



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

FRANCISCO ALDEMARIO MORAIS DA SILVA

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR NA REGIÃO DO
MACIÇO DE BATURITÉ: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DE PLANEJAMENTO
INTEGRADO DOS RECURSOS-PIR**

**ACARAPE-CE
2017**

FRANCISCO ALDEMARIO MORAIS DA SILVA

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR NA REGIÃO DO
MACIÇO DE BATURITÉ: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DE PLANEJAMENTO
INTEGRADO DOS RECURSOS-PIR**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho

**ACARAPE-CE
2017**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema Integrado de Bibliotecas da Unilab(SIBIUNI)
Catalogação de Publicação na Fonte.

Silva, Francisco Aldemario Moraes da.

S581e

Estimativa do potencial de energia eólica e solar na região do maciço de Baturité: uma análise sob a ótica de Planejamento Integrado dos Recursos-PIR / Francisco Aldemario Moraes da Silva. - Acarape, 2017.
56f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto De Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2017.

Orientador: Hermínio Miguel de Oliveira Filho.

1. Energia eólica - Ceará. 2. Energia solar - Ceará. I. Título

CE/UF/BSCL

CDD 621.3121360981

FRANCISCO ALDEMARIO MORAIS DA SILVA

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR NA REGIÃO DO
MACIÇO DE BATURITÉ: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DE PLANEJAMENTO
INTEGRADO DOS RECURSOS-PIR**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr Hermínio Miguel de Oliveira Filho

Aprovado em 13/06/2017

BANCA EXAMINADORA

Hermínio Miguel de O. Filho

Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho (Orientador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Gustavo Alves de Lima Henn

Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Janaina Barbosa Almada

Prof. Ms. Janaina Barbosa Almada

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado me dando o apoio necessário para elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo fôlego da vida, pela força, coragem e sabedoria para realização deste trabalho.

Aos meus pais, Francisco Aldemar e Maria Celeste, pelo apoio e esforço para que eu conseguisse realizar este sonho.

À minha namorada, Nayane Ingrid, pela compreensão e apoio nas horas de ausência e ainda por me encorajar nas horas de desânimo e cansaço.

Às minhas irmãs Natalha Morais e Patricia Morais, pelas horas de descontração e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.

À minha avó, mãe Luíza que sempre esteve na torcida pelo meu sucesso e pelas inesquecíveis histórias vivenciada em sua trajetória, que me encorajavam a buscar cada vez mais meus objetivos.

Aos demais familiares, amigos e conhecidos, que de alguma forma direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho, em especial aos meus amigos de residência, Evair Barreto, Elves Barreto e Evilázio Domingos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Hermínio Miguel, que me orientou com muita atenção e dedicação, não medindo esforço para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos que ganhei na turma de Engenharia de Energias, com os quais passei boa parte de meu tempo entre noites de estudos e de conversas aleatórias que proporcionaram boas risadas, em especial a Jairo Lima que contribui diretamente fornecendo dados, Ivan Bandeira, Pedro Herrinque, Francielio da Silva, Mardônio Rodrigues, Adriano Paixão, Marcos Tadeu, Lidiana Sabino, Verônica Dantas, Milton Cavalcante, Guilherme Menezes, Matheus Melo, Marcelo Pontes, Alysson Christian e Mabrysa Torres.

Ao prof. Dr. Mario Fernandes Biague que me orientou com muita dedicação no trabalho de conclusão de curso I, e aos demais professores do curso que se dedicaram em repassar da melhor forma possível os conhecimentos deles sobre diversos assuntos.

Ao Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), pelo empenho de todos que fazem o instituto, em especial ao diretor George Leite e aos coordenadores que passaram pela coordenação durante a minha formação, Cicero Saraiva e Alisson Pessoa, que se empenharam para que tudo ocorresse da melhor forma possível.

A Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), pela oportunidade de me formar no curso de Engenharia de Energias o qual fiz parte dos primeiros alunos do curso e da universidade.

RESUMO

O levantamento dos potenciais energéticos de uma região é um dos principais processos quando se deseja estudar o planejamento energético. Novas formas de planejamento energético têm sido tema de vários trabalhos acadêmicos nos últimos anos, a busca de novas formas de planejamento que considerem questões além do técnico e do econômico tem sido bastante difundida e estudada, tendo em vista determinar todas as formas de impactos causados pelo uso dos recursos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo levantar o potencial de energia eólica e solar na região do maciço de Baturité pelo lado da oferta e aplicar a ferramenta do PIR (Planejamento Integrado dos Recursos), conhecida como Computo e Valoração dos Potenciais Completos como forma de analisar os recursos estudados. Para o cálculo teórico do potencial eólico foram analisados dados de velocidades do vento da estação meteorológica de Guaramiranga e comparadas com as velocidades do atlas eólico do Brasil, já para o cálculo do potencial solar foram trabalhados dados de radiação solar para o maciço de Baturité disponíveis nos sites do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica) e SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment). O potencial aproveitável de energia eólica estimado de acordo com as considerações feitas e escolha de aerogeradores foi de 12,07GWh/ano, com fator de capacidade de 6,13%. O recurso solar apresentou fator de capacidade de 14,12 %, com potencial de 1,32 GWh/ano. A realização do CVPC permitiu uma visão mais abrangente em relação aos impactos causados nas quatro dimensões do PIR, técnico-Econômico, Ambiental, Social e Político.

Palavras-chave: Potenciais energéticos, PIR, Valoração, Energia solar e eólica

ABSTRACT

The survey of the energy powers of a region is one of the main processes when you wish to study the energy planning. New forms of energy planning have been the subject of several academic works in recent years, the search for new ways of planning that consider other questions, not just technical and economic has been disseminated and studied, this survey tries determinate all forms of impacts caused by the use of resources. In this context, the objective of this work was to raise the potential of wind energy and solar in the region of the Massive of Baturité by the suply side and using PIR (Integrated Resource Planning) tool, nominate Computation and Valuation of the Complete Powers like a way of analyzing the studied resources. For the theoretical calculation of the wind potential, were analyzed data of speeds of the winds in the meteorological localization in Guaramiranga and compared with the speeds of the Brazilian wind atlas, for the calculation of the solar potential were used data of solar radiation for the Maciço of Baturité found in the sites of CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica) e SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment). The usable potential of wind energy estimated according to the considerations made and choice of turbines was 12.07GWh by year, showed a capacity factor of 6.13%. The solar resource presented capacity factor of 14.12%, with potential of 1.32 GWh by year. The realization of the CVPC allowed a bigger comprehensive about the impacts caused in the four dimensions of the RIP, Technical-Economic, Environmental, Social and Political.

