



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

PROJETO DE USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE EMERGENCIAL

Thiago Santos Brum

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento, Dr.- Eng.

Rio de Janeiro
Abril de 2013

PROJETO DE USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE EMERGENCIAL

Thiago Santos Brum

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO 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.

Examinada por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. - Eng.
(Orientador)

Prof. Luís Guilherme Barbosa Rolim, Dr. - Ing.

Prof. Walter Issamu Suemitsu, Dr. - Ing.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL de 2013

Brum, Thiago Santos

Projeto de Uso de Energia Fotovoltaica como Fonte Emergencial / Thiago Santos Brum. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

VIII, 64 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica / Curso de Engenharia Elétrica, 2013.

Referencia Bibliográficas: p. 63 – 64.

1. Fonte Emergencial 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. No-break. 4. Energia elétrica. 5. Energia solar I. Nascimento, Jorge Luiz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III. Projeto de uso de Energia Fotovoltaica como fonte emergencial.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Projeto de uso de Energia Fotovoltaica como fonte emergencial

Thiago Santos Brum

Abril/2013

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

A matriz de energia elétrica brasileira é predominantemente proveniente das usinas hidroelétricas. Com a crescente preocupação ambiental, as fontes alternativas ganham espaço. Os sistemas fotovoltaicos, nos últimos anos, têm se apresentado como uma fonte viável de geração de energia elétrica em diversos países do mundo. Esses sistemas surgiram como uma alternativa às fontes poluentes de energias presentes, por serem consideradas limpas e inesgotáveis. Apesar de o território brasileiro receber uma enorme quantidade de radiação solar, a tecnologia fotovoltaica, no Brasil, ainda precisa de maiores investimentos, incentivos governamentais e de uma legislação específica para que sua utilização passe a ser feita em larga escala. Seja através de pequenos sistemas autônomos e até em sistemas conectados a rede, como acontece em grande escala na Alemanha. Existem diversas formas de aplicação e outras estão para surgir com novas pesquisas sendo desenvolvidas. Uma possibilidade de aproveitamento da energia solar é sob o formato de *no-break*, no qual o suprimento de energia é fornecido por um banco de baterias acoplado como reserva de energia por algumas horas, de forma a alternar o suprimento para a carga entre as fontes conectadas. Como forma de estudar esta nova aplicação, este trabalho apresenta um estudo sobre o uso da energia solar fotovoltaica para iluminação emergencial do corredor do bloco H da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, com o intuito de amenizar os transtornos ocasionados por eventuais interrupções no fornecimento de energia elétrica de âmbito local ou geral.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, No-break, Energia Elétrica, Energia Solar.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as partial fulfillment of the requirements of the degree of Engineer.

PROJECT OF USING PHOTOVOLTAIC ENERGY AS EMERGENCY SUPPLY SOURCE

Thiago Santos Brum

April/2013

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento

Course: Electrical Engineering

The Brazilian electricity matrix is mainly supplied by hydroelectric power plants. The alternative sources are taking place because of the growing environmental concerns. Recently, photovoltaic systems have been presented world widely as a viable source of electricity generation. These systems have emerged as an alternative to present energy polluting sources, since they are considered clean and inexhaustible. Although the Brazilian territory receives an enormous amount of solar radiation, its photovoltaic technology still needs more funds, government incentives and particular legislation in order to become largely spread. This may happen both through small standalone systems than through systems connected to the network, as the case of the large-scale implementation on Germany. There are several application methods and they may increase due to new researches in the field. One possibility is to use solar energy combined with no-breaks, where the load power supply is switched between the sources and a battery bank reserve, which can hold up the supply to a few hours when in absence of the solar sources. In order to study this new application, this work presents the use of solar photovoltaic for lighting emergency at the hall of Block H of the Polytechnic School of the Federal University of Rio de Janeiro – UFRJ, with the goal to minimize the disruption caused by local or global interruptions in the electricity supply.

Keywords: Photovoltaic Systems, Uninterruptible Power Supply, Electricity, Solar Energy.

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Capacidade anual instalada dos sistemas fotovoltaicos em MW/ano [2]....	2
Figura 1.2 - Radiação solar global diária do Brasil [4]	3
Figura 2.1 - Diagrama de blocos do no-break online.....	9
Figura 2.2 - Diagrama de blocos do no-break off-line	10
Figura 2.3 - Diagrama de blocos do no-break line-interactive	11
Figura 2.4 - Diagrama de blocos do no-break line-boost.....	11
Figura 3.1 - Diagrama de blocos básico de um no-break [10]	13
Figura 3.2 - Retificador não controlado, de onda completa, monofásico [11]	14
Figura 3.3 - Retificador semi-controlado, RCS e um retificador totalmente controlado [11].....	15
Figura 3.4 - Modelo de inversor de tensão comercial 12 / 127 V	17
Figura 3.5 - Representação de uma chave estática	19
Figura 3.6 - Baterias de chumbo-ácido [13].....	20
Figura 3.7 - Representação de um diodo de potência.....	22
Figura 4.1 - Distúrbios da rede elétrica [18].....	24
Figura 5.1 - Sistema fotovoltaico autônomo	28
Figura 5.2 - Curva de potencia I x V	29
Figura 5.3 - Sistema Isolado com armazenamento a alimentar carga CA	32
Figura 6.1 - Família de módulos solares Solarex MSX	33
Figura 6.2 - Família de painéis SCHOTT Solar ASE.....	33
Figura 6.3 - Inversor Statpower Prowatt	34
Figura 6.4 - Inversor ASP Top Class	34
Figura 6.5 - Controlador Morningstar Prostar	35
Figura 6.6 - Controlador família Xantrex série C40/60	35
Figura 6.7 - Bateria Vitalize	36
Figura 6.8 - Arranjo fotovoltaico do sistema 5	39
Figura 6.9 - Arranjo fotovoltaico do sistema 7	40
Figura 6.10 - Arranjo fotovoltaico do sistema 9	42
Figura 6.11 - Especificações das lâmpadas instaladas [24].....	43
Figura 7.1 - Diagrama de blocos do no-break PDV 2200S – MAX alterado.....	46
Figura 8.1 - Diagrama de blocos do arranjo.	49
Figura 8.2 - Esquema das ligações do ensaio.....	50
Figura 8.3 - Vista lateral das ligações do ensaio	50
Figura 8.4 - Esquema elétrico das ligações.....	51
Figura 8.5 - Forma de onda na saída do no-break	53
Figura 8.6 - Forma de onda na saída do no-break ligado	53
Figura 8.7 - Forma de onda na saída do no-break	54
Figura 8.8 - Funcionamento do no-break ligado à rede.....	55
Figura 8.9 - Funcionamento do no-break desligado da rede.....	56
Figura 8.10 - No-break operando com fornecimento da rede.....	56
Figura 8.11 - No-break operando sem fornecimento da rede.....	57

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Característica dos inversores com formas de onda diferentes	18
Tabela 6.1 - Especificações dos módulos solares Solarex MSX56 e MSX70 [20]	33
Tabela 6.2 - Especificações módulos solares ASE, SCHOTT Solar [20]	33
Tabela 6.3 - Especificações do inversor Statpower Prowatt [20]	34
Tabela 6.4 - Especificações do inversor ASP Top Class [20]	34
Tabela 6.5 - Especificações do controlador Morningstar Prostar[20]	35
Tabela 6.6 - Especificações do controlador Xantrex [20]	35
Tabela 6.7 - Especificações das baterias Vitalize [21]	36
Tabela 6.8 - Radiação diária média mensal	37
Tabela 6.9 - Energia fornecida por cada arranjo	42
Tabela 6.10 - Energia fornecida pelo arranjo 9	42
Tabela 7.1 - Especificações do no-break NHS PDV 2200S – MAX [25]	44
Tabela 7.2 - Especificações da carga.....	45
Tabela 7.3 - Especificações do sistema fotovoltaico 5	45
Tabela 8.1 - Especificações do painel BP SOLAREX	48
Tabela 8.2 - Especificações do no-break Ragtech Save 600 [27]	49
Tabela 8.3 - Resumo do ensaio.....	52
Tabela 8.4 - Valores obtidos no ensaio	55

Sumário

1.Introdução.....	1
1.1.Justificativa	6
1.2.Objetivo.....	7
1.3.Organização dos capítulos	8
2.Estado da Arte	9
3.Dispositivos do <i>no-break</i>	12
3.1.Retificadores.....	13
3.2. Inversor.....	16
3.3. Chave estática ou <i>by-pass</i>	19
3.4. Baterias.....	19
3.5. Outros dispositivos:	21
3.5.1. Diodos de Potência.....	21
3.5.2. Transistor de Potência.....	22
3.5.3. Conversor CC-CC.....	23
4.Fundamentos teóricos	24
4.1.Forma de onda na saída.....	26
4.2.Isolação elétrica.....	26
4.3.Paralelismo	27
5.Sistema fotovoltaico.....	28
5.1.Módulo Fotovoltaico.....	29
5.2.Controlador de Carga	30
5.3.Seguidor de ponto de máxima potencia (MPPT).....	31
5.4.Sistemas Autônomos.....	31
6. Capacidade da Estação.....	33
6.1 Sistemas disponíveis	36
6.2. Cálculo da potência máxima fornecida.....	42
7. Detalhamento do Projeto	44
8. Ensaio e Resultados Obtidos	48
8.1. Execução	52
9. Conclusões	58

1. Introdução

Todos os dias, a superfície da Terra recebe uma quantidade de energia solar imensa, essa energia é maior que a quantidade total demandada pela soma de todos os habitantes do planeta, em um período de um ano. Essa energia gerada pelo sol pode ser considerada como inesgotável, já que o sistema solar existirá ainda por bilhões de anos, pode ser aproveitada tanto na forma de calor quanto na forma de luz. Atualmente, esse uso se apresenta como uma das alternativas mais proeminentes para a geração de energia elétrica que seja limpa e forneça meios para um desenvolvimento sustentável. Os processos mais usados para o aproveitamento da energia solar são o aquecimento de água e a geração de energia elétrica fotovoltaica.

Durante a década de 70, diversos países no mundo iniciaram a implantação de sistemas fotovoltaicos para aplicação em zonas remotas. Eram sistemas fotovoltaicos autônomos que foram aplicados para fornecer energia a postos de saúde em zonas rurais, fazer o bombeamento de água, refrigeração, telecomunicação e levar eletricidade a zonas aonde as redes de distribuição convencionais não chegavam. Junto com a energia elétrica, chegava o desenvolvimento social e econômico nas mais longínquas comunidades. Na década de 90, houve um grande crescimento das aplicações dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em alguns países desenvolvidos, estas eram feitas tanto para uso residencial quanto comercial.

Desta forma, a maioria dos sistemas fotovoltaicos que foram instalados no mundo decorreu de programas governamentais, que foram desenvolvidos especificamente por cada país, de maneira a estimular o uso da energia fotovoltaica. Tais programas se baseiam em incentivos fiscais e financeiros para a população, a fim de estimular o crescimento de sistemas fotovoltaicos. Como consequência, ocorre também, o desenvolvimento de indústrias que fabricam os equipamentos que compõem o arranjo.

No início do ano 2000, a Alemanha criou o programa denominado “*Germany Renewable Energy Sources Act*”, conhecido como EEG. [1] Esse plano se baseia na remuneração da eletricidade que fora gerada a partir de fontes renováveis por sistema que paga um preço acima do cobrado pelas empresas distribuidoras, durante um longo período de tempo, vinte anos, com o objetivo de que o investidor tenha fluxo de caixa contínuo para remunerar seu investimento sem nenhum risco. O nível das tarifas é reajustado para baixo anualmente e revisto a cada três ou quatro anos, de forma a

incentivar a competitividade com outras fontes de geração ao longo do tempo decorrido.

Quando foi lançado o programa, os custos dos sistemas fotovoltaicos eram muito mais elevados, e dessa forma, o apoio do programa governamental foi essencial para tornar viável o desenvolvimento da indústria e promover o uso desta fonte. Por outro lado, os custos elevados representaram um peso importante para o programa. Eles são financiados por uma taxa cobrada nas tarifas de todos os consumidores de eletricidade, com exceção de grandes consumidores industriais.

O programa teve um sucesso tão grande, que o país ultrapassou constantemente suas metas de expansão da capacidade de geração solar fotovoltaica instalada. Isso ocorreu devido ao fato das altas tarifas que remuneravam essa fonte de geração e também da redução radical dos custos dos sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, milhares de alemães passaram a se tornar produtores de eletricidade e assim aumentar sua renda. Em 2010, o país respondia por 44% da capacidade mundial instalada de produção.

Atualmente outros países como Japão, Espanha, e EUA, também possuem a energia solar fotovoltaica em sua matriz energética em escala significativa, como pode ser observado no gráfico abaixo.

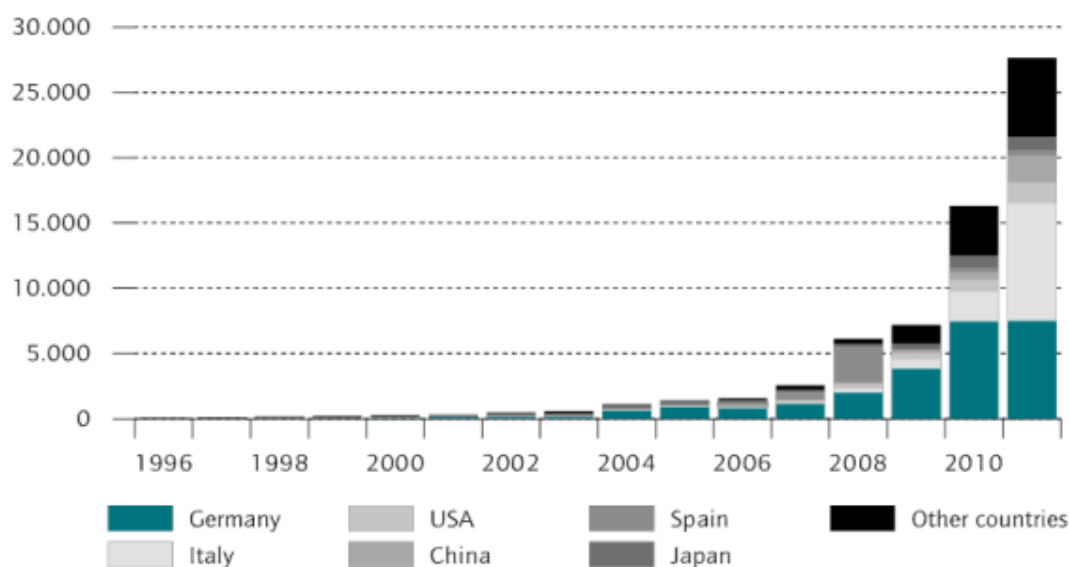


Figura 1.1 - Capacidade anual instalada dos sistemas fotovoltaicos em MW/ano [2]

O Brasil é um país em que grande parte da energia elétrica deriva de usinas hidroelétricas, aproximadamente 93% da energia elétrica requerida pelo sistema

interligado nacional – SIN. [3]. Outras fontes, também, compõem a matriz elétrica, como a nuclear, gás natural, carvão mineral, biomassa da cana-de-açúcar, PCH, energia eólica, solar e outras. Para exploração da energia solar existem sistemas fotovoltaicos isolados ou integrados à rede.

O Brasil apresenta um dos maiores potenciais mundiais para utilização de energia solar. Quer seja pela dimensão continental de seu território ou por estar localizado quase que em totalidade em uma região tropical, com grande incidência de energia solar. Apenas para ilustrar, a média anual de irradiação solar que incide sobre o território brasileiro varia de 4,25 a 6,3 , como pode ser observado na Figura 1.2. [4]

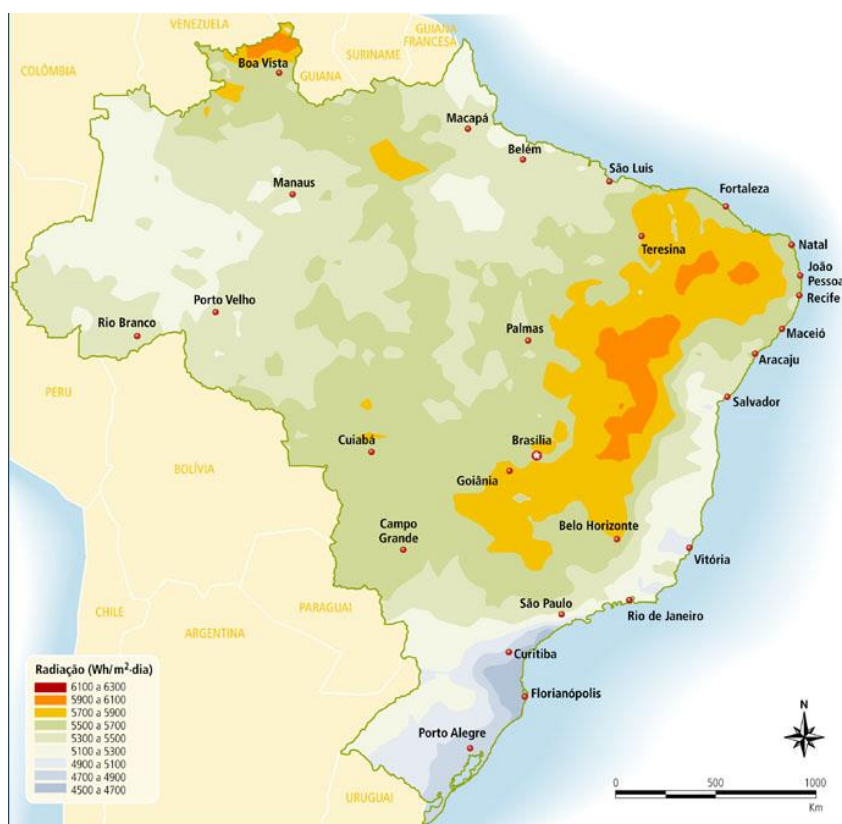


Figura 1.2 - Radiação solar global diária do Brasil [4]

Apesar de possuir imensos recursos solares, o Brasil carece de programas que incentivem a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. Os poucos programas criados não resultaram na consolidação de um mercado para uso em larga escala dessa tecnologia no país, como ocorreu no caso da Alemanha.

