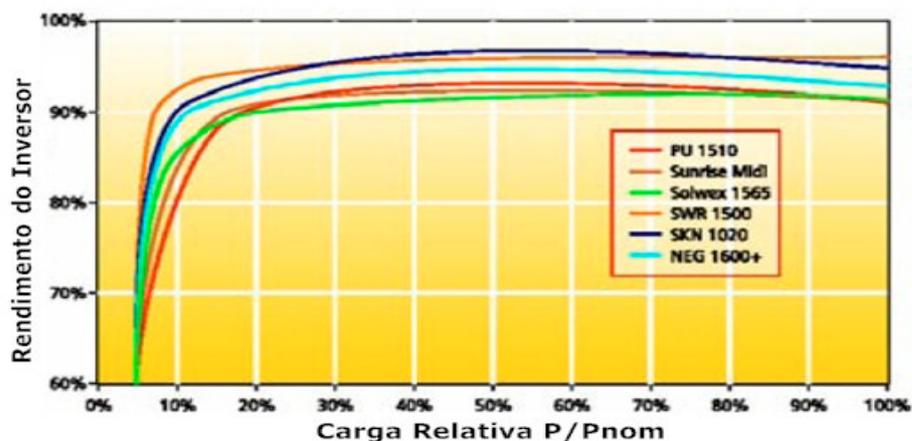


Figura 2.3 – Curva característica para diversos modelos de inversor
 FONTE: Greenpro, 2004

[Guilherme17] Como no presente projeto serão utilizados inversores de onda retangular, é provável que sua curva característica seja bastante diferente da mostrada na Figura 2.3. Num ensaio realizado em laboratório, foi montado um circuito para medir a potência de entrada e de saída em vários casos de carga puramente resistiva. Utilizando uma fonte de corrente contínua, um inversor de 200W, um osciloscópio, uma ponteira de prova de corrente com sensor hall e lâmpadas incandescentes de 40, 60, 150 e 200W, como mostrado no esquema da Figura 2.4, foram obtidas as medidas da Tabela 2.1.

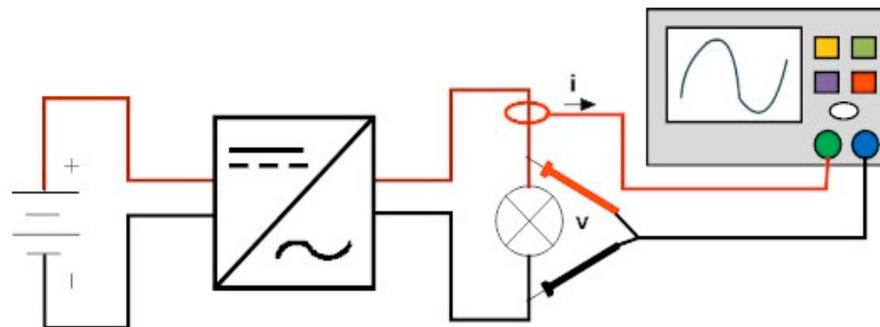


Figura 2.4 – Circuito montado para determinar a curva característica do inversor

Tensão Entrada	Corrente Entrada	Tensão Saída RMS	Corrente Saída RMS	Carga Conectada
12 V	0,3 A	119,5 V	0 A	0 W
12 V	3,2 A	114,0 V	0,297 A	40 W
12 V	4,8 A	112,5 V	0,457 A	60 W
12 V	6,0 A	111,5 V	0,575 A	80 W
12 V	7,8 A	109,5 V	0,739 A	100 W
12 V	8,9 A	108,0 V	0,843 A	120 W
12 V	10,6 A	105,5 V	0,998 A	140 W
12 V	11,4 A	103,5 V	1,07 A	150 W
12 V	11,7 A	103,0 V	1,10 A	160 W
12 V	13,0 A	99,5 V	1,23 A	180 W
12 V	13,7 A	97,5 V	1,30 A	190 W
12 V	14,9->13,5A	88->86V	1,43->1,40A	200 W
12 V	14,9->13,4	93->86V	1,43->1,37A	210 W

Tabela 2.1 – Dados do inversor coletados no laboratório

Foi utilizado um osciloscópio Tektronix modelo TDS 2014, uma ponteira de prova de corrente AC/CC da marca Fluke, modelo 80i-110s, e uma fonte da marca Suplitech, modelo FA 6020, 0-60V, 0-20A, ajustada para 12V. A Figura 2.5 abaixo

mostra a forma de onda da tensão medida no osciloscópio para o caso sem ligação de cargas.

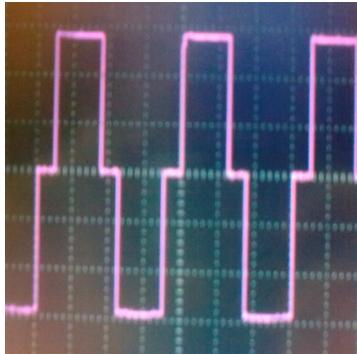


Figura 2.5 – Tensão de saída sem carga

Pelos dados coletados, é fácil perceber que o inversor possui um consumo intrínseco de 3,6 W, medido quando ligado sem alimentar nenhuma carga. Para potências nominais iguais ou superiores à nominal do inversor, este não apresenta um comportamento desejável, diminuindo gradativamente a potência de entrada e de saída. Vale ressaltar que para os dois últimos dados coletados (200 e 210W), não esperamos o sistema estabilizar a fim de poupar o equipamento.

Para levantar a curva característica do inversor, calculamos o rendimento de conversão para cada ponto pela fórmula mostrada abaixo:

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{V_{saída} \cdot I_{saída}}{V_{entrada} \cdot I_{entrada}}$$

A fim de obter um gráfico mais claro e também devido à ausência de medidas para uma carga nominal entre 0 e 40W, não foram utilizados nem o primeiro nem os 2 últimos pontos devido a suas características peculiares. Com o auxílio do MatLab foi possível plotar o gráfico mostrado na Figura 2.6, do rendimento do inversor considerado em relação à carga relativa (potência conectada dividido pelos 200W da potência nominal). Os pontos em '+' são os valores medidos, e a linha desenhada é uma aproximação polinomial de 3º grau.

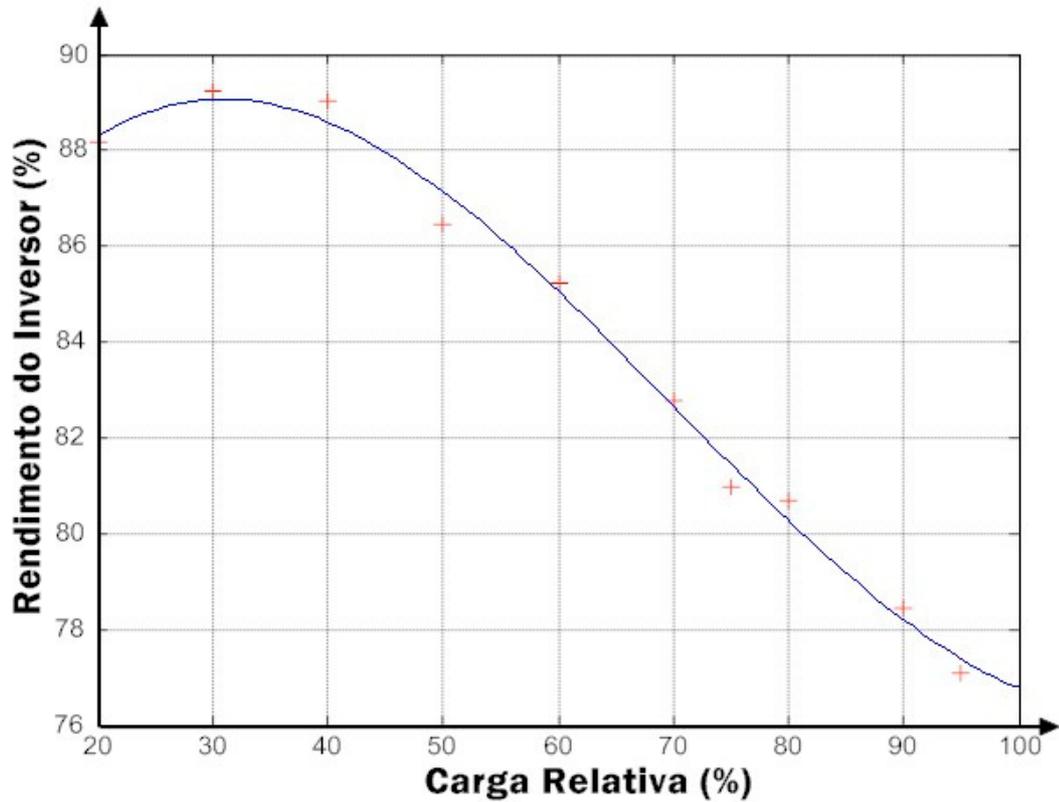


Figura 2.6 – Curva de rendimento do Inversor de onda retangular

É facilmente perceptível que a equação polinomial de 3º grau representa uma boa aproximação das nossas medidas, e que até valores em 80% da carga nominal, são obtidos valores bastante interessantes de eficiência. Assim, iremos projetar os inversores para trabalharem sempre entre 20 e 80% de seu valor nominal. Foram obtidos os seguintes coeficientes modelados através do comando Polyfit no Matlab para a eficiência (η) do sistema em função da carga relativa (x):

$$p_3(x) = \eta(x) \approx 0.5284 \cdot x^3 - 1.1092 \cdot x^2 + 0.5311 \cdot x + 0.8172$$

O valor médio do rendimento para os limites anteriormente descritos, é obtido aplicando o teorema do valor médio, como mostrado abaixo:

$$\bar{\eta} = \frac{1}{(80 - 20)} \cdot \int_{0.20}^{0.80} (0.5284 \cdot x^3 - 1.1092 \cdot x^2 + 0.5311 \cdot x + 0.8172) \cdot dx$$

Resolvendo essa simples integral, temos que:

$$\bar{\eta} = \frac{1}{60} \cdot \left(0.5284 \cdot \frac{x^4}{4} - 1.1092 \cdot \frac{x^3}{3} + 0.5311 \cdot \frac{x^2}{2} + 0.8172 \cdot x \right)_{0.20}^{0.80}$$

$$\bar{\eta} \approx 0.862$$

Será adotado então o valor de 86% nos cálculos como o valor de rendimento dos inversores DX dimensionados no presente projeto.

3 Alternativas de Iluminação

Neste capítulo serão analisadas três possíveis alternativas para a iluminação da casa: a utilização de lâmpadas incandescentes, lâmpadas fluorescentes compactas e pequenas placas de LEDs.

Graças ao auxílio do pesquisador Ricardo Ficara e ao apoio do Laboratório de Iluminação do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), foi possível o uso de um equipamento para o presente trabalho, que forneceu a quantidade de lumens gerada por cada luminária, bem como a potência consumida e a corrente circulante para uma determinada tensão aplicada. O ensaio consistia em inserir a luminária numa grande esfera reflexiva, onde havia [Guilherme18] sensores capazes de converter luminosidade em corrente elétrica, permitindo assim que equipamentos eletrônicos pudessem fornecer uma medida bastante precisa da quantidade total de lumens produzida pela luminária, como esquematizado na Figura 3.1.

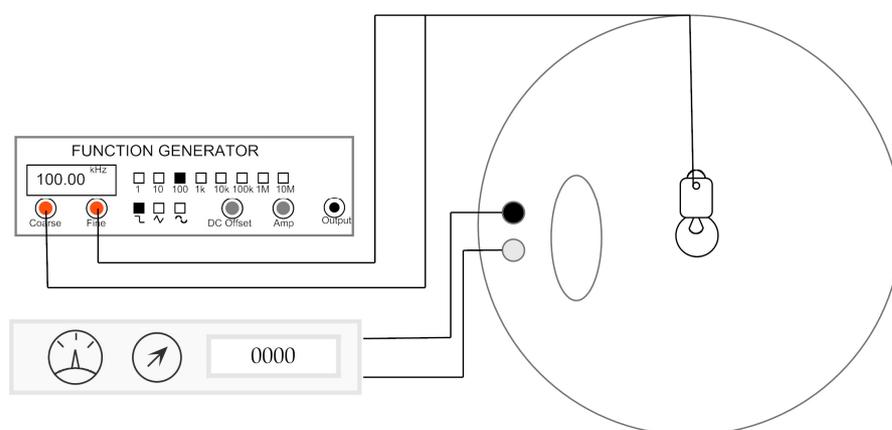


Figura 3.1 – Funcionamento da esfera de medições

Foi realizado um ensaio com a placa de LEDs de 2,88V, uma lâmpada eletrônica da Osram de 15W nominais e uma outra lâmpada incandescente da Osram de 60W, e assim, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 3.1.

Luminária	Tensão Aplicada	Fluxo Luminoso	Potência	Corrente
Placa de LEDs	12 VCC	106 lm	3,06 W	255 mA

Fluorescente Compacta	127 VCA	864 lm	14,8 W	212 mA
Incandescente	127 VCA	714 lm	61,4 W	484 mA

Tabela 3.1 – Dados das luminárias coletados no laboratório

Um modo de calcular a eficiência de lâmpadas é dividindo a quantidade de lumens produzida pela potência consumida. Assim, foram calculados cerca de 35 lm/W para a placa de LEDs, 58 lm/W na lâmpada fluorescente e 12 lm/W no caso da luminária incandescente. A Figura 3.2 mostra um gráfico comparativo da eficiência das lâmpadas em questão.

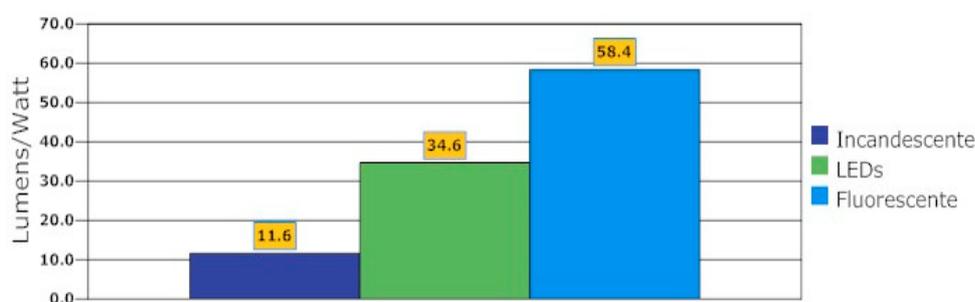


Figura 3.2 – Eficiência das lâmpadas ensaiadas

A grande vantagem da placa de LEDs consiste no fato ser alimentado diretamente em 12V (descartando a necessidade e as perdas de um inversor), possuir a menor potência e poder ser facilmente direcionado. Em alguns casos, pode ser desejável iluminar uma área extensa ao invés de um ponto localizado, como por exemplo, numa sala ou numa cozinha, assim torna-se interessante a utilização de uma luminária refletora junto com a placa de LEDs. Optamos pelo modelo encontrado à venda no site DealExtreme devido ao seu baixo consumo e preço, se comparado aos similares disponíveis no Brasil. Possíveis incômodos em adquiri-las deverão ser compensadas pela sua longa vida útil. A placa utilizada no ensaio é mostrada na Figura 3.3 abaixo.



Figura 3.3 – Placa de 48 LEDs

As lâmpadas incandescentes são as mais facilmente encontradas no mercado brasileiro, porém possuem a desvantagem de serem alimentadas em corrente alternada, uma curta vida útil, além de uma altíssima [Guilherme19] ineficiência. No ensaio realizado, apesar de termos utilizado uma lâmpada incandescente de 60W, ela produziu apenas 80% da quantidade de lumens da lâmpada fluorescente ensaiada, que possuía um consumo 4 vezes menor.

