



LEANDRO GUIMARÃES DOS SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA
HÍBRIDO DE ENERGIA SOLAR E EÓLICA DE PEQUENO PORTE
PARA ALIMENTAÇÃO DE ÁREAS DE USO COMUM DE EDIFÍCIOS**

LAVRAS, FEVEREIRO DE 2014.

LEANDRO GUIMARÃES DOS SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA
HÍBRIDO DE ENERGIA SOLAR E EÓLICA DE PEQUENO PORTE
PARA ALIMENTAÇÃO DE ÁREAS DE USO COMUM DE EDIFÍCIOS**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Curso de Pós-Graduação *Latu
Sensu* em Formas Alternativas de
Energia, para obtenção do título de
Especialista em Formas
Alternativas de Energia.

Professor Orientador: Carlos Alberto Alvarenga

Lavras, fevereiro de 2014.

LEANDRO GUIMARÃES DOS SANTOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA
HÍBRIDO DE ENERGIA SOLAR E EÓLICA DE PEQUENO PORTE
PARA ALIMENTAÇÃO DE ÁREAS DE USO COMUM DE EDIFÍCIOS**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Curso de Pós-Graduação *Latu
Sensu* em Formas Alternativas de
Energia, para obtenção do título de
Especialista em Formas
Alternativas de Energia.

Aprovada em _____ de _____ de 2014

Professor _____

Professor _____

Professor orientador: Carlos Alberto Alvarenga

Lavras, fevereiro de 2014.

Dedico este trabalho à meus pais e minha amada esposa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por mais esta vitória alcançada.

Agradeço também aos professores do curso FAE pelos ensinamentos prestados durante todo o curso.

Agradeço à tutora Iara e à secretária Elissa pelo apoio no contato com os professores e dúvidas de acesso ao AVA.

Por fim, agradeço aos colegas por todo o contato e troca de experiências vividas durante esse período de realização do curso.

RESUMO

A tecnologia atual permite que os consumidores finais, mesmo que de pequeno porte como edifícios ou casas, possam gerar sua própria energia através de fontes renováveis. Tais avanços colocam o consumidor em uma posição muito favorável, pois gerando sua própria energia, é possível reduzir os custos com a energia fornecida pelas concessionárias, além de possuir enormes vantagens técnicas como por exemplo tensão sem variações e com alta confiabilidade de fornecimento. Os sistemas híbridos se mostram muito vantajosos nesse cenário pois possuem mais de uma fonte de energia e na falta de uma fonte, a outra pode continuar alimentando o sistema. Um sistema híbrido de geração de energia solar e eólico para alimentação de áreas de uso comuns em edifícios será analisado neste trabalho que visa verificar a viabilidade ou não da instalação de um sistema desse porte no Brasil.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Sistemas Híbridos de Geração de Energia, Energia Solar, Energia Eólica.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Pannel composto por células de silício monocristalino .. | 18 |
| Figura 1.2 – Pannel composto por células de silício policristalino | 19 |
| Figura 1.3 – Pannel composto por células de silício amorfo | 20 |
| Figura 1.4 - Célula fotovoltaica..... | 21 |
| Figura 1.5 – Balanço da energia solar | 22 |
| Figura 1.6 – Média anual de horas de sol no Brasil | 23 |
| Figura 1.7 – Radiação solar diária, média anual [MJ/m ² .dia] | 24 |
| Figura 2.1 – Força de arrasto atuando nas pás de um rotor | 28 |
| Figura 2.2 – Força de sustentação atuando nas pás de um rotor | 29 |
| Figura 2.3 – Turbina vertical com rotor Savonius..... | 31 |
| Figura 2.4 – Turbina vertical com rotor Darrieus | 31 |
| Figura 2.5 – Turbina horizontal tripá | 33 |
| Figura 2.6 – Fluxo de potencia eólica anual no Brasil | 34 |
| Figura 3.1 – Sistema híbrido de geração de energia eólico e solar | 37 |
| Figura 4.1 – Radiação diária média [kWh/m ² .dia] | 40 |
| Figura 4.2 – Velocidade média trimestral dos ventos a 50 de altura [m/s]..... | 42 |
| Figura 4.3 – Velocidade média anual dos ventos a 50m de altura [m/s] | 43 |
| Figura 4.4 – Edifício selecionado para instalação do sistema híbrido de geração de energia | 45 |
| Foto 4.5 – Vista lateral da área de instalação | 46 |
| Foto 4.6 – Vista frontal da área de instalação | 47 |
| Foto 4.7 – Vista traseira da área de instalação | 47 |
| Figura 4.8 – Área superior esquerda para instalação dos painéis fotovoltaicos do sistema solar | 49 |
| Figura 4.9 – Área superior direita para instalação do aerogerador do sistema eólico | 49 |
| Figura 4.10 – Imagem de satélite demonstrando orientação geográfica do edifício | 51 |
| Figura 4.11 – Gerador eólico Air Breeza | 54 |
| Figura 4.12 – Capacidade de geração de energia X a velocidade média do vento | 55 |
| Figura 4.13 – Módulo solar Mitsubishi Electric PV-MLU250HC..... | 56 |
| Figura 4.14 – Esquema de ligação do sistema proposto. | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1 – Radiação média anual [kWh/m ² .dia] | 41 |
| Tabela 4.2 – Equipamentos existentes nas áreas de uso comuns do edifício | 52 |
| Tabela 4.3 – Principais características do aerogerador Air Breeze | 54 |
| Tabela 4.4 – Principais características do módulo solar Mitsubishi Electric PV-MLU250HC | 56 |
| Tabela 4.5 – Principais características do inversor Outback GFX1548 | 58 |
| Tabela 4.6 – Custo dos equipamentos | 60 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | | |
|-------------------|---|---|
| A | - | Ampère |
| Ah | - | Ampère/hora |
| ANEEL | - | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CRESESB | - | Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito |
| Coelba | - | Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia |
| GPS | - | Global position system |
| μm | - | micrometros |
| m^2 | - | metro quadrado |
| m/s | - | metro por segundo |
| VDC | - | volts de tensão contínua |
| W | - | watt |
| kW | - | kilowatt |
| kWh | - | kilowatt hora |
| kWh/ m^2 | - | kilowatt hora por metro quadrado |
| MJ | - | megajoule |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 12 |
| 1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA..... | 15 |
| 1.1 Histórico da energia solar fotovoltaica..... | 15 |
| 1.2 Principais tecnologias utilizadas na construção das células fotovoltaicas | 16 |
| 1.2.1 Células fotovoltaicas de silício monocristalino..... | 17 |
| 1.2.2 Células fotovoltaicas de silício policristalino..... | 18 |
| 1.2.3 Células fotovoltaicas de silício amorfo | 19 |
| 1.3 Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica | 20 |
| 1.4 Níveis solarimétricos no Brasil | 21 |
| 2 ENERGIA EÓLICA | 26 |
| 2.1 Histórico da energia eólica | 26 |
| 2.2 Funcionamento de um gerador eólico | 27 |
| 2.2.1 Força de arrasto | 27 |
| 2.2.2 Força de sustentação..... | 28 |
| 2.3 Principais tecnologias..... | 29 |
| 2.3.1 Turbinas de eixo vertical | 30 |
| 2.3.2 Turbinas de eixo horizontal | 32 |
| 2.4 Quantidade e qualidade dos ventos no Brasil..... | 33 |
| 3 SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA..... | 36 |
| 3.1 Histórico de utilização dos sistemas híbridos | 36 |
| 3.2 Componentes dos sistemas híbridos..... | 36 |
| 4 ESTUDO DE VIABILIDADE | 39 |
| 4.1 Escolha do local..... | 39 |
| 4.1.1 Níveis solarimétricos no local escolhido..... | 39 |
| 4.1.2 Níveis dos ventos no local escolhido | 41 |
| 4.2 Análise da estrutura física disponível..... | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 Escolha dos equipamentos..... | 51 |
| 4.3.1 Dados de consumo do edifício | 52 |
| 4.3.2 Turbina eólica..... | 53 |
| 4.3.3 Painéis solares | 55 |
| 4.3.4 Inversor..... | 57 |
| 4.3.5 Bateria | 58 |
| 4.3.6 Custo dos equipamentos..... | 59 |
| 4.3.7 Esquema de ligação do sistema proposto | 60 |
| CONCLUSÃO | 62 |
| BIBLIOGRAFIA | 63 |

INTRODUÇÃO

Existem atualmente no Brasil milhares de edifícios já construídos ou ainda em fase de construção que, em sua grande maioria, utilizam para alimentação de seus sistemas elétricos a energia fornecida pela concessionária que atende sua região.

Praticamente todos os estabelecimentos deste tipo possuem em sua parte superior grandes áreas utilizadas apenas como telhado, não sendo utilizadas para nenhum outro fim. Justamente nestas áreas pode ser implementado um sistema de geração de energia alternativa. Os sistemas mais utilizados atualmente nestes casos são os sistemas eólico e solar.

Embora o governo brasileiro venha buscando alternativas para redução deste custo para o consumidor final através de políticas e incentivos nesta área, grandes e pequenos usuários podem se beneficiar das mais diversas formas de geração de energia disponíveis atualmente no mercado e gerar sua própria energia, minimizando seus custos com a energia elétrica da concessionária. A tecnologia atual permite que seja possível gerar energia de forma natural e renovável à um preço razoável, que pode compensar o investimento em determinados casos. A resolução 482/2012 da ANAEEEL demonstra os esforços do governo brasileiro no sentido de viabilizar a geração deste tipo de energia. Ela foi publicada no dia 17 de abril de 2012 e visa facilitar e incentivar a conexão da microgeração e minigeração a partir de fontes renováveis à rede de distribuição. Esta resolução estabelece as condições gerais para conexão destes sistemas à rede e cria um sistema de compensação de energia, onde o consumidor pode injetar a energia gerada para compensar a energia consumida da rede de

distribuição em troca de créditos que podem ser utilizados em até 36 meses, seja em período chuvosos ou à noite.