Keywords: Energy Potentials, Integrated Planning, Valuation, Energy solar and wind

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Tradicional modelo de planejamento a custo mínimo	17
Figura 2-Diagrama hierárquico do PIR	19
Figura 3-Velocidades de ventos no Brasil.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 4-Capacidade instalada de energia solar global (MW%).....	24
Figura 5-Radiação solar diário-média anual típica (MJ/m ² .dia)	25
Figura 6-Radiação solar diário-média anual típica (Wh/m ² .dia).....	25
Figura 7-Metodologia de análise	27
Figura 8-Mapa do Ceará.....	28
Figura 9-Macrorregião do maciço de Baturité	29
Figura 10-Divisão da macrorregião do maciço de Baturité.....	31
Figura 11-Histograma da velocidade do vento.....	34
Figura 12-Distribuição de Probabilidade de Weibull	35
Figura 13-Perfil de velocidade do vento de acordo com a altura e rugosidade do terreno	36
Figura 15-Mapa de uso do solo para o maciço de Baturité	38
Figura 16-Gráfico da média de energia incidente na região do maciço de Baturité.	44
Figura 17-Potência instalada e Fator de capacidade mundial.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa do potencial eólico mundial	22
Tabela 2- Indicativos de desenvolvimento da região do maciço.....	29
Tabela 3 Valores de velocidade média, desvio padrão e variância	33
Tabela 4-Frequência de velocidade do vento para o Maciço de Baturité.....	33
Tabela 5- Coeficiente Z_0 para diferentes tipos de superfície.....	36
Tabela 6- Velocidades a 10, 50 e 100m para o maciço de Baturité	38
Tabela 7- Potencial por m ² de energia eólica no maciço de Baturité a 50m	39
Tabela 8- Potencial por m ² de energia eólica no maciço de Baturité a 100m	40
Tabela 9- Distribuição das Áreas de acordo com a ocupação do solo	41
Tabela 10- Potencial aproveitado por turbina de energia eólica no maciço de Baturité a 100m	41
Tabela 11-Dados de radiação solar para o maciço de Baturité de acordo com CRESESB e SWERA.....	44
Tabela 12-Radiação incidente no Maciço	45
Tabela 13-CVPC para dimensão Técnico-Econômica	47
Tabela 14-CVPC para dimensão Ambiental	48
Tabela 15-CVPC para dimensão Social	48
Tabela 16-CVPC para dimensão Política	49
Tabela 17- Atributos analisados dentro da dimensão Técnico-econômica	54
Tabela 18- Atributos analisados dentro da dimensão Ambiental	54
Tabela 19- Atributos analisados dentro da dimensão Social.....	55
Tabela 20- Atributos analisados dentro da dimensão Política.....	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

CRSESB- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

CVPC - Cômputo e valoração Valoração dos Potenciais Completos

D.D - Densidade Demográfica

DBO - Demanda Bioquímica de Oxignio

FAPESP - Fundação de Amparo  Pesquisa do Estado de São Paulo

GEPEA - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica

GLD - Gerenciamento do Lado da Demanda

IDH - ndice de Desenvolvimento Humano

IDM - ndice de Desenvolvimento Municipal

PH - ndice de acidez da gua

RLO-Recurso do Lado da Oferta

RLD-Recurso do Lado da Demanda

PIR - Planejamento Integrado dos Recursos

SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment

T.C - Taxa de Crescimento

T.U - Taxa de Urbanização

LISTA DE SÍMBOLOS

C_{cap}	Custo de Capital
C_{fix}	Custos Fixos
C_{var}	Custos Variáveis
R	Taxa de Retorno
D_{ep}	Depreciação
E	Energia
V_m	A velocidade média
vi	Valor da velocidade fornecido a cada intervalo de tempo
σ_v	Desvio padrão
σ^2_v	Variância
$P(v)$	Distribuição de Weibull
K	Fator de forma
C	Fator de escala
H	Altura
Hr	Altura de referência
Z_0	Coefficiente de rugosidade
P_{Eol}	Potência eólica
V	Velocidade
P	Densidade característica do ar 1,225 para 760 mm de Hg
A	Área varrida pelas pás
P_m	Potência mecânica extraída pelo aerogerador
$V1$	Velocidade do vento não perturbado antes de passar pelo aerogerador
$V2$	Velocidade do vento depois de passar do aerogerador
C_p	Coefficiente de potência ou eficiência do rotor
f_i	Frequência de ocorrência de uma velocidade de classe i
P_i	Potencia equivalente para a velocidade de classe i (Watts)
t	Intervalo de tempo entre as medições
P_n	Potencia nominal do aerogerador
T	Tempo de análise
FC	Fator de capacidade
P	Potência instalada
$A_{Útil}$	Área ocupada pelos painéis
$A_{painél}$	Área de um painel

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Geral	15
1.1.2 Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Planejamento Energético	17
2.2 Planejamento Integrado de Recursos PIR	18
2.3 Recursos Energéticos.....	19
2.4 Potencial Energético.....	20
2.4.1 Energia Eólica.....	21
2.4.1.1 Potencial Eólico Mundial	21
2.4.1.2 Potencial Eólico Brasileiro	22
2.4.2 Energia Solar	23
2.4.2.1 Potencial Solar Mundial	23
2.4.2.2 Potencial Solar Brasileiro	24
2.5 Cômputo e Valoração dos Potencias Completos (CVPC).....	26
3 METODOLOGIA APLICADA A REGIÃO DE ESTUDO	26
3.1 Determinação da Área de Estudo	26
3.2 Caracterização dos Recursos Seleccionados	27
3.3 Seleção dos Atributos de Análises	27
3.4 Região de estudo.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Cálculo do Potencial eólico	32
4.1.1 Potencial Eólico Aproveitável	40
4.2 Cálculo do Potencial Solar	43