O tipo de arranjo predominante no Brasil é o de sistemas isolados, pois estes foram alvo de alguns programas de incentivos, e chegaram a totalizar, em 2004, 30 mil sistemas instalados. O sistema fotovoltaico se destaca por ser uma fonte de energia

limpa e demandar baixa manutenção. Além de ser de fácil instalação, demandar pouco tempo para ser instalada, e ser facilmente incorporada à edificação.

O Brasil apresenta grande potencial para aplicação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, porém, o governo pouco investiu no sentido de promover sua inserção como uma fonte que seja realmente complementar à matriz energética nacional. A não exploração dessa fonte energética pode ser explicada pelos ainda altos custos envolvidos na implantação dos sistemas, baixa eficiência dos materiais empregados, juntamente com o desconhecimento das estimativas de redução dos custos com o passar dos anos e das suas vantagens econômicas, sociais e ambientais.

As dificuldades na exploração também podem ser explicadas pelo desafio que a produção de insumos para a geração fotovoltaica representa para a política industrial brasileira, uma vez que a China produz em torno de 32 vezes mais painéis que consome, sendo assim, ela tem capacidade de produzir muito e barato. Isso torna difícil o crescimento de alguma indústria brasileira que consiga competir com as chinesas. Outro fator está no fato de ser pouco interessante a instalação de geradores fotovoltaicos nos domicílios brasileiros, uma vez que pouco mais de 2% das residências nacionais apresentam consumo de eletricidade em quantidade suficiente para tornar viável a instalação do sistema. Ou seja, por ter baixo consumo o investimento no sistema fotovoltaico não se paga.

A geração de energia elétrica através de fontes renováveis no Brasil está a passar por uma nova fase, mas apesar do país ter dado início aos incentivos, principalmente com o PROINFA (Programa de incentivos às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica), a tecnologia fotovoltaica conectada à rede não tem sido contemplada e incentivada pela legislação que está em vigor. O PROINFA está a contemplar apenas as fontes eólicas, PCH e biomassa.

O estabelecimento de indústrias locais depende de haver preços mais competitivos em relação à geração convencional ou um programa que seja realmente adequado de incentivos, de forma a estimular os investidores. Somente assim, será possível fazer com que ocorra uma maior produção em escala de energia fotovoltaica. Desta maneira, é fundamental que seja elaborado mecanismos de incentivos eficazes, que permita que experiências obtidas com as instalações em outros países que obtiveram sucesso com esta fonte de energia, possam servir como parâmetro para fomentar a iniciativa aqui no Brasil.

O aproveitamento de fontes de energia alternativas e a descentralização da distribuição de energia é a única forma de entregar eletricidade a milhões de brasileiros que ainda não tem acesso a esse bem. Já que as grandes distâncias e a pequena demanda local, quando comparada a grandes cidades, acabam por tornar o custo da transmissão e distribuição proibitivas.

Alguns equipamentos solares fotovoltaicos foram utilizados para aplicações produtivas bastante úteis e atualmente, já alcançaram maturidade no desenvolvimento e podem ser aplicados sem limitações.

O mais conhecido é o sistema de utilização domiciliar. Os principais componentes necessários para implantação são: um conjunto de painéis fotovoltaicos, um controlador de carga, um banco de baterias e um inversor. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) definiu, na resolução 083/2004, diversos parâmetros básicos do Sistema Integrado de Gestão Fiscal (SIGFIs) e uma série de regulamentos para as concessionárias na aplicação de sistemas descentralizados.

Outras vantajosas aplicações para energia solar são os sistemas de bombeamento de água utilizando essa energia. Para sistemas que requerem bombeamento constante ou durante o dia, esses sistemas têm-se mostrado bastante eficientes. Aplicações das mais variadas, como por exemplo, abastecimento de água potável para comunidades isoladas, irrigação na agricultura e agropecuária, hidroponia, pulverização e abastecimento de bebedouros para animais, também para aeração de tanques de peixes. O bombeamento utilizando energia solar demonstra ser competitivo com outros tipos de bombeamento de água somente para sistemas de pequeno porte. A potência das bombas está na faixa de 100 até 3 kW.

Outra área que faz uso de energia solar e pode ajudar a melhorar a situação social e econômica da população é na aplicação de cercas elétricas. Pois, a criação de bovinos, ovinos e caprinos é desenvolvida em áreas cercadas. E a grande vantagem das cercas elétricas, comparadas com as de arame farpado, está no custo. Geralmente, a unidade eletrificada chega a custar até cinco vezes menos que a cerca convencional. A explicação para esse fato está no menor número de fios necessários para uma mesma altura de cerca.

Além das aplicações citadas acima, existem também outras diversas como: carregamento de baterias (barcos e veículos em geral), estações de repetidoras e rádios, iluminação pública, decorativa e residencial, informática, sistemas de proteção

catódica, monitoramento de sistemas: qualidade de água, meio-ambiente, gasoduto, etc. [5]

Neste contexto, de novas aplicações para a energia solar fotovoltaica surgiu a ideia de aproveitar o recurso solar que é abundante no território brasileiro, e utilizá-lo em uma fonte de suprimento ininterrupto, conhecido como sistema *no-break*. Para tanto, foi escolhido como estudo de caso o suprimento de energia da iluminação do corredor do Bloco H do Departamento de Engenharia Elétrica, da Escola Politécnica da UFRJ, localizada na Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, com a finalidade de promover mais segurança e confiabilidade, frente às eventuais falta de energia de âmbito local e geral.

1.1. Justificativa

O sistema elétrico apresenta a ocorrência de diversas falhas anualmente. Segundo relatório do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) apresentado ao MME (Ministério de Minas e Energia), o número de casos identificados nos últimos cinco anos varia de 2258 a 2670 casos por ano. [6] Devido a esse elevado número de falhas que ocorrem, o sistema elétrico necessita de sistemas de emergências que possam atuar de maneira a suprir energia demandada na ocorrência desses problemas e proteger equipamentos de eventuais danos.

Quando se pensa no impacto da falta de energia em hospitais e escolas o uso de sistemas de emergências se torna ainda mais necessário, pelo fato dessas cargas serem extremamente críticas. A utilização de energia solar fotovoltaica como fonte de energia de sistemas de *backup* faz bastante sentido por ser abundante e limpa. Geradores a diesel ou gasolina, além de ser extremamente poluentes, ainda trazem o incomodo dos altos ruídos produzidos, sendo assim, não apropriados para uso residencial. Geradores eólicos também geram ruídos e precisam de grandes áreas para sua instalação, o que os tornam pouco indicados para tal aplicação.

Nesse cenário, o uso da energia solar fotovoltaica surge como ideal por ser: não poluente, compacta e ter baixo custo de manutenção. Assim, a ampliação da confiabilidade, o fornecimento de energia livre de distúrbios e conseqüentemente a maior segurança no fornecimento contínuo de energia, através do uso de energia solar fotovoltaica de modo a compensar interrupções no fornecimento de energia pela rede

convencional, e utilizá-la para iluminação interna, se tornam a justificativa desse projeto.

1.2. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho final de graduação é a montagem de um sistema de alimentação ininterrupta de energia elétrica, que atenda a demanda de energia para iluminação interna do corredor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFRJ. Este dispositivo será ligado a um sistema fotovoltaico, de forma a suprir a demanda por energia em caso de uma falha na rede elétrica utilizando energia limpa.

Como objetivos específicos têm-se:

- Adaptar um dispositivo já existente para uso de uma fonte renovável de energia.
- Propor uma alternativa ao aproveitamento da energia solar fotovoltaica, para uso em ambientes internos.
- Aumentar o nível de segurança e confiabilidade do sistema elétrico através do uso do dispositivo de *backup*.
- Revisão conceitos básicos de eletrônica de potência e dos componentes que integram o *no-break*, para a nova aplicação.

1.3. Organização dos capítulos

O capítulo 2 é uma descrição do estado da arte dos *no-breaks*, mostra a evolução dos modelos de *no-breaks* comerciais e descreve as características principais de cada um.

O capítulo 3 detalha cada componente que compõe um *no-break* comercial. Traz também suas características e aplicações.

O capítulo 4 traz os fundamentos teóricos das características de operação dos *no-breaks* comerciais.

O capítulo 5 descreve os componentes de um sistema fotovoltaico genérico e descreve o funcionamento de um sistema fotovoltaico autônomo.

O capítulo 6 traz o detalhamento das estações fotovoltaicas já instaladas no LAFAE e apresenta o cálculo da carga instalada.

O capítulo 7 detalha o projeto, descreve as modificações feitas no *no-break*, e a autonomia do sistema.

O capítulo 8 apresenta os resultados do ensaio realizado e considerações finais.

O capítulo 9 apresenta as conclusões obtidas com o trabalho.

2. Estado da Arte

Atualmente existem diversos tipos de *no-breaks*. Os que são mais fáceis de serem encontrados são os *off-line* e os *line-interactive*. Já os modelos *online* são mais caros, e se destinam na grande maioria ao uso industrial, de *data-centers* e até mesmo em hospitais. Data-center é um ambiente que abriga servidores e demais equipamentos de sistemas de armazenamento de dados.

Existem também os modelos chamados de *line-boost* que são uma alternativa inferior aos *line-interactive*. [7] A seguir será feita a descrição de cada modelo de forma a diferenciá-los e trazer suas características.

Os *no-breaks online* possuem baixa eficiência energética, pelo fato de realizarem dupla conversão de tensão. Trabalham com eficiência na faixa de 70 a 80%. Essa energia é desperdiçada na forma de calor gerado durante a conversão. O resultado disso é o seu tamanho grande, pois precisam utilizar exaustores para eliminar o calor gerado. Desta forma, além de possuir um preço mais elevado, deve-se somar a ele o gasto superior com energia elétrica pelo desperdício com o calor gerado, o que resulta em um dispositivo com custo real alto. [8]

Apesar disso, os *no-breaks online* são muito usados devido ao fato de serem mais seguros. Isso se dá pela forma que as baterias são carregadas de forma contínua. A energia é retirada das baterias e fornecida aos equipamentos pelo inversor que fica sempre ligado. Desta forma, os equipamentos estão constantemente isolados da rede, sendo as baterias que absorvem as variações. Na Figura 2.1 pode ser visto o diagrama de blocos de um *no-break online*, composto por retificador, inversor, baterias e *by-pass*.

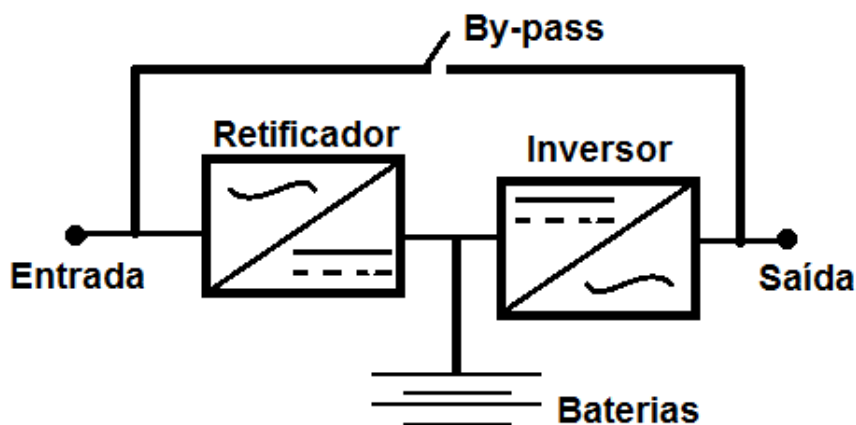


Figura 2.1 – Diagrama de blocos do *no-break online*

Uma alternativa encontrada pelos fabricantes ao problema da baixa eficiência energética dos *no-breaks online* foi utilizar um modelo híbrido, em que a corrente da rede é monitorada por um circuito que chaveia rapidamente para operar de modo *online* na presença de grandes oscilações ou níveis de ruídos superiores ao estipulado. Esses modelos apresentam bom nível de segurança e maior eficiência.

Os *no-breaks off-line* são a topologia mais antiga e de menor custo que os *online*. Ele atua como um filtro de linha, de modo a filtrar a corrente e entregá-la diretamente aos equipamentos. Esse tipo tem menor custo e é recomendado para locais em que não ocorrem constantes quedas de energia, oferecem pouca proteção ao equipamento ligado a ele. Este *no-break* possui tempo de detecção de falta elevado, na faixa de 2 a 8 milissegundos, o que pode levar a afetar componentes dos equipamentos elétricos conectados a ele. Esses sistemas oferecem função de filtragem de ruído e supressão de sobretensões. [9] A Figura 2.2 ilustra o diagrama de blocos de um *no-break off-line*, sua topologia apresenta um filtro na saída do inversor.

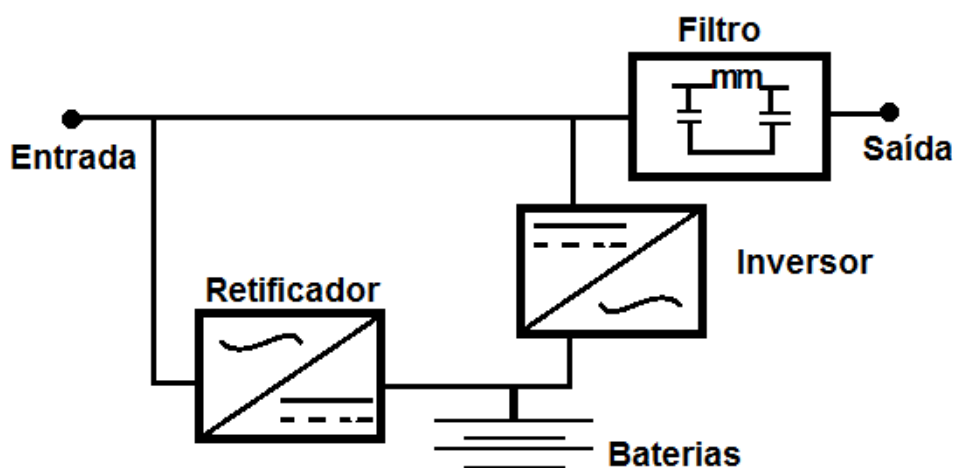


Figura 2.2 – Diagrama de blocos do *no-break off-line*

Uma evolução aos modelos *off-line* é o *line-interactive*. Essa topologia apresenta o inversor a atuar somente em caso de falha na rede elétrica. Um circuito de monitoramento é responsável por monitorar a tensão e utilizar a energia do inversor, que fica ligado de forma contínua, quando ocorre queda na tensão. Por exemplo, caso ocorra uma queda de 10% na tensão, o circuito irá repor essa diferença utilizando a energia do inversor. Pelo inversor ficar ligado continuamente, esse tipo de *no-break* desperdiça mais energia que os *off-line*.

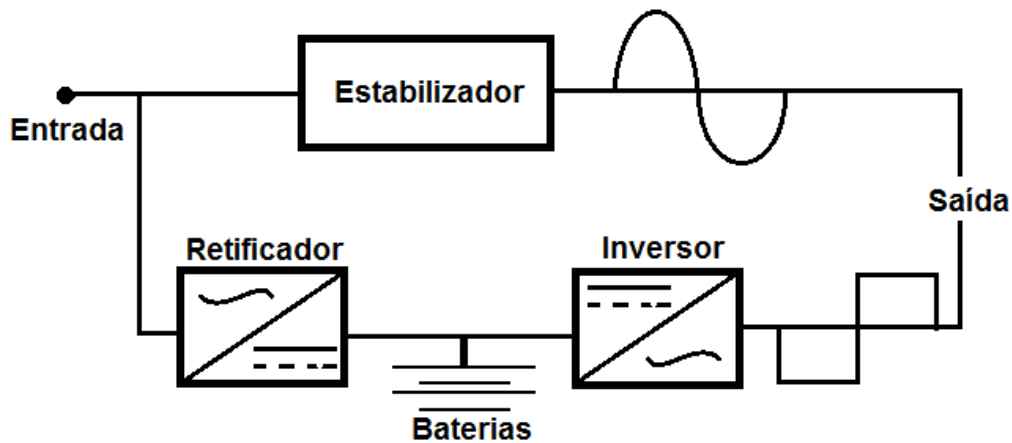


Figura 2.3 – Diagrama de blocos do *no-break line-interactive*

Na Figura 2.3 pode ser visto um diagrama de blocos do *no-break line-interactive*, ele apresenta uma onda senoidal modificada na saída como resultado da atuação do inversor que fornece uma onda quadrada quando ligado.