Lâmpadas fluorescentes compactas - também chamadas de eletrônicas - são encontradas com facilidade no Brasil, e assim como as incandescentes não apresentam grandes dificuldades na instalação/reparo, e também são alimentadas em corrente alternada. A grande vantagem é que entre todas as lâmpadas pesquisadas, estas foram as que apresentaram a maior eficiência. O ponto negativo é que modelos com potência inferiores a 10W não são facilmente encontrados. O ensaio foi realizado com a lâmpada da Aram de 15W, mostrada na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Lâmpada Eletrônica Aram 15W

Nos capítulos seguintes, serão projetados sistemas utilizando a lâmpada eletrônica e a placa de LEDs ensaiada. Devido ao alto consumo e grande ineficiência das lâmpadas incandescentes, descartou-se a sua possível utilização nos sistemas fotovoltaicos projetados.

4 Projeto de Iluminação em 12V

Foram realizados testes na casa com a placa de 48 LEDs alimentada por uma bateria de 12V (corrente contínua), e foi verificado que a mesma iluminava de maneira satisfatória, desde que bem posicionada.

4.1 Cálculo do Consumo Diário

Como se trata de uma casa para veraneio, os consumos relativos aos meses de verão e de inverno serão significativamente diferentes, e por isso faremos duas estimativas de consumo. Adotamos apenas uma luminária por ambiente, pois apesar do fluxo luminoso da placa de LEDs ser bastante concentrado, consideramos que a mesma não ficará fixa, podendo ser direcionada para onde haja[Guilherme20] necessidade.

Para os meses do verão, foi considerado que a casa estará com todos os cômodos plenamente ocupados. A Tabela 4.1 abaixo mostra o consumo estimado pelo autor para os meses de verão em cada ambiente adotando essa luminária de LEDs:

Ambiente	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário / (W.h)
Varanda	1	2,88	6	17,28
Sala	1	2,88	3	8,64
Cozinha	1	2,88	3	8,64
Quarto 1	1	2,88	1	2,88
Quarto 2	1	2,88	1	2,88
Quarto 3	1	2,88	1	2,88
Quarto Suíte	1	2,88	1	2,88
Banheiro Suíte	1	2,88	2	5,76
Banheiro Comum	1	2,88	2	5,76

Tabela 4.1- Consumo estimado no verão usando LEDs

Assim, é possível estimar um consumo diário em Wh para os meses de verão em:

$$C_{\text{verão}} = 17,28 + 8,64 + 8,64 + 2,88 + 2,88 + 2,88 + 2,88 + 5,76 + 5,76 = 57,6Wh$$

Durante o inverno, a casa é muito menos utilizada, assim será considerado que apenas a metade dos quartos será utilizada e se passará menos tempo na cozinha e nos banheiros do que durante o verão. A Tabela 4.2 abaixo mostra o consumo estimado pelo autor para os meses de inverno:

Ambiente	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário (W.h)
Varanda	1	2,88	6	17,28
Sala	1	2,88	3	8,64
Cozinha	1	2,88	2	5,76
Quarto 1	1	2,88	1	2,88
Quarto 2	1	2,88	0	0
Quarto 3	1	2,88	0	0
Quarto Suíte	1	2,88	1	2,88
Banheiro Suíte	1	2,88	1	2,88
Banheiro Comum	1	2,88	1	2,88

Tabela 4.2 – Consumo estimado no inverno usando LEDS

Assim o consumo diário para os meses de inverno é estimado em:

$$C_{\text{inverno}} = 17,28 + 8,64 + 5,76 + 2,88 + 0 + 0 + 2,88 + 2,88 + 2,88 = 43,2Wh$$

A potência total instalada na casa será dada por:

$$P_{\text{instalada}} = 2,88 \cdot 9 = 25,92W$$

4.2 Dimensionamento da Baterias

Como as baterias a serem dimensionadas não são de ciclo profundo, será considerada uma descarga diária de 20%. Uma vez que se trata de uma casa de veraneio, bastante clara e com diversas janelas em todos os cômodos (exceção aos banheiros), será suposto que o consumo se dará sempre à noite (pior caso, quando não há carregamento das mesmas). Assim, para o caso do verão, a energia nominal mínima das baterias deverá ser:

$$E_{bateria} = \frac{57,6Wh}{0.2} = 288Wh$$

E durante o inverno:

$$E_{bateria} = \frac{43,2Wh}{0.2} = 216Wh$$

Como a mesma bateria deverá suprir energia para as cargas durante o verão e o inverno, será utilizado o valor mais crítico, de 288Wh. Considerando que serão utilizadas baterias com tensão nominal de 12V (mais facilmente encontradas no mercado), tem-se que sua capacidade será dada por:

$$C_{bateria} = \frac{288Wh}{12} = 24Ah$$

Aproximando a descarga diária (20%) da bateria em 4h, a partir de uma simples regra de três teremos que a taxa de descarga completa se dará em 20h. Será necessário uma bateria do tipo C_{20} com 24A.h de capacidade, ou melhor. A partir da tabela para modelos FNC, nota-se que a bateria FNC 12260-C, com uma Capacidade Nominal de 26Ah atenderá bem às nossas necessidades.

4.3 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Os cálculos aqui realizados serão feitos levando em conta os painéis disponibilizados pelo Laboratório de Fontes Alternativas de Energia, ou seja, as placas fotovoltaicas de filme fino da BP Solarex, modelo MST-20LV, de 20W nominais. Outros dados relevantes de placa estão apresentados na Tabela 2.1.

A partir do programa Google Earth, obtivemos uma latitude aproximada de 23°16'27 Sul e longitude de 44°32'58 Oeste para o Pouso da Cajaíba, local onde será instalado o sistema fotovoltaico. Pesquisando por esses valores no sistema de dados Sundata (www.cresesb.cepel.br), encontra-se 3 localidades próximas: Ilha Guaíba, Angra dos Reis e Ubatuba. A Figura 4.1 mostra um gráfico com as

radiações solares diárias médias mensais para cada localidade, fornecido pelo programa para uma inclinação de 0°.

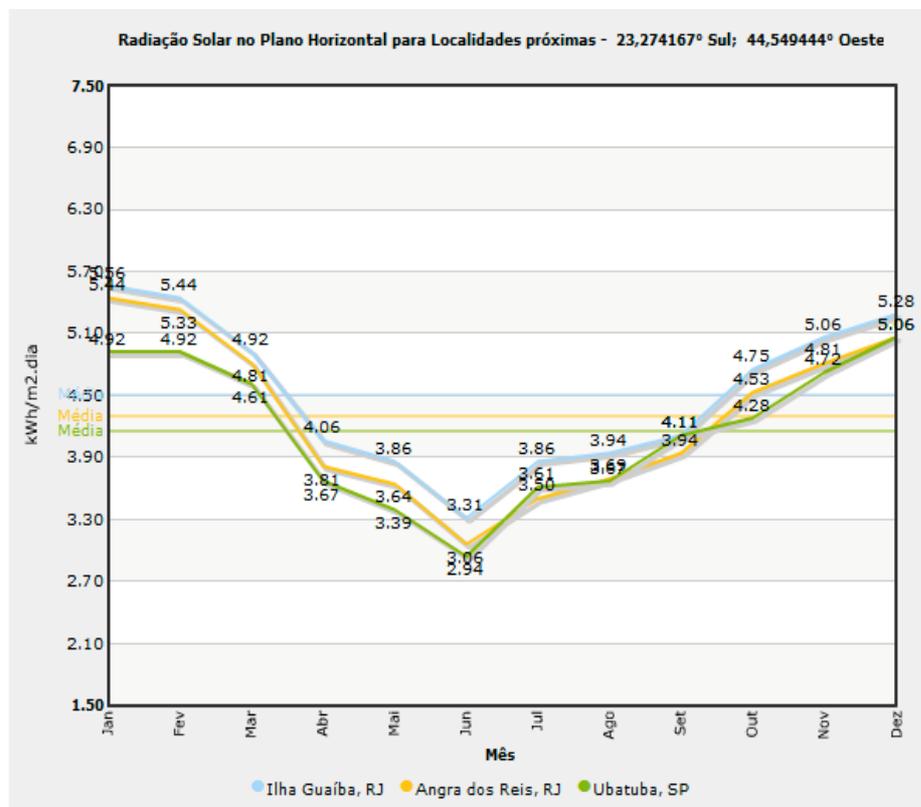


Figura 4.1 – Radiação diária média mensal para cada localidade
 FONTE: SunData/CRESESB, 2010

Para o dimensionamento dos nossos painéis fotovoltaicos, será considerado o mês com a menor incidência solar durante o verão e o inverno (pior caso), garantindo assim o pleno funcionamento do sistema durante todos os meses do ano. A Tabela 4.1 mostra as localidades, sua distância até o Pouso da Cajaíba e os menores índices de radiação durante o verão e durante o inverno.

Localidade	Distância (km)	Menor Radiação Diária Média no Verão (kwh/ m².dia)	Menor Radiação Diária Média no Inverno (kwh/ m².dia)
Ilha Guaíba	36,8	4,75	3,31
Angra dos Reis	38	4,53	3,06
Ubatuba	56,2	4,28	2,94

Tabela 4.1 – Radiação diária média por localidade

É facilmente observável que a maior incidência solar se dá justamente nos meses mais quentes do ano (entre novembro e março), onde provavelmente o

consumo de energia será maior (alta temporada). Alterando a inclinação dos painéis solares pode-se obter uma distribuição de radiação solar mensal mais uniforme, como foi apresentado no Capítulo 2.

Como não há um histórico de medições de radiação solar no Pouso da Cajaíba, para efeito de cálculo, será utilizado um valor médio das 3 localidades mais próximas para o pior caso durante o verão e durante o inverno:

$$Radiação_{ver\tilde{a}o} = \frac{4,75 + 4,53 + 4,28}{3} \approx 4,52kwhm^s \cdot dia$$

$$Radiação_{inverno} = \frac{3,31 + 3,06 + 2,94}{3} \approx 3,10kwhm^s \cdot dia$$

Assim, tem-se cerca de 4,52 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do verão, e cerca de 3,10 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do inverno.

Agora será calculada a potência mínima do sistema sem levar em conta as perdas, que deve ser suficiente para suprir o consumo diário nesses meses, tanto no caso do verão, quanto do inverno:

$$Pot\tilde{e}ncia_{ver\tilde{a}o} = \frac{57,6}{4,52} \approx 12,74W$$

$$Pot\tilde{e}ncia_{inverno} = \frac{43,2}{3,10} \approx 13,94W$$

Como os painéis devem ser dimensionados para o sistema funcionar corretamente tanto durante o verão quanto durante o inverno, utilizaremos o pior caso, ou seja, os 13,94W. Aproximando o total de perdas nos cabeamentos em 6%, perdas de conversão de energia na bateria (energia elétrica-química-elétrica) de 10% e outros 10% de perdas por desajuste (não utilização de um MPPT), tem-se que a potência mínima necessária será:

$$Potência_{necessária} = \frac{13,94}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 17,93W$$

E a quantidade de painéis:

$$Painéis_{mínimo} = 17,9320 \approx 0,90$$

Ou seja, caso se deseje fazer um projeto apenas para a iluminação da casa usando LEDs, seria necessário apenas uma única placa fotovoltaica de 20W nominais. A Reserva de Inverno (em %) é dada por:

$$R_{inverno} = \frac{20-17,93}{17,93} \cdot 100 \approx 11,54$$

Para calcular o Excesso de Verão, será preciso primeiro saber a potência consumida durante esse período considerando as perdas. Assim, temos:

$$Potência_{verão} = \frac{12,74}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 16,73W$$

O Excesso de Verão (em %) é dado então:

$$E_{verão} = \frac{20-16,73}{16,73} \cdot 100 \approx 19,55$$

Pode-se perceber claramente que há uma tolerância para se utilizar as lâmpadas em períodos maiores do que o que dimensionamos, especialmente durante o verão, sem comprometer o bom funcionamento do sistema nem a vida útil das baterias.

4.4 Dimensionamento do Controlador de Carga

O controlador de carga deverá permitir que as baterias sejam carregadas do modo ótimo, protegê-las contra sobrecargas, prevenir descargas indesejáveis, proteger descargas profundas, além de informar o estado de carga da bateria. Com isso tudo, aumenta-se em muito a vida útil das baterias e se protege os painéis fotovoltaicos contra correntes reversas.

De acordo com a Tabela 1 da Recon (Anexo 1), pode-se utilizar um fator de demanda máximo igual a 0,8 para este caso, assim tem-se uma potência aparente máxima demandada igual a:

$$D_{m\acute{a}xima} = 0,8 \cdot 25,92 \approx 20,74VA$$

E a corrente máxima da carga, será então:

$$I_{m\acute{a}xima} = \frac{20,74}{12} \approx 1,73A$$

4.5 Esquema de Ligação[Guilherme21]

A Figura 4.1 abaixo apresenta as ligações elétricas a serem efetuadas entre os componentes anteriormente descritos.

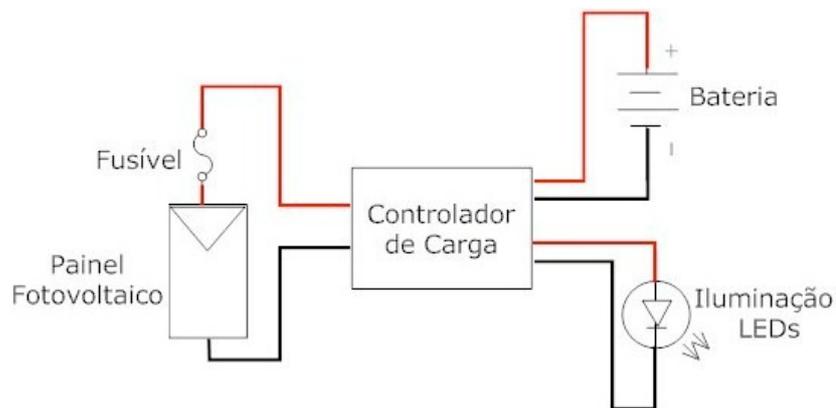
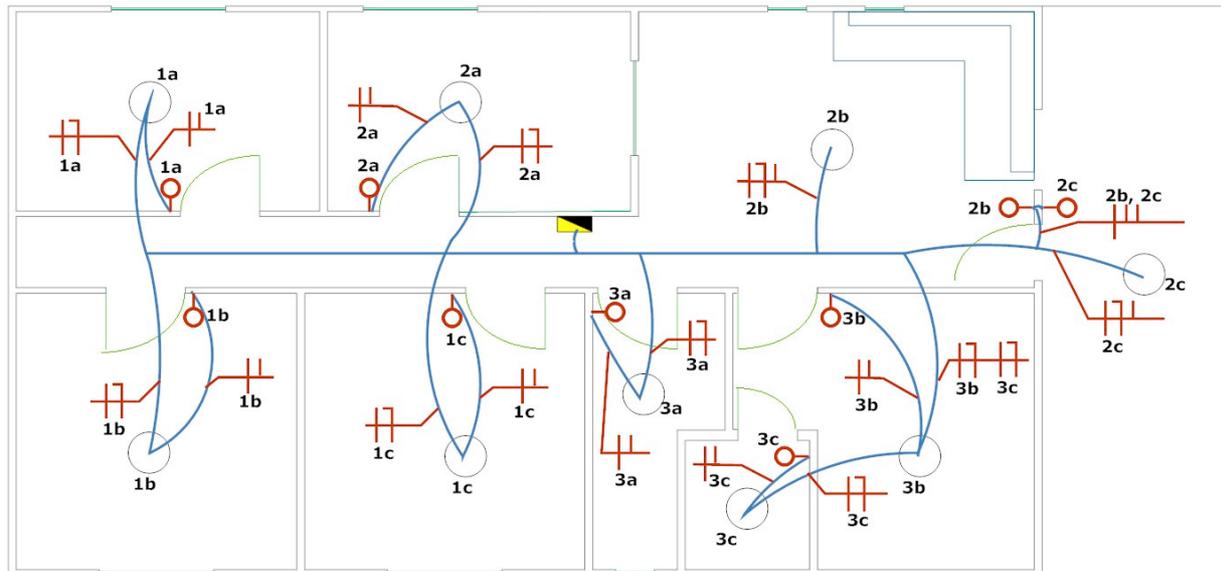


Figura 4.1 – Esquema das ligações para o projeto de iluminação em LEDs

A Figura 4.2 mostra a planta da casa e o cabeamento elétrico a ser efetuado, com os pontos de luz representando as posições aproximadas onde as luminárias de LEDs deverão ser alocadas.