4.2.1 Potencial Solar Aproveitável	45
4.3 Cômputo E Valoração Dos Potenciais Completos	47
5 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A energia é considerada como um bem básico para a integração do ser humano no desenvolvimento. Sem uma fonte de energia de custo aceitável e de credibilidade garantida a economia de uma região não pode se desenvolver plenamente, assim como o indivíduo e a comunidade em geral não podem ter acesso a serviços essenciais para a qualidade de vida, tais como educação, saneamento básico, saúde pessoal, além de lazer e conforto. É com essa perspectiva que se busca cada vez mais fontes alternativas de energias (REIS, 2001).

A diversidade de fontes energéticas em conjunto com novas tecnologias de aproveitamento propicia a uma região a possibilidade de amplificar sua matriz energética. Nesse contexto, o presente trabalho aborda um estudo de caso para o maciço de Baturité, buscando resultados que evidencie o potencial de aproveitamento de energia solar e eólica nessa macrorregião, de forma sustentável.

A utilização de qualquer recurso energético sempre trará consigo a geração de impactos, em escalas maiores ou menores, mas sempre irão existir, em contrapartida o desenvolvimento de uma região está relacionado diretamente com os recursos energéticos disponíveis. É de se esperar, portanto, que o ser humano busque maneiras de explorar os recursos de forma que cause o menor impacto possível, observando os recursos do lado da oferta e relacionando-os com os recursos do lado da demanda, caracterizando assim uma exploração sustentável e de acordo com a filosofia do Planejamento Integrado dos Recursos-PIR.

Os objetivos de uma visão de desenvolvimento sustentável, com a inserção de análises de potenciais energéticos dentro da filosofia do PIR requer um amplo esforço no sentido de considerar todos os fatores impactantes na utilização dos recursos energéticos. Esses fatores serão determinantes para a sustentabilidade de uma região, propiciando a mitigação dos danos ambientais, sociais, políticos e econômicos, contribuindo com a utilização dos recursos de maneira que demande o menor custo possível.

Para Udaeta (1997), o PIR pode ser classificado como um planejamento que tem como objetivo o uso racional dos recursos e serviços relacionados à energia, considerações de conservação de energia como recurso energético, dar ênfase na teoria dos usos finais para a determinação do potencial de conservação, custos e benefícios, realizar o planejamento com eficiência energética e ambiental, e realiza análise de incertezas inerentes a diferentes fatores externos e opções de recursos.

Neste contexto, o Planejamento Integrado dos Recursos energéticos visa o aproveitamento dos potenciais energéticos de uma região, considerando um conjunto de fatores

socioambientais, econômicos e técnicos que tem relação direta com a utilização sustentável dos recursos, não se limitando a determinação do potencial de acordo apenas com a disponibilidade das fontes existentes.

A busca de novas fontes energéticas e a determinação de seus potenciais, baseado no PIR aponta para a população do maciço de Baturité uma sustentabilidade energética, contribuindo para o seu desenvolvimento regional, bem como para uma melhor qualidade de vida.

O objetivo aqui proposto não é a formulação do PIR para a região do maciço, mas o cálculo dos potenciais dos recursos de qual se trata este trabalho. Esses potenciais serão analisados dentro de dimensões do PIR, configurando-se um estudo inicial que, no futuro, contribuirá para o desenvolvimento do PIR para região do maciço de Baturité.

A elaboração desse estudo na sua totalidade representa uma inovação e um crescimento com base na sustentabilidade, fazendo-se uso de uma filosofia que vai ao encontro das demandas do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de promoverem o seu próprio sustento, contribuindo para o consumo de recursos energéticos de forma racional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Estimar o potencial teórico de aproveitamento de energia eólica e solar da região do maciço de Baturité pelo lado da oferta e analisá-los dentro de conceitos de planejamento integrado dos recursos energéticos, aplicando o cômputo e a valoração dos potenciais completos.

1.1.2 Específicos

- I. Caracterizar a área de estudo;
- II. Estimar o potencial teórico de aproveitamento de energia eólica e solar, por meio de equações disponíveis na literatura;
- III. Calcular o potencial aproveitável de energia eólica e solar;
- IV. Valorar os recursos energéticos em questão, dentro das quatro dimensões do PIR, (técnica-econômica, ambiental, social e política).

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica pela necessidade de estudos voltados para o levantamento dos potenciais dos recursos energéticos do maciço de Baturité e a possibilidade de aproveitamento dos mesmos, tendo em vista que é uma região rica em recursos naturais e que a utilização destes proporcionaria uma aceleração no desenvolvimento econômico e social, além de contribuir no suprimento da demanda energética regional.

De acordo com Biague (2010), a distribuição geográfica dos recursos energéticos em diferentes países requer uma análise no intuito de como aproveitar esses recursos, tendo em vista a redução na dependência dos sistemas convencionais. Em alguns países como o Japão e a China, dentre outros, é necessário a importação de recursos energéticos, tornando-se imprescindível a diversificação da matriz energética, que tem por finalidade aumentar a confiabilidade do sistema de abastecimento de energia.

Outro fator que justifica a realização deste trabalho é a necessidade de uma abordagem holística, no levantamento do potencial dos recursos, caracterizada por uma análise mais completa dos recursos, não se limitando a metodologia tradicional de estudos, que se resume em quantificar o potencial de dada fonte energética.