Uma quarta categoria de no-break são os chamados *line-boost*, estes são uma versão popular do *line-interactive*. Essa topologia utiliza um transformador auxiliar a fim de elevar a tensão em um valor fixo, quando for preciso. A representação desse modelo pode ser visto no diagrama de blocos da Figura 2.4. Esse sistema atua de forma a evitar que o inversor precise chavear durante quedas de tensão de até 10% (*brownout*), assim, preservam a carga para situações realmente necessárias. O inversor só entra em ação caso a tensão caia abaixo de uma faixa estabelecida. Essa tecnologia é mais barata que o *line-interactive* e por isso mais utilizada pelos fabricantes atuais.

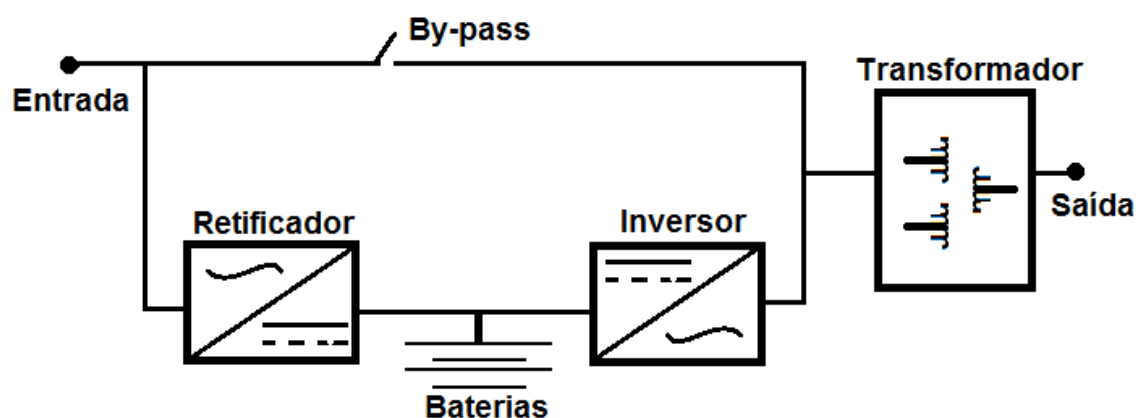


Figura 2.4 – Diagrama de blocos do *no-break line-boost*

O uso de microprocessadores, juntamente com a melhoria nos projetos fez com que os modelos *line-boost* e *off-line* viessem a se tornar muito mais confiáveis que os modelos originais. Além disso, o tempo de acionamento do inversor também ficou mais rápido, ficando inferior a um milissegundo para alguns modelos. O tempo de queda de energia foi reduzido para bem perto de zero com a adição de capacitores e outros circuitos. Outro ponto importante em que houve melhoria foi na eficiência. Existem modelos atuais que operam na faixa de 95% de eficiência.

Os *no-breaks* comerciais funcionam ligados à rede e fornecem energia em caso de interrupção. Porém estes não podem ser ligados a um conjunto de painéis fotovoltaicos, daí decorre a necessidade de adaptação do mesmo para esta finalidade.

3. Dispositivos do *no-break*

Um *no-break* é um equipamento que em caso de queda ou perda parcial no fornecimento de energia, garante o funcionamento de equipamentos ligados a ele, de forma a alimentar esses equipamentos. Ele é constituído de três dispositivos principais que operam de forma independente e formam o sistema ininterrupto de potência. Esses dispositivos são: retificador (conversor CA-CC), inversor (conversor CC-CA) e chave estática.

Sua operação se dá através de alimentação de duas fontes, a rede principal, na entrada do retificador, e a rede reserva na entrada do inversor. Uma bateria ou banco de baterias, ligadas ao inversor, são capazes de suprir de forma imediata a demanda por energia no caso de interrupção no fornecimento pela rede elétrica, por um tempo específico. A dimensão do banco de baterias é o que determina o tempo máximo de duração do fornecimento de energia pelo *no-break*, em caso de falta de energia na rede. Quanto maior o banco de baterias (capacidade em Ampères/horas) maior esse tempo.

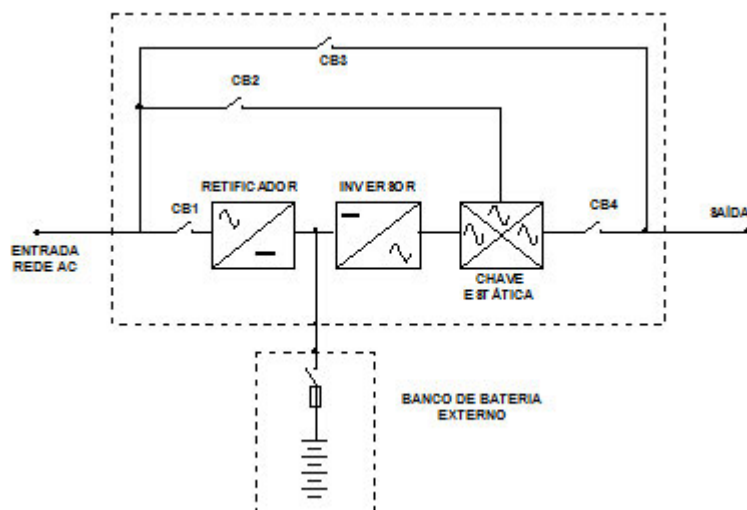


Figura 3.1 - Diagrama de blocos básico de um *no-break* [10]

Um diagrama em blocos de um *no-break* genérico está representado na Figura 3.1. Ligado à entrada da tensão alternada está um retificador, este dispositivo é usado para retificar a tensão de rede fornecendo tensão contínua ao inversor e para carregar a bateria ou banco de baterias. A tensão contínua que sai do retificador ou das baterias é convertida pelo inversor em tensão alternada para alimentar, de forma contínua, as cargas em qualquer condição. A chave estática tem a função de conectar a carga à saída do inversor ou a rede auxiliar. Paralelamente a esses dispositivos está

o *by-pass* estático, CB2 e CB3, que é uma chave estática que atua sem tempo de interrupção e comuta para a rede alternativa em caso de ocorrer alguma falha do inversor ou mesmo uma sobrecarga do sistema. Em série existem dois *by-pass* manuais, CB1 e CB4, (chave manual), esses dispositivos são utilizados para efetuar a transferência para a rede alternativa, em casos de manutenção preventiva, sem que haja interrupção no suprimento de energia às cargas críticas.

A seguir será mais bem detalhado cada um dos dispositivos que compõem um *no-break* comercial.

3.1. Retificadores

Os retificadores, também chamados de conversores CA-CC, são elementos responsáveis por converter tensão e corrente alternadas em contínua.

A energia elétrica é fornecida pela rede em corrente alternada, porém nem todos os equipamentos elétricos demandam uma tensão alternada. Para cargas que utilizam tensão contínua, os retificadores atuam de maneira a efetuar essa conversão CA-CC.

A classificação dos retificadores é dada pela sua capacidade de ajustar a tensão de saída, podendo ser controlados ou não controlados; pelo número de fases da tensão alternada na sua saída (monofásico, trifásico, etc.) e quanto à forma de conexão dos elementos retificadores, meia ponte ou ponte completa.

A diferença básica entre os retificadores controlados e os não controlados está na sua construção, uma vez que, os retificadores controlados utilizam tiristores ou transistores como elementos de retificação, já os não controlados utilizam diodos para esta função.

Topologias em ponte completa são aplicadas devido ao fato de absorverem da rede uma corrente de valor médio nulo, desta forma, não afeta elementos como indutores e transformadores que seriam levados a saturação caso fossem expostos a um nível contínuo de tensão e corrente. Esse comportamento não é verificado nos retificadores de meia ponte, por esse motivo, é evitado o uso dos mesmos.

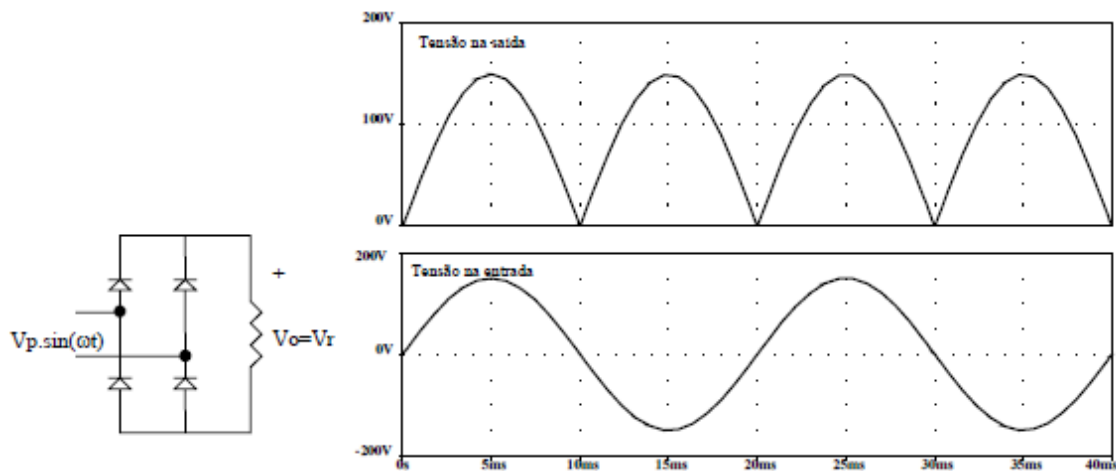


Figura 3.2 - Retificador não controlado, de onda completa, monofásico [11]

Retificadores não controláveis se caracterizam por não possuírem interruptores controláveis, o que torna impossível o controle de tensão de saída. Existem três tipos de cargas para um retificador não controlado. São elas, resistiva, capacitiva e indutiva.

O tipo de carga afeta o formato da onda da tensão e da corrente na saída do retificador. Para cargas resistivas, a forma de onda tanto na saída do retificador quanto na carga são idênticas, isso acontece para ondas de tensão e corrente.

A carga capacitiva causa uma elevação no valor médio da tensão de saída em relação à carga resistiva. Seu funcionamento é simples, o capacitor é carregado com a tensão de pico da entrada, não considerado a queda nos diodos, quando a tensão no capacitor se torna maior que a tensão de entrada, os diodos ficam bloqueados e a corrente de saída passa a ser fornecida somente pelo capacitor. Assim, o capacitor começa a se descarregar até sua tensão se tornar menor que a tensão de entrada, reiniciando-se o ciclo.

Para a carga indutiva, a carga se comporta de forma semelhante a uma fonte de corrente. Como resultado, para valores pequenos de indutância o formato da corrente fica dependente do tipo de componente conectado posteriormente à carga. Caso este componente seja um capacitor, a onda tenderá à forma de pulso, porém apresentando uma taxa de variação reduzida. [11]

Retificadores trifásicos são usados em situações que envolvem potências elevadas, neles a corrente é distribuída em três fases de forma a evitar desequilíbrios na rede.

Os retificadores controlados possuem vasta aplicação na indústria, sendo utilizada para o acionamento de motores de corrente contínua, fornos a arco CC, aparelhos de solda e corte etc.

Para os retificadores controlados, existem duas topologias: pontes retificadoras semi-controladas e totalmente controladas. As pontes semi-controladas utilizam dois tiristores e são utilizadas quando o fluxo de energia se dá em apenas um sentido, fonte para a carga. Em circuitos desse tipo, a tensão de saída assume apenas valores positivos. Em casos que a tensão de saída tende a inverter, existe um caminho interno que desconecta a carga da rede e mantém a tensão com valor zero.

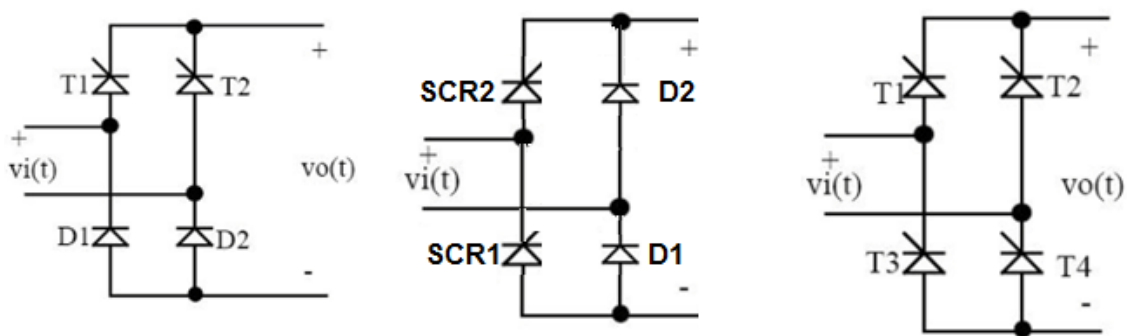


Figura 3.3 - Retificador semi-controlado, RCS e um retificador totalmente controlado [11]

Pontes totalmente controladas são usadas no acionamento de motor de corrente contínua, em que não pode ocorrer inversão da polaridade da corrente. A tensão sobre a carga só pode ser negativa se houver um elemento indutivo que garanta a circulação da corrente pelos tiristores, ainda que reversamente polarizados. A energia acumulada na indutância de armadura é retornada a fonte a cada ciclo.

Para melhoria do fator de potência de retificadores não-controlados existem algumas possibilidades de circuitos. As soluções mais empregadas são: passivas ou ativas.

As soluções passivas para correção do fator de potência pode ser feita através da colocação de um filtro capacitivo na saída do retificador (sem capacitor), o que melhora o fator de potência através da absorção da corrente quadrada da rede. [11].

As soluções ativas são os pré-reguladores de fator de potência, que empregam interruptores controlados associados a elementos passivos. Exemplos são: o conversor Suga e o conversor elevador de tensão (*boost*) como pré-regulador de fator de potência (PFP).

Nos no-breaks o retificador tem a função de manter as baterias carregadas e gerar a tensão contínua que alimenta o inversor. As baterias são carregadas de forma correta caso a tensão que sai do retificador seja um pouco maior que a tensão nominal da bateria. Caso a tensão seja muito maior pode produzir corrente elevadas, ocasionando eletrólise, e no caso de tensões menores que a da bateria a recarga da mesma não ocorre de forma adequada.

3.2. Inversor

Os inversores são circuitos estáticos que atuam de forma a converter a corrente contínua em alternada com uma frequência de saída especificada. Eles são classificados em dois tipos: inversores de tensão e inversores de corrente.

Inversores de tensão podem produzir tensão controlada com variação de frequência, gerada a partir de uma fonte de tensão contínua. Eles devem dissipar o mínimo de potência possível, de modo a evitar perdas. Deve gerar uma tensão com poucos harmônicos e em sincronismo com a rede.



Figura 3.4 - Modelo de inversor de tensão comercial 12 / 127 V

Nos inversores são usados transistores de potência, retificadores controlados de silício (RCS's) e IGBT's como chaves semicondutoras. Esse mecanismo de chaveamento é responsável por alterar o fluxo de corrente entre as direções positivas e negativas.

Inversores de corrente são inversores a tiristores empregados como filtros ativos, controlados através do monitoramento da corrente da rede. Produzem uma corrente controlada com variação de frequência, que é gerada a partir de uma fonte de

corrente contínua. A sua estrutura é semelhante à de um retificador controlado, apenas a alteração é sobre o controle do ângulo de disparo.

Algumas das aplicações dos inversores além das fontes de alimentação ininterruptas são: acionamentos de corrente alternada de velocidade variável, fonte de tensão e frequência controlada, compensação de reativos e fornos de indução.

Outra maneira de classificar os inversores é quanto ao tipo de comutação. Existem os inversores comutados pela rede, em que, o processo de inversão é controlado pela tensão da rede elétrica. E o segundo tipo é o de comutação forçada ou auto comutado, neste é o inversor que realiza o controle da comutação.

Os diferentes métodos de conversão dos inversores são responsáveis por gerar diferentes tipos de formas de onda, as mais comuns são: quadrada, quadrada modificada (retangular), senoidal e PWM. A forma de onda de saída é um indicador da qualidade e custo do inversor. Harmônicos são gerados no processo de conversão, para isso são usados filtros para suavizá-los.

Tabela 3.1- Característica dos inversores com formas de onda diferentes

Tipos de Inversores	Características
Onda Quadrada	. Fornecem uma saída CA com harmônicos elevados e pequena regulação de tensão. A onda quadrada é obtida simplesmente alterando-se a tensão e corrente. . Comparando-se a operação em tensão senoidal da rede elétrica, um motor de indução, que esteja operando com estes tipos de inversores, tem somente cerca de 60% do seu torque normal e aquecimento indesejáveis. . São tipicamente mais baratos porém, não devem ser usados para cargas indutivas, como motores. Entretanto, são muito adequados para cargas resistivas, tais como lâmpadas incandescentes.
Onda Quadrada modificada ou retangular	. São um refinamento dos inversores de onda quadrada. Chaveamentos adicionais são usados para melhor aproximação de uma onda senoidal e, por isso, estes possuem menor distorção harmônica que os de onda quadrada. . São adequados para uma maior variedade de cargas, incluindo lâmpadas, equipamentos eletrônicos e a maioria dos motores, embora não consigam operar um motor tão eficientemente quanto um inversor de onda senoidal. . São mais adequados para operarem motores do que os inversores de onda quadrada, já que o aquecimento do motor é menor. O torque de partida e operação também são melhores visto que a tensão e corrente de pico são maiores. Entretanto, a tensão de pico destes inversores não deve ser excessiva.
Onda Senoidal	. São geralmente mais caros; entretanto, se adequadamente projetados e dimensionados, são os que produzem uma tensão de saída e desempenho mais adequados. . Podem operar qualquer aparelho CA ou motor, dentro da sua classificação de potência. . Utilizam normalmente a técnica PWM com uma filtragem posterior. . Usado, em geral, para inversores trifásicos.
PWM	. Possuem distorção harmônica muito baixa, principalmente em configurações trifásicas, apesar do aspecto visual da forma de onda. . Permitem a construção de inversores senoidais com filtragem não muito complexa. . Adequado para quase todas as cargas CA, exceto equipamentos muito sensíveis.