- Legenda**
- Ponto de Luz
 - Interruptor
 - Quadro de Distribuição
 - Fios Fase, Neutro e Retorno

Figura 4.2 – Planta de instalação para o projeto de iluminação em LEDs

A instalação pode ser dividida em 3 circuitos: (1) um abrangendo os quartos de solteiro; (2) outro abrangendo as áreas comuns (cozinha, sala e varanda); e finalmente, outro mais (3), a suíte e o banheiro social. Podemos observar que cada circuito abrange exatamente 3 luminárias. Para calcular a carga de cada circuito, utilizaremos o valor de 3,06 W por luminária, como foi apresentado no capítulo 3, Tabela 3.1. A Tabela 4.1 mostra as especificidades para cada circuito.

Circuito	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
Quartos (1)	9,18	12	0,765	2,5
Comuns (2)	9,18	12	0,765	2,5
Suíte (3)	9,18	12	0,765	2,5

Tabela 4.1 – Quadro de cargas para o projeto de iluminação em LEDs

Utilizaremos uma queda de tensão máxima admissível de 1,5% desde o quadro de distribuição até a carga. Assim, a seção mínima do condutor será dada pela fórmula:

$$S = 2\rho \times \frac{1}{e(\%) \times V^2} \times (p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots)$$

Onde:

- S é a seção mínima do condutor em mm²;
- ρ é a resistividade do cobre (=1/58 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);
- l é a distância até a carga em m;
- e(%) é a queda de tensão aceitável em %;
- V é a tensão em Volts;
- p é a potência em W.

Para um pé direito de 3 metros para a casa, e aproximando algumas distâncias com base na planta apresentada, teremos a seguinte memória de cálculo para cada circuito:

Circuito 1:

$$3,06 \times 15,5 = 47,43$$

$$3,06 \times 15,5 = 47,43$$

$$3,06 \times 10,5 = 32,13$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 12^2} \cdot (47,43 + 47,43 + 32,13) \approx 2,0273$$

A bitola com fabricação comercial existente mais próxima vale:
 $S_{\text{escolhido}} = 2,5 \text{mm}^2$

Circuito 2:

$$3,06 \times 9,0 = 27,54$$

$$3,06 \times 10,5 = 32,13$$

$$3,06 \times 15,0 = 45,90$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 12^2} \cdot (27,54 + 32,13 + 45,90) \approx 1,6853$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}} = 2,5 \text{mm}^2$$

Circuito 3:

$$3,06 \times 7,0 = 21,42$$

$$3,06 \times 14,5 = 44,37$$

$$3,06 \times 18,5 = 56,61$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 12^2} \cdot (21,42 + 44,37 + 56,61) \approx 1,9540$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}} = 2,5 \text{mm}^2$$

5 Projeto de Iluminação com Lâmpadas Eletrônicas

Para esse projeto de iluminação, foi levado em consideração a Lâmpada eletrônica de 15W da Aram, que possui um fluxo luminoso equivalente ao de uma incandescente de 70W. A grande vantagem dessa lâmpada é que ela é facilmente encontrada em lojas no Brasil a um preço bastante acessível e possui uma ótima relação lumens produzidos/watt consumido. Mesmo sabendo que os modelos em 220V não são tão populares no estado do Rio de Janeiro, optou-se por adotar esse modelo devido à maior oferta de inversores para esse nível de tensão.

5.1 Cálculo do Consumo Diário

Como essa lâmpada apresenta um fluxo luminoso bem mais disperso se comparada com os LEDs, será adotada apenas uma em cada cômodo, apesar dela ser fixa. Novamente, devido à grande diferença do consumo nos meses de verão e de inverno, serão realizadas duas estimativas de consumo. A Tabela 5.1 apresenta o consumo estimado para os meses de verão:

Ambiente	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário /(W.h)
Varanda	1	15	6	90
Sala	1	15	3	45
Cozinha	1	15	3	45
Quarto 1	1	15	1	15
Quarto 2	1	15	1	15
Quarto 3	1	15	1	15
Quarto Suíte	1	15	1	15
Banheiro Suíte	1	15	2	30
Banheiro Comum	1	15	2	30

Tabela 5.1 - Consumo estimado no verão usando lâmpadas eletrônicas

O consumo diário estimado para o verão será então dado por:

$$C_{\text{verão}} = 90 + 45 + 45 + 15 + 15 + 15 + 15 + 30 + 30 = 300Wh$$

Durante o inverno, será considerado que apenas a metade dos quartos será utilizada, e também que se gastará menos tempo na cozinha e nos banheiros. A Tabela 5.2 abaixo mostra o consumo estimado para os meses de inverno:

Ambiente	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário (W.h)
Varanda	1	15	6	90
Sala	1	15	3	45
Cozinha	1	15	2	30
Quarto 1	1	15	1	15
Quarto 2	1	15	0	0
Quarto 3	1	15	0	0
Quarto Suíte	1	15	1	15
Banheiro Suíte	1	15	1	15
Banheiro Comum	1	15	1	15

Tabela 5.2 - Consumo estimado no inverno usando lâmpadas eletrônicas

Assim, o consumo diário estimado para o inverno será:

$$C_{inverno} = 90 + 45 + 30 + 15 + 0 + 0 + 15 + 15 + 15 = 225Wh$$

Calculando a potência total instalada:

$$P_{instalada} = 15 \cdot 9 = 135W$$

5.2 Dimensionamento da Baterias

Como explicado anteriormente, uma descarga diária média de 20% será considerada, então a energia demandada pelas baterias (levando em conta o pior caso, um consumo de 300W.h), e a capacidade (levando em conta os 12V de tensão terminal) serão dadas por:

$$E_{bateria} = \frac{300Wh}{0.2} = 1500Wh$$

$$C_{bateria} = \frac{1500Wh}{12} = 125Ah$$

Aproximando a descarga diária (20%) da bateria em 4h, a partir de uma simples regra de três, tem-se que a taxa de descarga completa se dará em 20h. Deve-se procurar por uma bateria do tipo C_{20} com 125A.h de capacidade, ou melhor. Sem levar em conta os preços, a partir da tabela para modelos FNC, percebemos que a bateria FNC 121500-C, com 150Ah de capacidade, atenderia bem esse caso.

5.3 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Pelos mesmos motivos anteriormente citados, será levado em conta o modelo BP Solarex, MST-20LV para o dimensionamento dos painéis. Como calculado anteriormente, há cerca de 4,52 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do verão, e cerca de 3,10 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do inverno no Pouso da Cajaíba.

Calculando a potência mínima do sistema sem levar em conta as perdas, que deve ser suficiente para suprir o consumo diário nesses meses, tanto no caso do verão, quanto do inverno, tem-se que:

$$Potência_{ver\tilde{a}o} = 300 / 4,52 \approx 66,37W$$

$$Potência_{inverno} = 225 / 3,10 \approx 72,58W$$

Levando em conta o pior caso, ou seja, durante o inverno, será preciso que o sistema forneça pelo menos 72,58W para as cargas, sem contar as perdas.

Como os painéis devem ser dimensionados para o sistema funcionar corretamente tanto durante o verão quanto durante o inverno, será utilizado o pior caso, ou seja, os 72,58W. Levando em conta as perdas nos cabeamentos, as perdas de conversão de energia e as perdas por desajuste (não utilização de um MPPT), tem-se que a potência instalada necessária será:

$$Potência_{necessária} = \frac{72,58}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 95,32W$$

E o número de painéis necessários:

$$Painéis_{mínimo} = 95,3220 \approx 4,77$$

Assim, seriam necessários 5 painéis de 20W apenas para suprir a demanda das lâmpadas fluorescentes, dispostos na horizontal.

A Reserva de Inverno (em %) é dada por:

$$R_{inverno} = \frac{100 - 95,32}{95,32} \cdot 100 \approx 4,91$$

Calculando a potência necessária durante o verão, temos:

$$Potência_{verão} = \frac{66,37}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 87,17W$$

O Excesso de Verão (em %) é dado então:

$$E_{verão} = \frac{100 - 87,17}{87,17} \cdot 100 \approx 14,72$$

Durante o mês mais crítico do inverno, tem-se uma reserva de segurança de cerca de apenas 5%. Nesse caso, deve-se tomar cuidado em não utilizar as lâmpadas durante mais tempo do que o que foi dimensionado, sob risco de reduzir a vida útil das baterias. Já durante o verão há uma tolerância considerável para se utilizar as lâmpadas em períodos maiores do que o que foi dimensionado.

5.4 Dimensionamento do Inversor

Uma vez que a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e armazenada na bateria é em corrente contínua e se deseja conectar uma carga de corrente alternada, torna-se necessário o uso de um inversor. De acordo com a Tabela 1 da Recon, como nossa unidade residencial terá uma potência total instalada inferior a

1kVA, deveremos adotar um fator de demanda igual a 0,80. Assim, nossa demanda máxima igual a:

$$Demanda_{máxima} = 0,80 \cdot 135 = 108W$$

Logo, nosso inversor deverá possuir uma potência real mínima de 108W[Guilherme22], uma entrada em corrente contínua de 12V e uma saída em 220V (corrente alternada). Em geral, os inversores são dimensionados função da potência aparente, utilizando o fator de potência de 0.60 nominal das lâmpadas eletrônicas, teremos uma potência aparente máxima dada por:

$$S = \frac{P}{fp} = \frac{108}{0,60} = 180VA$$

Os valores de potência em Watts apresentados nos inversores Deal Extreme referem-se à potência máxima do inversor, caso alimentando uma carga puramente resistiva, o que não é o caso. Assim, será utilizada sempre a potência aparente para o seu dimensionamento. Como foi apresentado no Capítulo 2, a fim de que os inversores de onda retangular trabalhem com o máximo possível de eficiência, deveremos dimensioná-lo de modo que ele trabalhe com no máximo 80% da sua potência nominal. Há diversos modelos com preços bastante acessíveis disponíveis no site www.dealxtreme.com, como mostrado na Figura 5.1 com 300W.



Figura 5.1 – Inversor de 300W, 12VDC-220VAC

Adotando o inversor dimensionado podemos calcular a carga relativa do inversor quando operando a plena carga,:

$$P_{utilizada} = \frac{180}{300} \cdot 100 = 60\%$$

Assim, se estará trabalhando sempre abaixo dos 80%, o que garante uma confortável eficiência de conversão e uma reserva estratégica, caso novas cargas venham a ser ligadas. Caso nenhuma carga esteja conectada, é recomendado que o botão do inversor seja desligado, evitando assim as perdas intrínsecas do equipamento.

5.5 Dimensionamento do Controlador de Carga

O controlador de carga deverá permitir que as baterias sejam carregadas do modo ótimo, protegê-las contra sobrecargas, prevenir descargas indesejáveis, proteger descargas profundas, além de informar o estado de carga da bateria. Com isso tudo, aumenta-se em muito a vida útil das baterias e se protege os painéis fotovoltaicos contra correntes reversas.

Como foi calculada uma demanda máxima de 108W, e de acordo com o fabricante um fator de potência igual a 0,60, teremos uma potência aparente igual a:

$$S = \frac{P}{fp} = \frac{108}{0,60} = 180VA \text{ [Guilherme23]}$$

E uma corrente máxima no lado de corrente alternada de:

$$I_{máxima} = \frac{S}{V} = \frac{180}{220} \approx 0,82A$$

Considerando um rendimento de aproximadamente 86.2% (como calculado no capítulo 2), teremos a seguinte corrente no lado de corrente contínua:

$$I_{máxima} = \frac{V_{220} \cdot I_{220}}{\eta \cdot V_{12}} = \frac{220 \cdot 0,82}{0.862 \cdot 12} \approx 17,44A$$

5.6 Esquema de Ligação

A Figura 5.1 abaixo mostra o esquema das ligações a serem efetuadas para o projeto de iluminação em 220V.

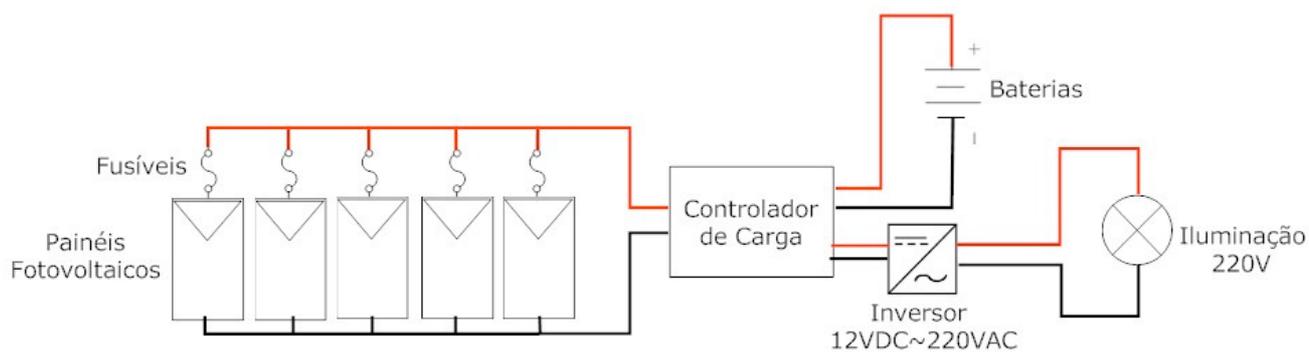


Figura 5.1 - Esquema das ligações para o projeto de iluminação em 220V

A planta de instalação elétrica para esse projeto é apresentada na Figura 5.2, sendo que todos os cabos mostrados no esquema abaixo trabalham com uma tensão de 220V.