Este sistema de compensação de energia elétrica que é citado na resolução 482/2012 da ANEEL é o mesmo sistema proposto à ser utilizado no sistema híbrido apresentado neste trabalho, onde a energia gerada será injetada na rede e um crédito será gerado a fim de compensar a energia consumida da rede de distribuição durante o período maior uso de energia.

Neste trabalho, busca-se realizar o estudo de viabilidade de instalação de um sistema híbrido de fornecimento de energia solar e eólica de pequeno porte para alimentação de áreas comuns de edifícios. O sistema deverá ser capaz de fornecer alimentação suficiente para alimentar todas as áreas comuns à um custo aceitável e que tenha um retorno de investimento em um prazo médio.

No primeiro capítulo deste trabalho, será realizado um breve estudo sobre a energia solar fotovoltaica. Também será apresentado um estudo sobre os níveis solarimétricos brasileiros.

No segundo capítulo será apresentado um estudo sobre as principais características da energia eólica. Serão detalhados também a quantidade e qualidade dos ventos existente no Brasil.

No terceiro capítulo é realizada um breve estudo sobre sistemas híbridos de geração de energia e seus principais componentes.

No quarto e último capítulo deste trabalho, será realizada a análise de viabilidade para instalação do sistema proposto. Para isso, é realizado o comparativo entre os custos de implantação do sistema e o custo da energia fornecida pela concessionária na região proposta para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, serão apresentados as conclusões e considerações finais sobre o trabalho executado. Nesta parte, também serão apresentadas sugestões de melhorias a serem realizadas para facilitar e diminuir os custos de instalação de um sistema deste tipo.

1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Neste capítulo serão abordados assuntos sobre a energia solar fotovoltaica, como por exemplo as suas principais características e aplicações. Na Seção 1.1 será apresentada uma abordagem geral sobre o histórico da energia fotovoltaica. A Seção 1.2 mostra as principais tecnologias existentes no mercado atualmente. A seção 1.3 ilustra o funcionamento de uma célula fotovoltaica e, por fim, a seção 1.4 mostra os níveis solarimétricos brasileiros.

1.1 Histórico da energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia resultante da incidência da luz do sol sobre os materiais semicondutores da célula fotovoltaica. Este efeito foi observado pela primeira vez no século XIX por Alexandre Edmond Becquerel, que percebeu o surgimento de uma diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor quando ocorria a incidência de luz sobre o mesmo.

Diversos estudos nesta área continuaram a ser desenvolvidos até que em 1954, três pesquisadores norte americanos que trabalhavam no laboratório Bell, chamados Pearson, Fuller e Chapin, desenvolveram a primeira célula de silício monocristalino para uso prático.

O seu desenvolvimento ocorreu inicialmente baseado na indústria de telecomunicações para alimentação de estações instaladas em locais remotos, visto que estas estações eram instaladas há quilômetros da rede de energia mais próxima, tornando o custo da extensão da rede elétrica extremamente elevado.

A corrida espacial e o lançamento de satélites também foram muito importantes no crescimento desta tecnologia de geração de energia elétrica. A primeira utilização real de células fotovoltaicas aconteceu no ano de 1958, onde as células foram responsáveis por alimentar o satélite Vanguard I¹. Por possuir um custo de produção muito elevado, não houve um grande interesse do mercado nas células fotovoltaicas.

A crise energética de 1973 renovou o interesse nas indústrias de células, porém seus custos extremamente elevados continuavam tornando esta tecnologia praticamente inviável economicamente. O custo das células utilizadas nas explorações espaciais eram impraticáveis na época e buscou-se adequar o perfil das indústrias existentes para reduzir os custos.

Atualmente são produzidas células fotovoltaicas através de diversas tecnologias e com larga escala, o que fez com que seu custo se tornasse muito mais acessível, sendo amplamente utilizado mundialmente e instaladas nos mais diversos sistemas.

1.2 Principais tecnologias utilizadas na construção das células fotovoltaicas

Atualmente existem diversas tecnologias de fabricação dos painéis solares fotovoltaicos. Entre essas tecnologias pode-se destacar a de Silício Monocristalino, Silício Policristalino, Silício Amorfo,

¹ Vanguard I: Foi o quarto satélite lançado pelos Estados Unidos e o primeiro satélite no mundo a ser alimentado por células fotovoltaicas. Foi desenvolvido e lançado com a missão de testar a capacidade de lançamento de foguetes de três estágios e também para testar os efeitos dos seus sistemas durante a operação na órbita terrestre. Atualmente não está mais operacional porém continua em órbita, sendo o lixo espacial mais antigo atualmente.

Disseleneto de Cobre, Índio, Gálio, Telureto de Cádmio e Semicondutores Orgânicos. Por ser mais utilizado atualmente e com grande potencial futuro, os módulos de silício são os mais estudados e com maior desenvolvimento tecnológico.

O silício utilizado na fabricação de painéis solares fotovoltaicos é obtido através do beneficiamento do quartzo e deve possuir um altíssimo grau de pureza.

1.2.1 Células fotovoltaicas de silício monocristalino

A célula de silício monocristalino é atualmente a célula fotovoltaica mais utilizada, pois é extremamente confiável e possui alta eficiência. A fabricação da célula de silício parte da extração do cristal de dióxido de silício, que passa por alguns processos até ficar com um grau de pureza na ordem de 99,99%. O silício neste estágio é o mesmo utilizado na indústria eletrônica na fabricação de componentes, porém passa por mais alguns processos para atingir todas as qualidades desejadas para a fabricação da célula: estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos.

O silício é então dopado com um material tipo p, geralmente boro, e fundido até formar um grande bloco cilíndrico. Deste cilindro, são extraídas finíssimas fatias de aproximadamente 300 μ m que são novamente processadas onde são introduzidas partículas tipo n dopadas com fósforo para formar a junção pn.

Esta tecnologia ainda possui custos de fabricação um pouco elevados, visto o grau de pureza do material e o complexo processo utilizado na sua fabricação, porém são as células que apresentam maior eficiência entre as comercializadas atualmente, na ordem de

12% a 16%. A figura 1.1 ilustra um painel composto por células de silício monocristalino.

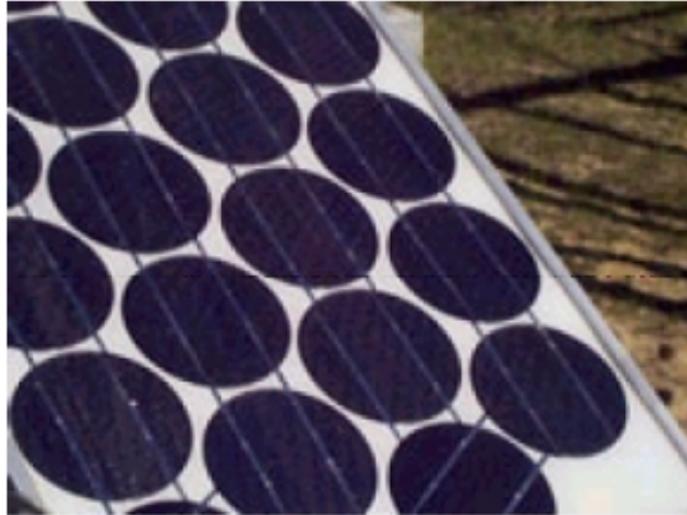


Figura 1.1 – Painel composto por células de silício monocristalino
Fonte: Adaptado de Portal Energia – 2013.

1.2.2 Células fotovoltaicas de silício policristalino

As células fotovoltaicas de silício policristalino possuem um processo de fabricação semelhante ao processo de fabricação da célula de silício monocristalino, porém menos criterioso. Em seu processo de fabricação o bloco cilíndrico não é composto de um único cristal, diminuindo consideravelmente o custo de produção.

Isto torna este tipo de célula mais barata e ao mesmo tempo menos eficiente que as células de silício monocristalino, na ordem de 11% a 13%. Apesar disto este tipo de célula é bastante utilizada no mercado e sua tecnologia está bem consolidada. Na figura 1.2 é possível observar um painel solar composto por células de silício policristalino.



Figura 1.2 – Painel composto por células de silício policristalino
Fonte: Adaptado de Portal Energia – 2013.

1.2.3 Células fotovoltaicas de silício amorfo

A célula de silício amorfo possui um custo de produção bastante reduzido pois possui um alto grau de desordem na estrutura dos átomos, além de poder ser fabricado a partir de diversos substratos diferentes. Este tipo de célula possui uma baixa eficiência se comparada com as células de silício monocristalino e policristalino, na ordem de 8% a 10%. Também apresenta uma certa degradação nos primeiros meses de uso que afeta diretamente a vida útil das mesmas. Apesar destas características o silício amorfo vem se mostrando uma forte opção para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. A figura 1.3 mostra um painel composto por células de silício amorfo.



Figura 1.3 – Painel composto por células de silício amorfo
Fonte: Adaptado de Portal Energia – 2013.

1.3 Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é um dispositivo capaz de transformar a energia da luz solar em energia elétrica. As características dos materiais semicondutores explicam de maneira muito clara como a geração de energia acontece no interior da célula. Esse tipo de material possui uma camada totalmente preenchida com elétrons (camada tipo n) e outra camada condutora totalmente vazia à baixas temperaturas (camada tipo p), conforme ilustra a figura 1.4.

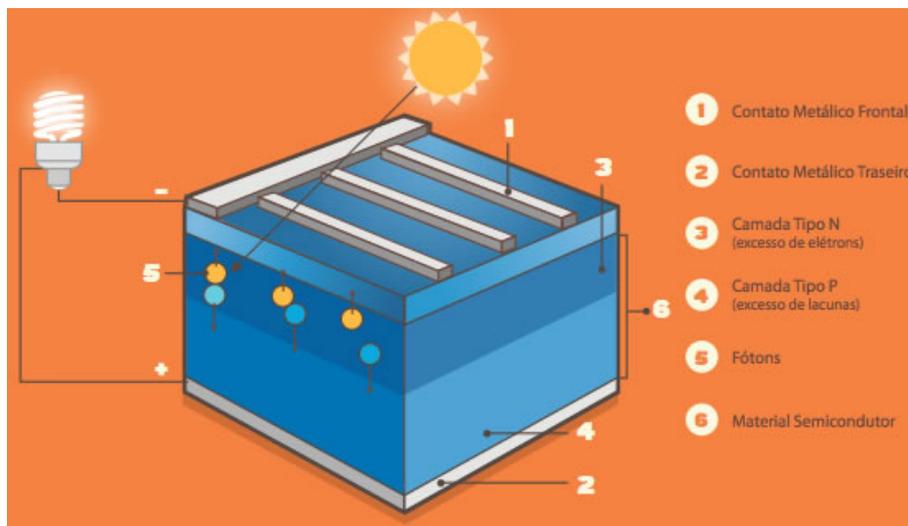


Figura 1.4 - Célula fotovoltaica
 Fonte: Cartilha Educativa Sobre Eletricidade Solar, 2007.