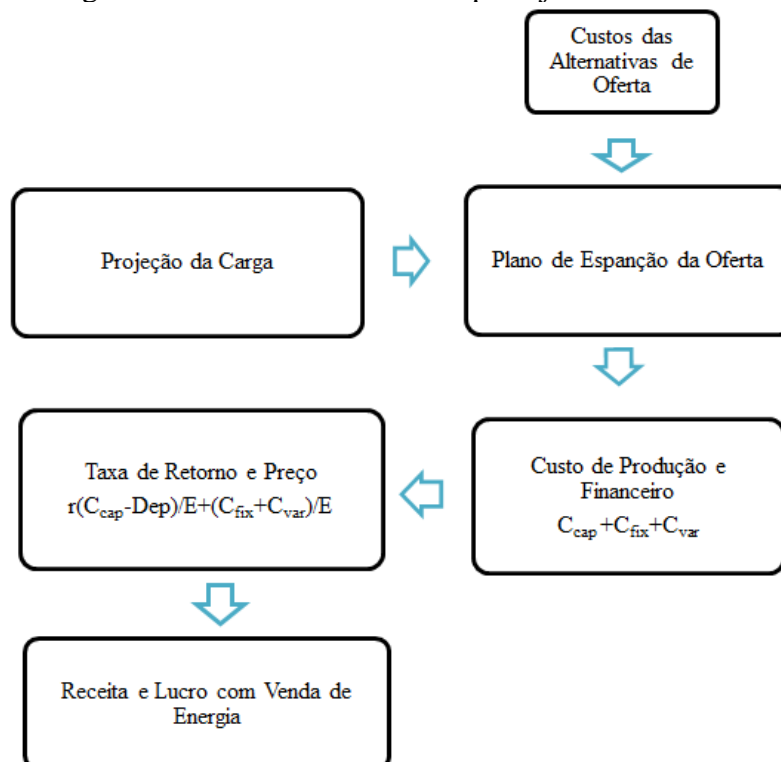
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O seguinte capítulo apresenta os principais conceitos com em relação ao planejamento integrado dos recursos e questões inerente ao levantamento dos potenciais dos recursos abordado neste trabalho. Aqui são listadas as teorias necessárias para realização deste estudo, começando por um breve conceito de planejamento energético seguindo por uma contextualização da questão energética mundial e nacional, que serve como base para o levantamento do potencial de energia eólica e solar do maciço de Baturité.

2.1 Planejamento Energético

De acordo com Jannuzzi (1997), o planejamento tradicional tem como objetivo expandir os recursos de oferta com o propósito de atender ao crescimento da demanda futura com segurança e minimizar os custos econômicos dessa expansão. Estes critérios em conjunto com o crescimento da economia de escala de geração elétrica que foram obtidos até recentemente, levaram a uma forma de planejamento quase que universal de rápida expansão da capacidade e de promoção do crescimento da demanda sem muito se importar com eficiência no uso dos recursos energéticos e com as questões socioambientais. A figura 1 mostra as etapas de um planejamento tradicional.

Figura 1- Tradicional modelo de planejamento a custo mínimo



Fonte: Adaptado de (Jannuzzi,1997)

Sendo:

C_{cap} = Custo de Capital

C_{fix} = Custos Fixos

C_{var} = Custos Variáveis

r = Taxa de Retorno

D_{ep} = Depreciação

E = Energia

O planejamento tradicional administra a provisão de energia por meio de técnicas que considera a carga relacionando-as com as fontes disponíveis para suprir essa carga, abordagem esta que tem por objetivo verificar a quantidade de recursos disponíveis para o suprimento da carga demandante, buscando o método que configure o menor custo efetivo de implantação e operação. Nesta abordagem, questões sociais e ambientais recebem menos atenção que questões técnicas e econômicas. No entanto, a energia enquanto meio de promover a satisfação e bem-estar humano, além de impulsionar o desenvolvimento, deve considerar não apenas o econômico e técnico, mas também todos os implicantes na cadeia energética (BAITELO, 2011).

A necessidade de um planejamento mais eficiente que considerasse mais elementos além do técnico-econômico, contribuiu no final da década 1970, fazendo com que alguns países desenvolvidos (EUA, Dinamarca e Canadá) começassem a aplicar o Planejamento Integrado de Recursos (PIR) nos setores elétricos e de gás canalizado. O principal objetivo do PIR é considerar em seus estudos uma ampla gama de opções, analisando um grande número de alternativas de geração e diversificando os recursos de produção, importação, transporte, distribuição e Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD), internalizando custos sociais e ambientais associados às diferentes opções (RIGOLIN, 2013).

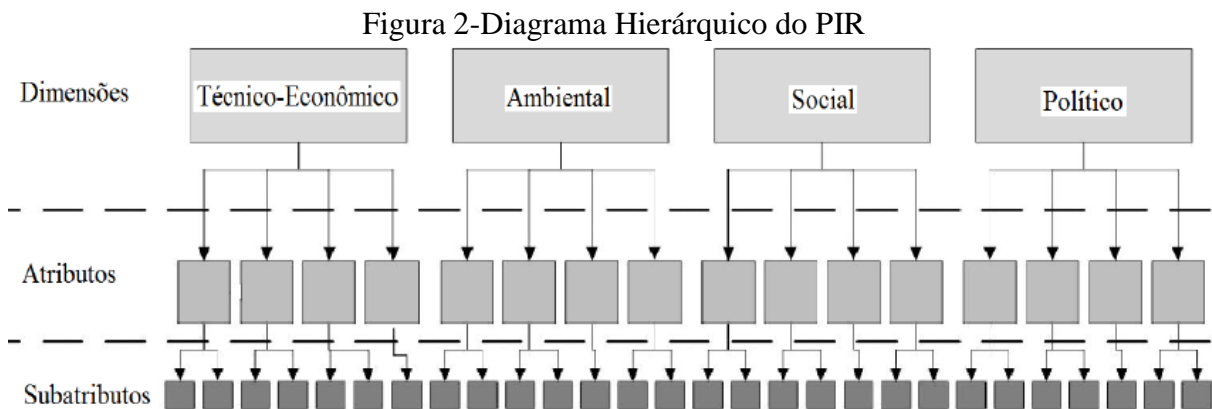
2.2 Planejamento Integrado de Recursos PIR

Segundo Udaeta (1997), a metodologia do PIR pode ser entendida como um processo que tem por finalidade examinar todas as opções possíveis e factíveis no percurso do tempo e da geografia, com o objetivo de promover o bem-estar e resolver a problemática da energia, selecionando as melhores alternativas visando garantir a sustentabilidade socioeconômica.