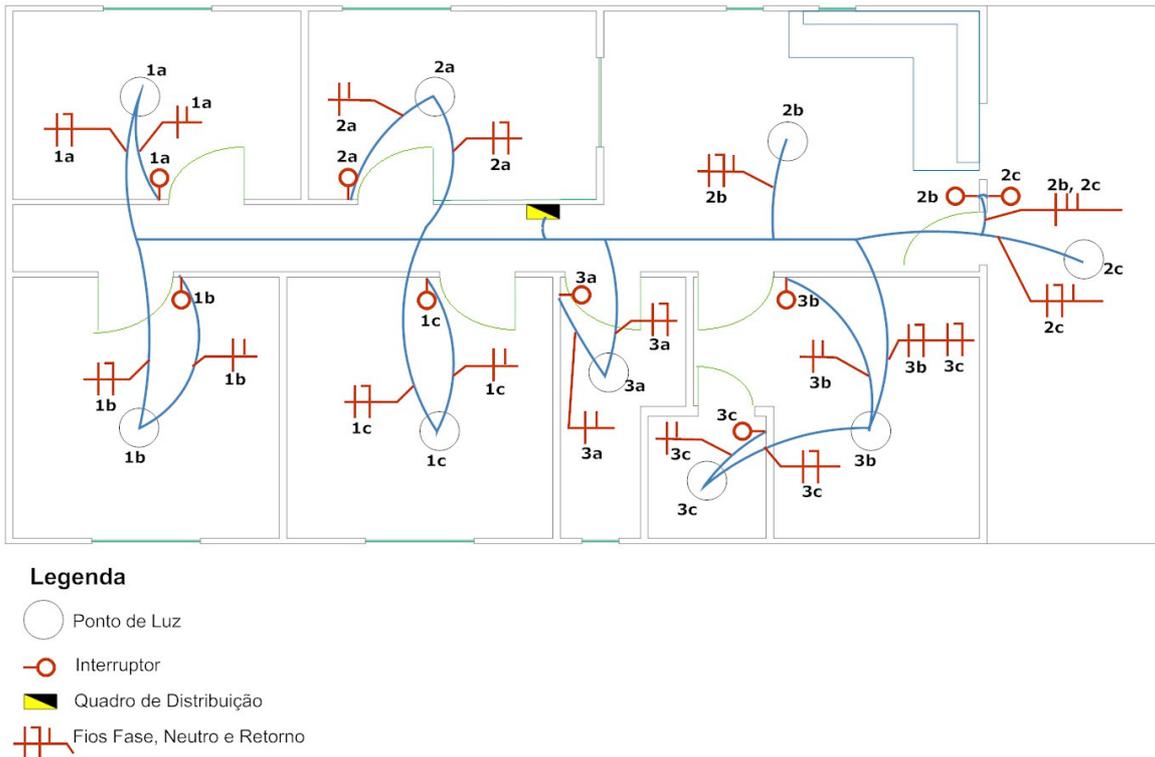


Figura 5.2 – Planta de instalação para o projeto de iluminação em 220V

O projeto foi dividido em 3 circuitos, como numerado na planta. Considerando o fator de potência nominal das luminárias igual a 0,60, utilizaremos uma potência aparente de 25VA para cada ponto de luz (15/0,6). Assim, montamos a Tabela 5.1.

Circuito	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
Quartos (1a, 1b e 1c)	75	220	0,341	1,5
Comuns (2a, 2b e 2c)	75	220	0,341	1,5
Suíte (3a, 3b, e 3c)	75	220	0,341	1,5

Tabela 5.1 – Quadro de cargas para o projeto de iluminação em 220V

Para a queda de tensão, será utilizada a fórmula abaixo, e admitida uma queda tensão máxima de 1,5% entre o quadro de distribuição e as cargas.

$$S = 2\rho \times \frac{1}{e(\%) \times V^2} \times (p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots)$$

Onde:

- S é a seção mínima do condutor em mm²;
- ρ é a resistividade do cobre (=1/58 Ω.mm²/m);
- l é a distância até a carga em m;
- e(%) é a queda de tensão aceitável em %;
- V é a tensão em Volts;
- p é a potência em W.

Supondo um pé direito de 3 metros para a casa, foram calculadas as seguintes seções mínimas para cada circuito:

Circuito 1:

$$25 \times 15,5 = 387,5$$

$$25 \times 15,5 = 387,5$$

$$25 \times 10,5 = 262,5$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (387,5 + 387,5 + 262,5) \approx 0,0493$$

Como a menor seção de condutores encontrada no mercado é de 1,5 mm², tem-se que para esse caso: S_{escolhido}=1,5mm²

Circuito 2:

$$25 \times 9,0 = 225$$

$$25 \times 10,5 = 262,5$$

$$25 \times 15,0 = 375$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (225 + 262,5 + 375) \approx 0,0409$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}}=1,5\text{mm}^2$$

Circuito 3:

$$25 \times 7,0 = 175$$

$$25 \times 14,5 = 362,5$$

$$25 \times 18,5 = 462,5$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (175 + 362,5 + 462,5) \approx 0,0475$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}} = 1,5 \text{mm}^2$$

6 Projeto de Tomadas para Uso Geral

Será feito um estudo de cargas comuns a residências possíveis de serem conectadas num sistema fotovoltaico de pequeno porte. Para tal, foram considerados um aparelho de som pequeno, um netbook, carregadores de celular, um pequeno ventilador e um refrigerador de pequeno porte.

6.1 Cálculo do Consumo Diário

Uma boa estimativa para o número de horas que se utiliza cada aparelho numa residência doméstica está apresentada nos anexos desse trabalho, na tabela Procel/Cepel/Eletróbrás, também disponível na internet. Para o presente projeto, procurou-se utilizar aparelhos que possuíssem um baixo consumo, mas que ao mesmo tempo tivessem um preço condizente. Foram considerados o aparelho de som modelo AZ-302S da Philips, com um consumo nominal de 15W; o Netbook da Asus, que de acordo com medições feitas no laboratório, possui um consumo médio de 25W; e um ventilador de 30cm de diâmetro, modelo V-03 da Mondial (Figura 6.1).



Figura 6.1 – Ventilador de 30cm, Mondial V-03

Para o frigobar, foi utilizada a tabela disponível no site do INMETRO, e resolveu-se considerar o modelo RE 80 da Electrolux com 79 litros, devido a sua alta eficiência e facilidade de se encontrar no mercado. Pode-se determinar seu

consumo diário levando-se em conta o consumo mensal fornecido (17,4 kW.h), conforme mostrado abaixo:

$$Consumo_{diário} = \frac{Consumo_{mensal}}{30 \text{ dias}} = \frac{17.400}{30} = 580 \text{ W.h}$$

Novamente, devido às diferenças de consumo nos meses de verão e de inverno, os dois casos foram considerados. A Tabela 6.1 abaixo mostra as demandas por aparelho durante o verão.

Aparelho	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário (W.h)
Som Pequeno	1	15	4	60
Netbook	1	25	3	75
Carregador de Celular	2	2,5	1	5
Ventilador Pequeno	1	45	8	360
Frigobar	1	65	intermitente [Guilherme24]	580

Tabela 6.1 – Consumo de cada aparelho para o caso geral no verão

Assim, pode-se estimar um consumo diário no verão em:

$$C_{\text{verão}} = 60 + 75 + 5 + 360 + 580 = 1080 \text{ Wh}$$

Como não faz sentido fazer um projeto levando em conta apenas as tomadas, serão somadas a carga calculada nos capítulos 4 e 5 para os projetos de iluminação utilizando LEDs e lâmpadas fluorescentes compactas, respectivamente. Assim tem-se que:

$$C_{\text{verão+LEDs}} = 1080 + 57,6 = 1137,6 \text{ Wh}$$

$$C_{\text{verão+Fluorescentes}} = 1080 + 300 = 1380 \text{ Wh}$$

Durante o inverno, será considerado que não se ligará o ventilador, se passará menos tempo no computador e o aparelho de som será menos utilizado, pode-se então estimar o consumo como mostrado na Tabela 6.2 abaixo:

Aparelho	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário (W.h)
Som Pequeno	1	15	3	45
Netbook	1	25	2	50
Carregador de Celular	2	2,5	1	5
Ventilador Pequeno	1	45	0	0
Frigobar	1	65	?	580

Tabela 6.2 - Consumo de cada aparelho para o caso geral no inverno

O consumo diário estimado desses equipamentos para o inverno será então dado por:

$$C_{inverno} = 45 + 50 + 5 + 580 = 675Wh$$

Novamente levando em conta as lâmpadas, tem-se os seguintes valores de consumo nos meses de inverno:

$$C_{inverno+LEDs} = 675 + 43,2 = 718,2Wh$$

$$C_{inverno+Fluorescentes} = 675 + 225 = 900Wh$$

A potência total instalada irá depender da alternativa adotada, se utilizará as placas de LEDs ou as lâmpadas fluorescentes compactas, considerando os valores calculados nos capítulos 4 e 5, teremos:

$$P_{instalada+LEDs} = (15 + 25 + 2 \cdot 2,5 + 45 + 65) + (25,92) = 180,92W$$

$$P_{instalada+Fluorescentes} = (15 + 25 + 2 \cdot 2,5 + 45 + 65) + (135) = 290W$$

6.2 Dimensionamento das Baterias

Para levar em conta os dois cenários, um utilizando como alternativa de iluminação as placas de LEDs, e outro, as lâmpadas fluorescentes compactas, será necessário realizar dois dimensionamentos distintos, um para cada caso.

6.2.1 Projeto utilizando a placa de LEDs

Nesse tópico será feito o dimensionamento das baterias levando em conta que se optou por adotar as placas de LEDs como luminárias. Considerando uma descarga diária média de 20%, calcula-se a energia demandada e a capacidade das baterias (de 12V) para o pior caso, ou seja, durante o verão:

$$E_{bateria} = \frac{1137,6Wh}{0.2} = 5688Wh$$

$$C_{bateria} = \frac{5688Wh}{12} \approx 474Ah$$

Aproximando a descarga diária (20%) da bateria em 7h, a partir de uma simples regra de três tem-se que a taxa de descarga completa se dará em 35h. Deve-se procurar por uma bateria do tipo C_{35} com 474Ah de capacidade, ou melhor. Como não há fabricação comercial em grande escala de baterias com mais de 200Ah, pode-se optar por utilizar um banco de baterias em paralelo. Quatro baterias do modelo FNC 121200-C com uma capacidade nominal de 120Ah de 12V atendem as necessidades.

6.2.2 Projeto utilizando lâmpadas eletrônicas

As baterias serão dimensionadas considerando um projeto com as lâmpadas fluorescentes compactas de 15W. Para uma descarga diária média de 20%, a energia demandada e a capacidade das baterias (de 12V) para o pior caso serão dados por:

$$E_{bateria} = \frac{1380Wh}{0.2} = 6900Wh$$

$$C_{bateria} = \frac{6900Wh}{12} \approx 575Ah$$

Aproximando a descarga diária (20%) da bateria em 7h, a partir de uma simples regra de três, tem-se que a taxa de descarga completa se dará em 35h.

Deve-se procurar uma bateria do tipo C_{35} com 575Ah de capacidade, ou melhor. Como não há fabricação comercial em grande escala de baterias com mais de 200Ah, pode-se optar por utilizar um banco de baterias em paralelo. Cinco baterias do modelo FNC 121200-C com uma capacidade nominal de 120Ah de 12V atendem as nossas necessidades.

6.3 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Como foi mostrado nos itens anteriores, os projetos utilizando placas de LEDs e lâmpadas fluorescentes compactas são bastante distintos, cada um possuindo necessidades diferentes de geração, assim, o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos será feito levando em consideração cada caso específico.

6.3.1 Dimensionamento utilizando placas de LEDs

Levando em conta as horas de sol pleno equivalente calculada anteriormente, cerca de 4,52 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do verão, e cerca de 3,10 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do inverno.

A potência mínima do sistema sem levar em conta as perdas, necessária para suprir o consumo diário nesses meses, tanto no caso do verão, quanto do inverno será dada por:

$$Potência_{\text{verão}} = \frac{1137,6}{4,52} \approx 251,68W$$

$$Potência_{\text{inverno}} = \frac{718,2}{3,10} \approx 231,68W$$

Nesse caso, a situação mais crítica acontece durante o verão. Os painéis serão dimensionados para esse caso. Levando em conta as perdas nos cabamentos, as perdas de conversão de energia e as perdas por desajuste (não utilização de um MPPT), tem-se que a potência instalada necessária será:

$$Potência_{\text{necessária}} = \frac{251,68}{(1 - 0,06) \cdot (1 - 0,10) \cdot (1 - 0,10)} \approx 330,55W$$

E número de painéis necessários:

$$Painéis_{mínimo} = \frac{330,55}{20} \approx 16,53$$

Assim, são necessários 17 painéis de 20W para suprir o consumo dos aparelhos e dos LEDs. A Reserva no Verão (em %) é dada por:

$$R_{verão} = \frac{340 - 330,55}{330,55} \cdot 100 \approx 2,86$$

Para o cálculo do Excesso no Inverno, é preciso conhecer a Potência Necessária no inverno, que é dada por:

$$Potência_{inverno} = \frac{231,68}{(1 - 0,06) \cdot (1 - 0,10) \cdot (1 - 0,10)} \approx 304,28W$$

O Excesso no Inverno (em %) é dado então:

$$E_{inverno} = \frac{340 - 304,28}{304,28} \cdot 100 \approx 11,74$$

Como é facilmente observável, o consumo durante o verão está bem próximo do limite, e para não comprometer o bom funcionamento do sistema, não se deve utilizar mais cargas do que o projetado. Já durante o inverno, há um excesso considerável de energia, sendo possível a conexão de mais cargas ou aumentar o tempo de uso das demais.

6.3.2 Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas

Caso se opte por um projeto considerando as lâmpadas fluorescentes compactas, tem-se que a potência mínima diária para os meses críticos, sem levar em conta as perdas, será dada por:

$$Potência_{verão} = \frac{1380}{4,52} \approx 305,31W$$

$$Potência_{inverno} = \frac{900}{3,10} \approx 290,32W$$

É facilmente observável que a situação mais crítica se dá durante o verão. Para esse caso, e levando em conta as perdas nos cabearmentos, as perdas de conversão de energia e as perdas por desajuste (não utilização de um MPPT), tem-se que a potência mínima de geração será dada por:

$$Potência_{necessária} = \frac{305,31}{(1 - 0,06) \cdot (1 - 0,10) \cdot (1 - 0,10)} \approx 400,98W$$

E número de painéis necessários:

$$Painéis_{mínimo} = 400,9820 \approx 20,05$$

Serão precisos 21 painéis para suprir com folga os aparelhos mencionados e as lâmpadas eletrônicas. A Reserva no Verão (em %) é calculada como sendo:

$$R_{verão} = \frac{420 - 400,98}{400,98} \cdot 100 \approx 4,74$$

Antes de calcularmos o Excesso no Inverno, precisa-se estimar a Potência Necessária no inverno, dada por:

$$Potência_{inverno} = \frac{290,32}{(1 - 0,06) \cdot (1 - 0,10) \cdot (1 - 0,10)} \approx 381,29W$$

O Excesso no Inverno (em %) é dado então:

$$E_{inverno} = \frac{420 - 381,29}{381,29} \cdot 100 \approx 10,15$$

Há um excesso de energia bastante considerável no inverno, sendo possível a conexão de outras cargas ou aumentar o tempo de utilização das demais durante essa estação.

6.4 Dimensionamento do Inversor

Novamente serão realizados dois dimensionamentos: um considerando a alternativa de se utilizar placas de LEDs como iluminação, e o outro, utilizando as lâmpadas fluorescentes compactas. Especialmente no caso de aparelhos ligados à

tomada, é importante deixar uma folga considerável ao dimensionar um inversor a fim de suportar com tranqüilidade um possível aumento da carga e a corrente de partida de algumas máquinas.