No momento em que os fótons presentes na luz do sol incidem sobre este material, os elétrons da camada tipo n da célula se excitam e passam para a camada tipo p. Entre esses dois materiais existe uma junção pn que funciona como uma espécie de barreira que impede que estes elétrons retornem ao local de origem, forçando-os assim a retornar por outro caminho, no caso os condutores. Forma-se assim o polo negativo na camada p, onde há excesso de elétrons, e o polo positivo na camada n, onde há falta de elétrons. Ao ligar-se esses polos através de um fio condutor existe a formação da corrente elétrica utilizada na alimentação dos mais diversos circuitos elétricos.

1.4 Níveis solarimétricos no Brasil

O sol libera sobre a atmosfera terrestre grande potencial energético, na ordem de $1,7 \times 10^{14}$ kW, 13 milhões de vezes maior que o

potencial energético instalado na Usina Hidrelétrica de Itaipu. Nem toda essa energia porém pode ser aproveitada para geração de energia elétrica, pois grande parte dela é utilizada em outros processos na natureza, conforme ilustra a figura 1.5.

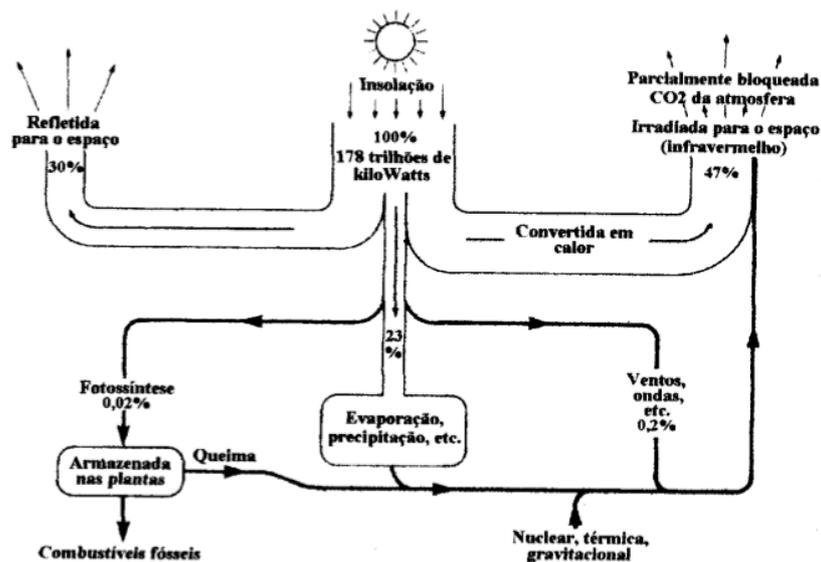


Figura 1.5 – Balanço da energia solar
Fonte: ALVARENGA, 2006.

A maior parte da energia solar é refletida de volta ao espaço por causa de diversos agentes presentes no ar e na atmosfera. Em dias claros, de sol a pino, a energia solar que atinge uma superfície horizontal de 1m^2 próxima ao solo é de aproximadamente 1.000W . Obviamente quanto maior a massa de ar entre o sol e a terra, menor é o seu poder energético, ou seja, quanto mais baixo no horizonte o sol estiver, menor será sua capacidade de gerar energia.

O Brasil possui um enorme potencial de aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica, principalmente no norte da região Sudeste e na região Nordeste, conforme ilustra a figura 1.6.

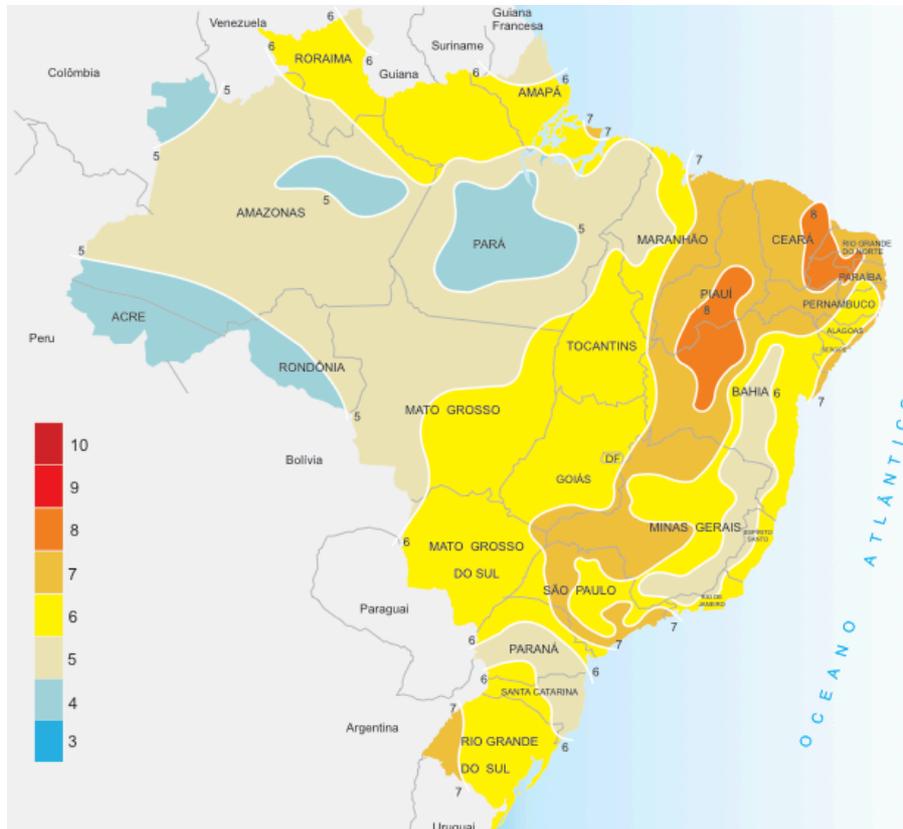


Figura 1.6 – Média anual de horas de sol no Brasil
 Fonte: TIBA, et. Al, 2000.

Através do mapa é possível observar que há uma grande incidência da luz solar no estado de Minas Gerais, parte de São Paulo, uma pequena área do Rio Grande do Sul e em grande parte da região Nordeste, com uma média anual de mais de 7 horas de sol por dia. Pode-se destacar a parte oeste e norte da região Nordeste onde há uma média de 8 horas diárias de sol. Por outro lado, pode-se notar que algumas partes da região Norte possuem uma média anual de apenas 4 horas de sol diariamente.

Em termos de radiação solar, pode-se destacar a partes da

região Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, conforme pode-se analisar na figura 1.7.

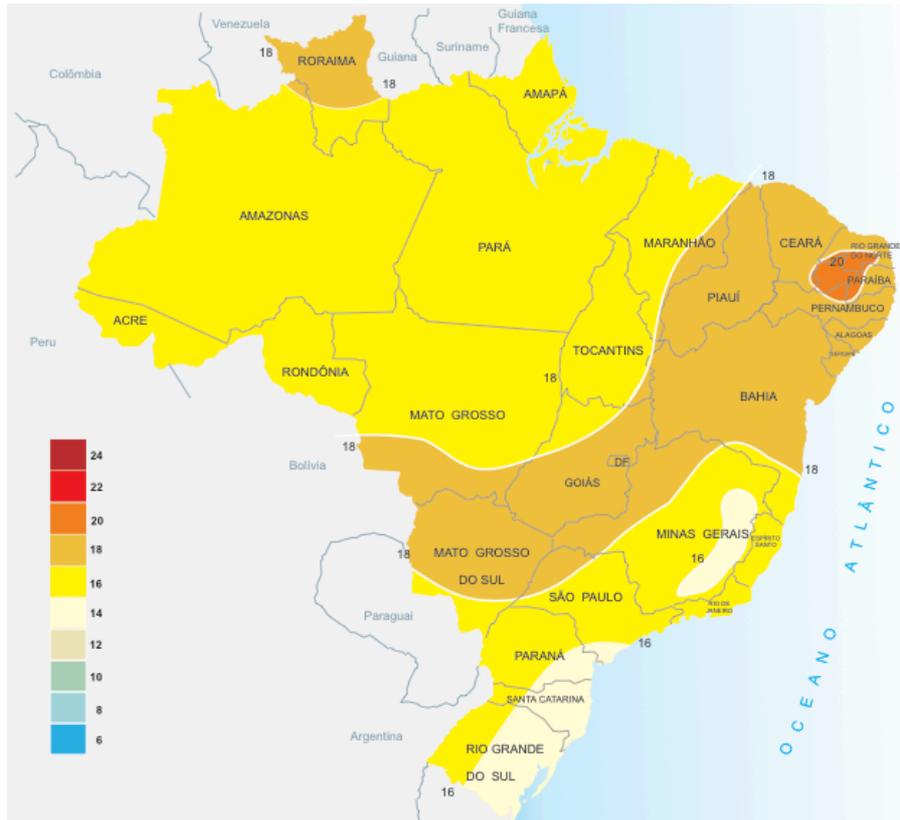


Figura 1.7 – Radiação solar diária, média anual [MJ/m².dia]
Fonte: TIBA, et. Al, 2000.