O critério aplicado ao PIR tem como finalidade o uso eficiente da energia, com ênfase nos usos finais. Com isso, o objetivo básico do PIR pode ser definido como o de expandir o cenário de planejamento, de forma a permitir uma avaliação das ações para o aumento da eficiência e da conservação da energia integrada aos projetos focalizados na oferta. Mas, o PIR vai além desses limites e analisa várias outras informações tais como: informações socioeconômicas culturais, políticas e ambientais (BIAGE, 2010).

Rigolin (2013) e Junho (2016) estabelecem que o planejamento integrado dos recursos energéticos propõe uma nova ótica sobre a questão energética, em que se baseia na consideração de quatro dimensões de igual relevância: Técnico-Econômica, Ambiental, Social e Política, visando o desenvolvimento sustentável. As quatro dimensões de análises podem ser representadas em um diagrama semelhante ao da Figura 2. Cada uma dessas dimensões pode ser composta de diversos atributos e subatributos, quantos forem necessários para valoração de um determinado recurso dentro daquela dimensão.

Os atributos são fatores positivos e negativos inerente as quatro dimensões do PIR e os subatributos são derivações dos atributos, como por exemplo; a geração de emprego é um atributo de análise dentro da dimensão social, se fracionarmos ele em geração de empregos diretos e indiretos temos então subatributos dentro da mesma dimensão.



Fonte: (RIGOLIN, 2013)

2.3 Recursos Energéticos

Os recursos energéticos podem ser classificados em recursos do lado da oferta (RLO) e recursos do lado da demanda (RLD). Dessa forma, seja qual for a procedência do recurso ele exerce a função de disponibilizar energia, seja na forma de geração ou por meio de medidas eficientes visando a economia de energias nos usos finais (BAITELO, 2006).

Do lado da oferta os recursos energéticos se caracterizam pelas relações entre as fontes existentes e as tecnologias de aproveitamento (FUJJI, 2006). Sendo que, para realização de um estudo completo do recurso o processo deve passar por levantar e descrever o potencial energético da fonte, indicar as tecnologias possíveis de usos, bem como valorar os recursos e com isso obter o potencial realizável (BERNAL, 2009).

Um Recurso Energético de Oferta é constituído por uma fonte energética (luz solar, vento, petróleo, etc) associada a uma tecnologia de aproveitamento. Ele é diferenciado dos Recursos Energéticos de Demanda por possuir uma fonte energética. Em outras palavras, corresponde a uma energia disponível para uso, enquanto os Recursos Energéticos de Demanda nada mais são que medidas de melhorar a eficiência e o gerenciamento do uso da energia, analisando primeiro a demanda para só então projetar a oferta (FUJJI, 2006).

De acordo com Baitelo (2006) o recurso energético do lado da demanda pode ser entendido como sendo a aplicação do gerenciamento do lado da demanda dos usos finais, para diversos setores econômicos. Esta ação e medidas são aplicadas a equipamentos e tecnologias de usos finais, desde eletrodomésticos a motores industriais, bem como a substituição de combustíveis ou a adoção de projetos energéticos eficientes.

Para Rigolin (2013), a definição dos procedimentos para a caracterização das tecnologias e dos Recursos Energéticos do Lado da demanda deve explicitar uma metodologia de levantamento, caracterização e análise de todas as alternativas energéticas do lado da demanda, representadas pelos usos finais.

2.4 Potencial Energético.

“O Brasil é uma nação de dimensões continentais e por isso possui uma ampla gama de fontes energéticas, podendo desse modo, ser destacada cada região com um potencial energético específico” (ABILIO; SANCHES; SALGADO, 2010).

De acordo com Fujji (2006), são bastantes as fontes energéticas disponíveis; ao considerá-las juntamente com as tecnologias de aproveitamento, as opções de recursos energéticos tornam-se inúmeras, cada recurso tem sua característica própria e peculiar que pode dificultar sua análise. Além disso algumas tecnologias podem ser utilizadas de forma complementar, como é o caso da energia eólica que pode ser utilizada nos períodos de estiagem quando as hidrelétricas diminuem a produção de eletricidade.

2.4.1 Energia Eólica

De acordo com a nota técnica 01/2009-r0 emitida pelo ministério de Minas e Energia no ano de 2009, a energia eólica além de ser renovável é ambientalmente limpa em termos de operação e apresenta ainda, pelo menos, quatro fatores simultâneos que justificam uma atenção especial, visando efetivá-la como fonte complementar à geração hídrica no parque gerador brasileiro: I) o vasto potencial eólico nacional; II) sua distribuição geográfica que se estende também pelo interior do país em áreas socialmente carentes; III) a possibilidade de complementação da energia produzida pela geração eólica com as hidrelétricas; e IV) a importância do Brasil acompanhar o desenvolvimento que vem ocorrendo em nível internacional dessa tecnologia de geração.

Grubb e Meyer (1993), afirmam que, para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m.

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre o perfil de velocidade do vento. Geralmente, uma análise detalhada requer levantamentos específicos, no entanto dados coletados em aeroportos, estações meteorológicas e outras aplicações similares podem favorecer uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica. (ANEEL, 2016).

Para Bernal (2009), “O levantamento do potencial eólico de uma região é dependente de uma série de fatores meteorológicos e geográficos que devem estar adequadamente mapeados e organizados sistemicamente”.

2.4.1.1 Potencial Eólico Mundial

Estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano. Porém, por algumas restrições socioambientais, apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) são considerados em termos técnicos aproveitáveis (Tabela 1). Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade. (ANEEL, 2001).