Vale ressaltar que os inversores a serem dimensionados (disponíveis no site DealExtreme.com) possuem uma forma de onda de saída do tipo retangular, o que implica que a vida útil de algumas máquinas elétricas - como o ventilador ou o frigobar - será reduzida, devido à quantidade de harmônicos envolvida. Aparelhos eletrônicos como celulares ou laptops possuem um retificador em suas fontes, e são praticamente insensíveis a forma de onda de entrada, dispensando maiores preocupações. Não está no âmbito desse trabalho, mas pode ser útil projetar filtros de harmônicos na entrada de algumas máquinas.[Guilherme25]

6.4.1 Dimensionamento utilizando placas de LEDs

Como a nossa carga é referente a pouquíssimos aparelhos, será considerado um fator de demanda igual a 1, pois a probabilidade de que todos os aparelhos estejam ligados ao mesmo tempo não é desprezível. Como os LEDs são alimentados em corrente contínua, eles não entrarão no cálculo da demanda máxima do inversor. Considerando um fator de potência igual a 0,8 para as cargas, tem-se que:

$$Demanda_{\max_com_LEDs} = 1,00 \cdot \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5 + 45 + 65)}{0,8} \approx 193,75VA \text{ [Guilherme26]}$$

Como mostrado no capítulo 2, o ideal seria que o ponto de operação do nosso inversor de onda senoidal modificada seja sempre inferior a 80%, a fim de garantir uma maior eficiência, e também uma reserva estratégica. Assim, a potência do inversor deveria ser superior a:

$$P_{\minima} = \frac{193,75}{0,80} \approx 242,19W$$

Agora também será preciso levar em consideração as correntes de partida das máquinas elétricas que o inversor deverá suportar. Para tal, será considerado que a corrente mínima que o inversor deverá suportar sendo igual a corrente de

partida das máquinas mais as correntes de regime permanente dos demais aparelhos. Aproximando a corrente de partida do frigobar e do ventilador como sendo igual a 5 vezes sua corrente nominal, teremos que a corrente de saída do inversor deverá ser igual a, pelo menos:

$$I_{\text{mínimo}} = 5,00 \cdot \frac{(45 + 65)}{220} + \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5)}{220} \approx 2,705A$$

Calculando a potência correspondente a essa corrente, tem-se que:

$$P_{\text{mínima}} = 220 \cdot 2,705 \approx 595,1VA$$

Assim, o pior caso corresponde a corrente necessária para a partida, e o nosso inversor precisará fornecer uma potência superior a 595W. Entre os modelos disponíveis no DealExtreme, o inversor com a potência imediatamente superior é de 600W, como mostrado na Figura 6.1. Assim, teríamos que a potência utilizada durante o regime permanente seria de:

$$P_{\text{utilizada}} = \frac{193,75}{600} \cdot 100 = 32,29\%$$



Figura 6.1 – Inversor de 600W, 12VDC-220VAC

6.4.2 Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas

Novamente será considerado o fator de demanda dos aparelhos igual a 1 e o fator de demanda das lâmpadas eletrônicas igual a 0,8. O fator de potência para lâmpadas é dado por 0,60 e aproximando o fator de potência das cargas em 0,80, tem-se que a demanda máxima durante o regime permanente será dada por:

$$Demanda_{m\acute{a}xima_com_fluorescentes} = 1,00 \cdot \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5 + 45 + 65)}{0,80} + 0,8 \cdot \frac{(135)}{0,60} = 373,75VA$$

Como explicado e demonstrado anteriormente, deve-se procurar utilizar um inversor que trabalhe com no máximo 80% de sua potência nominal, a fim de se operar nos pontos de alta eficiência e ainda com uma reserva estratégica. Assim, levando em conta apenas o caso do regime permanente, a potência nominal mínima necessária do inversor seria dada por:

$$P_{m\acute{i}nima} = \frac{263}{0,80} = 328,75W$$

Agora levando em conta as correntes de partida dos aparelhos, tem-se que a corrente mínima que o inversor precisará suportar será de:

$$I_{m\acute{i}nimo} = 5,00 \cdot \frac{(45 + 65)}{220} + \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5)}{220} + 0,80 \cdot \frac{135}{220} \approx 3,195A$$

Calculando a potência correspondente a essa corrente, tem-se que:

$$P_{m\acute{i}nima} = 220 \cdot 3,195 \approx 703VA$$

O caso mais crítico considerado é novamente para atender a corrente de partida, entre os modelos disponíveis no DealExtreme, o inversor com a potência imediatamente superior é de 800W, como mostrado na Figura 6.1. A Potência utilizada em regime permanente será dada por:

$$P_{utilizada} = \frac{263}{800} \cdot 100 \approx 32,875\%$$



Figura 6.1 – Inversor de 800W, 12VDC-220VAC

6.5 Dimensionamento do Controlador de Carga

O controlador de carga deverá permitir que as baterias sejam carregadas do modo ótimo, protegê-las contra sobrecargas, prevenir descargas indesejáveis, proteger descargas profundas, além de informar o estado de carga da bateria. Com isso tudo, aumenta-se em muito a vida útil das baterias e se protege os painéis fotovoltaicos contra correntes reversas.

6.5.1 Dimensionamento utilizando placas de LEDs

Considerando o fator de demanda igual a 0,80 e um fator de potência unitário para placas de LEDs, e um fator de potência de aproximadamente 0,80 para as cargas conectadas na tomada, pode-se calcular a potência aparente total da carga:

$$S = \sum \frac{P_i \cdot fd}{fp_i} = \frac{25,92 \cdot 0,80}{1,00} + \frac{155 \cdot 1,00}{0,80} \approx 214,49VA$$

A corrente máxima no lado de corrente alternada durante o regime permanente será dada por:

$$I_{\text{máximo}_{\text{tomadas}}} = \frac{S}{V} = \frac{155}{220 \cdot 0,80} \approx 0,88A$$

Para o rendimento calculado no capítulo 2 (aproximadamente 86,2%), tem-se a seguinte corrente no lado de corrente contínua do inversor:

$$I_{\text{máxima}} = \frac{V_{220} \cdot I_{220}}{\eta \cdot V_{12}} = \frac{220 \cdot 0,88}{0,862 \cdot 12} \approx 18,72$$

$$I_{\text{máximo}_{LEDs}} = \frac{S}{V} = \frac{25,92 \cdot 0,80}{12} \approx 1,73A$$

A corrente total que o controlador de carga precisará suportar durante o regime permanente será então dada por:

$$I_{\text{controladors}} = 1,73 + 18,72 = 20,45A$$

Durante a partida das máquinas, tem-se uma corrente bastante alta durante um curtíssimo intervalo de tempo, que o controlador de carga também precisará suportar. Considerando uma corrente de partida das máquinas igual a 5 vezes a nominal, tem-se que:

$$I_{\text{transitório}} = \left(5,00 \cdot \frac{(45 + 65)}{220} + \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5)}{220} \right) \cdot \frac{220}{12 \cdot 0,80 \cdot 0,862} + 1,73 \approx 71,90A$$

6.5.2 Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas

Para um fator de demanda igual a 0,80 e um fator de potência igual a 0,60 para as lâmpadas fluorescentes compactas (dados do fabricante), e um fator de potência de aproximadamente 0,80 para as cargas conectadas na tomada, tem-se que:

$$S = \sum \frac{P_i \cdot fd}{fp_i} = \frac{135 \cdot 0,80}{0,60} + \frac{155 \cdot 1,00}{0,80} = 373,75VA$$

E uma corrente máxima no lado de corrente alternada do inversor de

$$I_{\text{máxima}} = \frac{S}{V} = \frac{373,75}{220} \approx 1,70A$$

Calculando a corrente necessária no lado de corrente contínua, e considerando o valor de rendimento obtido no capítulo 2, tem-se que a corrente necessária durante o regime permanente será dada por:

$$I_{controlador} = \frac{V_{220} \cdot I_{220}}{\eta \cdot V_{12}} = \frac{220 \cdot 1,70}{0,862 \cdot 12} \approx 36,16A$$

Para o regime transitório, considerando as correntes de partida como sendo iguais a 5 vezes sua corrente nominal, tem-se que:

$$I_{transitório} = \left(5,00 \cdot \frac{(45 + 65)}{220 \cdot 0,80} + \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5)}{220 \cdot 0,80} + \frac{135 \cdot 0,80}{220 \cdot 0,60} \right) \cdot \frac{220}{12 \cdot 0,862} \approx 89,30A$$

6.6 Esquemas de Ligação

O diagrama de ligações para o projeto realizado com placas de LEDs está esquematizado na Figura 6.1, enquanto que o projeto realizado com lâmpadas fluorescentes está esquematizado na Figura 6.2.

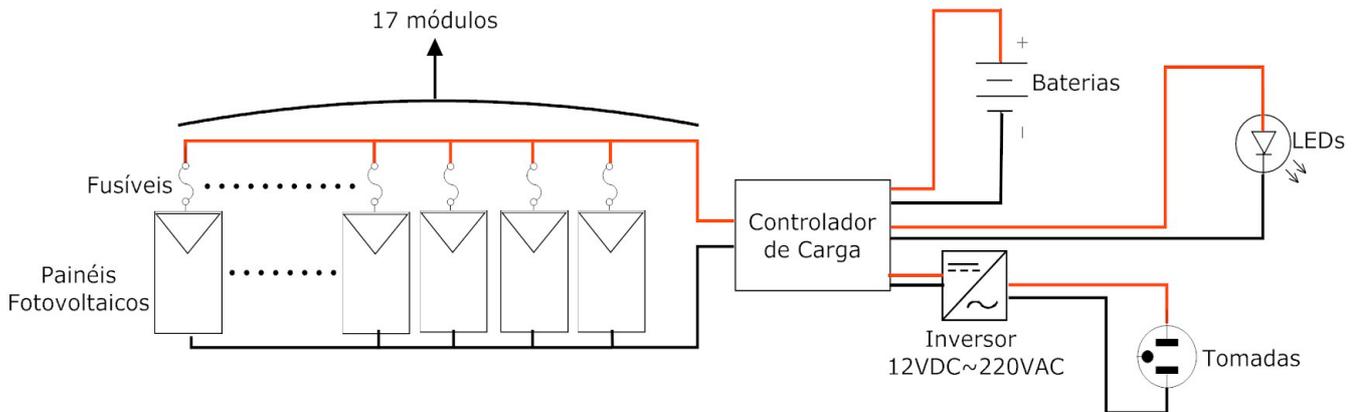


Figura 6.1 – Esquema das ligações para o projeto de carga geral com placas de LEDs

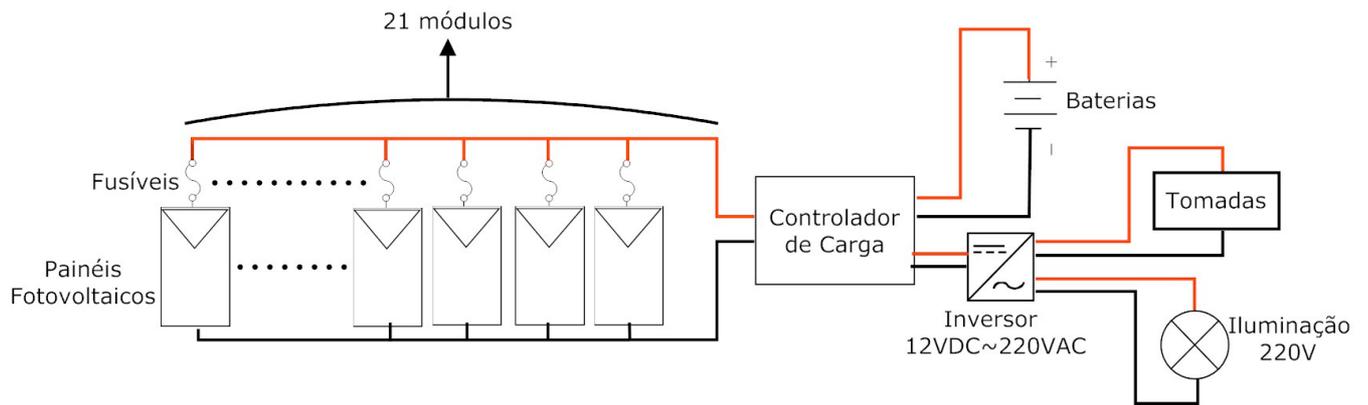
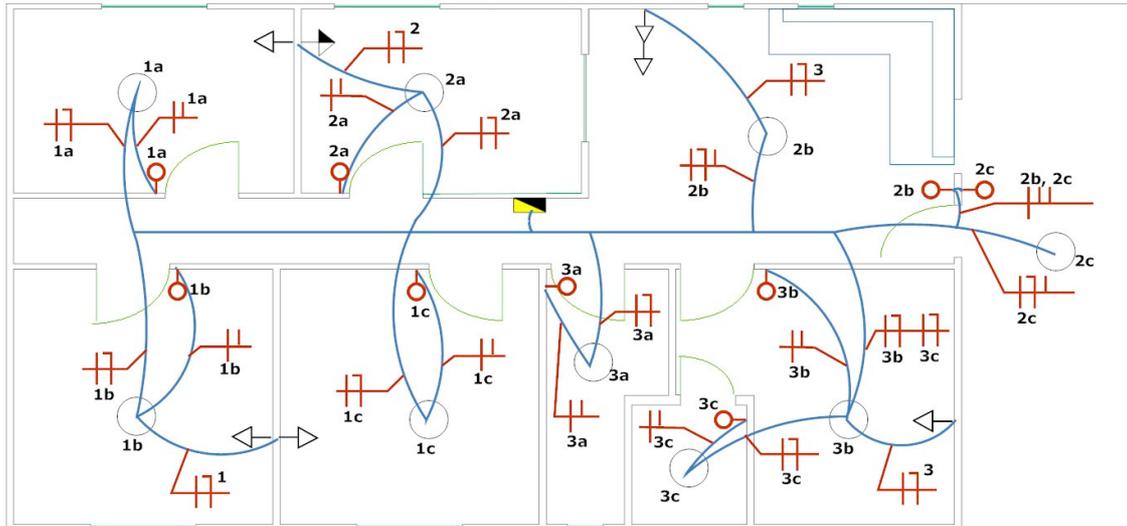


Figura 6.2 - Esquema das ligações para o projeto de carga geral com fluorescentes

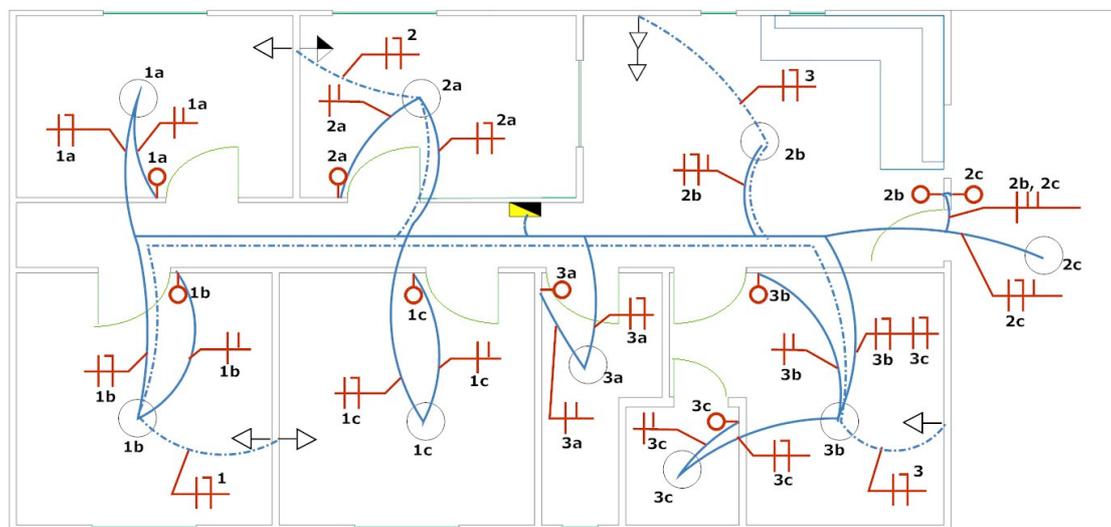
A instalação elétrica para o projeto com lâmpadas fluorescentes é mostrada na Figura 6.3. Todos os cabos representados na figura são de corrente alternada, com tensão nominal de 220V. Já a Figura 6.4 mostra o projeto de instalação elétrica caso seja adotada a alternativa de iluminação em LEDs. Nesse caso, haverão cabos transmitindo corrente alternada e cabos transmitindo corrente contínua, como esquematizado no desenho.