A região com maior radiação solar diária, considerando a média anual, é uma região compreendida no interior dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, com radiação média anual de 20MJ/m².dia, o que representa aproximadamente 5,55kWh/m².dia. No outro extremo estão os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, com radiação média de 14MJ/m².dia, aproximadamente 3,89kWh /m².dia

A região Nordeste do Brasil, em especialmente o litoral sul do estado da Bahia, é o foco de desenvolvimento deste trabalho e os dados solarimétricos desta área serão amplamente detalhadas nos próximos capítulos.

2 ENERGIA EÓLICA

Neste capítulo serão abordados assuntos sobre a energia eólica, descrevendo suas características e aplicações. A Seção 2.1 mostra de maneira objetiva um pequeno histórico sobre a energia eólica. Na Seção 2.2 ilustra-se o funcionamento de um gerador eólico. Na seção 2.3 será possível observar as principais tecnologias utilizadas atualmente e, finalmente, a seção 2.4 mostra a qualidade e quantidade dos ventos no Brasil.

2.1 Histórico da energia eólica

Não existem registros precisos de quando a humanidade começou a utilizar o vento como forma de energia. Estima-se que tenha já na Idade Média o homem começou a utilizar a força do vento para movimentação de navios. Sabe-se de forma concreta que no século XIV a Europa possuía grandes moinhos movidos pelo vento e durante muitos séculos eles sofreram enorme aprimoramento técnico. No século XIX surgiram inúmeras fábricas de cata-ventos para bombeamento de água nos Estados Unidos e, anos mais tarde, também no Brasil.

Na geração de energia elétrica, os aerogeradores começaram a ser utilizados a partir da década de 1930, onde habitantes das zonas rurais dos Estados Unidos começaram a utilizar estes equipamentos para o carregamento de baterias. Em 1955 surgiu na Alemanha o precursor das turbinas eólicas que conhecemos atualmente, com pás de materiais compostos e torre tubular. Entretanto o maior avanço neste sentido ocorreu a partir dos anos 1980 na Califórnia e a partir de

1990 na Dinamarca e Alemanha, quando a capacidade de geração elétrica das turbinas começou a atingir níveis razoáveis e o custo começou a ser reduzido para patamares aceitáveis.

O cenário atual no Brasil no que tange à energia eólica é bastante promissor. Segundo dados da CEPEL, o país possui a capacidade de geração de energia eólica de até 145.000MW, ou seja, aproximadamente 10 vezes a capacidade de geração de energia da usina hidrelétrica de Itaipu. Atualmente o país está gerando 4.400MW de energia através dos ventos. Este valor parece pouco se comparado com o potencial máximo de nosso país, mas é importante salientar que houve um aumento na geração de 200 vezes se comparado com os números de 10 anos atrás onde o Brasil gerava apenas 22MW de energia eólica. O país possui atualmente aproximadamente 100 projetos de instalação de parques eólicos em todo o território nacional.

2.2 Funcionamento de um gerador eólico

Para se entender o funcionamento de uma turbina eólica é necessário compreender as forças dos ventos atuantes nas suas pás. Essas forças são conhecidas como força de arrasto e força de sustentação e serão detalhadas a seguir.

2.2.1 Força de arrasto

A força de arrasto é a força que atua perpendicularmente na pá do rotor em relação à direção do vento, conforme ilustra a figura 2.1.

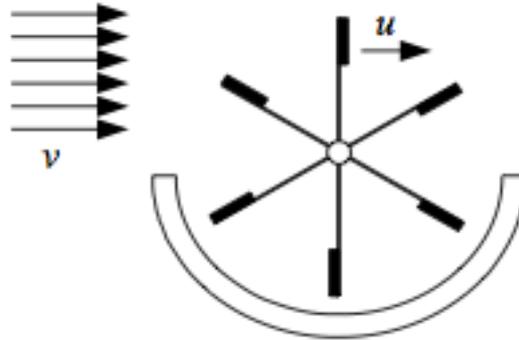


Figura 2.1 – Força de arrasto atuando nas pás de um rotor
Fonte: Adaptado de MARQUES, 2008.

Essa força de arrasto pode ser calculada através da equação (2.1):

$$D = C_D \frac{\rho}{2} A v^2 \quad (2.1)$$

Onde o coeficiente de arrasto C_D é uma constante de proporcionalidade que depende da geometria da pá, . Para uma pá plana circular, o coeficiente de arrasto é de 1,11. Uma pá plana quadrada possui um coeficiente de arrasto 1,10. Já uma pá semi-esférica convexa possui um coeficiente de arrasto de 1,33 e uma pá semi-esférica côncava de 0,34.

2.2.2 Força de sustentação

A força de sustentação é a força que atua nas pás do rotor e possui tanto uma componente perpendicular quanto paralela à velocidade do vento. Por esta razão as pás que utilizam a força de

sustentação para movimentação dos rotores possuem um perfil aerodinâmico, conforme mostra a figura 2.2.

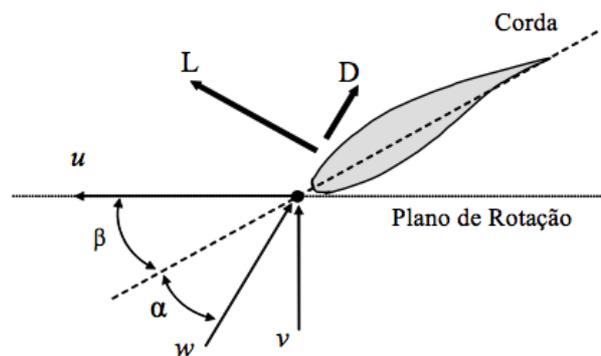


Figura 2.2 – Força de sustentação atuando nas pás de um rotor
Fonte: MARQUES, 2008.

Da mesma maneira que a força de arrasto, a força de sustentação também pode ser calculada. Para isto, deve-se utilizar a equação (2.2):

$$L = C_L \frac{\rho}{2} A v^2 \quad (2.2)$$

Onde o coeficiente de sustentação C_L é igual ao ângulo de ataque quando não há perda aerodinâmica, e varia linearmente quando este ângulo for entre 1 e 10 graus. Para um ângulo de ataque maior que 10 graus começa a ocorrer a perda aerodinâmica na pá e o fluxo sobre o perfil passa a ser turbulento, limitando a força sobre a turbina.

2.3 Principais tecnologias

Existem dois tipos principais de turbinas, também chamadas de aerogeradores: os de eixo vertical e de eixo horizontal. De um modo estrutural, o que diferencia as duas tecnologias é a forma em que o rotor está disposto. Tecnicamente falando, outros fatores diferenciam os dois tipos como, por exemplo, o custo de produção e eficiência.

2.3.1 Turbinas de eixo vertical

Como o próprio nome já diz, as turbinas de eixo vertical possuem seu rotor alinhado no eixo vertical. Com isso, o funcionamento e eficiência deste tipo de turbina não é influenciado pela direção do vento. Neste tipo de turbina os ventos de qualquer direção são capazes de mover suas pás. Seu funcionamento é influenciado apenas pela força do vento. Apesar de não depender da direção do vento, são menos eficientes do que as turbinas de eixo horizontal.

Os principais tipos de turbinas de eixo vertical são as Savonius e Darrieus, conforme ilustram as figuras 2.3 e 2.4.

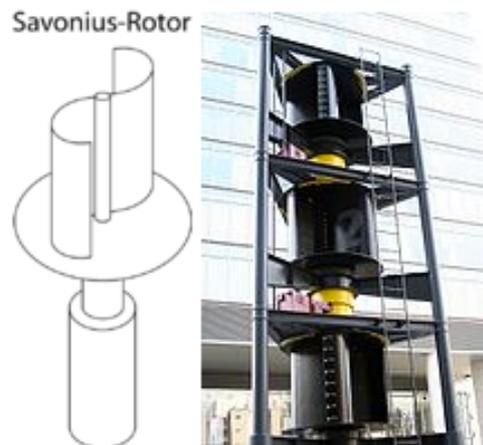


Figura 2.3 – Turbina vertical com rotor Savonius
Fonte: Wikipedia, 2012.

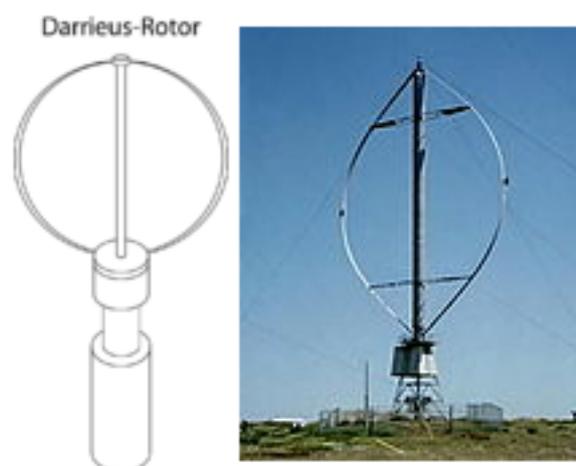


Figura 2.4 – Turbina vertical com rotor Darrieus
Fonte: Wikipedia, 2012.

Por conta da disposição de suas pás, a Savonius utiliza apenas a força de arrasto dos ventos para se movimentar e possui uma eficiência máxima de 20%, enquanto que a Darrieus utiliza a força de sustentação para se mover e possui eficiência máxima de 40%.

2.3.2 Turbinas de eixo horizontal

As turbinas de eixo horizontal possuem seu rotor alinhado no eixo horizontal. São as turbinas mais conhecidas e também as com maior eficiência, chegando a mais de 45%.

Os modelos com duas pás são muito mais eficientes que os modelos com três pás, porém são mais instáveis e propensos a turbulências, podendo danificar sua estrutura. Isto torna o modelo de 3 pás muito mais utilizado, com torres mais altas e sem sofrer com problemas de danos em sua estrutura. A figura 2.5 mostra uma turbina de eixo horizontal com três pás.



Figura 2.5 – Turbina horizontal tripá
Fonte: Wikipedia, 2012.

2.4 Quantidade e qualidade dos ventos no Brasil

Da mesma forma como acontece com a radiação solar, o Brasil é um país rico neste recurso natural. Possui regiões com ventos fortes e constantes, o que faz com que este tipo de geração de energia seja bastante explorada em nosso país.