Fonte: [12]

Nos *no-breaks*, os elementos inversores são responsáveis por determinar a qualidade da energia que é fornecida à carga. Ele é responsável por fornecer uma tensão alternada que tenha frequência, forma e amplitude invariantes, mesmo na ocorrência de alterações inesperadas na alimentação contínua da carga.

3.3. Chave estática ou *by-pass*

Chaves estáticas ou *by-pass* são elementos eletrônicos que fazem parte de um *no-break*. Elas têm a função de permitir a comutação da tensão de saída do inversor para a rede e também de permitir a comutação no sentido inverso, caso ocorra algum tipo de falha. As chaves também atuam caso precise ser efetuada manutenção, de forma a isolar o inversor.

As chaves são elaboradas usando tiristores e podem ser empregados em grandes potências. É importante, neste caso, que no momento da comutação a tensão da rede e do *no-break* tenham a mesma amplitude e fase. Isto evitará a existência de uma corrente a circular de uma fonte para outra.

Como resultado da tecnologia dos semicondutores, existem atualmente chaves baseadas em retificadores controlados de silício (SCR).

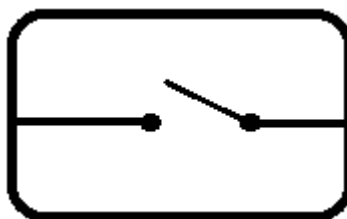


Figura 3.5 – Representação de uma chave estática

3.4. Baterias

A bateria é um importante componente do *no-break*, pois é através dela que a energia é armazenada para uso posterior. Elas são usadas também em sistemas fotovoltaicos, atuando de forma a fornecer energia ao sistema em casos que os painéis não conseguem produzir energia suficiente para atender o sistema, isto ocorre em dias nublados, chuvosos, ou mesmo durante a noite.

As baterias podem ser classificadas quanto ao tipo de célula que a compõe, células primárias ou secundárias. As células primárias compõem as baterias não recarregáveis, estas podem ser usadas apenas uma vez. A vida útil desse tipo de bateria acaba quando as células primárias se descarregam completamente. Elas são usadas como fontes de baixa potência, típicas de aparelhos domésticos.

As células secundárias compõem as baterias recarregáveis que são as baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos e *no-breaks*. Quando ligadas a uma fonte de tensão elas podem ser carregadas diversas vezes.

Existem ainda diversos tipos de tecnologias de construção de baterias, que empregam uma diversidade de materiais em sua composição. As mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos são as de níquel-cádmio e a de chumbo-ácido, que podem ser seladas ou abertas. As baterias de níquel-cádmio apesar de apresentar maior eficiência, possuem custo maior.

As baterias de chumbo-ácido se aplicam na quase totalidade dos sistemas fotovoltaicos. Dentro dessa categoria, as de chumbo-antimônio, chumbo-cálcio e chumbo-selênio são as mais utilizadas.



Figura 3.6 - Baterias de chumbo-ácido [13]

A unidade básica de construção de uma bateria é uma célula de dois Volts. A tensão real dentro da bateria depende do seu estado de carga, isto é, se ela está a carregar, descarregar ou em circuito aberto. A tensão geralmente varia entre 1,75 V e 2,5 V, sendo 2 V a tensão média, que comumente é chamada de tensão nominal da célula. Tensões maiores são obtidas através da ligação de células em série. No caso de ligação em paralelo ocorrerá o aumento da corrente fornecida, mantendo assim, a tensão constante. É importante que somente baterias de tensão e capacidade iguais sejam ligadas em paralelo.

A capacidade de armazenagem de energia da bateria é medida em Ah à tensão nominal, ela depende da velocidade de descarga. A capacidade nominal que a caracteriza equivale a um tempo de descarga de 20 horas (C20). Quanto maior for o tempo de descarga da bateria, maior será a quantidade de energia que ela poderá

fornecer. Em sistemas fotovoltaicos, o tempo típico de descarga das baterias é de 100 horas.

Outra característica importante das baterias é seu ciclo de vida, que é o número de vezes em que a bateria pode ser descarregada e recarregada em profundidade, antes que sua vida útil seja esgotada.

Dentro da família de baterias de chumbo-ácido, as conhecidas como estacionárias de baixo conteúdo de antimônio são excelentes para utilização em sistemas fotovoltaicos por possuir vida útil de aproximadamente 2500 ciclos, desde que a profundidade de descarga seja de até 20%. Isto é, que a carga da bateria esteja em 80% da sua carga total. Para casos de profundidade de descarga de 50% sua vida útil cai para 1200 ciclos. [14] Desta maneira, a característica de profundidade de descarga da bateria deve ser escolhida de acordo com a sua aplicação. Para sistemas de *no-break*, em que as interrupções no fornecimento são curtas, recomenda-se o uso de baterias com maior profundidade de descarga. Uma vez que, a bateria sofrerá descarga profunda poucas vezes.

Baterias estacionárias possuem baixa auto-descarga, 3% mensal contra 20% de uma bateria chumbo-ácido tradicional, além de manutenção reduzida. Outras baterias com características semelhantes são as de chumbo-cálcio e chumbo-selênio, que possuem também baixa resistência interna e pouca gaseificação.

3.5. Outros dispositivos:

Outros dispositivos que também compõem os *no-breaks* são diodos e transistores de potência e conversores CC-CC. A seguir será feita uma breve descrição de suas finalidades, características e aplicações.

3.5.1. Diodos de Potência

Diodos de potência são usados principalmente em retificadores não-controlados, de forma a efetuar a conversão de corrente alternada para contínua e como diodo de retorno. O seu objetivo é fornecer uma passagem de fluxo de corrente em cargas indutivas, com uma capacidade elevada de potência. Assim, como os diodos de junção PN, permitem a passagem de corrente em um único sentido. A característica que diferencia os diodos de potência dos diodos de junção PN, é que no

primeiro existe uma região n intermediária, com dopagem baixa. Essa região permite ao componente suportar tensões maiores que o segundo. [15]

Para a fabricação dos diodos de potência utiliza-se silício. O silício é utilizado devido a sua característica que torna possível operar com maiores correntes e temperaturas de junção mais altas. Outro fator relevante é que o silício apresenta uma resistência maior à tensão reversa.

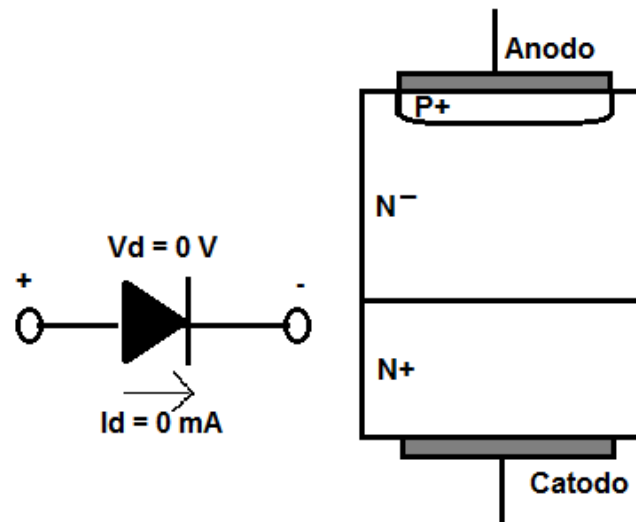


Figura 3.7 - Representação de um diodo de potência

3.5.2. Transistor de Potência

Transistores de potência são dispositivos que possuem valores nominais de tensão e corrente elevadas. Eles são dispositivos semicondutores PNP ou NPN que possuem três camadas com duas junções. Suas principais aplicações são para amplificação de um sinal e no chaveamento. Também são usados como chaves em eletrônica de potência, já que esta tem como objetivo principal o controle eficaz da potência. Sendo usados, principalmente, como *choppers* e em aplicações para inversores.

Os transistores são equipados com três terminais (base, coletor e emissor), sendo dois a atuar como contatos de uma chave e o último a ser usado para ligar/desligar a chave. Desta forma, o circuito de controle pode ser independente do circuito que está a ser controlado.

O tipo de transistor mais utilizado é os IGBT (*insulated-gate bipolar transistor*). O IGBT veio como uma evolução do TJB (transistor de junção bipolar), pois este apresentava diversas limitações. Ele pode ser usado para aplicações em altas tensões, apresentam pequenas perdas e suportam velocidades de chaveamento relativamente altas.

3.5.3. Conversor CC-CC

Conversores CC-CC são formados por semicondutores de potência, a operar como interruptores, e também por elementos passivos (indutores e capacitores). A sua função é reduzir ou elevar uma tensão contínua, a partir de uma fonte contínua constante, isto é a partir da saída de um retificador ou mesmo uma bateria.

Os conversores que são utilizados em médias e altas potências são chamados de *chopper*. Para conversores de elevada potência, a sua saída não é isolada da entrada. [16]

O valor médio da tensão de saída do conversor CC-CC varia à medida que se altera o tempo em que a saída fica ligada à entrada. Isto pode ser obtido através da combinação dos elementos passivos citados anteriormente e um dispositivo de estado sólido, que possa operar em modo de chaveamento em alta frequência.

A frequência de comutação tende a ser a mais alta possível, de modo a diminuir o tamanho dos elementos magnéticos e capacitivos do conversor. Algumas aplicações para conversores em alta frequência são fontes de computadores e fontes CC-CC para equipamentos eletrônicos.

Uma maneira de gerar sinais de comando com frequência fixa para chavear os conversores é denominada PWM (modulação por largura de pulso - *pulse width modulation*). Existem basicamente três tipos de conversores CC-CC: conversor *buck* ou abaixador de tensão, conversor *boost* ou elevador de tensão e conversor *buck-boost* ou abaixador-elevador de tensão.

O conversor *buck* é um abaixador de tensão, que tem como característica a entrada em tensão e saída em corrente. Os conversores *buck* podem atuar em três modos de operação, condução contínua, descontinua e crítica. Suas principais características são: que eles podem apenas diminuir a tensão da saída, a corrente de saída tem boa qualidade e a corrente na entrada é descontínua.

O conversor *boost* é um conversor elevador de tensão, se caracteriza por ter entrada em corrente e saída em tensão. Suas principais características são: a corrente de saída é descontínua, ele pode aumentar a tensão na saída e a corrente na entrada tem boa qualidade.

O terceiro tipo é o conversor *buck-boost* que pode operar como abaixador ou como elevador de tensão, este conversor tem entrada e saída em tensão. Sua principal característica é ter a corrente de saída e de entrada descontínua.

O uso de conversores CC-CC em *no-breaks* se faz com o intuito de superar o inconveniente causado pela utilização de pontes de diodos em retificadores. Uma vez que, essas pontes não permitem ajustar o valor da tensão de saída. O uso de um conversor CC-CC, operando em alta frequência permite ajustar a tensão de saída. [17]

4. Fundamentos teóricos

Muitos problemas que ocorrem com eletroeletrônicos anualmente são causados por picos de tensão, variações bruscas de frequência, ruídos externos, interrupções no fornecimento de energia elétrica da rede e etc. Uma pequena centelha elétrica pode causar pane na memória do computador, e resultar em mau funcionamento. Para prevenir esse tipo de problema grandes usuários de computador começaram a utilizar UPS entre a rede e o computador.



Figura 4.1 - Distúrbios da rede elétrica [18]

Descrição dos distúrbios da Figura 4.1:

- Sobre tensão

Nesse tipo de distúrbio ocorre o aumento da tensão eficaz da rede elétrica, é um dos tipos de anomalias mais comuns. Tem como causa problemas de fornecimento ou rede mal dimensionada, retorno de energia após ter havido uma interrupção no fornecimento e até mesmos por descargas atmosféricas. O efeito vai desde redução no desempenho de equipamentos elétricos até sobreaquecimento e a consequente queima dos mesmos.

- Subtensão

Ao contrário do anterior, nesse caso ocorre uma diminuição momentânea da tensão eficaz da rede, a duração desse distúrbio varia na faixa de milissegundos a alguns segundos. Corresponde a cerca de 85% das falhas, sendo o distúrbio mais comum em sistemas de distribuição. Este distúrbio se dá em função da partida de cargas de elevada potência.

- Falta

Ausência total temporária no fornecimento de energia elétrica acarretando em desligamento da carga. Tem como causa principal sobrecarga da rede, mas também podem ocorrer por descargas atmosféricas, quedas de linhas de transmissão, atuação de proteções do sistema de distribuição quando ocorre algum dos problemas mencionados e falha em algum equipamento.

- Distorção harmônica

Nesse caso ocorre uma alteração na forma de onda, são causadas por redes sobrecarregadas por fontes chaveadas ou ainda pela presença de geradores de baixa qualidade. Como resultado se tem o mau funcionamento de motores ou de aparelhos que tenham fontes lineares.

- Transiente ou *Spike*

Esse distúrbio também é conhecido na literatura técnica como, surto de tensão. E se dá pelo aumento instantâneo da tensão na rede elétrica que pode chegar à ordem de kV. Geralmente, os picos duram entre 0,5 e 100 μ s. Sendo assim, é o distúrbio mais perigoso para a carga, podendo queimá-la. Sua causa se dá por descargas atmosféricas, curto-circuito na linha de transmissão e reatores indutivos.

- Ruído de rádio frequência

São conhecidos também como interferência eletromagnética de alta frequência ou simplesmente por ruído. O ruído quebra a suavidade da onda senoidal esperada da rede elétrica, sua ocorrência se dá de forma esporádica. Este distúrbio pode causar interferência em aparelhos eletrônicos e redução no desempenho de aparelhos que possuam motores elétricos. Tem como principal motivo fontes chaveadas (capacitivas) e cargas indutivas (motores) na rede, mas também podem ser provocados por geradores e sistemas de controles de baixa qualidade.

- Variação da frequência

São causadas por variações abruptas de cargas de grande porte e também por curto-circuito na rede. É um problema muito comum e pode levar desde o mau funcionamento de aparelhos até superaquecimento e queima dos mesmos.

4.1. Forma de onda na saída

De modo geral, obter uma onda senoidal, em um inversor, é muito mais complexo que a obtenção de uma onda quadrada. Deste modo, os *no-breaks* que trabalham com potências baixas e cargas que não são extremamente críticas, podem prover uma tensão com forma de onda quadrada na sua saída.

Os *no-breaks* comumente são usados para alimentar pequenos computadores, que possuem um filtro capacitivo e um estágio de entrada com um retificador a diodos. Desta maneira, seu principal parâmetro é que a tensão tenha o mesmo valor de pico que a tensão da rede elétrica. Seu valor eficaz da tensão será maior que o de uma onda senoidal, porém isto não trará maiores consequências aos dispositivos conectados a ele. Uma consequência que pode ocorrer, devido ao espectro da onda produzida, é um maior aquecimento em transformadores e indutores que estejam presentes. Mas, ao se levar em consideração o curto tempo de atuação dos *no-breaks*, na maioria dos casos, não causam maiores problemas.

Para sistemas de grande porte e cargas críticas, inversores com saída senoidal são usados de modo a aumentar a confiabilidade do dispositivo.

4.2. Isolação elétrica

Pela norma de segurança deve-se aterrar um dos terminais da saída, de modo a garantir a isolamento elétrica entre a entrada e a saída.

Podem ser usados dois tipos de isolamento, seja ele em alta ou em baixa frequência. Como é de conhecimento, para maiores frequências de operação,

menores são as dimensões do transformador, esse fato acarreta na redução tanto do custo quanto do volume e do peso do mesmo. Porém, obter isolamento elétrica para altas frequências é possível apenas em alguns pontos e em algumas topologias de inversores e retificadores.

A obtenção da isolamento em baixa frequência pode ser feita tanto na entrada da rede quanto na saída do *no-break*.

4.3. Paralelismo

Existem situações em que se deseja conectar um ou mais *no-breaks* em paralelo, um caso é quando se faz necessária à ampliação da potencia instalada ou se deseja aumentar a confiabilidade do sistema existente, para cargas mais críticas.

O uso de dois *no-breaks* em paralelo é uma situação particular em que, por questões de custo é mais econômica a utilização de um *no-break* adicional ao já instalado, do que a troca de todo o sistema. Já para cargas muito críticas, a utilização de um *no-break* adicional, redundância, é um fator realmente necessário.

Algumas condições devem ser respeitadas ao se conectar dois ou mais *no-breaks* em paralelo, são elas:

- As tensões de saída devem ser idênticas e as correntes precisam ser distribuídas de forma igual entre os dispositivos;
- Um *no-break* deve produzir tensão de referência para os demais de modo a manter a identidade das tensões e na ocorrência de algum tipo de falha outro *no-break* deve assumir tal função;
- Na ocasião da ocorrência de alguma falha em um dos *no-breaks* instalados, os demais devem ser capazes de manter os equipamentos críticos em funcionamento.
- Os *no-breaks* devem ter garantia dos fabricantes que foram projetados especificamente para essa finalidade.