Legenda



Figura 6.3 – Planta de instalação elétrica para o projeto de carga geral com fluorescentes



Legenda

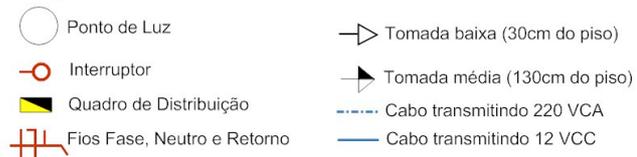


Figura 6.4 - Planta de instalação elétrica para o projeto de carga geral com LEDs

Pode-se observar que o projeto está dividido em 2 tipos de circuitos: os números seguidos por uma letra, representando os circuitos de iluminação, e os números puros, representando os circuitos de força. Para o projeto utilizando as lâmpadas fluorescentes, foi montada a Tabela 6.1 abaixo. Levando em conta o fator de potência nominal das luminárias igual a 0,60, foi utilizada uma potência aparente de 25VA para cada ponto de luz.

Circuito	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
1a, 1b, 1c	75	220	0,341	1,5
2a, 2b, 2c	75	220	0,341	1,5
3a, 3b, 3c	75	220	0,341	1,5
1	100	220	0,455	1,5
2	300	220	1,364	1,5
3	300	220	1,364	1,5

Tabela 6.1 – Quadro de cargas para o projeto de carga geral com fluorescentes

A Tabela 6.2 abaixo foi montada para o projeto utilizando as placas de LEDs. Observe que na tabela são apresentados tanto valores em corrente contínua (para a tensão de 12V) quanto para corrente alternada (220V).

Circuito	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
1a, 1b, 1c	9,18	12	0,765	2,5
2a, 2b, 2c	9,18	12	0,765	2,5
3a, 3b, 3c	9,18	12	0,765	2,5
1	100	220	0,455	1,5
2	300	220	1,364	1,5
3	300	220	1,364	1,5

Tabela 6.2 – Quadro de cargas para o projeto de carga geral com LEDs

Os cálculos referentes a queda de tensão nos circuitos de iluminação já foram exibidos em outros capítulos. No presente capítulo serão mostrados apenas os cálculos para os circuitos de força. Será admitida uma queda tensão máxima de 1,5% e utilizar-se-á a seguinte fórmula:

$$S = 2\rho \times \frac{1}{e(\%) \times V^2} \times (p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots)$$

Onde:

- S é a seção mínima do condutor em mm²;
- ρ é a resistividade do cobre (=1/58 Ω.mm²/m);
- l é a distância até a carga em m;
- e(%) é a queda de tensão aceitável em %;
- V é a tensão em Volts;
- p é a potência em W.

Para um pé direito de 3m, e cumprindo os critérios descritos acima, serão necessárias as seguintes bitolas para os circuitos de força:

Circuito 1:

$$100 \times 13,5 = 1350$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (1350) \approx 0,0641$$

Como a menor seção de condutores encontrada no mercado é de 1,5 mm², tem-se que para esse caso: S_{escolhido}=1,5mm²

Circuito 2:

$$300 \times 13,5 = 4050$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (4050) \approx 0,1924$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}}=1,5\text{mm}^2$$

Circuito 3:

$$300 \times 17,5 = 5250$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (5250) \approx 0,2494$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}}=1,5\text{mm}^2$$

7 Projeto de Tomadas para Carga Reduzida

O presente capítulo abordará um projeto que não utiliza motores, apenas cargas com um baixo consumo de potência, prováveis de serem conectados ao sistema.

7.1 Cálculo do Consumo Diário

A Tabela 7.1 abaixo mostra o consumo por aparelho estimado durante o verão:

Aparelho	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário /(W.h)
Som Pequeno	1	15	4	60
Netbook	1	25	3	75
Carregador de Celular	2	2,5	1	5

Tabela 7.1 – Consumo de cada aparelho para o caso com pouca carga no verão

O consumo diário dessas cargas no verão será dado por:

$$C_{\text{verão}} = 60 + 75 + 5 = 140Wh$$

Novamente, como não faz sentido fazer um projeto elétrico sem levar em conta a iluminação dos ambientes, será somado a esse valor o consumo das duas alternativas estudadas para iluminação: placas de LEDs e lâmpadas fluorescentes compactas:

$$C_{\text{verão+LEDs}} = 140 + 57,6 = 197,6Wh$$

$$C_{\text{verão+Fluorescentes}} = 140 + 300 = 440Wh$$

Para o inverno, o consumo estimado é apresentado na Tabela 7.2 abaixo:

Aparelho	Quantidade	Potência Nominal (W)	Horas de uso/Dia	Consumo Diário /(W.h)
Som Pequeno	1	15	3	45
Netbook	1	25	2	50

Carregador de Celular	2	2,5	1	5
------------------------------	---	-----	---	---

Tabela 7.2 - Consumo de cada aparelho para o caso com pouca carga no inverno

Assim pode-se estimar o seguinte valor para o consumo diário dessas cargas durante os meses de inverno:

$$C_{\text{inverno}} = 45 + 50 + 5 = 100Wh$$

Levando em consideração a energia gasta com iluminação para as duas alternativas, chega-se aos seguintes valores de consumo:

$$C_{\text{inverno+LEDs}} = 100 + 43,2 = 143,2Wh$$

$$C_{\text{inverno+Fluorescentes}} = 100 + 225 = 325Wh$$

Calculando a potência total instalada para os dois casos:

$$P_{\text{instalada+LEDs}} = (15 + 25 + 2 \cdot 2,5) + (25,92) = 70,92W$$

$$P_{\text{instalada+Fluorescentes}} = (15 + 25 + 2 \cdot 2,5) + (135) = 180W$$

7.2 Dimensionamento da Baterias

O projeto de tomadas com pouca carga será estudado e analisado para as duas alternativas de iluminação separadamente, uma vez que irão requerer um dimensionamento específico para cada componente.

7.2.1 Projeto utilizando a placa de LEDs

Caso se escolha a alternativa das placas de LEDs como iluminação, o sistema deve ser dimensionado para uma descarga diária média das baterias de 20% e projeta-se a energia demandada e a capacidade das baterias (de 12V) para o pior caso, ou seja, durante o verão:

$$E_{\text{bateria}} = \frac{197,6Wh}{0.2} = 988Wh$$

$$C_{bateria} = \frac{988Wh}{12} \approx 82.33Ah$$

Aproximando a descarga diária (20%) da bateria em 7h, a partir de uma simples regra de três tem-se que a taxa de descarga completa se dará em 35h. Deve-se procurar uma bateria do tipo C_{35} com 82.33Ah de capacidade, ou melhor. Entre os modelos disponíveis no site da fabricante Newmax, pode-se optar por operar duas baterias de 42Ah em paralelo (modelo FNC 12420-C), ou trabalhar com mais folga com uma única bateria de 100Ah (modelo FNC 121000-C).

7.2.2 Projeto utilizando lâmpadas eletrônicas

Agora será feito o dimensionamento das baterias considerando o projeto com as lâmpadas fluorescentes compactas de 15W. Para uma descarga diária média de 20%, a energia demandada e a capacidade das baterias (de 12V) para o pior caso será dada por:

$$E_{bateria} = \frac{440Wh}{0.2} = 2200Wh$$

$$C_{bateria} = \frac{2200Wh}{12} \approx 183.33Ah$$

Aproximando a descarga diária (20%) da bateria em 7h, a partir de uma simples regra de três tem-se que a taxa de descarga completa se dará em 35h. Deve-se procurar uma bateria do tipo C_{35} com 183.33Ah de capacidade, ou melhor. Pode-se optar por 2 baterias de 100Ah em paralelo (modelo FNC 121000-C da Newmax) ou uma única de 200Ah (modelo FNC 122000-C). Uma análise mais profunda sobre preço e disponibilidade de espaço é recomendada.

7.3 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Uma vez que os projetos elétricos envolvendo placas de LEDs e lâmpadas fluorescentes compactas provavelmente irão demandar quantidades distintas de

placas fotovoltaicas, o dimensionamento será feito em duas etapas, a fim de torná-lo mais claro.

7.3.1 Dimensionamento utilizando placas de LEDs

Os cálculos descritos nesse capítulo levam em consideração as horas de sol pleno equivalente calculada no capítulo 4, ou seja aproximadamente 4,52 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do verão, e cerca de 3,10 horas de sol pleno equivalente por dia no mês mais crítico do inverno.

A potência mínima do sistema (ainda não considerando as perdas), necessária para ao menos suprir o consumo diário nos meses críticos, tanto no caso do verão, quanto no caso do inverno será dada por:

$$Potência_{verão} = \frac{197,6}{4,52} \approx 43,72W$$

$$Potência_{inverno} = \frac{143,2}{3,10} \approx 46,19W$$

Para esse caso, a situação mais crítica acontece durante o inverno. Dimensionar-se-á os painéis para esse caso, levando em conta as perdas nos cabamentos, as perdas de conversão de energia e as perdas por desajuste (não utilização de um MPPT), assim tem-se que a potência instalada necessária será:

$$Potência_{necessária} = \frac{46,19}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 60,66W$$

E número de painéis necessários:

$$Painéis_{mínimo} = \frac{60,66}{20} \approx 3,03$$

Portanto serão necessários 4 painéis de 20W para suprir o consumo dos aparelhos e dos LEDs. O Excesso no Inverno (em %) é dado por:

$$E_{inverno} = \frac{80 - 60,66}{60,66} \cdot 100 \approx 31,88$$

Para o cálculo da Reserva no Verão, precisamos conhecer a Potência Necessária no verão, que é dada por:

$$Potência_{verão} = \frac{43,72}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 57,42W$$

A Reserva no Verão (em %) é dada então por:

$$R_{verão} = \frac{80 - 57,42}{57,42} \cdot 100 \approx 39,32$$

Como é bastante evidente pelos nossos cálculos, haverá uma sobra considerável de energia caso se adotem 4 painéis, assim, os equipamentos considerados poderão permanecer mais tempo conectados do que o inicialmente prescrito.

7.3.2 Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas

Caso se opte por um projeto considerando as lâmpadas fluorescentes compactas, tem-se que a potência mínima diária para os meses críticos, sem levar em conta as perdas, será dada por:

$$Potência_{verão} = \frac{440}{4,52} \approx 97,351W$$

$$Potência_{inverno} = \frac{325}{3,10} \approx 104,84W$$

A situação mais crítica (mais necessidade de energia) acontecerá durante o inverno. Para esse caso, e levando em conta as perdas nos cabeamentos, as perdas de conversão de energia e as perdas por desajuste (não utilização de um MPPT), tem-se que a potência mínima de geração será dada por:

$$Potência_{necessária} = \frac{104,84}{(1-0,06) \cdot (1-0,10) \cdot (1-0,10)} \approx 137,69W$$

E número de painéis necessários:

$$Painéis_{mínimo} = 137,69 / 20 \approx 6,88$$

Serão precisos 7 painéis para suprir os aparelhos mencionados e as lâmpadas eletrônicas. O Excesso no Inverno (em %) é dado por:

$$E_{inverno} = \frac{140 - 137,69}{137,69} \cdot 100 \approx 1,68$$

Para o cálculo da Reserva no Verão, precisamos conhecer a Potência Necessária no verão, que é dada por:

$$Potência_{verão} = \frac{97,35}{(1 - 0,06) \cdot (1 - 0,10) \cdot (1 - 0,10)} \approx 127,86W$$

A Reserva no Verão (em %) é dada então por:

$$R_{verão} = \frac{140 - 127,86}{127,86} \cdot 100 \approx 9,49$$

Apesar do Excesso no Inverno ser bastante pequeno, nessa época do ano a casa é muito menos utilizada, em geral apenas nos finais de semana, assim mesmo caso o consumo seja superior ao dimensionado e as baterias sejam descarregadas mais do que os 20% a que projetamos, será por pouco tempo. Durante o verão, época mais crítica quando a casa é mais utilizada, ainda haverá uma reserva considerável de energia.

7.4 Dimensionamento do Inversor

Novamente serão feitos dois dimensionamentos: um considerando a alternativa de se utilizar placas de LEDs como iluminação; e o outro, utilizando as lâmpadas fluorescentes compactas. Especialmente no caso de aparelhos ligados à tomada, é importante deixar uma folga considerável ao dimensionar um inversor, a fim de suportar com tranquilidade um possível aumento da carga.

7.4.1 Dimensionamento utilizando placas de LEDs

Como a carga projetada para esse caso é referente a pouquíssimos aparelhos, será considerado um fator de demanda igual a 1, pois a probabilidade de que todos os aparelhos estejam ligados ao mesmo tempo não é desprezível. Para fator de potência, será adotado o valor de 0,80. Como os LEDs são alimentados em corrente contínua, eles não entrarão no cálculo da demanda máxima do inversor:

$$Demanda_{m\acute{a}xima\ com\ LEDs} = \frac{1,00 \cdot (15 + 25 + 2 \cdot 2,5)}{0,80} \approx 56,25VA$$

Como mostrado no capítulo 2, o ideal seria que o ponto de operação do nosso inversor de onda senoidal modificada seja sempre inferior a 80%, a fim de garantir uma maior eficiência, e também uma reserva estratégica. Assim, a potência do inversor deverá ser superior a:

$$P_{m\acute{i}nima} = \frac{56,25}{0,80} \approx 70,31W$$

Entre os modelos disponíveis no DealExtreme, o inversor com a potência imediatamente superior é de 75W, como mostrado na Figura 7.1. Assim, teríamos que a potência utilizada seria de:

$$P_{utilizada} = \frac{56,25}{75} \cdot 100 = 75\%$$



Figura 7.1 – Inversor de 75W, 12VCC-220VAC

7.4.2 Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas

Novamente será considerado o fator de demanda dos aparelhos igual a 1 e o fator de demanda das lâmpadas eletrônicas igual a 0,8. Para o fator de potência das cargas, será utilizado o valor de 0,80, e para as lâmpadas fluorescentes, 0,60. Assim, tem-se que a demanda máxima será dada por:

$$Demanda_{MAX_FLUORESCENTES} = 1,00 \cdot \frac{(15 + 25 + 2 \cdot 2,5)}{0,80} + 0,8 \cdot \frac{(135)}{0,60} = 236,25VA$$

Como foi mostrado nos capítulos anteriores, deve-se procurar um inversor que trabalhe com no máximo 80% de sua potência nominal, a fim de operar nos pontos de alta eficiência e com uma reserva estratégica:

$$P_{mínima} = \frac{236,25}{0,80} = 295,31W$$

Entre os modelos disponíveis no DealExtreme, o inversor com a potência imediatamente superior é de 300W, como o mostrado na Figura 5.1. A Potência utilizada será dada por:

$$P_{utilizada} = \frac{236,25}{300} \cdot 100 \approx 78,75\%$$

7.5 Dimensionamento do Controlador de Carga

O controlador de carga deverá permitir que as baterias sejam carregadas do modo ótimo, protegê-las contra sobrecargas, prevenir descargas indesejáveis, proteger descargas profundas, além de informar o estado de carga da bateria. Com isso tudo, aumenta-se em muito a vida útil das baterias e se protege os painéis fotovoltaicos contra correntes reversas.