A velocidade e constância do vento tende a ser maior nas regiões litorâneas, conforme ilustra a figura 2.6.

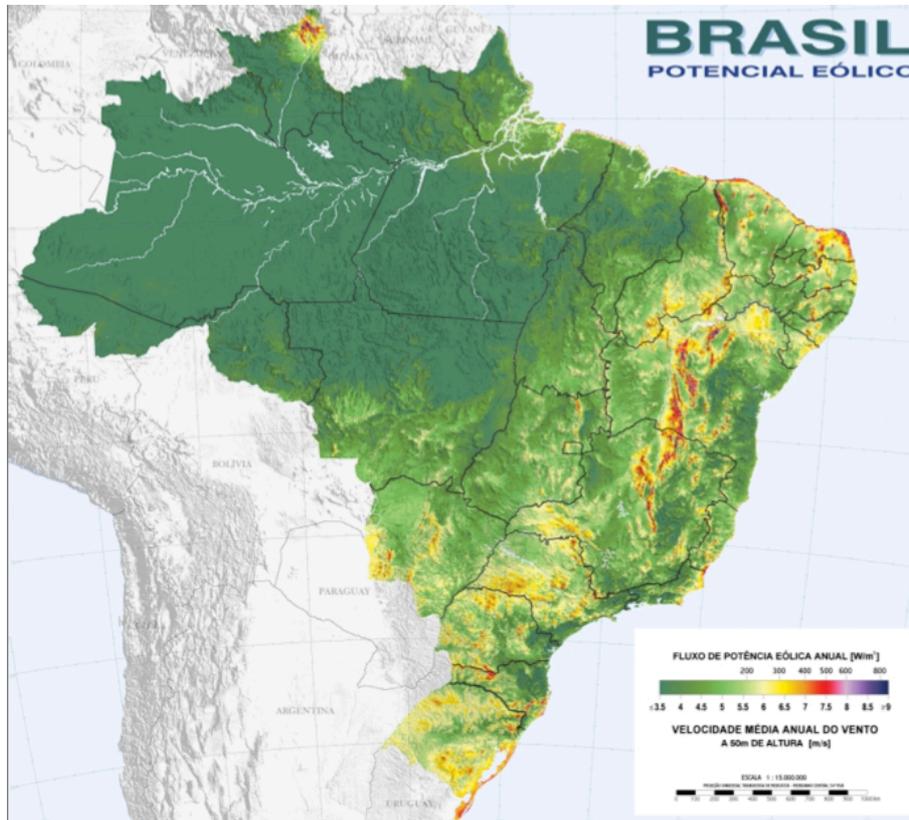


Figura 2.6 – Fluxo de potencia eólica anual no Brasil
Fonte – CRESESB, 2001.

É possível observar que todo o litoral brasileiro possui bons ventos, principalmente nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. A região entre o sul do estado do Espírito Santo e o norte do Rio de Janeiro também possui bons ventos. O interior do estado da Bahia, Minas Gerais e Piauí também possuem ótimas regiões com grande potencial de geração de energia elétrica através dos ventos. O potencial nestas regiões citadas anteriormente fica entre $7,5$ e 9W/m^2 de área da seção transversal do rotor.

Existem muitas outras regiões interessantes para geração de energia eólica no Brasil, como por exemplo o litoral gaúcho e o interior de alguns estados da região Sul, Sudeste e Nordeste. As regiões Norte e Centro-Oeste por sua vez praticamente não possuem bons pontos para geração deste tipo de energia, ficando limitado à poucas áreas dos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Roraima.

Por ser objetivo de estudo deste trabalho, a região do litoral sul do estado da Bahia será mais estudada nos próximos capítulos.

3 SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Neste capítulo serão estudados alguns pontos sobre a geração de energia através de sistemas híbridos. Na Seção 3.1 será apresentada um pequeno histórico sobre a utilização de sistemas híbridos de geração de energia. Já a Seção 3.2 mostra os principais componentes de um sistema deste tipo.

3.1 Histórico de utilização dos sistemas híbridos

Os sistemas híbridos de geração de energia são todos aqueles sistemas que são compostos por mais de uma fonte geradora de energia. Esta fonte pode ser solar, eólica, turbina hidráulica, motor a diesel, entre outras. Neste tipo de sistema, as fontes geradoras são ligadas em paralelo e são controladas por um regulador de carga.

Não existem muitas notícias ou evidências sobre quando os sistemas híbridos de geração de energia começaram a ser utilizados. Sabe-se porém que os primeiros sistemas híbridos foram do tipo eólico-diesel e solar-diesel, ambos implementados nos EUA no final dos anos 1970. A partir da década de 80 os sistemas híbridos foram se tornando comuns pois eram utilizados como forma de economia de diesel. A partir de 1990 o uso deste tipo de sistema buscava, além da redução dos custos operacionais, a preocupação com o meio ambiente.

3.2 Componentes dos sistemas híbridos

Os sistemas híbridos possuem alguns componentes comuns,

independente de suas fontes geradoras. Entre esses componentes pode-se destacar as fontes geradoras, os inversores, os controladores de carga e as baterias. A figura 3.1 ilustra um sistema híbrido de geração de energia eólico e solar.

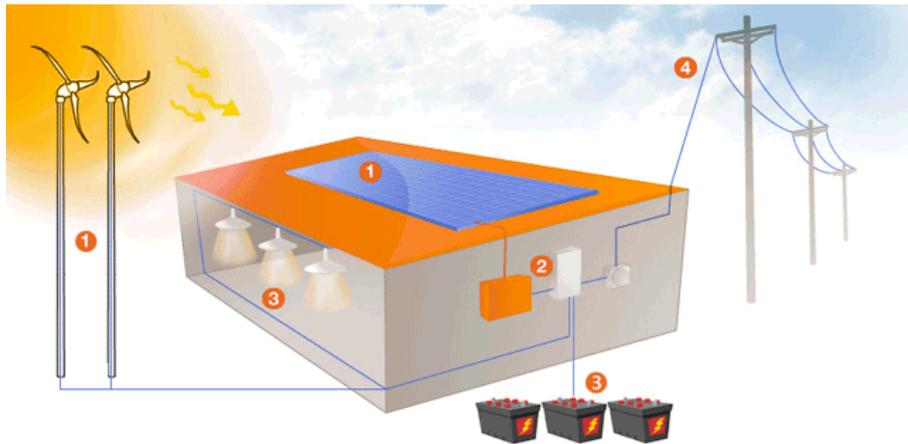


Figura 3.1 – Sistema híbrido de geração de energia eólico e solar
Fonte: Energia Pura, 2013.

Pode-se observar que o modelo representado na figura é um sistema muito parecido com o que está sendo proposto neste trabalho. Na figura é possível ver os geradores eólicos e painéis solares(1), o controlador de carga e inversor (2), as baterias (3) e a rede de distribuição (4). É possível observar que o sistema controlador de carga/inversor interliga todos os componentes do sistema. Ele é o responsável pela comunicação com a rede elétrica externa garantindo o sistema de compensação de energia elétrica. Ele também é responsável por gerenciar todo funcionamento do sistema, monitorando quando as baterias (se existentes) devem ser carregadas e/ou quando há falta ou excesso de energia no sistema.

Já os inversores são responsáveis por converter a tensão contínua fornecida pelos painéis solares e aerogeradores em tensão alternada. As baterias são responsáveis por armazenar a energia gerada para posterior uso à noite ou em períodos sem insolação ou ventos.

O sistema proposto neste projeto trabalha com compensação de energia. Significa dizer que o excedente de energia gerada é injetado na rede de distribuição, criando um crédito para que o consumidor pague apenas a diferença positiva entre a energia gerada e a energia consumida.

4 ESTUDO DE VIABILIDADE

Para que seja possível a realização do estudo de viabilidade, é necessário primeiramente realizar a escolha de um local para a instalação do sistema. Na segunda etapa é realizada a análise da estrutura física do local a ser instalado. A terceira etapa consiste na escolha dos equipamentos que irão compor o sistema híbrido. Por fim será feito um estudo comparativo para verificar o tempo de retorno do investimento.

4.1 Escolha do local

O local escolhido pelo autor para realizar o estudo de viabilidade da instalação do sistema híbrido de geração de energia é um edifício residencial localizado na zona central da cidade de Ilhéus, litoral sul do estado da Bahia, com latitude de 14,7888° sul e longitude de 39,0494° oeste.

4.1.1 Níveis solarimétricos no local escolhido

Analisando o mapa solarimétrico da região, observa-se que os níveis solarimétricos do local escolhido estão um pouco acima da média nacional. Para facilitar o projeto desse tipo de sistema, O CRESESB² possui uma ferramenta online que apresenta a radiação solar no plano horizontal para qualquer ponto geográfico no território

² CRESESB: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito/CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. É uma instituição situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ responsável por efetuar estudos e levantamentos sobre o potencial solar e eólico no Brasil e em alguns países.

brasileiro, através das coordenadas de GPS do mesmo. Esta ferramenta é bastante útil para auxiliar nos projetos de sistemas deste tipo, facilitando o dimensionamento do sistema e o cálculo dos custos.