5. Sistema fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é basicamente composto pelo arranjo de módulos, baterias que armazenam a energia gerada pelos módulos, inversores, controlador de carga e seguidor do ponto de máxima potência (MPPT). Esses últimos são os dispositivos mais importantes, responsáveis por controlar a energia enviada às baterias e as respectivas cargas.

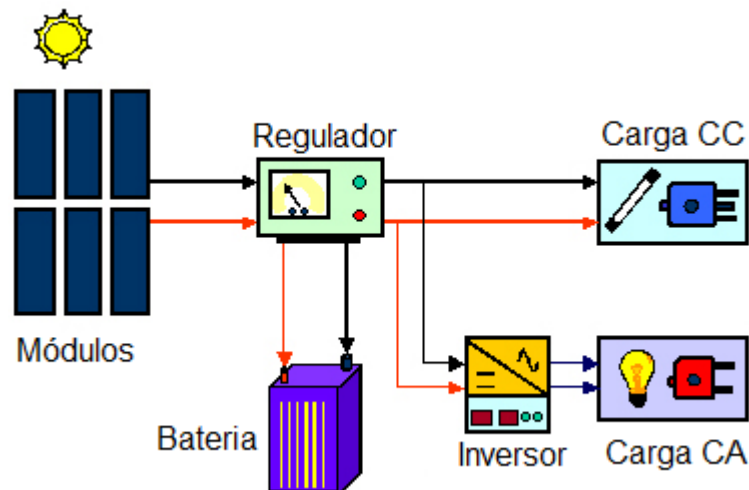


Figura 5.1 - Sistema fotovoltaico autônomo

5.1. Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é composto por células que são conectadas em arranjos, esses arranjos produzem tensão e corrente suficientes para a utilização da energia gerada. O número de células a ser conectadas de maneira a formar um módulo e seu arranjo, varia de acordo com a tensão e a corrente desejada. O conjunto de células forma um módulo fotovoltaico. A organização desses pode ser feita em série e/ou em paralelo, sendo a ligação em série para o aumento do nível de tensão e em paralelo para elevar a potencia. A relação entre corrente e tensão gerada nos painéis pode ser representada pela curva $I \times V$, como pode ser observado na Figura 5.2.

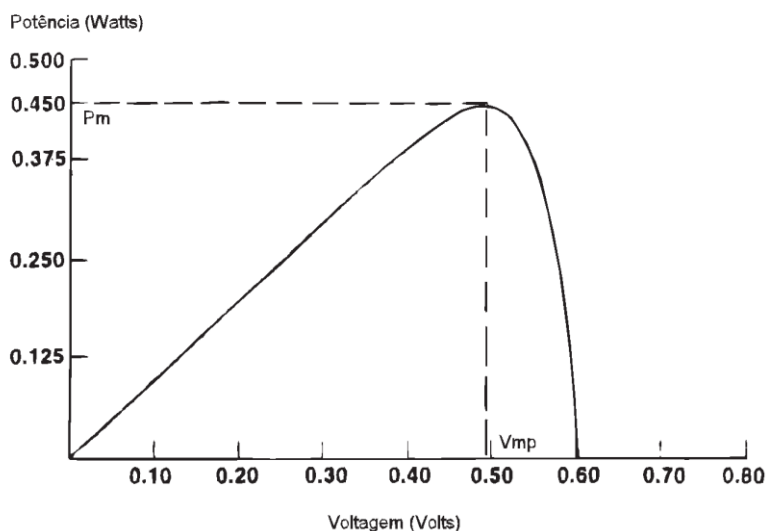


Figura 5.2 - Curva de potencia I x V

Através dessa curva é possível a determinação do ponto de potencia máxima (Pm), no qual a tensão da célula e a corrente gerada são máximas. [19]

A célula fotovoltaica é um dispositivo elementar, que tem como função realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica. Elas são constituídas de um material semicondutor, que é o responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica.

O material semicondutor recebe tratamento especial até que se transforme em uma célula fotovoltaica, isto é, ele passa por processos de purificação e por uma fase de dopagem (introdução de impurezas em quantidades específicas). Os principais tipos de células fotovoltaicas são: silício monocristalino, silício policristalino e de silício amorfo.

As células de silício monocristalino são as mais utilizadas e comercializadas. A tecnologia utilizada em sua fabricação é um processo bastante básico e bem desenvolvido. As células são formadas em fatias finas de um único cristal (dai o nome monocristalino). Produtos comerciais possuem faixas de conversão de luz entre 12 e 16%. Células feitas em laboratório conseguem atingir até 18% de eficiência de conversão. Um fato negativo está no custo elevado de produção resultante da energia gasta na produção e a quantidade de material utilizado.

As células de silício policristalino possuem custo menor que as monocristalinas, como resultado de um processo de produção menos rigoroso. Entretanto, sua

eficiência de conversão de energia é menor, alcança valor máximo de 12,5% em escalas industriais.

A célula de silício amorfo possui estrutura diferente das demais, apresenta alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Devido ao fato do silício amorfo poder ser fabricado mediante a deposição de vários tipos de substratos, este vem se apresentando como uma alternativa interessante para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Contudo, esta tecnologia apresenta duas desvantagens, uma delas é a baixa eficiência quando comparada às tecnologias citadas anteriormente e também, as células sofrem um processo de degradação com poucos meses de uso, acarretando em uma redução da eficiência ao longo da vida útil.

5.2. Controlador de Carga

O principal objetivo do uso de controladores de carga em sistemas fotovoltaicos é facilitar a máxima transferência de energia do arranjo até o banco de baterias, e também proteger as baterias contra possíveis cargas e descargas que possam danificá-las. Desta forma, atuam de maneira a aumentar a vida útil das baterias, sendo de uso essencial em sistemas que atuam de forma isolada.

O controlador de carga atua de maneira a bloquear a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos para as baterias, quando estas se encontrarem totalmente carregadas. Isto evita que ocorra superaquecimento das baterias. Outra função do controlador de carga é impedir a ocorrência de descarga profunda das baterias. O controlador pode fazer isso de dois modos: cortar a carga ou alterar o ponto de operação do sistema.

Existem dois tipos de controladores de carga: tipo shunt e tipo série. O controlador tipo shunt utiliza um dispositivo de estado sólido ou um relé eletromecânico para desligar o fluxo de corrente para a bateria, no instante que essa se encontra totalmente carregada. Esse controlador se comporta como uma carga variável, mantendo a tensão na saída do arranjo constante. O controlador do tipo série pode ser composto por um relé eletromecânico ou uma chave de estado sólido, que atuam de forma similar ao controlador shunt.

5.3. Seguidor de ponto de máxima potencia (MPPT)

A função dos dispositivos seguidores de ponto de máxima potencia (MPPT) é atuar de forma a regular a tensão e a corrente de operação, de maneira que o sistema fotovoltaico sempre esteja a operar no ponto máximo da curva $I \times V$. Isto é, com potência máxima fornecida pelo arranjo fotovoltaico. O controle MPPT poderá ser feito tanto sobre um conversor CC, quanto sobre um inversor. Sua localização no sistema fotovoltaico dependerá das cargas, por ele alimentadas. [12] É válido citar, que este dispositivo não necessariamente precisa ser um componente isolado, ele pode se constituir o controlador de carga ou mesmo o inversor.

5.4. Sistemas Autônomos

Sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três categorias: autônomos, híbridos ou conectados a rede. Serão abordadas aqui as características do sistema autônomo, uma vez que o *no-break* desenvolvido neste projeto utilizará como fonte única de alimentação um sistema fotovoltaico isolado da rede.

Sistemas isolados para geração de energia solar fotovoltaica atuam de forma separada da rede elétrica, isto é, estes sistemas não estão conectados a rede. Esses sistemas são projetados com propósito específico, geralmente em regiões remotas que não possuem fornecimento de energia elétrica. A instalação de um sistema isolado é uma solução econômica, ecológica e prática de fornecimento de energia ao local.

Existem diversas configurações possíveis para os sistemas isolados. As diferenças estão no tipo de carga a ser utilizada (de corrente contínua ou alternada) e o uso ou não de baterias.

Sistemas sem armazenamento são sistemas em que a energia é utilizada no instante da geração pelos equipamentos conectados a ele. Já em sistemas com armazenamento, podem-se usar os equipamentos elétricos mesmo que não haja geração simultânea. Deste modo, a energia elétrica gerada pelo arranjo fotovoltaico é armazenada em baterias. É usado um controlador de carga para proteger as baterias de possíveis danos que possam ocorrer por sobrecarga do sistema ou mesmo por descarga profunda da bateria.

Em casos em que a capacidade de armazenamento das baterias é muito maior que a capacidade de geração do sistema, os controladores de carga se tornam dispensáveis. Outro caso, em que seu uso se torna opcional é em módulos fotovoltaicos que apresentam corrente baixa na tensão de plena carga.

É comum, que o seguidor de máxima potência esteja embutido no controlador de carga. Ele opera de forma a regular a tensão e corrente de operação do arranjo fotovoltaico.

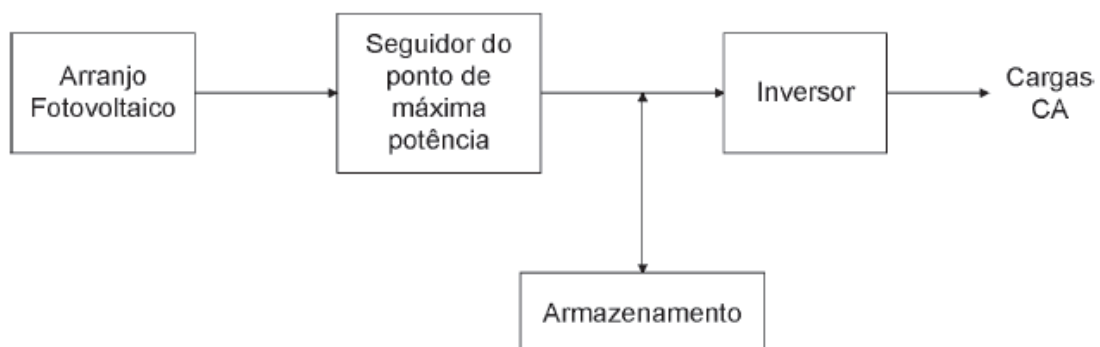


Figura 5.3 - Sistema Isolado com armazenamento a alimentar carga CA

6. Capacidade da Estação

Com o objetivo de aproveitar os sistemas já instalados no LAFAE, será descrito cada sistema.

Os dispositivos dos sistemas fotovoltaicos estão descritos a seguir, ordenados por tipo de componente.

- Módulos solares:

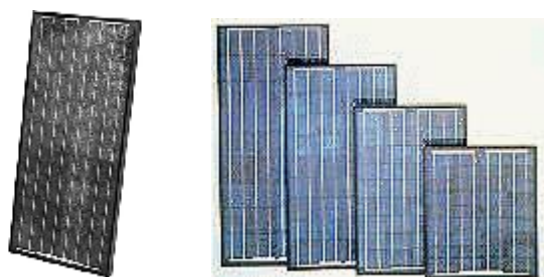


Figura 6.1- Família de módulos solares Solarex MSX

Tabela 6.1 - Especificações dos módulos solares Solarex MSX56 e MSX70 [20]

Modelo	Potência Nominal	Vmp	Imp	Voc	Isc	Dimensões(m)	Peso	Eficiência(%)
Solarex MSX-56	56W	16,8V	3,35A	20,8V	3,6A	1,097x0,492	5,3Kg	10,37567
Solarex MSX-77	77W	16,9V	4,56A	21V	5A	1,097x0,651	6,9Kg	10,78209



Figura 6.2- Família de painéis SCHOTT Solar ASE

Tabela 6.2 - Especificações módulos solares ASE, SCHOTT Solar [20]

Modelo	Potência Nominal	Vmp	Imp	Voc	Isc
ASE-300 - DGF/50	198W	33,7V	-	43,5V	6,5A
ASE-300 - DGF/50	186W	33,4V	-	43,2V	6,1A
ASE-217 - DGF/8	217W	8,2V	-	10,6V	29,6A

- Inversores:



Figura 6.3 - Inversor Statpower Prowatt

Tabela 6.3 - Especificações do inversor Statpower Prowatt [20]

Modelo	Tensão de entrada	Potência	Tensão de Saída	Dimensões	Peso	Eficiência (%)
Statpower Prowatt 800	20Vcc	1000W	115Vac	0,24x0,26	2,6Kg	90



Figura 6.4 - Inversor ASP Top Class

Tabela 6.4 - Especificações do inversor ASP Top Class [20]

Modelo	Tensão de entrada	Potência	Tensão de Saída	Dimensões	Peso	Eficiência (%)
ASP Top Class 43V	65Vcc	2500W	120/240Vac	0,38x0,285	15,5Kg	92

- Controladores:



Figura 6.5 - Controlador Morningstar Prostar

Tabela 6.5 - Especificações do controlador Morningstar Prostar [20]

Modelo	Tensão da bateria	Corrente de saída	Dimensão	Peso
Morningstar Prostar-30	12/24 Vcc	30A	16mm ²	0,34Kg



Figura 6.6 - Controlador família Xantrex série C40/60

Tabela 6.6 - Especificações do controlador Xantrex [20]

Modelo	Tensão da bateria	Corrente de saída	Dimensão	Peso
Xantrex C40	12/24/48Vcc	40A	0,254x0,127m	1,4Kg

- Bateria: Vitalize VT 12100



Figura 6.7- Bateria Vitalize

Tabela 6.7 - Especificações das baterias Vitalize [21]

Modelo	Tensão de saída	Capacidade nominal	Dimensões	Peso	Tipo e posição do terminal
VT12100	12Vcc	100 Ah	0,330 x 0,171 x 0,214 m	31Kg	T5/T9; C

A seguir, serão mostradas as especificações de cada um desses sistemas que estão instalados no LAFAE. [22] Feito isso, será calculada a carga de lâmpadas instaladas no corredor do bloco H.

Os três sistemas descritos (5, 7 e 9) operam de modos isolados. Esses sistemas fornecem energia para sua respectiva carga através de um circuito de transferência, esse circuito também possibilita que as cargas também sejam atendidas pela rede, caso assim fosse desejado. [22]

6.1 Sistemas disponíveis

Os três sistemas autônomos serão apresentados a seguir. Porém antes disso, será apresentada uma explicação de como é feito o cálculo da energia produzida pelos arranjos e o dimensionamento do banco de baterias.

- Dados da insolação
 - Rio de Janeiro – RJ
 - Latitude: -22.862235°
 - Longitude: -43.228878°

A tabela de radiação utilizada, Tabela 6.8, foi referente à localidade mais próxima encontrada, região de Santa Cruz, latitude 22,90° sul e longitude 43,21° oeste. Esta se localiza a apenas 5,3 km do local onde estão instalados os arranjos fotovoltaicos. [23]

O ângulo de maior média anual foi o escolhido para os cálculos, uma vez que o uso do sistema para alimentação do no-break será feito ao longo do ano todo. Este ângulo corresponde a uma inclinação de 23°N. A incidência solar será dada por:

Tabela 6.8 - Radiação diária média mensal

Radiação diária média mensal [kWh/m².dia]															
Ângulo	Inc °	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Δ
Plano Horizontal	0° N	5,86	5,67	5,22	4,06	3,83	3,22	3,78	4,06	4,22	4,86	5,28	5,61	4,64	2,64
Ângulo igual à latitude	23° N	5,29	5,41	5,38	4,56	4,75	4,14	4,85	4,76	4,47	4,74	4,85	5,00	4,85	1,27
Maior média anual	20° N	5,39	5,48	5,39	4,53	4,67	4,05	4,74	4,70	4,46	4,79	4,93	5,11	4,85	1,43
Maior mínimo mensal	34° N	4,83	5,07	5,23	4,62	4,99	4,40	5,15	4,90	4,41	4,50	4,47	4,55	4,76	0,82

A energia produzida pelo arranjo pode ser calculada de acordo com a equação (1):

$$W_{arranjo}(kWh) = H_{sp} \times P_{MAX\text{painel}} \times N^{\circ}_{paineis} \quad (1)$$

Para o cálculo da configuração dos bancos de baterias foram usadas as equações abaixo:

Através da equação da capacidade de descarga:

$$C(Ah) = \frac{Pg}{V_{bat} \times n} \quad (2)$$

Onde:

P_g – demanda do sistema [Wh];

V_{bat} – tensão da bateria [V];

N – profundidade de descarga;

A tensão nominal depende da configuração escolhida, podendo estar em série, em paralelo ou ainda formado pela combinação de ambos. E é calculada pela combinação das fórmulas (3) e (4).

$$V_{banco} = V_{bat} \times N_s \quad (3)$$

$$C_{banco} = C_{bat} \times N_p \quad (4)$$

Em que:

N_s – número de baterias em série

N_p – número de baterias em paralelo

C_{bat} – capacidade nominal de cada bateria [Ah]

6.1.1. Sistema 5

O sistema 5 é composto dos seguintes componentes:

- Módulo solar Solarex MSX56 (10 unidades);
- Inversor Statpower Prowatt 800/24;
- Controlador Morningstar Prostar-30 (12/24 V – 30A);
- Baterias (6 unidades).

As especificações de cada um desses componentes já foram citadas anteriormente e podem ser vistas nas Tabelas 6.1 a 6.7.

O arranjo está configurado da seguinte forma: cinco fileiras de dois módulos cada.