7.5.1 Dimensionamento utilizando placas de LEDs

Considerando o fator de demanda igual a 0,80 e um fator de potência unitário para placas de LEDs, e um fator de potência de aproximadamente 0,80

para as cargas conectadas na tomada, pode-se calcular a potência aparente total da carga:

$$S = \sum \frac{P_i \cdot fd}{fp_i} = \frac{25,92 \cdot 0,80}{1,00} + \frac{45 \cdot 1,00}{0,80} \approx 76,99VA$$

A corrente máxima no lado de corrente alternada será dada por:

$$I_{\text{máximo}_{\text{tomadas}}} = \frac{S}{V} = \frac{450,80}{220} \approx 0,26A$$

Para o rendimento calculado no capítulo 2 (aproximadamente 86.2%), tem-se a seguinte corrente no lado de corrente contínua do inversor:

$$I_{\text{máxima}} = \frac{V_{220} \cdot I_{220}}{\eta \cdot V_{12}} = \frac{220 \cdot 0,26}{0,862 \cdot 12} \approx 5,53A$$

$$I_{\text{máximo}_{LEDs}} = \frac{S}{V} = \frac{25,92 \cdot 0,80}{12} \approx 1,73A$$

A corrente total que o controlador de carga precisará suportar, será então dada por:

$$I_{\text{controladors}} = 1,73 + 5,53 = 7,26A$$

7.5.2 Dimensionamento utilizando lâmpadas eletrônicas

Para um fator de demanda igual a 0,80 e um fator de potência igual a 0,60 para as lâmpadas fluorescentes compactas (dados do fabricante), e um fator de potência de aproximadamente 0,80 para as cargas conectadas na tomada, tem-se que:

$$S = \sum \frac{P_i \cdot fd}{fp_i} = \frac{135 \cdot 0,80}{0,60} + \frac{45 \cdot 1,00}{0,80} = 236,25VA$$

A corrente alternada do inversor será dada por:

$$I_{\text{máxima}} = \frac{S}{V} = \frac{236,25}{220} \approx 1,07A$$

A corrente mínima exigida do controlador será a mesma do lado de corrente contínua do inversor. Considerando o valor de rendimento obtido no capítulo 2, tem-se:

$$I_{controlador} = \frac{V_{220} \cdot I_{220}}{\eta \cdot V_{12}} = \frac{220 \cdot 1,07}{0,862 \cdot 12} \approx 22,76A$$

7.6 Esquemas de Ligação

O diagrama de ligações para o projeto realizado com placas de LEDs está esquematizado na Figura 7.1, enquanto que o projeto realizado com lâmpadas fluorescentes está esquematizado na Figura 7.2.

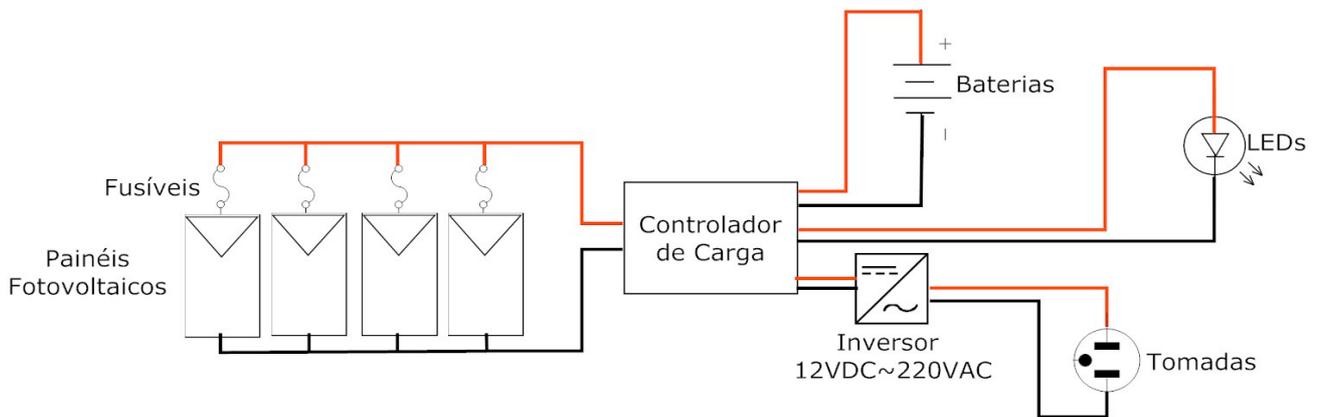


Figura 7.1 – Esquema das ligações para o projeto de carga reduzida com placas de LEDs

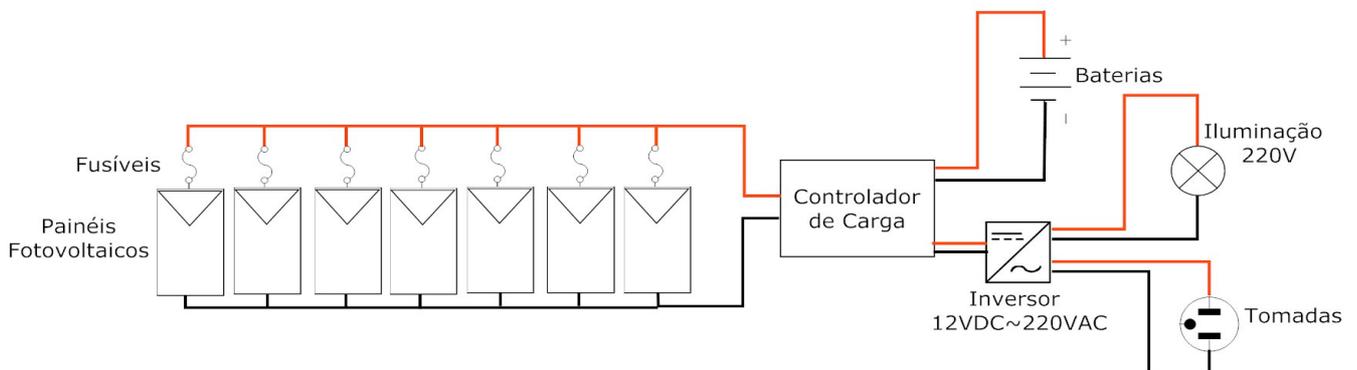
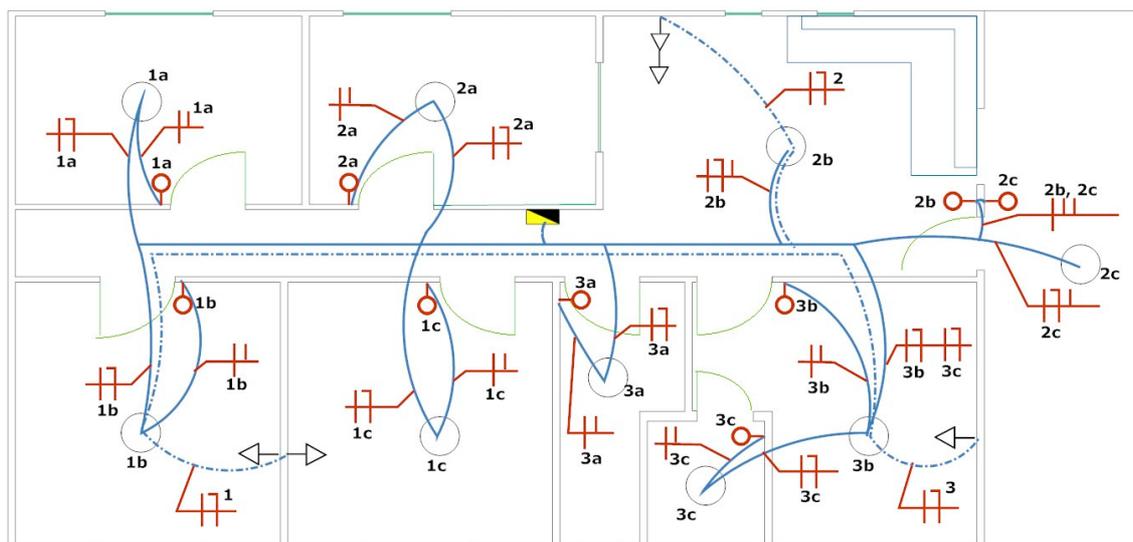


Figura 7.2 - Esquema das ligações para o projeto de carga reduzida com fluorescentes

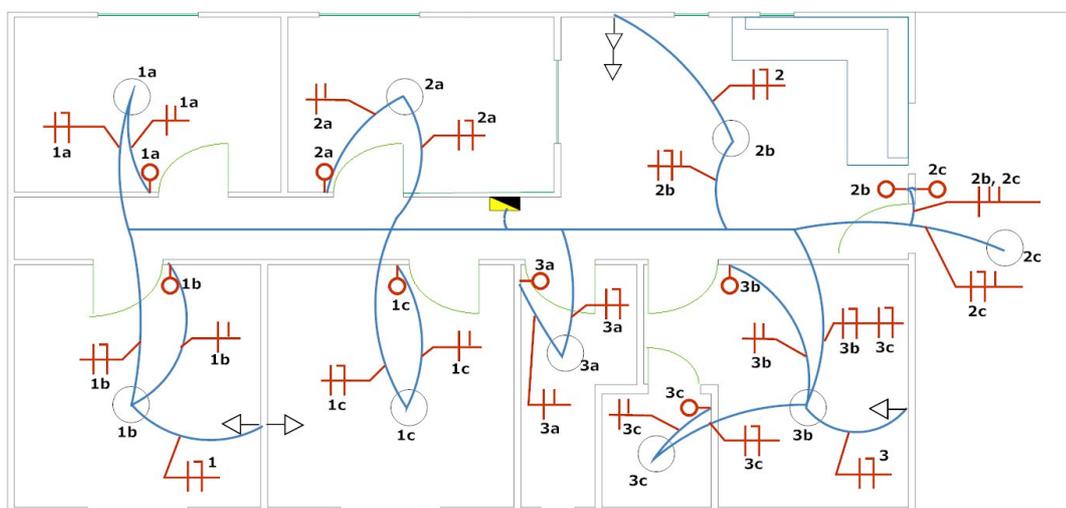
A planta elétrica para o projeto de carga reduzida utilizando luminárias de LEDs é mostrado na Figura 7.3 abaixo, com cabos em corrente contínua e alternada. Para o projeto utilizando as lâmpadas fluorescentes, a planta elétrica é apresentada na Figura 7.4.



Legenda

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| ○ Ponto de Luz | → Tomada baixa (30cm do piso) |
| ○ Interruptor | → Tomada média (130cm do piso) |
| ▴ Quadro de Distribuição | --- Cabo transmitindo 220 VCA |
| ⏏ Fios Fase, Neutro e Retorno | — Cabo transmitindo 12 VCC |

Figura 7.3 - Planta de instalação elétrica para o projeto de carga reduzida com LEDs



Legenda

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| ○ Ponto de Luz | → Tomada baixa (30cm do piso) |
| ○ Interruptor | → Tomada média (130cm do piso) |
| ▴ Quadro de Distribuição | --- Cabo transmitindo 220 VCA |
| ⏏ Fios Fase, Neutro e Retorno | — Cabo transmitindo 220 VCA |

Figura 7.4 – Planta de instalação elétrica para o projeto de carga reduzida com fluorescentes

Os circuitos descritos por um número seguido por uma letra se referem aos circuitos de iluminação, os circuitos de força são representados apenas por um número. A Tabela 7.1 abaixo apresenta o quadro de cargas para o projeto utilizando-se lâmpadas fluorescentes.

Circuito	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
1a, 1b, 1c	75	220	0,341	1,5
2a, 2b, 2c	75	220	0,341	1,5
3a, 3b, 3c	75	220	0,341	1,5
1	100	220	0,455	1,5
2	100	220	0,455	1,5
3	100	220	0,455	1,5

Tabela 7.1 – Quadro de cargas para o projeto de carga reduzida com fluorescentes

Para o projeto utilizando luminárias em LEDs, foi montada a Tabela 7.2 abaixo. Os valores correspondentes a tensão de 12V se referem a iluminação em corrente contínua, e em 220V, aos circuitos de força, em corrente alternada.

Circuito	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
1a, 1b, 1c	9,18	12	0,765	2,5
2a, 2b, 2c	9,18	12	0,765	2,5
3a, 3b, 3c	9,18	12	0,765	2,5
1	100	220	0,455	1,5
2	100	220	0,455	1,5
3	100	220	0,455	1,5

Tabela 7.2 – Quadro de cargas para o projeto de carga reduzida com LEDs

Uma vez que os cálculos referentes a queda de tensão nos circuitos de iluminação e no circuito de força número 1 já foram apresentados em capítulos anteriores, serão suprimidos no presente capítulos. Novamente admitindo uma queda tensão máxima de 1,5%, para calcular a queda de tensão máxima, será utilizada a seguinte fórmula:

$$S = 2\rho \times \frac{1}{e(\%) \times V^2} \times (p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots)$$

Onde:

- S é a seção mínima do condutor em mm²;

- ρ é a resistividade do cobre ($=1/58 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);
- l é a distância até a carga em m;
- $e(\%)$ é a queda de tensão aceitável em %;
- V é a tensão em Volts;
- p é a potência em W.

Levando em conta um pé direito de 3m, e cumprindo os critérios descritos acima, serão necessárias as seguintes bitolas para os circuitos de força:

Circuito 2:

$$100 \times 13,5 = 1350$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (1350) \approx 0,0641$$

Como a menor seção de condutores encontrada no mercado é de $1,5 \text{ mm}^2$, tem-se que para esse caso: $S_{\text{escolhido}} = 1,5 \text{ mm}^2$

Circuito 3:

$$100 \times 17,5 = 1750$$

$$S \geq 2 \cdot \frac{1}{58} \cdot \frac{1}{0,015 \cdot 220^2} \cdot (1750) \approx 0,0831$$

$$\therefore S_{\text{escolhido}} = 1,5 \text{ mm}^2$$

8 Análise dos Projetos

O objetivo desse capítulo é fazer uma análise um pouco mais profunda para cada projeto dimensionado, levando em conta fatores como disponibilidade de produtos, viabilidade técnica e econômica, possibilidade de expansão em curto prazo, entre outros.

8.1 Lista de Itens

A fim de facilitar a comparação entre os diferentes projetos, foram montadas duas tabelas: cada uma considerando uma alternativa de iluminação diferente, uma utilizando placas de LEDs e a outra, lâmpadas fluorescentes compactas. Os valores discriminados para as baterias e para os controladores são os mínimos necessários, enquanto que os valores descritos para os painéis fotovoltaicos e para o inversor, são baseados nos modelos existentes no LAFAE e no Deal Extreme, respectivamente.