Tabela 1- Estimativa do potencial eólico mundial

Estimativa do Potencial Eólico Mundial				
Região	Porcentagem de terra Ocupada	Potencial Bruto (TWh/ano)*	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	10.600	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Ocidental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Mundo**	23	498.400	-	53.300

(*) Em relação ao potencial bruto

(**) Excluindo-se Groenlândia, Antártida, a maioria das ilhas e os recursos offshore.

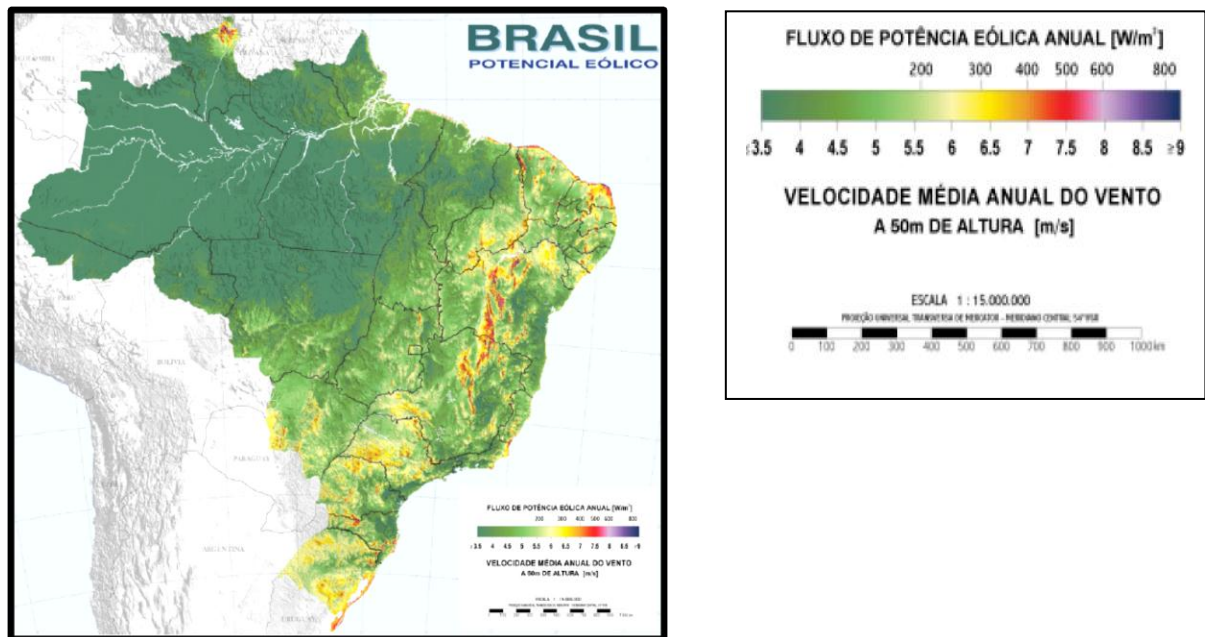
Fonte: (Adaptado de Aneel, 2001).

2.4.1.2 Potencial Eólico Brasileiro

De acordo com o Ministério de Minas e Energias (MME), em 2001 foi lançado o primeiro Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, em suas estimativas concluiu-se que o potencial nacional tangenciava a casa dos 143 GW, considerando torres de até 50 m de altura. Com a expansão do setor, boa parte dos estados brasileiros está revendo o seu potencial, agora para torres de 120 m ou mais. Há a previsão de que o potencial chegue a 350 GW. A figura 3 mostra a distribuição da velocidade do vento em todo território nacional para uma altura de 50m.

Estudos mais recentes mostram que o potencial estimado pelo atlas de 2001 pode ter sido ultrapassado, como é o caso de uma pesquisa ainda em andamento do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-Clima) estima que o potencial eólico brasileiro pode chegar a 880,5 GW, sendo que 522 GW são considerados tecnicamente viáveis (ENERGIA, 2016).

Figura 3-Velocidades de ventos no Brasil



Fonte: Atlas do potencial Eólico, 2001

2.4.2 Energia Solar

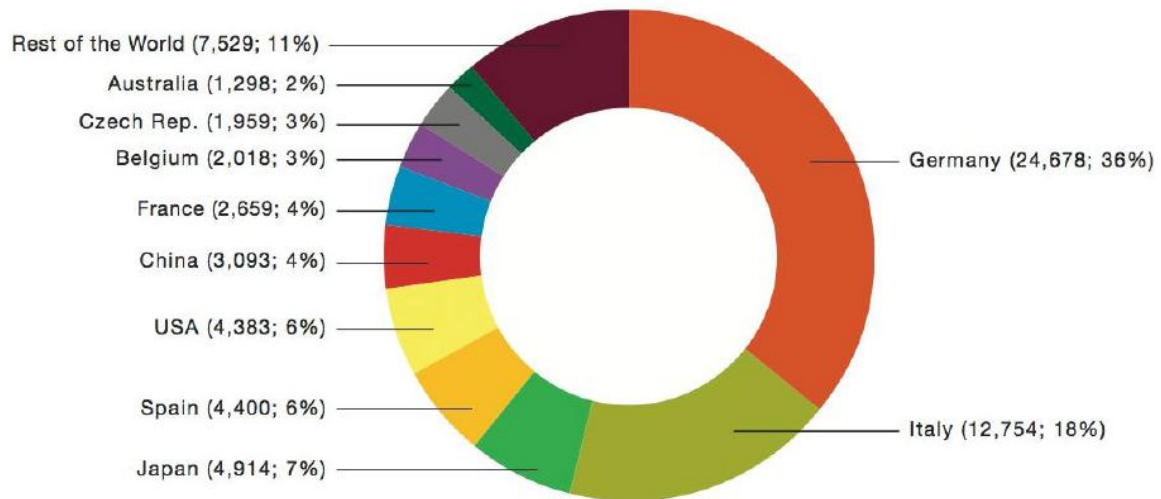
A maioria das fontes energéticas hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos são provenientes da energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser aproveitada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica. Pode ainda, ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2014).