Através da equação (1), tem-se:

- Tensão do arranjo: $V_p \approx 36V_{cc}$
- $W_{arranjo} = 2,83 kWh$

Será necessário calcular a capacidade nominal do arranjo de baterias.

Cada bateria:

- $V_{nominal} = 12V$
- $C_{nominal} = 100Ah \text{ em } 10h$

Assim, através das equações (2) e (3), tem-se:

$$V_{banco} = 24V$$

$$C_{nom} = 300Ah \text{ em } 10h$$

O arranjo do sistema 5 pode ser observado na Figura 6.8

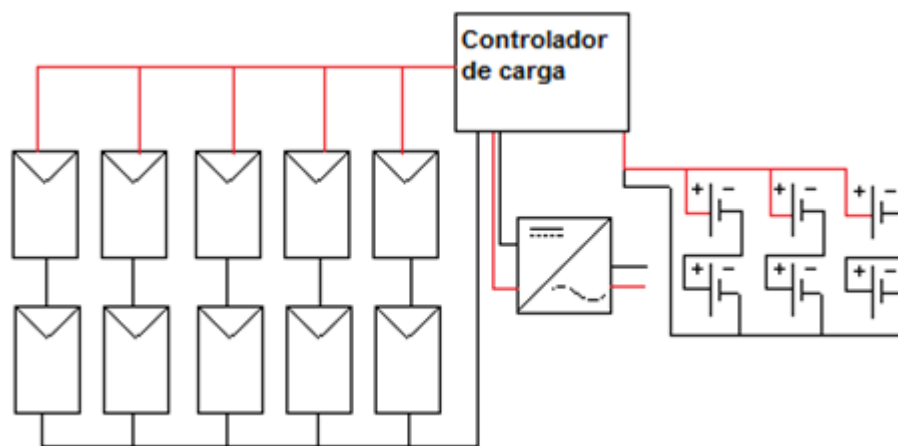


Figura 6.8- Arranjo fotovoltaico do sistema 5

6.1.2. Sistema 7

O sistema 7 é composto dos seguintes componentes:

- Módulo solar Solarex MSX77 (12 unidades);
- Inversor Statpower Prowatt 800/24;
- Controlador Morningstar Prostar-30 (12/24 – 30A) (2 unidades);
- Baterias Vitalize VTL12100 (8 unidades).

As especificações de cada um desses componentes já foram citadas anteriormente e podem ser vistas nas Tabelas 6.1 a 6.7.

O arranjo está configurado da seguinte forma: três fileiras de dois módulos cada. Formado por um total de dois arranjos.

Através da equação (1), tem-se:

- Tensão do arranjo: $V_p \approx 36V_{cc}$
- $W_{arranjo} = 4,54 kWh$

Será necessário calcular a capacidade nominal do arranjo de baterias.

Cada bateria:

- $V_{nominal} = 12V$
- $C_{nominal} = 100Ah \text{ em } 10h$

Assim, através das equações (2) e (3), tem-se:

- $V_{banco} = 24V$
- $C_{nom} = 300Ah \text{ em } 10h$

O arranjo do sistema 7 pode ser observado na Figura 6.9.

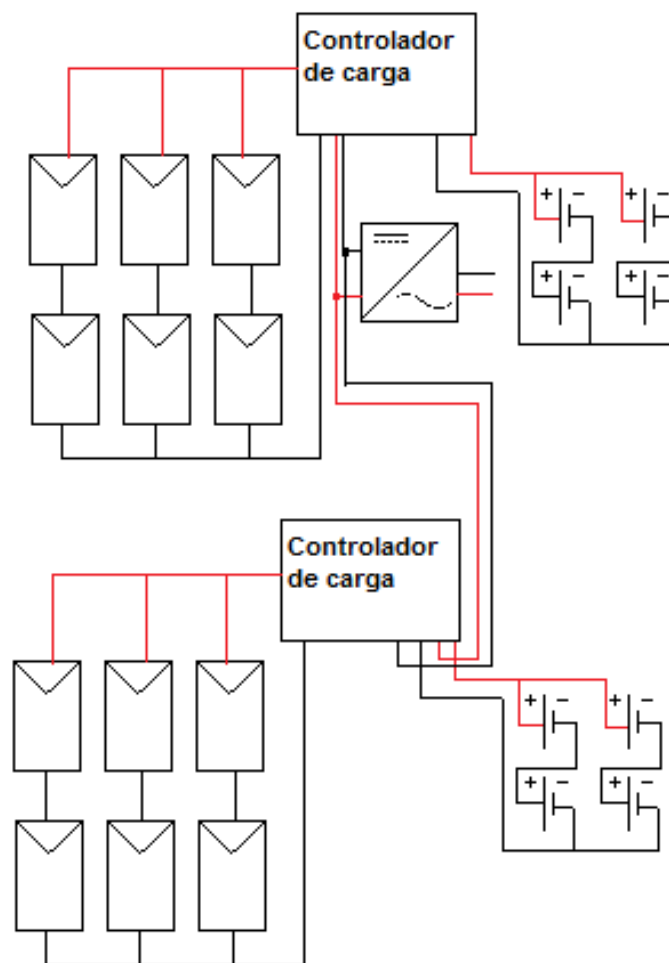


Figura 6.9 - Arranjo fotovoltaico do sistema 7

6.1.3. Sistema 9

O sistema 9 é composto dos seguintes componentes:

- Módulo solar ASE-300 – DGF/50 198 W (2 unidades);
- Módulo solar ASE-300 – DGF/50 186 W (2 unidades);
- Módulo solar ASE-217 – GPF/8 217 W (4 unidades);
- Inversor ASP Top Class 43V – 65V DC (115Vac – 60Hz – 21,7A);
- Controlador Xantrex Technology/Trace Engineering – 40 A – PWM;
- Baterias Vitalize VTL12100 (12 unidades).

O arranjo está configurado da seguinte forma: quatro fileiras de dois módulos cada, um painel do tipo 3 conectado em série com um painel do tipo 1 ou do tipo 2.

As especificações de cada um desses componentes já foram citadas anteriormente e podem ser vistas nas Tabelas 6.1 a 6.7.

O arranjo está configurado da seguinte forma: três fileiras de dois módulos cada. Formado por um total de dois arranjos.

Através da equação (1) tem-se:

- Tensão do arranjo: $V_p \approx 42V_{cc}$
- $W_{arranjo} = 7,93 kWh$

Será necessário calcular a capacidade nominal do arranjo de baterias.

Cada bateria:

- $V_{nominal} = 12V_{cc}$
- $C_{nominal} = 100Ah$ em 10h

Assim, através das equações (2) e (3), tem-se:

- $V_{banco} = 48V$
- $C_{nom} = 300Ah$ em 10h

O arranjo do sistema 9 pode ser observado na Figura 6.10.

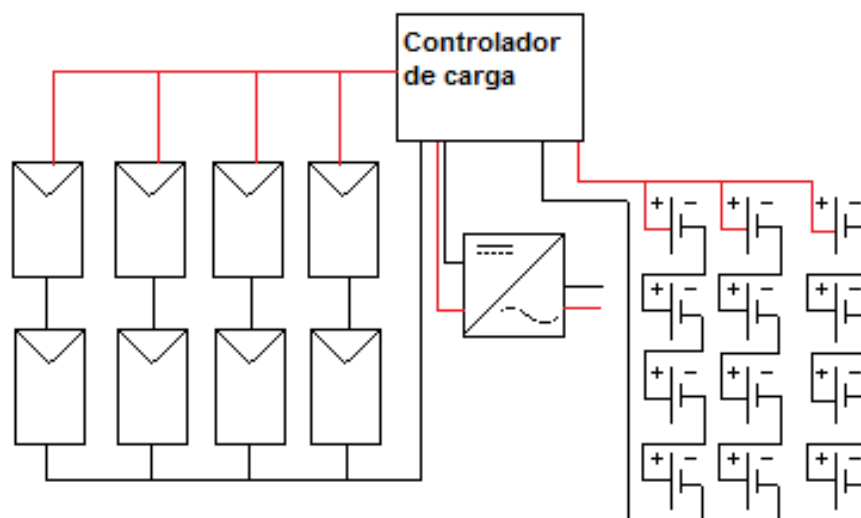


Figura 6.10 - Arranjo fotovoltaico do sistema 9

6.2. Cálculo da potência máxima fornecida

A energia fornecida por cada sistema foi calculada ao se usar a incidência solar e as especificações de cada painel, e estão contidas na Tabela 6.9:

Tabela 6.9 - Energia fornecida por cada arranjo

Potência de cada arranjo fotovoltaico			
Sistema	nº de painéis	Pmax @STC	Energia Total (kWh)
5	10	58,3	2,83
7	12	78	4,54
9	8	x	7,93

O sistema 9 é apresentado na Tabela 6.10, dividido em dois subsistemas.

Tabela 6.10 - Energia fornecida pelo arranjo 9

Potência máxima de cada arranjo fotovoltaico			
Sistema	nº de painéis	Pmax @STC	Energia Total (kWh)
2 x 9a	2	198 + 217	2 x 2,01
2 x 9b	2	186 + 217	2 x 1,95

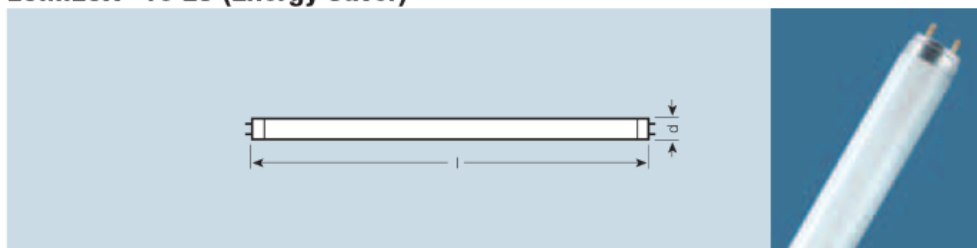
6.3. Levantamento das Cargas

A carga a ser alimentada pelo *no-break* em caso de falha na rede elétrica convencional é formada unicamente por um conjunto de 28 lâmpadas fluorescentes OSRAM HE 25W/830ES de 25 Watts de potência.

- Características da carga:

$$\text{Potencia Total} = 28 \times 25 = 700 \text{ W}$$

Fluorescente Tubular LUMILUX® T5 ES (Energy Saver)



	 Potência	 Fluxo Luminoso	 Temp. de Cor	 Índice de reprodu.	 Diâmetro	 Comprimento	 Base
LUMILUX® T5 ES - Fluorescente tubular econômica							
HE 25W/830 ES	25	2900	3000	80-89	16	1149	G5
HE 25W/840 ES	25	2900	4000	80-89	16	1149	G5
HO 50W/830 ES	50	5000	3000	80-89	16	1149	G5
HO 50W/840 ES	50	5000	4000	80-89	16	1149	G5

As lâmpadas LUMILUX® T5 ES (Energy Saver) economizam até 10% de energia mantendo o mesmo fluxo luminoso que as lâmpadas convencionais LUMILUX® T5 HE e T5 HO.

Com eficiência energética de até 116 lm/W, o sistema LUMILUX® T5 HE ES é a solução ideal para uma iluminação moderna e econômica. Já as LUMILUX® T5 HO ES são ideais para aplicações com pé-direito elevado, devido ao alto “pacote de luz”, com economia de energia. Ambas podem ser utilizadas com sensores de presença e dimmers, reduzindo ao mínimo o consumo de energia. Como utilizam os mesmos reatores eletrônicos OSRAM que as lâmpadas T5 convencionais, a

Figura 6.11 - Especificações das lâmpadas instaladas [24]

7. Detalhamento do Projeto

Será utilizado um *no-break* do modelo PDV 2200S – MAX do fabricante NHS, encontrado facilmente no mercado. Este modelo usa a tecnologia *line-interactive*. A escolha se deu pelo simples fato deste modelo específico estar disponível para os ensaios necessários, qualquer modelo de *no-break* comercial com funcionamento e características elétricas similares ao NHS PDV 2200S - MAX poderá ser alterado de modo a operar com o sistema fotovoltaico autônomo. Na Tabela 7.1 suas especificações podem ser visualizadas.

Tabela 7.1 - Especificações do *no-break* NHS PDV 2200S – MAX [25]

Entrada	
Tensão de entrada	120V/220V Automático
Faixa de Tensão de entrada	95V - 245V
Frequência de entrada	47Hz - 63Hz
Subtensão	95V - 180V
Sobretensão	140V/245V
Saída	
Potência de saída nominal contínua	2200VA/1200W
Potência de pico nominal	1320W
Tensão de saída nominal	120V (220V configurável através de jumper interno)
Faixa de saída em modo inversor	20V $\pm$ 5% (220V $\pm$ 5%)
Frequência de saída em modo inversor	60Hz $\pm$ 0,1%
Tempo de acionamento do inversor	< 0,8ms
Forma de onda em modo inversor	Semi-senoidal
Rendimento a plena carga em rede	$\geq$ 95% para 120V/120V ou 220V/220V / $\geq$ 95% para 120V/220V ou 220V/120V
Rendimento a plena carga em bateria	$\geq$ 80%
Bateria	
Tensão de operação	24V
Quantidade	2x17Ah/12V
Tipo da bateria	Selada VRLA, chumbo-ácida, livre de manutenção
Tempo de recarga da bateria	24h após 90% descarregada
Vida útil da bateria	Entre 2 e 5 anos, conforme número de ciclos de descarga e da temperatura ambiente
Mecânica	
Comprimento do cabo AC	1,5m com plugue padrão NBR 14136
Dimensões	415 x 192 x 236 [mm]
Peso aproximado	25Kg
Ambiente	
Temperatura de operação	0°C a 40°C
Umidade relativa	0 a 90% sem condensação
Proteções	
Desligamento do no-break quando houver sobrecarga 110%: 7 min rede/50s inversor. 160%: 1 min rede/15s inversor	
Acionamento do inversor para subtensão e sobretensão na rede elétrica com retorno e desligamento automático	
Desligamento automático contra descarga profunda de bateria no modo inversor.	
Desligamento programado por carga mínima na saída e ausência da rede elétrica superior a uma hora.	
Varistores óxido metálico contra surtos de tensão.	

A carga a ser atendida, na falta de energia da rede consiste em 28 lâmpadas de 25 Watts cada uma, totalizando uma potência de 700 Watts. A Tabela 7.2 reúne as informações de demanda da carga.

Tabela 7.2 - Especificações da carga

Carga	Tensão [V]	Potência [W]	Uso [h/dia]	Energia [Wh/dia]
Lampadas	110 CA	25	8	200
Carga Total (x28)	110 CA	700	8	5600

Dos sistemas disponíveis o sistema 5, descrito anteriormente, será utilizado pois é o mais compacto e suas especificações apresentadas no item 6.1.1 atendem as necessidades da carga. As especificações a serem atendidas podem ser observadas na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Especificações do sistema fotovoltaico 5

Especificações do Sistema 5	
Tensão do Arranjo	$V_p = 36 \text{ Vcc}$
Energia fornecida pelo arranjo	2,83 KWh
Tensão de Operação	24 Vcc
Capacidade de descarga	300Ah em 10h
Corrente nominal no controlador de Carga	30 Acc
Profundidade de descarga das baterias em profundidade	60%

Será determinada uma autonomia. É necessário saber a corrente diária consumida:

$$I_{\text{diário}} = \frac{5600 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} = 233,3 \text{ Ah}$$

Para o cálculo da autonomia:

$$I_{\text{Total}} = \frac{I_{\text{diário}} * N^{\circ} \text{ de dias de autonomia [dia]}}{\text{Profundidade de descarga}}$$

$$300\text{Ah} = \frac{233,3 * N^{\circ} \text{ de dias de autonomia [dia]}}{0,6} \cong 0,77 \text{ dia.}$$

Por fim,

$$0,77 \times 24\text{h} = 18 \text{ horas}$$

Portanto, o tempo de autonomia é de aproximadamente 18 horas para o banco de baterias do sistema 5. Esse será o tempo de autonomia do *no-break*.

Para o *no-break* poder funcionar conectado a um sistema fotovoltaico serão necessárias algumas alterações. A Figura 7.1 ilustra o diagrama de blocos de funcionamento do *no-break* PDV 2200S – MAX com a seguinte modificação: a bateria interna do *no-break* foi substituída por um sistema fotovoltaico autônomo, composto por painéis, baterias e um controlador de carga. Como a bateria possui tensão CC, a utilização de um inversor, nesse caso, se torna dispensável.