Para o ponto de instalação em questão, pode-se observar na figura 4.1 os seguintes dados:

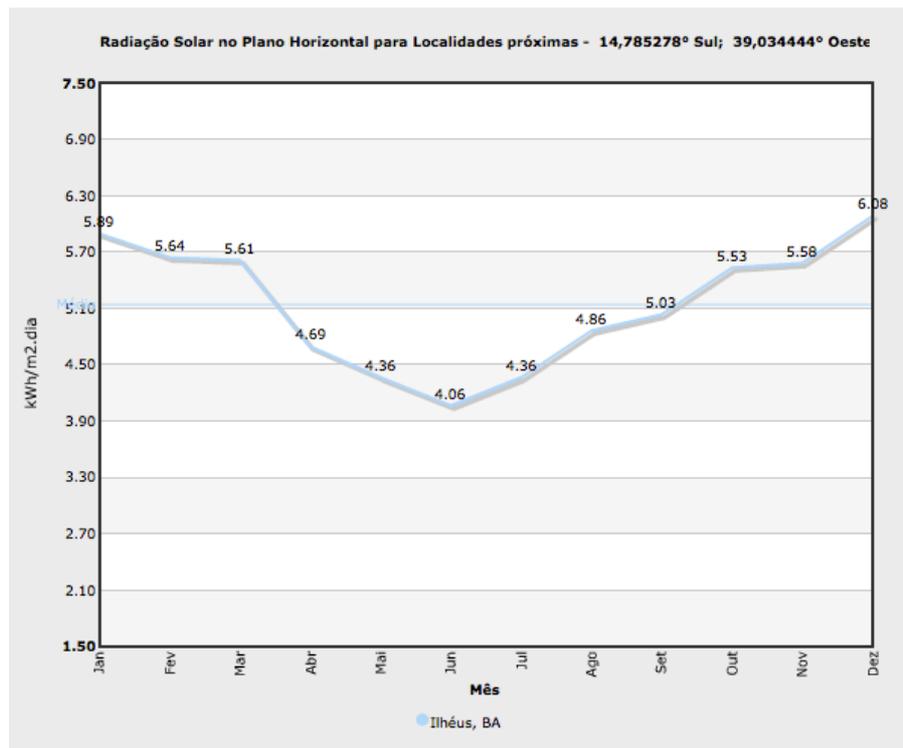


Figura 4.1 – Radiação diária média [kWh/m².dia]
Fonte: CRESESB, 2012.

Pode-se observar que os meses com melhor média de radiação diária são os meses de outubro a março, com médias acima de 5,53kWh/m².dia, com pico de 6,08kWh/m².dia no mês de dezembro. No outro lado da lista, está o mês de junho com apenas 4,06 kWh/m².dia. Levando-se em conta todos os meses do ano, a

média diária de radiação solar no ponto escolhido fica em torno de 5,14 kWh/m².dia, o que está dentro da média da região Nordeste e do Brasil, conforme mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Radiação média anual [kWh/m².dia]
Fonte: AUTOR: 2012.

| Localidade | Radiação média anual [kWh/m².dia] |
|-------------------|---|
| Ilhéus / BA | 5,14 |
| Região Nordeste | 5,27 |
| Brasil | 4,72 |

4.1.2 Níveis dos ventos no local escolhido

Da mesma forma que já foi estudado anteriormente a região escolhida em termos de radiação solar, se faz necessário o estudo da região no que diz respeito aos níveis dos ventos. Para isto o CRESESB também disponibiliza uma ferramenta online para análise dos ventos em determinada região. A figura 4.2 ilustra a velocidade média dos ventos a cada trimestre no ponto de instalação.

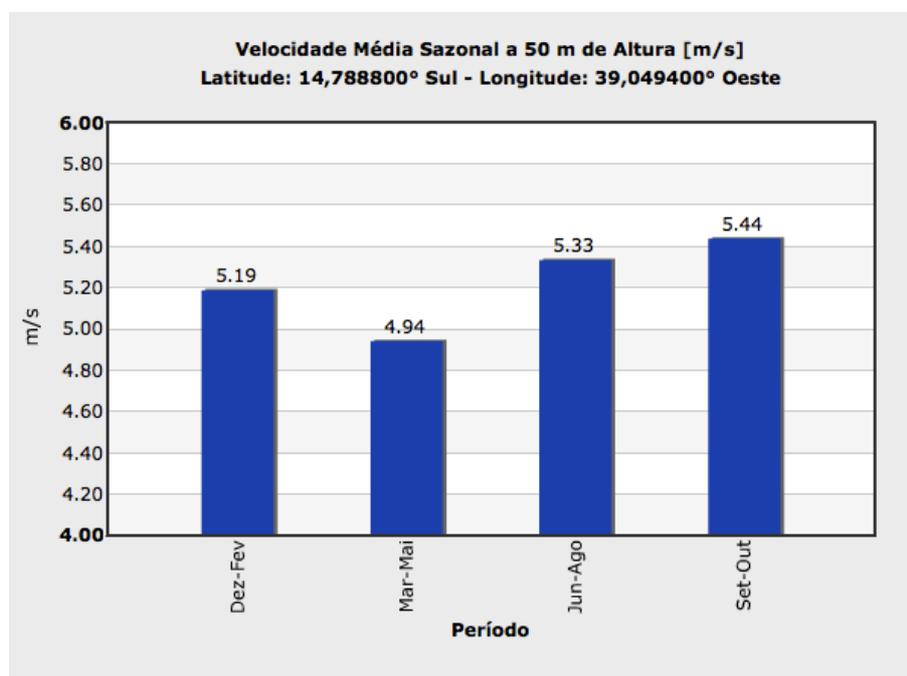


Figura 4.2 – Velocidade média trimestral dos ventos a 50 de altura [m/s]

Fonte: CRESESB, 2012.

Pode-se analisar na figura, que os meses de setembro a outubro possuem os melhores ventos, com média de 5,44m/s. A média anual da velocidade dos ventos fica em torno de 5,22m/s, sempre medido a 50 metros de altura. A velocidade dos ventos no ponto selecionado está dentro da média nacional, porém é um pouco baixa se for considerada a média da região litorânea do Nordeste brasileiro, conforme ilustra a figura 4.3.

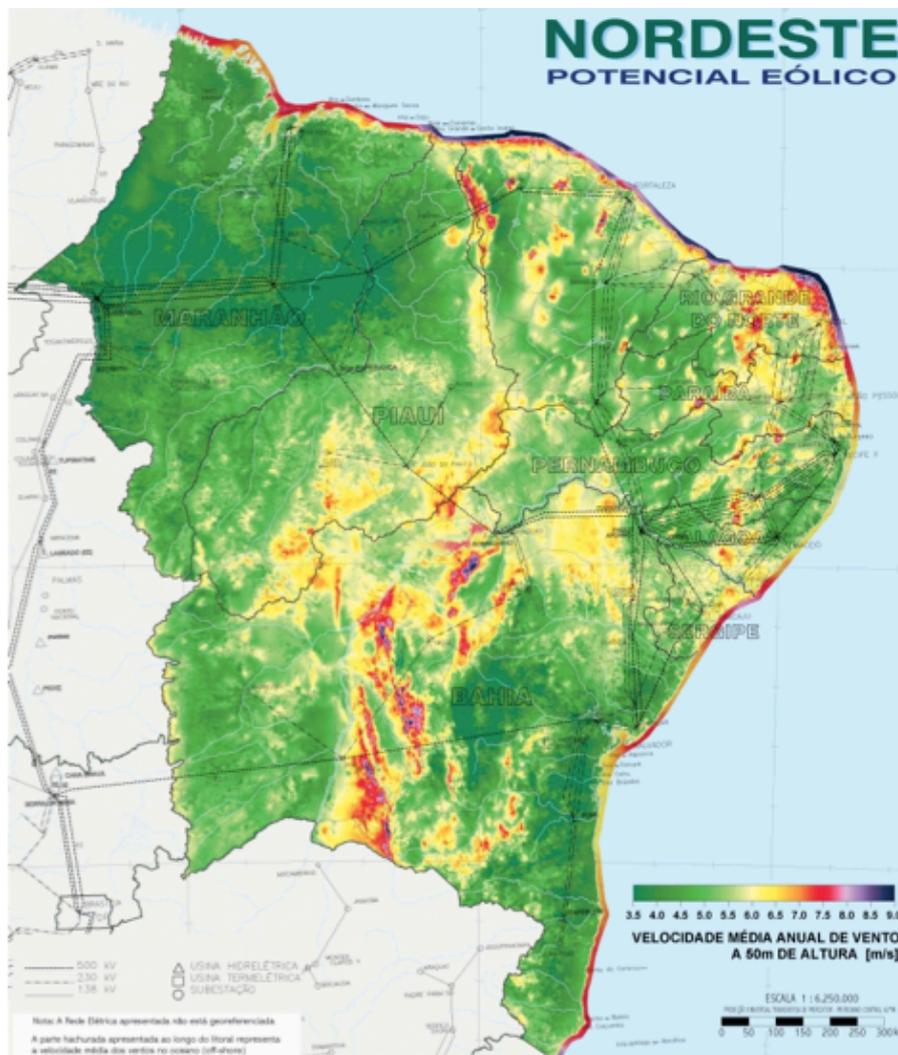


Figura 4.3 – Velocidade média anual dos ventos a 50m de altura [m/s]
 Fonte: CRESESB, 2001.

Pode-se perceber que há regiões no Nordeste em que a média anual dos ventos ultrapassam os 9m/s, como o litoral dos estados de Natal, Ceará e interior do estado da Bahia. A faixa costeira da região Nordeste, assim como em todo o Brasil, possui bons ventos para instalação de geradores eólicos. Por outro lado, grande parte do interior dessa mesma região possui ventos fracos que não justificam o

investimento em sistemas deste tipo.

4.2 Análise da estrutura física disponível

A estrutura física do local escolhido pelo autor se mostra bastante favorável para a instalação deste tipo de sistema de geração de energia. O edifício possui um total de 12 andares, 1 andar extra nas coberturas e 1 andar de garagem, o que resulta em uma altura de aproximadamente 45 metros até o solo, conforme é possível observar na figura 4.4.



Figura 4.4 – Edifício selecionado para instalação do sistema híbrido de geração de energia
Fonte: Autor, 2012.

A vizinhança do edifício é composta basicamente por casas e

algum poucos edifícios, onde nenhum possui altura superior do que o local escolhido para desenvolvimento deste trabalho, conforme ilustram as figuras 4.5, 4.6 e 4.7.



Foto 4.5 – Vista lateral da área de instalação
Fonte: Autor, 2012.



Foto 4.6 – Vista frontal da área de instalação
Fonte: Autor, 2012.



Foto 4.7 – Vista traseira da área de instalação
Fonte: Autor, 2012.

Observa-se nas figuras anteriores que a área de instalação é livre de sombras de edifícios vizinhos que podem prejudicar o sistema de geração de energia solar e também não possui grandes obstáculos que possam obstruir os ventos que atingem o local.