A Tabela 8.1 mostra os requisitos para os projetos adotando a placa de LEDs:

Item/Caso	Iluminação Apenas	Tomadas Carga Geral	Tomadas Carga Reduzida
Capacidade das Baterias	24 Ah	474 Ah	82.33Ah
Qtde de Painéis Fotovoltaicos	1	17	4
Potência do Inversor	-	600 W	75 W
Potência Aparente do Controlador	20,74 VA	214,49 VA	76,99 VA
Corrente do Controlador	1,73 A	20,45 A	7,26 A

Tabela 8.1 – Itens necessários utilizando a placa de LEDs

A Tabela 8.2 é relativa aos projetos que utilizam as lâmpadas fluorescentes compactas:

Item/Caso	Iluminação Apenas	Tomadas Geral	Tomadas Pouca Carga
Capacidade das Baterias	125 Ah	575 Ah	183,33 Ah
Qtde de Painéis Fotovoltaicos	5	21	7
Potência do Inversor	300 W	800 W	300 W
Potência Aparente do Controlador	180 VA	373,75 VA	236,25 VA
Corrente do Controlador	17,44 A	36,16 A	22,76 A

Tabela 8.2 – Itens necessários utilizando as lâmpadas eletrônicas

Vale ressaltar que apesar do projeto ser voltado para uma localidade no estado do Rio de Janeiro, onde a maioria aparelhos eletro-eletrônicos possuem uma tensão nominal de 127V, resolveu-se por conveniência adotar a tensão do nosso sistema em 220V devido a facilidade de se encontrar no mercado equipamentos (como inversores e controladores de carga) compatíveis com esse nível de tensão.

A principal utilização das tomadas será para carregar celulares, que por possuírem uma fonte retificadora, aceitam alimentação em qualquer tensão entre 110 e 240V, assim como os laptops ou netbooks. É provável que também sejam conectados aparelhos de som, mas em geral a maioria dos modelos possui uma chave seletora 110-220V, assim, também não será um grande problema. Caso se opte pelo projeto de carga geral, será preciso adquirir o frígobar e o ventilador para 220V.

8.2 Análise Crítica

Uma rápida análise dos projetos de iluminação mostra que a alternativa das placas de LEDs além de exigir praticamente um quinto da capacidade das baterias e da quantidade de painéis fotovoltaicos se comparado ao projeto com lâmpadas eletrônicas, dispensa o uso de um inversor e exige um controlador muito menor. Em contrapartida, as lâmpadas eletrônicas iluminariam muito mais os ambientes, e mesmo os modelos em 220V são facilmente encontradas em grandes lojas, enquanto que as placas de LEDs são importadas, o que dificulta significativamente sua reposição.

A diferença entre as duas alternativas para o caso das tomadas de uso geral diminui consideravelmente, e a quantidade de painéis e capacidade das baterias (maiores custos do projeto) ficam defasadas em apenas cerca de 20%. Nesse caso, seria mais vantajoso utilizar as lâmpadas eletrônicas, por todos os motivos descritos anteriormente. No entanto, em ambos os casos seriam necessários mais de 15 painéis fotovoltaicos a serem dispostos, provavelmente não há tanto lugar sem sombra no telhado da casa, sendo necessária outra solução. Pode-se adquirir

painéis mais eficientes, que produziram mais energia em menos espaço, o que envolveria um custo extra, ou então montar uma estrutura externa para suportá-los. Por motivos técnicos, essa certamente não será uma solução trivial.

No projeto de tomadas para carga reduzida, a diferença entre o projeto com placas de LEDs e lâmpadas eletrônicas também é grande. Como o espectro luminoso fornecido pelos LEDs ainda não é muito conhecido, é importante discutir com os moradores locais como eles balanceariam essa equação: qualidade luminosa x energia disponível.[Guilherme27]

9 Conclusão

No presente trabalho, mostrou-se que é possível utilizar equipamentos mais econômicos que os convencionais em sistemas fotovoltaicos, obtendo uma boa eficiência e funcionalidade. Devido à inexistência de literatura sobre os equipamentos selecionados, diversos testes foram realizados em laboratório a fim de se obter dados e características.

Como se trata de um projeto que envolve diversos equipamentos não usuais, é de suma importância um acompanhamento próximo durante os primeiros meses de implementação. A descrição dos próprios moradores sobre as vantagens e desvantagens de cada equipamento fornecerá informações importantes para uma futura reflexão das tecnologias utilizadas. Durante o acompanhamento, deve-se realizar medições e levantar o consumo/cargas normalmente conectados no sistema. Assim, será possível projetar um consumo mais próximo da realidade local, evitando um super ou sub-dimensionamento.

É de vital importância transmitir aos moradores informações e instruções práticas de como operar e manter o sistema, apresentado uma tabela simples com que equipamentos podem ser conectados e por quanto tempo. Uma discussão sobre como repartir os custos com os moradores permitirá uma maior disseminação pela comunidade. Outro propósito é que esse trabalho também possa servir como um guia básico e acessível relativo a dimensionamentos fotovoltaicos.

10 Referências Bibliográficas

1. ROLIM, L. G. B., CAVALIERE, R., NASCIMENTO, J. L.; Energia Solar Fotovoltaica. *Material utilizado no curso, 2º semestre de 2009* – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
2. GREENPRO. *Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*. Janeiro de 2004 – Holanda, Alemanha, Itália, Reino Unido e Portugal (União Européia).
3. CRESESB/CEPEL – *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, Ediouro Gráfica e Editora S.A., Setembro de 2008 – Rio de Janeiro, RJ.
4. MOHAN, N., UNDELAND, T. M., ROBBINS, W. P.; *Power Electronics – Converters, Application and Design*, Editora John Wiley & Sons Inc. Segunda edição – Nova Iorque.
5. INMETRO/PROCEL – *Tabela Eficiência Energética – Frigobares – Critérios 2009*. Novembro de 2009.
6. SUNDATA – Base de dados sobre radiação solar no Brasil do CRESESB - www.cresesb.cepel.br
7. LIGHT - RECON – *BT Entradas Individuais e Coletivas*. Regulamentação para o fornecimento de energia elétrica a consumidores em Baixa Tensão. Novembro de 2007.
8. POUSO DA CAJAIBA – Site feito por um dos moradores com informações sobre a região - www.pousodacajaiba.org
9. MAIA, V., RODRIGUES, F. G., ROLIM, L. G. B., BUCICH, C. C.; *Mapeamento energético para aproveitamento de fontes alternativas de energia em Paraty*. 6º Congresso de Extensão da UFRJ, Outubro de 2009 – Rio de Janeiro, RJ
10. PROCEL/Eletróbrás – *Tabela de Demandas Típicas de aparelhos*.

11. GoogleEarth – *Base de dados geográficos do Google*

12. SmartDraw 2010 – *Programa para desenho de figuras e diagramas*

11 Anexos

TABELA 1

(MÉTODO DE AVALIAÇÃO - SEÇÃO A)
CARGA MÍNIMA E FATORES DE DEMANDA PARA
INSTALAÇÕES DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS DE USO GERAL

DESCRIÇÃO	CARGA MÍNIMA (kVA / m ²)	FATOR DE DEMANDA (%)	
Auditórios, salões para exposições, salas de vídeo e semelhantes	0,015	80	
Bancos, postos de serviços públicos e semelhantes	0,050	80	
Barbearias, salões de beleza e semelhantes	0,020	80	
Clubes e semelhantes	0,020	80	
Escolas e semelhantes	0,030	80 para os primeiros 12 kVA 50 p/ o que exceder de 12 kVA	
Escritórios	0,050	80 para os primeiros 20 kVA 60 p/o que exceder de 20 kVA	
Garagens, áreas de serviço e semelhantes	0,005	Residencial	80 para os primeiros 10 kVA 25 p/ o que exceder de 10 kVA
		Não Residencial	80 para os primeiros 30 kVA 60 p/ o que exceder de 30 até 100 kVA 40 p/ o que exceder de 100 kVA
Hospitais, centros de saúde e semelhantes	0,020	40 para os primeiros 50 kVA 20 p/o que exceder de 50 kVA	
Hotéis, motéis e semelhantes	0,020	50 para os primeiros 20 kVA 40 para os seguintes 80 kVA 30 p/o que exceder de 100 kVA	
Igrejas, salões religiosos e semelhantes	0,015	80	
Lojas e semelhantes	0,020	80	
Unidades Consumidoras Residenciais (Casas, apartamentos etc.)	0,030	0 < P (kVA) ≤ 1 (80) 1 < P (kVA) ≤ 2 (75) 2 < P (kVA) ≤ 3 (65) 3 < P (kVA) ≤ 4 (60) 4 < P (kVA) ≤ 5 (50) 5 < P (kVA) ≤ 6 (45)	6 < P (kVA) ≤ 7 (40) 7 < P (kVA) ≤ 8 (35) 8 < P (kVA) ≤ 9 (30) 9 < P (kVA) ≤ 10 (27) 10 < P (kVA) ⇒ (24)
Restaurantes, bares, lanchonetes e semelhantes	0,020	80	

Anexo 1 - Fator de Demanda para instalações em geral
FONTE: Light/Recon 2007

Procel/Cepel/Eletróbrás

Aparelhos Elétricos	Potência Média Watts	Dias estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (Kwh)
ABRIDOR/AFIADOR	135	10	5 min	0,11
AFIADOR DE FACAS	20	5	30 min	0,05
APARELHO DE SOM 3 EM 1	80	20	3 h	4,8
APARELHO DE SOM PEQUENO	20	30	4 h	2,4
AQUECEDOR DE AMBIENTE	1550	15	8 h	186
AQUECEDOR DE MAMADEIRA	100	30	15 min	0,75
AR CONDICIONADO 7.500 BTU	1000	30	8 h	240
AR CONDICIONADO 10.000 BTU	1350	30	8 h	324
AR CONDICIONADO 12.000 BTU	1450	30	8 h	348
AR CONDICIONADO 15.000 BTU	2000	30	8 h	480
AR CONDICIONADO 18.000 BTU	21000	30	8 h	504
ASPIRADOR DE PÓ	10/b>	30	30 min	0,15
BATEDEIRA	120	8	30 h	0,48
BOILER 50 e 60 L.	1500	30	6 h	270
BOILER 100 L.	2030	30	6 h	365,4
BOILER 200 a 500 L.	3000	30	6 h	540
BOMBA D`ÁGUA 1/4 CV	420	30	30 min.	6,3
BOMBA D`ÁGUA 1/2 CV	790	30	30 min.	11,8
BOMBA D`ÁGUA 3/4 CV	700	30	30 min.	10,5
BOMBA D`ÁGUA 1 CV	11400	30	30 min.	17,1
BOMBA AQUÁRIO GRANDE	10	30	24 h.	7,2

BOMBA AQUÁRIO PEQUENO	5	30	24 h.	3,6
CAFETEIRA ELÉTRICA	600	30	1 h.	18
CHURRASQUEIRA	3800	5	4 h.	76
CHUVEIRO ELÉTRICO	3500	30	40 min **	70
CIRCULADOR AR GRANDE	200	30	8 h.	48
CIRCULADOR AR PEQ/MED	90	30	8 h.	21,6
CAFETEIRA ELÉTRICA	600	30	1 h.	18
COMPUTADOR/ IMPRESSORA/ ESTABILIZADOR	180	30	3 h.	16,2
CORTADOR DE GRAMA GRANDE	1140	2	2 h.	4,5
CORTADOR DE GRAMA PEQUENO	500	2	2 h.	2
ENCERADEIRA	500	2	2 h.	2
ESCOVA DE DENTES ELÉTRICA	50	30	10 min.	0,2
ESPREMEDOR DE FRUTAS	65	20	10 min.	0,22
EXAUSTADOR FOGÃO	170	30	4 h.	20,4
EXAUSTOR PAREDE	110	30	4 h.	13,2
FACA ELÉTRICA	220	5	10 min.	0,18
FERRO ELÉTRICO AUTOMÁTICO	1000	12	1 h.	12
FOGÃO COMUM	60	30	5 min.	0,15
FOGÃO ELÉTRICO 4 CHAPAS	9120	30	4 h.	1094,4
FORNO À RESISTÊNCIA	1500	30	1 h.	45
FORNO À RESISTÊNCIA PEQUENO	800	20	1 h.	16
FORNO MICROONDAS	1200	30	20 min.	12
FREEZER VERT./HORIZ.	200	-	-	80

FRIGOBAR	70	-	-	25
FRITADEIRA ELÉTRICA	1000	15	30 min	7,5
GELADEIRA	200	-	-	45
1 PORTA				
GELADEIRA	300	-	-	45
2 PORTAS				
GRILL	900	10	30 min.	4,5
IOGURTEIRA	26	10	30 min.	0,1
LÂMPADA FLUORESCENTE	11	30	5 h.	1,65
COMPACTA - 11W				
LÂMPADA FLUORESCENTE	15	30	5 min.	2,2
COMPACTA - 15 W				
LÂMPADA FLUORESCENTE	23	30	5 h.	3,5
COMPACTA - 23 W				
LÂMPADA INCANDESCENTE - 40 W	40	30	5 h.	6
LÂMPADA FLUORESCENTE	23	30	5 h.	9
COMPACTA - 60 W				
LÂMPADA INCANDESCENTE - 100 W	23	30	5 h.	15
LAVADORA DE LOUÇAS	1500	30	40 min.	30
LAVADORA DE ROUPAS	500	12	1 h.	6
LIQUIDIFICADOR	300	15	15 min.	1,1
MÁQUINA DE COSTURA	100	10	3 h.	3,9
MÁQUINA DE FURAR	350	1	1 h.	0,35
MICROCOMPUTADOR	120	30	3 h.	10,8
MOEDOR DE CARNES	320	20	20 min.	1,2
MOSQUITEIRO	80	30	8 h.	19,2
MULTIPROCESSADOR	420	20	1 h.	8,4
NEBULIZADOR	40	5	8 h.	1,6
OZONIZADOR	100	30	10 h.	30
PANELA ELÉTRICA	1100	20	2 h.	44
OZONIZADOR	100	30	10 h.	30
PIPOQUEIRA	1100	10	15 min.	2,75

RÁDIO ELÉTRICO GRANDE	45	30	10 h.	13,5
RÁDIO ELÉTRICO PEQUENO	10	30	10 h.	3
RÁDIO RELÓGIO	5	30	24 h.	3,6
SAUNA	5000	5	1 h.	25
SECADOR DE CABELO GRANDE	1400	30	10 min.	7
SECADOR DE CABELOS PEQUENO	600	30	15 h.	4,5
SECADORA DE ROUPA GRANDE	3500	12	1 h.	42
SECADORA DE ROUPA PEQUENA	1000	8	1 h.	8
SECRETÁRIA ELETRÔNICA	20	30	24 h.	14,4
SORVETEIRA	15	5	2 h.	0,1
TORNEIRA ELÉTRICA	3500	30	30 min.	52,5
TORRADEIRA	800	30	10 min.	4
TV EM CORES - 14"	60	30	5 h.	9
TV EM CORES - 18"	70	30	5 h.	10,5
TV EM CORES - 20"	90	30	5 h.	13,5
TV EM CORES - 29"	110	30	5 h.	16,5
TV EM BRANCO E PRETO	40	30	5 h.	6
TV PORTÁTIL	40	30	5 h.	6
VENTILADOR DE TETO	120	30	8 h.	28,8
VENTILADOR PEQUENO	65	30	8 h.	15,6
VÍDEO CASSETE	10	8	2 h.	0,16
VÍDEO GAME	15	15	4 h.	0,9

Anexo 2 – Tabela de Consumo Médio Mensal

FONTE: www.fiec.org.br/acoes/energia/informacoes/consumo_medio.htm, 2010