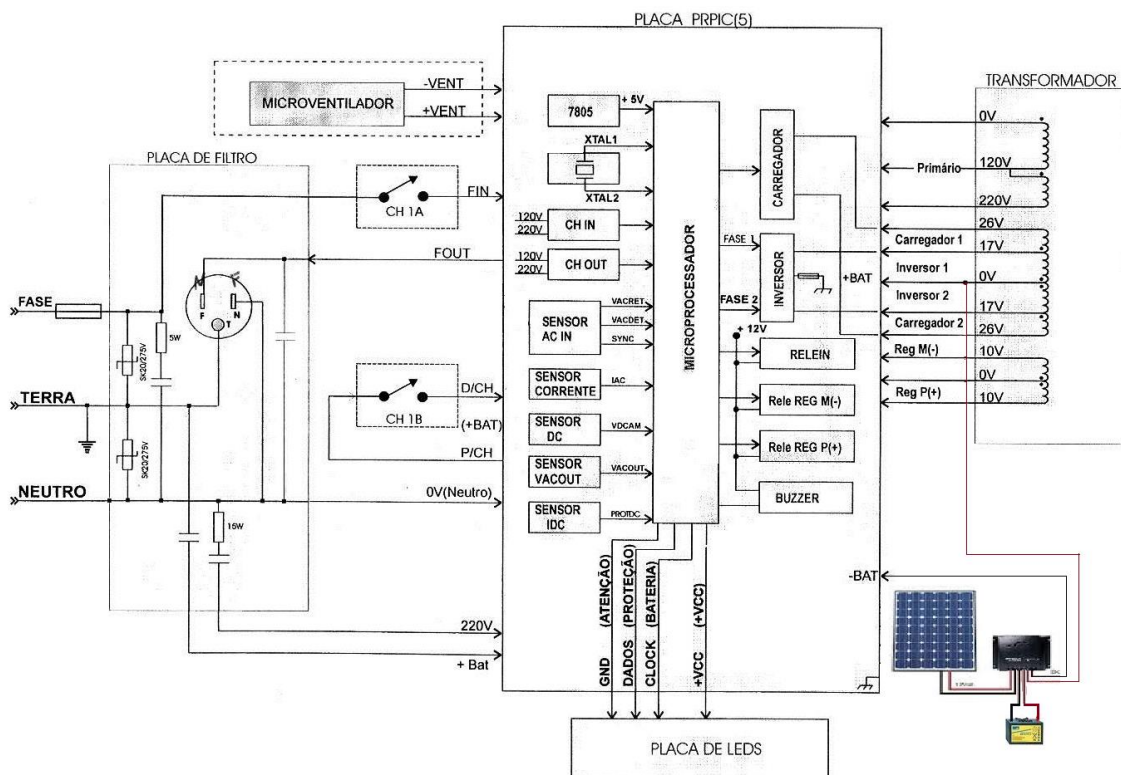


Figura 7.1 - Diagrama de blocos do *no-break* PDV 2200S – MAX alterado

Analisando o esquema elétrico do *no-break* em questão [26] pode-se concluir que circuito responsável pelo carregamento da bateria é composto por um *driver* de corrente, isto é, um circuito que alimenta a bateria com corrente constante proveniente da rede.

O trecho do circuito do *driver* de corrente deve ser desligado, caso contrário haverá uma corrente de carga por parte do *driver* do circuito de recarga do nobreak somada com a carga proveniente do controlador. Neste cenário, a corrente de carga pode superar 25% da corrente nominal da bateria e isto pode causar o fenômeno denominado carga falsa [8] podendo danificá-la.

Feitas essas modificações espera-se que o *no-break* consiga ser ligado ao sistema fotovoltaico sem problemas e funcione perfeitamente.

8. Ensaio e Resultados Obtidos

Na indisponibilidade do sistema fotovoltaico 5, descrito anteriormente, optou-se por realizar um ensaio em laboratório com o que se tinha à disposição. Como forma de comprovar o funcionamento do sistema proposto, neste trabalho, foram realizadas medições de tensões no controlador de carga e na saída do *no-break*. Assim como, a captura das formas de onda na saída do *no-break*, em diferentes situações.

Em função de se ter apenas uma bateria de 12 Volts, impossibilitando associações para obter 24 Volts, foi necessária a adoção de um *no-break* com tensão de operação de 12 Volts. O módulo foi montado utilizando os painéis disponíveis no LAFAE, também teve que ser configurado com essa especificação. O *no-break* utilizado foi do modelo Ragtech Save 600, neste foram feitas as mesmas modificações sugeridas no capítulo anterior para o funcionamento com o sistema fotovoltaico.

O ensaio foi realizado em laboratório, e em substituição à luz solar, foi utilizado um refletor com uma lâmpada halógena de 500 W.

Para o ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Dois painéis fotovoltaicos do modelo BP SOLAREX;
- Controlador de carga Morningstar SunSaver-6;
- Bateria Selada de 7 Ah e 12 V;
- Multímetro Digital Icel MD-5880;
- Osciloscópio digital Tektronix TDS1012C-EDU, patrimônio: 530072;
- Uma lâmpada de 8 W e uma de 30 W;
- Um refletor com lâmpada halógena de 500 W;
- *No-break* Ragtech Save 600 VA.

Características do Pannel:

Tabela 8.1- Especificações do painel BP SOLAREX

Especificações nominais	
Potência Máxima (W)	20,0
Tensão do circuito aberto (V)	22,0
Corrente de curto circuito (A)	1,56
Tensão máxima de pico (V)	16,2
Corrente máxima de pico (A)	1,30

Características do *no-break* utilizado:

Tabela 8.2 - Especificações do *no-break* Ragtech Save 600 [27]

Características linha save	
Potência nominal	600W
Fator de Potência	0,5
Tensão de operação	12 V
Tecnologia line interactive	atende à norma NBR 15014
Faixa de operação de entrada [$\pm 2\%$]	80V até 142V [175 até 284V]
Rendimento	>95% em modo rede, >87% em modo inversor
Regulação de saída do inversor	< $\pm 2\%$ - carga linear
Tempo de acionamento do inversor	0,7 ms
Tempo de carga da bateria interna [até 80%]	12 horas
Forma de onda do inversor	senoidal modificada
Regulação em modo rede	+6% / -10%
Frequência de saída do inversor [$\pm 1\%$]	60 Hz
Peso líquido [Kg]	6,5
Peso Bruto [Kg]	6,7
Dimensão do equipamento A x L x P [mm]	155 x 105 x 360
Dimensão da embalagem A x L x P [mm]	215 x 110 x 395

Primeiramente foi montado todo o arranjo de acordo com diagrama de blocos representado, na Figura 8.1, com o intuito de medir as tensões na saída do *no-break* e registrar as formas de onda. O objetivo era verificar a qualidade da forma de onda e da tensão fornecida.

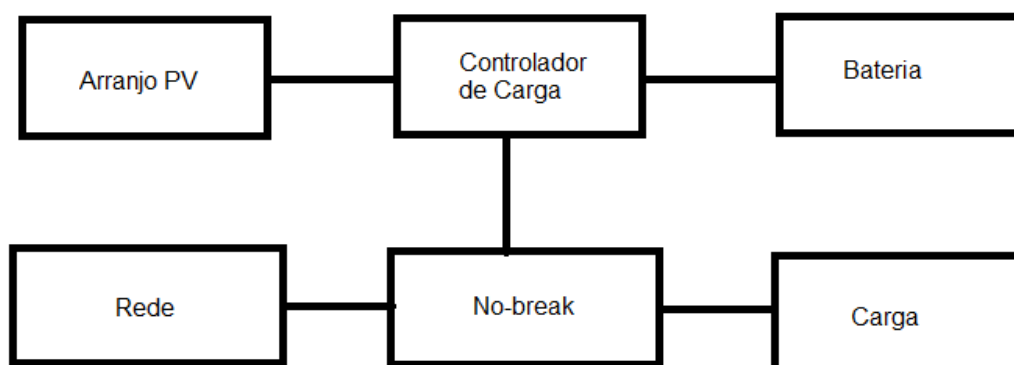


Figura 8.1 – Diagrama de blocos do arranjo

As Figuras 8.2 e 8.3 também mostram aspectos da montagem.

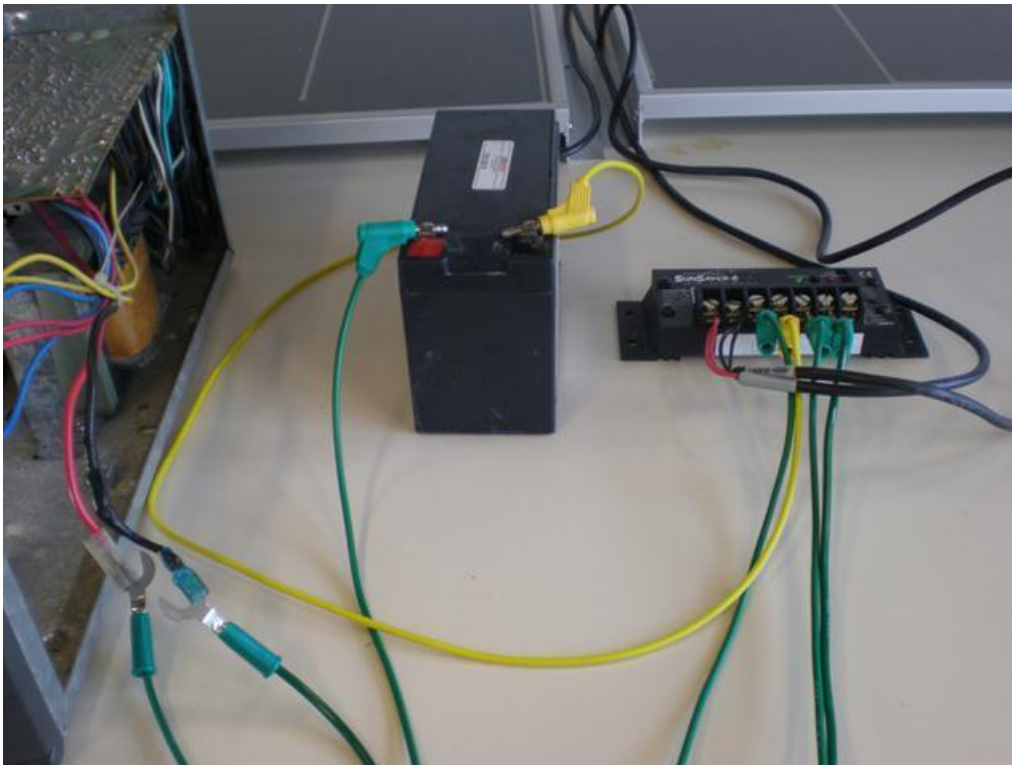


Figura 8.2 - Esquema das ligações do ensaio

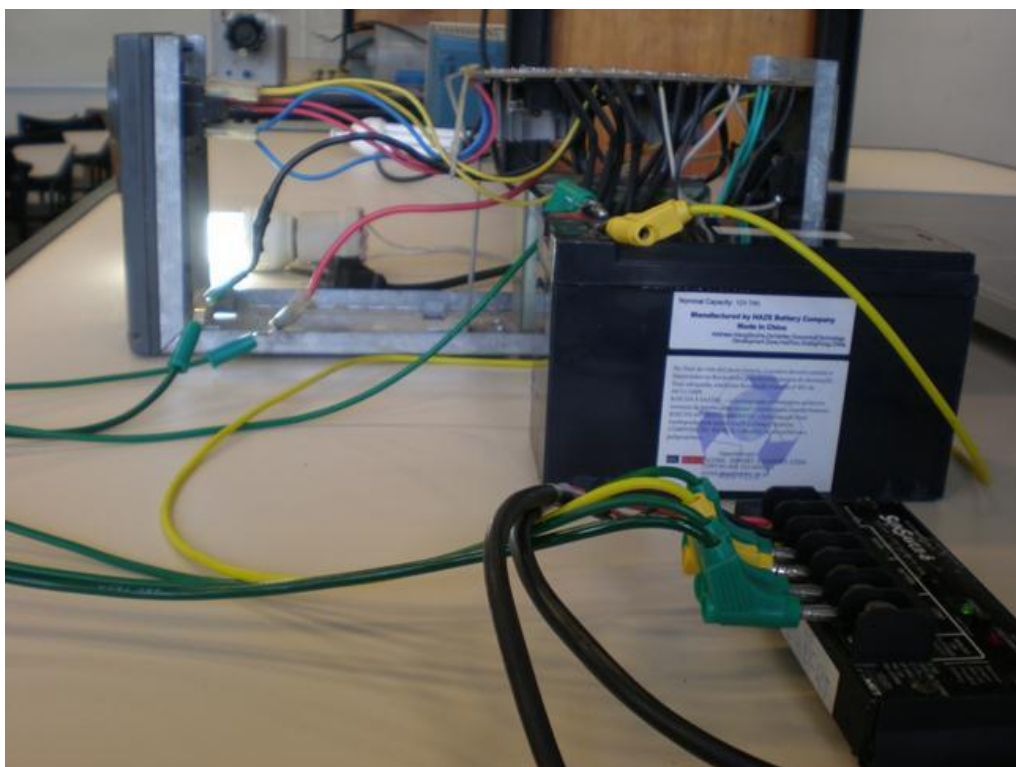


Figura 8.3 - Vista lateral das ligações do ensaio

O esquema elétrico do sistema montado está representado na Figura 8.4. Ele mostra com mais detalhes as ligações representadas no diagrama de blocos da Figura 8.3.

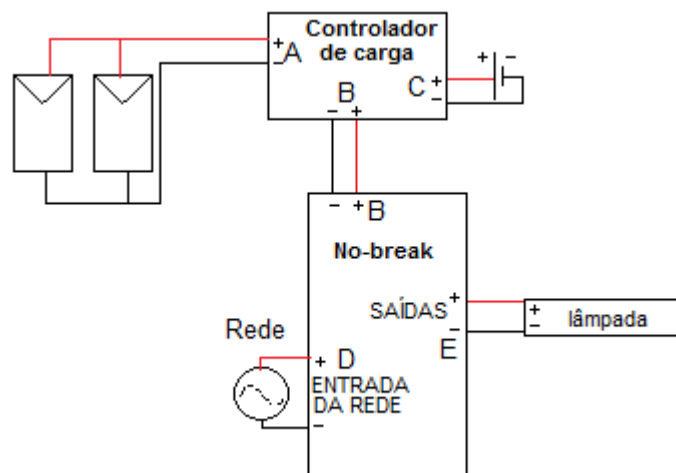


Figura 8.4 – Esquema elétrico das ligações

Com o sistema montado e conectado conforme o esquema elétrico indicado na Figura 8.4, o ensaio foi feito usando a seguinte metodologia:

1. Medição da tensão da bateria no terminal C, e dos módulos no terminal A.
2. O *no-break* foi ligado e conectado a rede a vazio. Para medir a qualidade da forma de onda, no terminal E.
3. O *no-break* ligado foi desconectado da rede ainda a vazio. Para medir a qualidade da forma de onda, no terminal E.
4. O *no-break* ligado, desconectado da rede foi conectado à carga. Para conectar a carga todo o sistema foi desligado. Novamente foi verificada a qualidade da forma de onda, no terminal E.
5. O *no-break* ligado e com carga foi conectado à rede. Para medir a tensão a plena carga conectada à rede, no terminal E.
6. Com o *no-break* na condição anterior (5), foi novamente medida a tensão da bateria, para verificar se esta estava sendo carregada, no terminal C.

Todas as demais conexões foram mantidas durante todo o ensaio. A Tabela 8.3 resume a situação do *no-break* em cada etapa do ensaio

Tabela 8.3 - Resumo do ensaio

Etapa	No-break Ligado	No-break Conectado à rede	Com carga
1	Não	Não	Não
2	Sim	Sim	Não
3	Sim	Não	Não
4	Sim	Não	Sim
5	Sim	Sim	Sim

8.1. Execução

Com o sistema montado e conectado conforme o esquema elétrico indicado na Figura 8.4.

1. Foi realizada a medição da tensão da bateria com o *no-break* desligado e desconectado da rede, sem carga. O valor medido com o uso do multímetro digital foi de 13,1 V. Em seguida foi medida a tensão que era fornecida pelos painéis ligados em paralelo, o valor registrado foi de 15,6 V.
2. Com o *no-break* conectado à rede, a vazio, ele foi ligado (acionado). Foi medida a forma de onda em sua saída com o uso do osciloscópio e medido o valor da tensão com o uso do multímetro digital. A forma de onda pode ser vista na Figura 8.5. A tensão medida a vazio foi de 100,8 V.

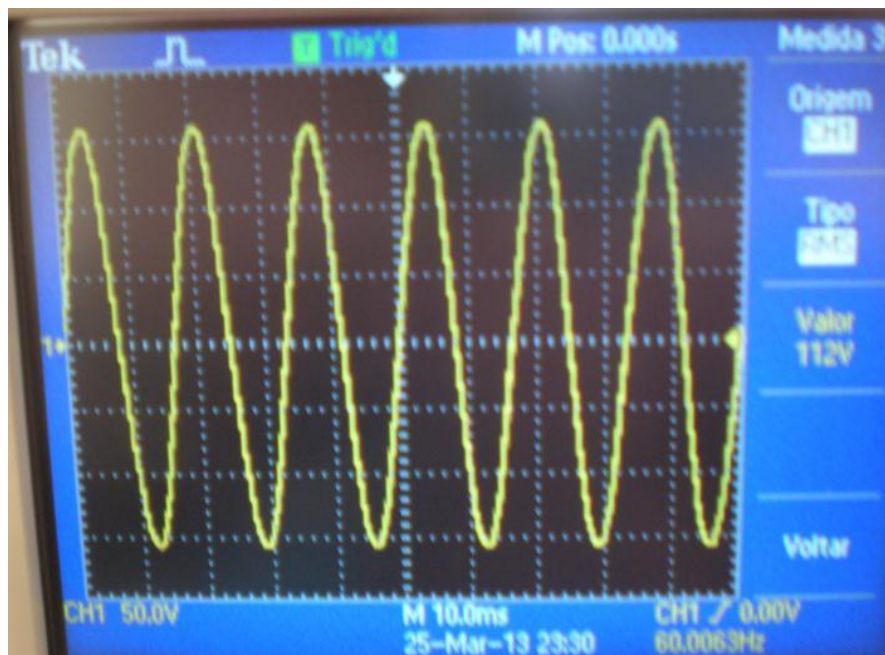


Figura 8.5 - Forma de onda na saída do *no-break*

3. O *no-break* foi desconectado da rede enquanto ligado, simulando uma falta no fornecimento. Após esse procedimento a onda senoidal se transforma em uma senoidal modificada, devido à atuação do circuito inversor, presente no nobreak, que transforma o sinal contínuo da bateria em uma onda senoidal modificada. A forma de onda é mostrada na Figura 8.6. A tensão na saída do *no-break* foi medida com um multímetro digital e o valor medido foi de 96,5V.