Uma grande vantagem desta instalação é que o local selecionado está em uma zona litorânea, há aproximadamente 200 metros da costa, o que indica que os ventos provenientes do oceano são fortes e constantes, além de possuir boa média de insolação conforme já apresentado no item 4.1.

A parte superior do edifício, onde ficam instalados o telhado e as antenas de televisão, possui uma área livre muito espaçosa, o que permite a instalação do sistema sem problemas. Uma estrutura metálica para sustentação do aerogerador se faz necessária, visto que não há estrutura existente para fixação do mesmo. O mesmo acontece com o sistema solar onde será necessário a instalação de uma estrutura de sustentação dos painéis solares. As figuras 4.8 e 4.9 ilustram a estrutura existente no telhado para instalação do sistema de geração de energia.



Figura 4.8 – Área superior esquerda para instalação dos painéis fotovoltaicos do sistema solar
Fonte: Autor, 2012.



Figura 4.9 – Área superior direita para instalação do aerogerador do sistema eólico
Fonte: Autor, 2012.

Em ambos os lados, esquerdo ou direito, é possível instalar o sistema. As áreas livres chegam à mais de 100m^2 em cada lado, sendo suficientes para o sistema proposto. Como o sistema ficará instalado sobre uma haste de 3 metros de altura a casa de máquinas dos elevadores não influenciará na eficiência no sistema. O edifício ainda possui uma área disponível de aproximadamente 40m^2 sobre a casa de máquinas dos elevadores. Um pequeno remanejamento das antenas de televisão necessitará ser feito se o local for escolhido para a instalação, mas o resultado seria muito positivo pois isto ocasionaria uma eficiência ainda melhor ao sistema.

É importante salientar que áreas de sombras devem ser evitadas a fim de obter o máximo aproveitamento do sistema. Deve-se lembrar que as sombras são extremamente prejudiciais para a geração solar e o sistema deve ser instalado em um local propício para aproveitar o maior tempo de sol ao longo do dia e do ano. Outro ponto de atenção é o local da instalação do gerador eólico, onde o mesmo deve ser instalado em um local que não cause sombras nos painéis solares. Por este motivo, o melhor ponto para instalação do sistema solar é o lado esquerdo da parte superior do edifício, visto que a sua posição está basicamente orientada ao norte geográfico e, a melhor posição para instalação do sistema eólico é o lado direito da parte superior do edifício. Desta forma pode-se garantir que o aerogerador não irá produzir sombra nos painéis fotovoltaicos. A figura 4.10 mostra uma imagem de satélite onde é possível visualizar a orientação geográfica do edifício. A área marcada em verde é onde será instalado o sistema solar e a área marcada em amarelo o sistema eólico.



Figura 4.10 – Imagem de satélite demonstrando orientação geográfica do edifício

Fonte: Adaptado de GOOGLE, 2013.

Outro fator muito importante que deve ser levado em consideração é a inclinação dos painéis fotovoltaicos, que deve ser respeitada para que os mesmos obtenham máxima eficiência. Para isto, deve-se considerar a inclinação dos painéis igual à latitude do local da instalação. Neste projeto, o edifício está situado aproximadamente na latitude $14^{\circ} 47' 9''$ S e longitude $39^{\circ} 2' 5''$ O. Com isto, os painéis fotovoltaicos devem ser instalados com um ângulo de 14° com as faces orientadas para o norte geográfico.

4.3 Escolha dos equipamentos

Nesta etapa, os equipamentos que irão compor o sistema serão escolhidos. Para esta escolha será levada em consideração os dados de consumo dos equipamentos ligados na rede elétrica do edifício bem como o consumo de energia médio mensal total.

4.3.1 Dados de consumo do edifício

As áreas de uso comum deste edifício utilizam os mais variados equipamentos elétricos, encontrados em qualquer empreendimento deste porte pelo país. Estes equipamentos são demonstrados de uma forma geral na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Equipamentos existentes nas áreas de uso comuns do edifício

Fonte: Autor, 2012.

| Equipamento | Quantidade | Média horas uso / dia / unidade |
|----------------------------|-------------------|--|
| Lâmpada econômica | 60 | 3 |
| Motor do portão da garagem | 2 | 2 |
| Bomba da caixa d'água | 2 | 5 |
| Sistema do elevador | 2 | 12 |
| Sistema da piscina | 1 | 1 |
| Sistema de vigilância | 1 | 24 |
| Computador | 2 | 24 |

O edifício consumiu nos últimos 12 meses uma média mensal de 2607kWh, com um consumo máximo de 2863kWh. O sistema idealizado atenderá apenas parte desse consumo, visto que a instalação de um sistema que contemplasse todo o consumo teria um custo muito elevado para o condomínio. Este consumo que será levado em consideração englobará apenas a parte de iluminação do prédio, composta por 60 lâmpadas econômicas de 20W cada uma, onde cada lâmpada permanece ligada aproximadamente 3 horas diárias. A equação (4.1) demonstra como deve ser realizado o cálculo

para encontrarmos o consumo mensal de um equipamento.

$$\text{consumo}(kWh/mês) = \frac{\text{potência}(W) \times \text{horas dia} \times 30}{1000} \quad (4.1)$$

No caso proposto o consumo é demonstrado na equação (4.2).

$$\text{consumo}(kWh/mês) = \frac{60 \times 20 \times 3 \times 30}{1000} = 108 \quad (4.2)$$

As 60 lâmpadas existentes no condomínio, se ligadas em média 3 horas diárias, geram um consumo de 108kWh/mês. Com base nesse consumo serão escolhidos os equipamentos do sistema, conforme detalhamento nas próximas páginas.

4.3.2 Turbina eólica

Iniciou-se a escolha dos equipamentos selecionando a turbina eólica. O modelo selecionado é de origem norte americana, do fabricante Air Breeze. A figura 4.11 mostra o equipamento escolhido.



Figura 4.11 – Gerador eólico Air Breeze
Fonte: Energia Pura, 2013.

As especificações técnicas dessa turbina, por sua vez, estão relacionadas na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Principais características do aerogerador Air Breeze
Fonte: Autor, 2013.

| Parâmetro | Valor |
|--------------------------------------|---|
| Peso | 13lbs / 6Kgs |
| Diâmetro do rotor | 46pol / 1,17m |
| Velocidade de vento de arranque | 6mph / 2,7m/s |
| kWh/mês | 38 kWh/mês @ 12 mph / 5,4 m/s |
| Velocidade máxima do vento | 110mph / 49,5m/s |
| Potência nominal | 160watts @ 28mph / 12,5m/s |
| Certificações | CSA (certificado 1954979) |
| Gama de temperatura de funcionamento | Air Breeze é certificado sob os requisitos IEC aplicáveis à gama de temperatura 14° F (-10° C) a 104° F (40° C) |

Conforme pode-se ver na tabela, esta turbina é capaz atender

um consumo de 38kWh/mês com ventos de 5,4m/s. Os ventos no local, como já visto no capítulo 4.1.2, possuem velocidade média de 5,22m/s. Para verificar a energia gerada com esta velocidade do vento é necessário analisar a curva de capacidade de geração de energia versus a velocidade média do vento, conforme mostra a figura 4.12.

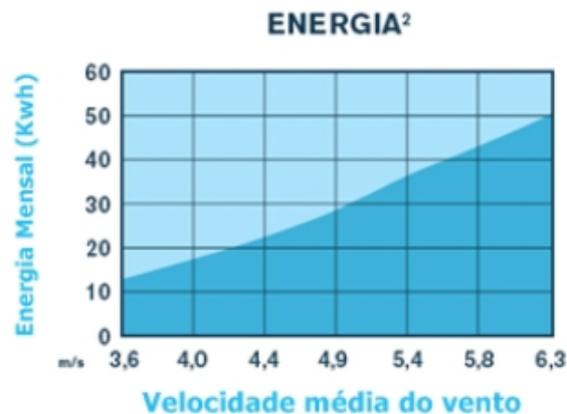


Figura 4.12 – Capacidade de geração de energia X a velocidade média do vento

Fonte: Neosolar Energia, 2013.

A energia gerada pelos ventos da região atende um consumo de aproximadamente 33kWh/mês. A energia necessária para atender o restante do consumo do projeto, de 75kWh/mês deverá ser gerada pelo sistema solar, que será detalhado a seguir.

4.3.3 Painéis solares

Para determinar a quantidade de painéis que irão compor o sistema solar é necessário considerar alguns dados do projeto e também as características do módulo selecionado. O equipamento é de origem japonesa, da marca Mitsubishi Electric, modelo PV-

MLU250HC. A figura 4.13 mostra o módulo escolhido e, por sua vez, as características do módulo estão descritas na tabela 4.4.



Figura 4.13 – Módulo solar Mitsubishi Electric PV-MLU250HC
Fonte: Energia Pura, 2013.

Tabela 4.4 – Principais características do módulo solar Mitsubishi Electric PV-MLU250HC
Fonte: Autor, 2013.

| Parâmetro | Valor |
|----------------------------|--|
| Peso | 44lbs / 20kgs |
| Dimensões | 64.0x40.1x1.81inch / 1625x1019x46mm |
| Tipo de célula | Silício monocristalino, 78x156mm |
| Número de células | 120 |
| Potência máxima | 250Wp |
| Tensão de máxima potencia | 31,0V |
| Corrente de curto circuito | 8,79A |
| Eficiência do módulo | 15,1% |

Com base nesses dados, é possível calcular a potência mínima

do conjunto de módulos. O sistema solar precisa gerar energia para atender um consumo de 75kWh/mês, isto é, 2,5kWh/dia. Sabe-se que, como estimativa prática para projetos de pequeno porte em regiões ensolaradas, com 4hs de sol a pleno no mês mais crítico, que cada Wp de módulos fotovoltaicos disponibiliza para a carga aproximadamente 2,21Wh/dia. Como o módulo selecionado possui 250Wp de potência máxima, pode-se considerar que cada módulo disponibiliza 552,5Wh/dia. Como são necessários 2,5kWh/dia para atender o sistema, necessita-se um total de 5 módulos no sistema fotovoltaico para atender a demanda.