2.4.2.1 Potencial Solar Mundial

A utilização de fonte luminosa para geração de energia elétrica tem o seu marco registrado na história remontado de 1839, quando o francês Alexandre Edmond Becquerel acidentalmente descobriu o efeito fotovoltaico. A partir daí, foram realizados vários estudos para desenvolver tecnologias que utilizassem essa fonte de geração de energia contribuindo para que nos dias atuais a energia solar tenha crescente participação na matriz energética mundial, com cerca de 69 GW de capacidade instalada. A Figura 4 mostra que os países que

tem maior iniciativa na geração de energia por fonte solar são Alemanha, Itália e Japão (FREIRE, 2013).

Figura 4-Capacidade instalada de energia solar global (MW%)



Fonte: (FREIRE, 2013)

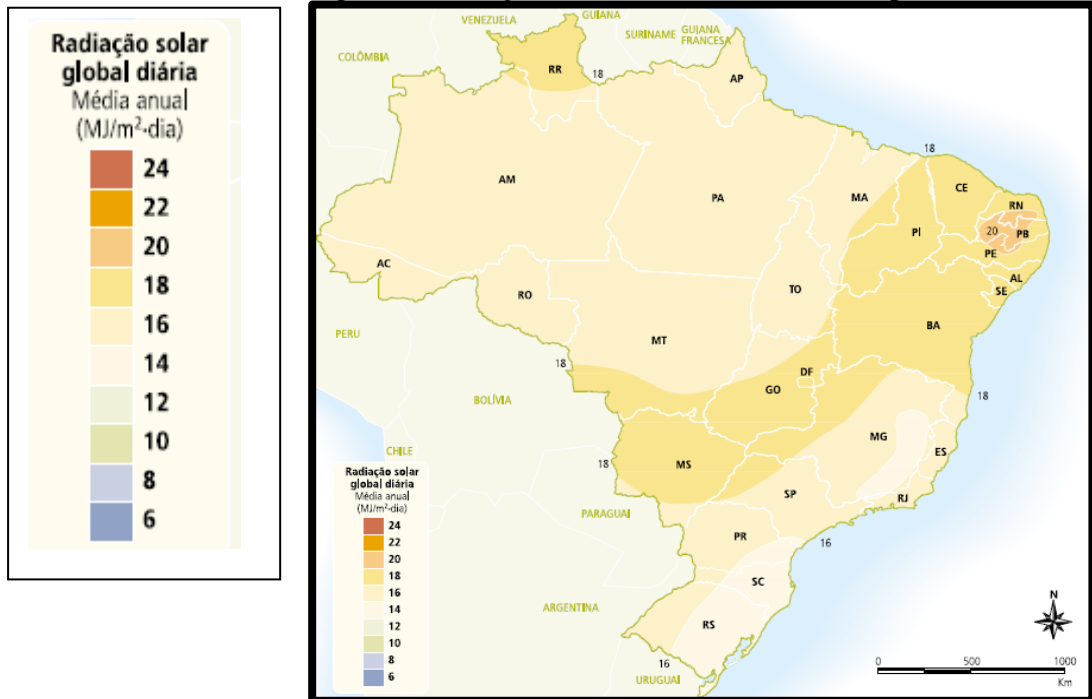
Devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera, somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre. Porém, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 2000).

2.4.2.2 Potencial Solar Brasileiro

Um estudo feito pela Agência nacional de energia elétrica por meio do Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) mostra uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. Devido, porém, a limitações de quantidades de estações experimentais e às variações climáticas locais e regionais, o Atlas de Irradiação Solar no Brasil faz estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites.

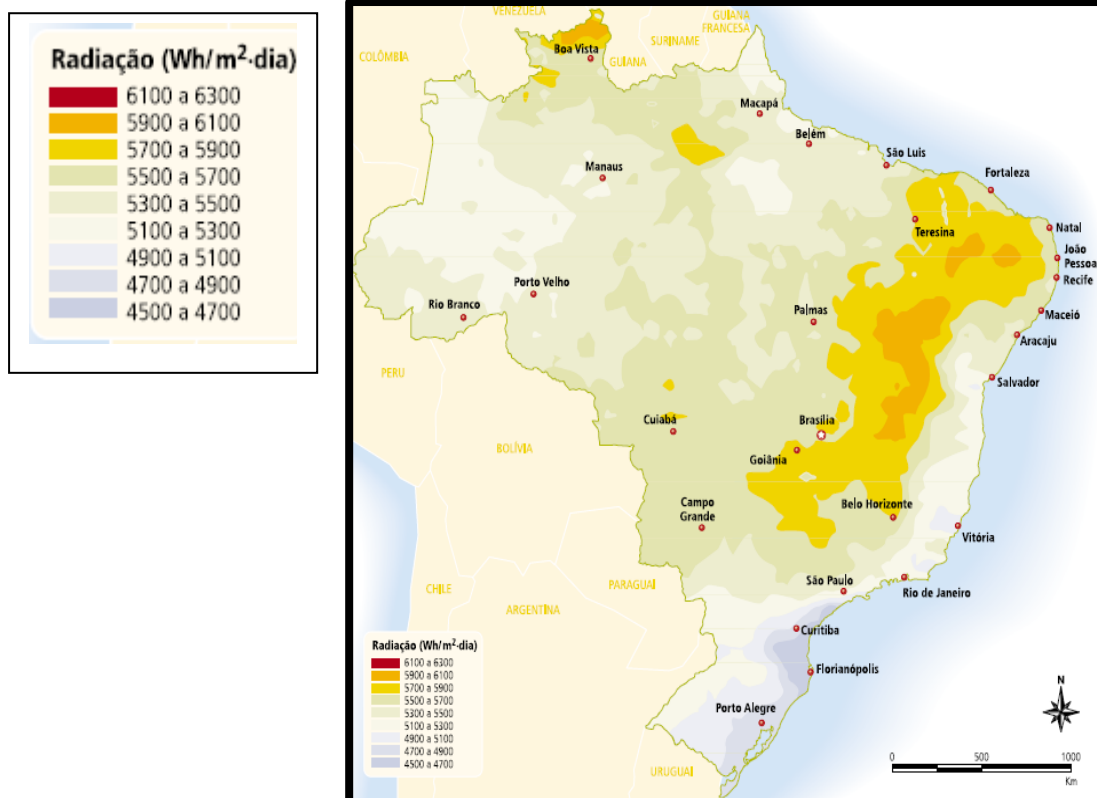
De acordo com Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) e o Atlas de Irradiação Solar no Brasil (1998), a região com maior irradiação solar é o Nordeste, conforme apresentado nas figuras 5 e 6. Um estudo feito pela Empresa de Pesquisas Energéticas com o objetivo de determinar o potencial técnico de geração distribuída residencial no Brasil, concluiu que o Nordeste seria capaz de gerar 77.440 GWh por ano considerando a área de telhados possível de aproveitamento e irradiação solar na região, isso representa cerca de três vezes o consumo residencial da região (BEZERRA; SANTOS, 2016).