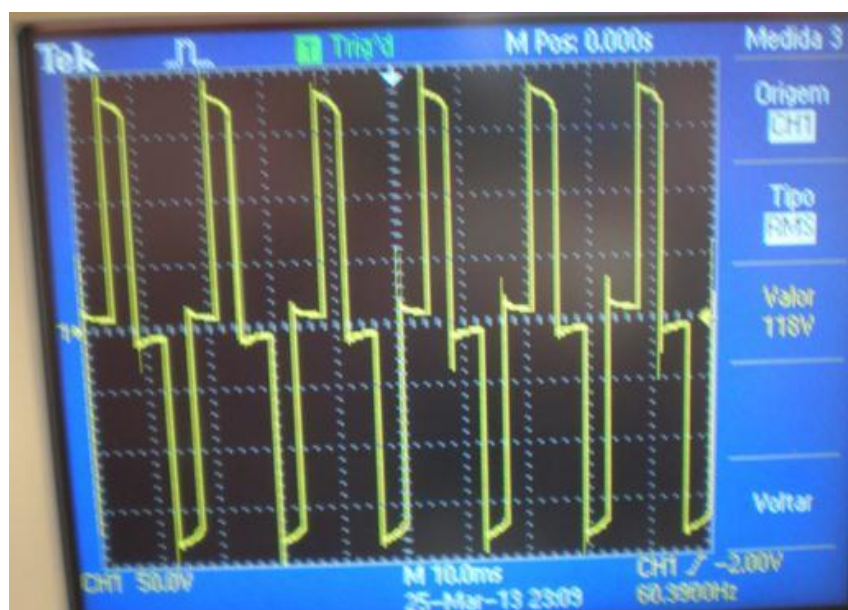


Figura 8.6 - Forma de onda na saída do *no-break* ligado

4. O *no-break* foi desligado para a conexão de uma lâmpada de 8 W em sua saída. Feito isso, ele será ligado, permanecendo desconectado da rede. A Figura 8.7 mostra a forma de onda com o *no-break* desligado da rede elétrica e com a carga (lâmpada de 8 W) ligada. A tensão na sua saída a plena carga foi medida com o uso de um multímetro digital e o valor registrado foi de 96 V.



Figura 8.7 - Forma de onda na saída do *no-break*

5. O *no-break* em funcionamento com carga foi ligado à rede, condição de reestabelecimento no fornecimento de energia. Foi medida a tensão na sua saída com o uso de um multímetro digital e a tensão registrada foi de 100,7 V.
6. Com o *no-break* em funcionamento, com carga e ligada à rede, foi medida a tensão na bateria e verificou-se a mesma tensão inicial ao experimento, 13,1 V.

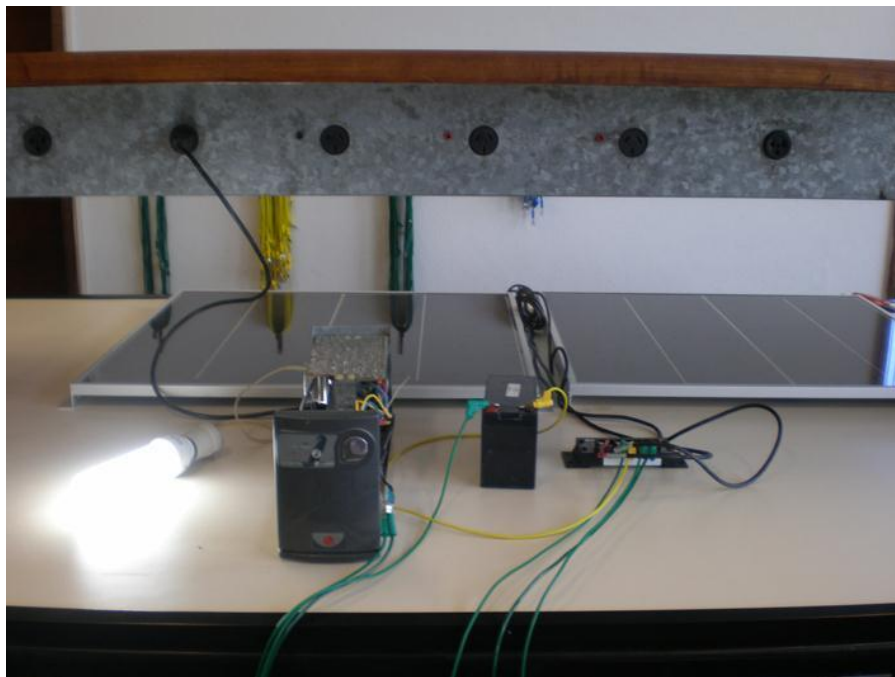
No ensaio não foi observado o tempo de descarga e a energia do arranjo, porque este não era o sistema real, isto é, não tinha o porte do sistema projetado.

O funcionamento do *no-break* se dará sempre ligado à rede, com as cargas conectadas na sua saída. No caso de queda no fornecimento de energia pela rede, a energia para alimentar as cargas é retirada do banco de baterias e essas são carregadas pelo arranjo fotovoltaico através do controlador de carga. A Tabela 8.4 resume as medições realizadas com o multímetro durante cada etapa do ensaio.

Tabela 8.4 - Valores obtidos no ensaio

Etapas	Medições Realizadas	
1.	Tensão da bateria (V)	13,1
1.	Tensão dos painéis em paralelo (V)	15,6
2.	Tensão a vazio ligado na rede (V)	100,8
3.	Tensão a vazio alimentado pelo sistema PV	96,5
4.	Tensão a plena carga alimentado pelo sistema PV (V)	96,0
5.	Tensão a plena carga ligado na rede (V)	100,7

Por fim, o ensaio foi repetido usando uma lâmpada de 30 W como carga. Os resultados obtidos foram similares aos encontrados anteriormente com a carga de 8 W, isto é, foram encontradas as mesmas formas de onda na saída do nobreak e o sistema se comportou da mesma forma. Na Figura 8.8 pode ser visto o funcionamento do *no-break* conectado à rede e na Figura 8.9, seu funcionamento desconectado, representando uma falta de fornecimento.

Figura 8.8 - Funcionamento do *no-break* ligado à rede

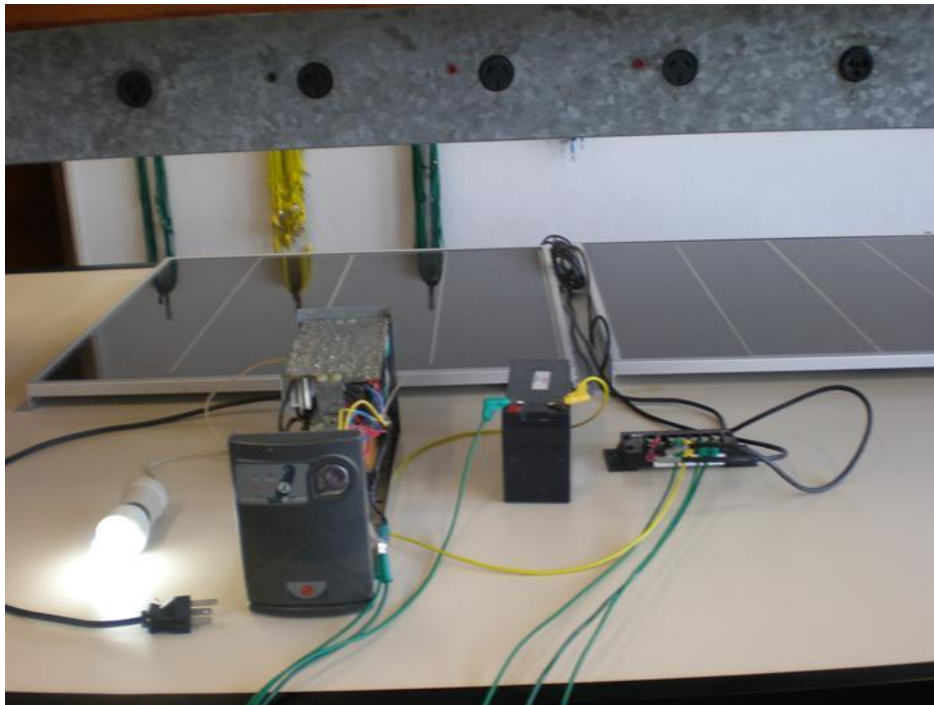


Figura 8.9 – Funcionamento do *no-break* desligado da rede

Em detalhe na Figura 8.10 é mostrado o LED aceso (*line*) que indica que o *no-break* está trabalhando ligado à rede. E na Figura 8.11, o outro LED aceso (*battery*) que indica um caso de falta de energia.



Figura 8.10 - *No-break* operando com fornecimento da rede



Figura 8.11 - No-break operando sem fornecimento da rede

O ensaio apresentou resultados satisfatórios, sendo capaz de manter a carga funcionando tanto com energia da rede quanto sem energia, o sistema apresentou desempenho estável. Medições feitas na bateria e indicações no LED do controlador de carga indicaram, durante o ensaio, o carregamento da bateria pelos painéis.

9. Conclusões

Neste trabalho foram descritos os principais tipos de *no-break* disponíveis no mercado e caracterizada as diferentes tecnologias envolvidas em cada modelo. Além de trazer a descrição do funcionamento geral de um *no-break*, assim como as vantagens na sua utilização. Também foram apresentados aqui, alguns conceitos de eletrônica de potência, que envolvem os elementos que compõe o sistema fotovoltaico e o *no-break*.

O trabalho descreveu os três sistemas fotovoltaicos que hoje se encontram desligados, mas estão disponíveis no LAFAE. Trazendo na forma de um catálogo, as características de seus componentes e especificações. Por fim, dos sistemas disponíveis, foi sugerido o que possui as melhores especificações para ser utilizado em conjunto com o *no-break*.

Foi realizado um ensaio para comprovar seu funcionamento. Em função do sistema 5 (o sistema sugerido para ser utilizado com o *no-break*) não estar disponível para realizar o ensaio, realizou-se o mesmo com os componentes disponíveis para testes no Laboratório de Fontes Alternativas de Energia. As especificações dos painéis disponíveis no laboratório diferem muito das características do arranjo fotovoltaico do sistema 5, ou seja, seria necessário muitos painéis para reproduzir as características do que foi proposto. Desta forma, para este ensaio, que teve o objetivo de demonstrar o conceito de funcionamento proposto neste trabalho, foi necessário adotar um sistema a 12 Volts.

O modelo usado no ensaio apresentou os mesmos resultados esperados do modelo proposto neste trabalho, isto é, as formas de onda na saída do *no-break* encontradas foram estáveis, sem grandes ruído ou picos de tensão. De uma forma geral, conseguiu-se obter resultados satisfatórios no ensaio, atingindo o objetivo do mesmo, demonstrando o conceito exposto neste trabalho.

Uma sugestão de melhoria surgida ao longo do trabalho é que seja projetado um sistema fotovoltaico autônomo específico para alimentar as cargas de lâmpadas do corredor do bloco H, com a finalidade de ter um sistema mais compacto e aprimorado. Aliado a isto, é recomendado que fossem trocadas as lâmpadas do corredor por lâmpadas de 16 W que possuem melhor eficiência e fluxo luminoso de intensidade similar ao da lâmpada de 25 W.

Recomenda-se para trabalhos futuros, o projeto de um sistema fotovoltaico que alimente a carga da secretaria da escola de engenharia elétrica do DEE, UFRJ e que possa ser ligado a um *no-break* similar a este descrito.

Para atividades de ensino, recomenda-se a montagem de uma bancada com fins didáticos para o ensino dos elementos do *no-break* em separado e seu funcionamento. Este poderia ser usado como uma das atividades na disciplina de laboratório de eletrônica de potência.

Em um contexto socioambiental de crescimento desequilibrado, o engenheiro, assim como o cidadão, deve orientar suas escolhas na busca de soluções que levem ao desenvolvimento sustentável, visando melhorar a qualidade de vida da comunidade ao seu redor.

Referências:

- [1] EPE, Nota Técnica EPE, **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro. Maio, 2012.
- [2] Dieckmann, J., Kemfert, C. and Neuhoﬀ, K., **The proposed adjustment of Germany's Renewable Energy Law – a critical assessment**. DIW Berlin, v. 2, n. 6. Jun. 2012.
- [3] MME - Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030. **Geração de energia elétrica a partir de outras fontes**. Brasília. v. 9. 2007.
- [4] INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **ATLAS de Irradiação Solar no Brasil**. 1998. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3.htm> Acessado em: 02/02/2013.
- [5] SOLAR BRASIL. **Aplicações de Produtos**. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/aplicacoes.htm>> Acessado em: 04/02/2013
- [6] BORBA, Julia. **Sistema elétrico brasileiro tem mais de seis falhas por dia**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1244577-sistema-eletrico-brasileiro-tem-mais-de-seis-falhas-por-dia-diz-ons.shtml>> Acessado em: 03/04/13.
- [7] LOGMASTER. Energia Ininterrupta. **Topologias de Nobreak**. Disponível em: <http://logmaster.com.br/novo/Downloads/Artigo_TOPOLOGIAS_DE_NOBREAK.pdf> Acessado em: 15/01/13
- [8] GALLI, Rafael. **Apostila No-break Sistemas de Energia**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/44800189/Apostila-No-Break-Sistemas-de-Energia>> Acessado em: 20/03/13
- [9] RASMUSSEN, Neil. **Diferentes tipos de Sistemas No-break**. 2003.
- [10] AMPLIMAG. **No Break PTX 3**. Disponível em: <http://www.amplimag.com.br/no_break_ptx3.html> Acessado em: 02/01/13.
- [11] POMILIO, A. J. **Eletrônica de Potência**. Cap3. 2006.
- [12] CEPEL/CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. 1999.
- [13] BIO ESPAÇO, Energia. **Baterias de chumbo-ácido**. Disponível em: <<http://www.bioespaco.com/produtos/solar-fotovoltaico/baterias/>> Acessado em: 02/02/13
- [14] SOLARTERRA – Soluções em Energia Alternativa. **Energia Solar Fotovoltaica, Guia Prático**. São Paulo. Disponível em: <<http://mbecovilas.files.wordpress.com/2011/06/energia-solar-fotovoltaica.pdf>> Acessado em: 21/02/12.
- [15] BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 6ed. Rio de Janeiro, RJ. 1998.
- [16] PETRY, Clóvis Antônio. **Introdução aos Conversores CC-CC**. Agosto 2001. Florianópolis. SC. Disponível em: < www.inep.ufsc.br > Acessado em: 15/02/13.

- [17] POMILIO, A. J. **Eletrônica de Potência**. Cap6. 2006.
- [18] JOAQUIM, José. **Distúrbios da rede elétrica**. Disponível em: <<http://inicial-jjsoundsoftware.blogspot.com.br/2012/12/disturbios-da-rede-eletrica.html>> Acessado em: 30/12/12.
- [19] PORTAL ENERGIA. Energias Renováveis. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares**. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>> Acessado em: 01/03/13.
- [20] SUNWIZE. **New SunWize Grid-Tie Systems Featuring SANYO N Series Modules and Lower Prices**. 2010. Disponível em: <<http://www.sunwize.com/documents/SunWize-2010-solar-catalog.pdf>> Acessado em: 21/03/13.
- [21] EC21, Global B2B Marketplace. **Battery 6v/12v Series**. Disponível em: <http://volta.en.ec21.com/Battery_6v_12v_Series--130212_130273.html> Acessado em: 25/03/13.
- [22] SOUQUET, Vanessa - **Remodelagem dos laboratórios de fontes alternativas de energia e circuitos lógicos com a implementação de um sistema de geração de energia alternativa suplementar a distribuição da concessionária**. Monografia. Rio de Janeiro. 2011
- [23] CEPEL/CRESESB. Potencial Energético Solar – SunData. **Dados de radiação solar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>>. Acessado em: 03/03/13.
- [24] OSRAM. Catalogo Geral 2011-2012. **Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Circulares**. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Catlogo_Geral_2011-2012/AF_05_fluortubulares-print.pdf> Acessado em: 20/03/13.
- [25] NHS, Nobreaks e Estabilizadores. **Nobreak PDV 2200S – MAX**. Disponível em: <<http://www.nhs.com.br/arquivos/catalogo/catalogo%20eletronico%20PDV%20MAX%202200.pdf?1363917410>> Acessado em: 21/03/13.
- [26] NHS, Sistema Eletrônicos LTDA. **No-break Microprocessado NHS Premium – 24V**. Disponível em: <http://dc193.4shared.com/download/P9gxqj9q/tsid20130322-013017-d8c95095/NHS-PREMIUM__24V_.JPG?forceAttachmentDownload=true> Acessado em: 21/03/13.
- [27] RAGTECH. **Especificações técnicas no-break Ragtech Save 600**. Disponível em: <http://www.ragtech.com.br/nobreak_save.htm> Acessado em: 26/03/13.