Cada módulo possui aproximadamente 1,65m², sendo que o sistema completo ocuparia uma área de apenas 8,25m².

4.3.4 Inversor

O inversor selecionado precisa ser compatível com sistemas híbridos conectados à rede. Isso o torna mais caro e mais complexo. Ele deve suportar a soma das cargas instaladas em corrente alternada. No caso deste projeto este valor é de 1200W, portanto um equipamento de 1500W é suficiente. Por isto, foi selecionado o modelo GFX1548 da marca Outback cujas principais características estão relacionadas na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Principais características do inversor Outback GFX1548
 Fonte: Autor, 2013.

| Parâmetro | Valor |
|------------------------|--|
| Peso | 49.6lbs / 22.5kgs |
| Dimensões | 12.0x8.25x16.25inch / 300x210x410mm |
| Tensão nominal | 48VDC |
| Potência contínua | 1500VA |
| Tensão AC / Frequência | 120VAC / 60Hz |
| AC contínuo, saída RMS | 12.5A AC |
| Eficiência | 93% |

Este inversor exige que sejam utilizadas baterias para backup de falta de energia DC que alimenta o mesmo, que será apresentada a seguir.

4.3.5 Bateria e controlador de carga

A bateria escolhida para este projeto é do tipo estacionária. Esse tipo de bateria suporta grandes descargas, diferentemente das baterias automotivas que foram desenvolvidas para fornecer grandes correntes em curtos períodos. Por este motivo, as baterias automotivas não suportam descargas profundas.

Devido a necessidade de utilização de baterias pelo inversor escolhido, optou-se por criar um sistema de backup capaz de fornecer a energia suficiente para alimentar o sistema por um dia em caso de falha geral no fornecimento de energia, seja por parte dos geradores solares e eólico ou da rede de distribuição.

Sabe-se que o consumo de energia no sistema proposto é de

3,6kWh/dia e o inversor trabalha com tensão de 48V. Com posse desses dados é possível calcular a capacidade do banco de baterias conforme as equações (4.3) e (4.4).

$$capacidade(Ah) = \frac{\text{consumo total (Wh/dia)} \times \text{autonomia(dias)}}{\text{Tensão baterias(V)} \times \text{Profundidade descarga(pu)}} \quad (4.3)$$

$$capacidade(Ah) = \frac{3600 \times 1}{48 \times 0,6} = 28,8 \quad (4.2)$$

Para realizar o cálculo da capacidade do banco de baterias considerou-se uma profundidade de descarga de 60% porque os ciclos profundos de descarga serão muito esporádicos. Com isso chegou-se a capacidade do banco de baterias de 28,8Ah, ou seja, são necessárias 4 baterias de 12V e 36Ah ligadas em série. As baterias devem ser ligadas em série devido a tensão de trabalho de 48V.

Dois controladores de cargas devem ser ligados entre a o gerador solar, o gerador eólico e as baterias. Este equipamento deve ser dimensionado para trabalhar com a tensão do banco de baterias e, por este motivo, foram selecionados controladores de carga da marca Outback modelo FlexMax MPPT 60A.

4.3.6 Custo dos equipamentos

O custo de aquisição dos equipamentos propostos neste projeto pode ser vistos na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Custo dos equipamentos
 Fonte: Autor, 2014.

| Equipamento | Quantidade | Valor total |
|---|-------------------|--------------------|
| Aerogerador Air Breeze | 01 | R\$4.730,00 |
| Módulo solar Mitsubishi Electric PV-MLU250HC | 05 | R\$8.650,00 |
| Inversor Outback GFX1548 | 01 | R\$5.936,00 |
| Controlador de carga Outback FlexMax MPPT 60A | 02 | R\$6.182,00 |
| Bateria Estacionária Moura 36Ah | 04 | R\$840,00 |
| Valor total | | R\$26.338,00 |

O edifício possui um gasto com a energia elétrica fornecida pela concessionária de aproximadamente R\$1.600,00 por mês, visto que o custo do kWh fornecido pela Coelba³ é de R\$0,59791327 e o consumo médio mensal fica em torno de 2607kWh. Este custo representa aproximadamente 15% das despesas mensais do edifício.

O custo de aquisição dos equipamentos de R\$26.338,00 se mostra bastante interessante porém com um tempo de retorno de investimento bastante elevado.

4.3.7 Esquema de ligação do sistema proposto

O esquema de ligação do sistema proposto está demonstrado através da figura 4.14, onde é possível ver com detalhes todos os componentes do sistema bem como as suas ligações.

³ Coelba: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia.

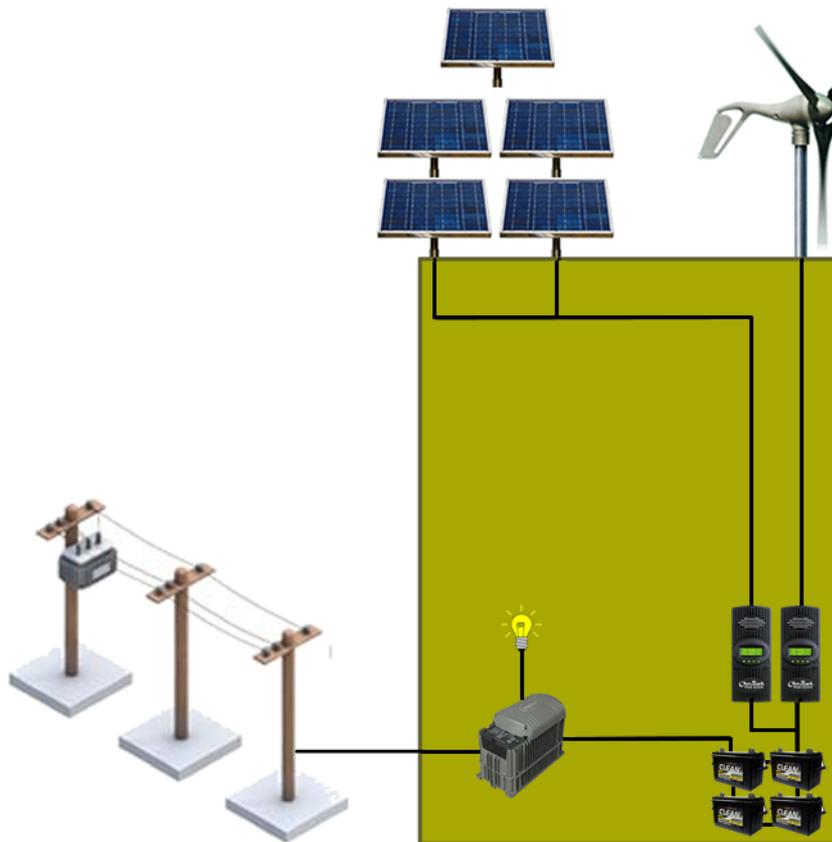


Figura 4.14 – Esquema de ligação do sistema proposto.
Fonte: Autor, 2014.

CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho, que era o de desenvolver um estudo de viabilidade de instalação de um sistema híbrido de energia solar e eólica de pequeno porte para alimentação de áreas de uso comum de edifícios foi alcançado com sucesso. O estudo da energia solar, eólica e de sistemas híbridos de geração de energia apresentou um bom embasamento teórico e assim o desenvolvimento do trabalho ocorreu de forma natural.

A análise do tempo necessário para retorno do investimento deve ser realizada caso a caso. Algumas pessoas acreditam que o retorno do investimento tem que ocorrer dentro do prazo máximo de um ano e outras pessoas aceitam que o retorno ocorra num prazo maior.

É muito provável que em um futuro muito próximo ocorra o interesse em implementar um sistema deste tipo no edifício, visto a economia gerada e o grande apelo ecológico. Nenhum edifício na cidade possui um sistema de geração de energia renovável de pequeno porte e isso seria um diferencial neste sentido.

Um ponto importante a se destacar é a conscientização das pessoas no intuito de que estruturas próprias para receber este tipo de sistema já sejam implementadas nos edifícios ainda em construção. Isso reduziria o seu custo e faz com que o projeto seja ecologicamente correto, valorizando o imóvel e gerando uma economia nas despesas mensais. Os edifícios já construídos também podem receber esse tipo de estrutura de geração de energia renovável e limpa, porém o custo de implantação se torna elevado devido ao fato de que a estrutura precisa ser toda implementada sobre a estrutura já existente, o que

nem sempre é possível e viável de ser feito.

BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, Carlos A. **Curso de Pós-Graduação: “Lato Sensu (Especialização) a Distancia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 118p.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia solar princípios e aplicações**. 28p.

DO AMARANTE, Odilon A. C., BROWER, Michael, ZACK, John, DE SÁ, Antonio Leite. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: 2001. 44p.

DO AMARANTE, Odilon A. C., DA SILVA, Fabiano de J. L., RIBEIRO, Vanessa da C. M., VIDAL, Manuel Júlio Batista, MARTIN, Ricardo S. **ESTADO DA BAHIA: Atlas do Potencial Eólico**. 61p.

TIBA, Chigueru et al. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p.

BARBOSA, Claudiomiro F. De O., PINHO, João T., DO VALE, Silvio B. **Sistemas híbridos de energia solar/eólico/diesel para eletrificação de comunidades isoladas da região amazônica brasileira – estado presente e desenvolvimentos futuros**. Belém. 8p.

ZANGHELINI, David R., WELTER, Rudinei A., BERNDSEN, Julio C., WEINZIERL, Djonny, GUELBERT, Tanatiana F. **Sistema híbrido eólico/solar de geração de energia renovável**. Ponta Grossa: 2011. 8p.

MARQUES, Jeferson. **Turbinas eólicas: modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação**. Santa Maria: 2004. 158p.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.
Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. 2012. 176p.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Rio de Janeiro, 2012
1999. 64p.

Aerogerador. Disponível em:

><http://pt.wikipedia.org/wiki/Aerogerador>> Acesso em: 13 Set 2009.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 482, de 17 de Abril de 2012.** 2012. 6p.

Google Maps. Disponível em ><http://maps.google.com>> Acesso em:
06 Dez 2013.

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/>>
Acesso em: 07 Dez 2013.