Figura 5-Radiação solar diário-média anual típica (MJ/m².dia)



Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil (2000)

Figura 6-Radiação solar diário-média anual típica (Wh/m².dia)



Fonte: ATLAS de Irradiação Solar no Brasil. 1998

2.5 Cômputo e Valoração dos Potencias Completos (CVPC)

O processo de cômputo e valoração do potencial completo-CVPC dos recursos energéticos tem como objetivo a definição do potencial completo (quantitativo e/ou qualitativo) do recurso energético nas quatro dimensões consideradas na metodologia do PIR, ou seja, o cômputo e a valoração do potencial da fonte junto com a tecnologia a ser utilizada para o seu desenvolvimento e sua aplicação em que os recursos são avaliados de acordo com as características locais de cada dimensão utilizadas na metodologia do PIR (BAITELO, 2011).

O CVPC busca determinar os impactos e incorporar diferentes externalidades com relação a questões técnicas e econômicas que estão presentes no processo de produção de um recurso, questões que não são levadas em consideração em um planejamento tradicional, nesta fase foi feito a contabilização de todos os impactos nas quatro dimensões do PIR.

Portanto, para Rigolin (2013), “ao executar a valoração dos potenciais energéticos em alguma região deve-se seguir alguns passos, começando com o levantamento dos recursos existentes na região, seguido da caracterização e avaliação dos potenciais completos”.

Após a contextualização das teorias que fundamentam este estudo, segue-se com a metodologia aplicada a região do maciço de Baturité para o levantamento dos potenciais do recursos solar e eólico, como é mostrado a seguir.

3 METODOLOGIA APLICADA A REGIÃO DE ESTUDO

A metodologia proposta neste trabalho (figura 7), deriva de metodologias propostas pelo grupo pesquisa GEPEA (Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica) na universidade de São Paulo (USP), que elaborou O PIR para a Região de Araçatuba, alguns parâmetros foram adaptados para se adequar aos objetivos propostos, portanto neste contexto foi realizado de início um levantamento das bibliografias referente ao assunto deste trabalho.

3.1 Determinação da Área de Estudo

Quando se pretende analisar os recursos energéticos de uma região, o primeiro passo é determinar o universo de estudo, ou seja, determinar a área onde vai ser realizado o estudo. Nesta fase foi colhido junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),

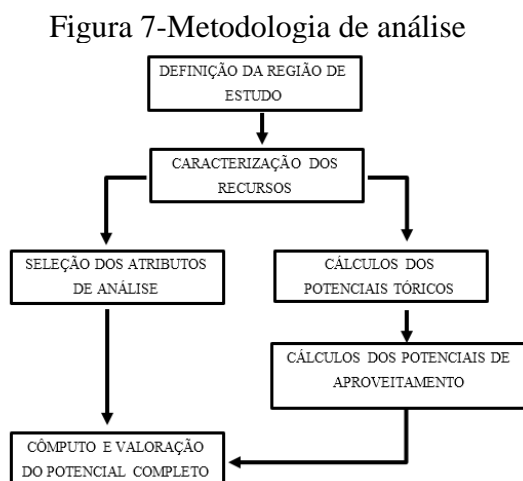
dados históricos de caráter geográficos, sociais, econômicos, de infraestrutura, ambientais e culturais do maciço de Baturité que foi a região escolhida para realizar o estudo.

3.2 Caracterização dos Recursos Selecionados

Após o levantamento das informações inerentes ao local de análise, é realizada a caracterização dos recursos. Nesta etapa foram calculados os potenciais teóricos e de aproveitamento dos recursos, por meios de equações e/ou *softwares* de simulação, sendo que para este trabalho os recursos analisados foram o solar e o eólico. Já para os cálculos de seus respectivos potenciais foram adotados os métodos propostos por BERNAL, (2009), FUJJI, (2006) e por FADIGAS, (2011), que utilizam equações matemáticas para obtenção dos potenciais teóricos. Com relação aos dados necessários para o cálculo dos potenciais, os mesmos foram obtidos a partir de Atlas eólicos e solares além de análise dos dados da estação meteorologia de Guaramiranga e do uso de um *software* de georreferenciamento (ArcGIS).

3.3 Seleção dos Atributos de Análises

Aqui foram determinados atributos e sub-atributos dentro das quatro dimensões do PIR, (Técnico-econômica, ambiental, social e política), os sub-atributos analisados dentro das quatro dimensões estão nas tabelas 17, 18, 19 e 20 do anexo I e foram determinados de acordo com Bernal, 2009, Baitelo, 2011, Rigollin, 2013 e Bachi Junior, 2016. A seleção dos atributos e subatributos não segue um padrão determinado, é dependente das características do recurso analisado e da região de estudo, entretanto é importante selecionar o máximo possível para que a análise seja completa.



Fonte: Próprio Autor

3.4 Região de estudo

A figura 8 apresenta o mapa do Ceará com divisões das regiões constituintes do estado. A região em análise (Maciço de Baturité) é a região R6. Optou-se por estudar esta região para verificar o potencial de energias renováveis solar e eólica contribuindo, assim, com a pesquisa e o desenvolvimento do maciço de Baturité. Na figura 9, temos a região administrativa do maciço de Baturité em destaque:

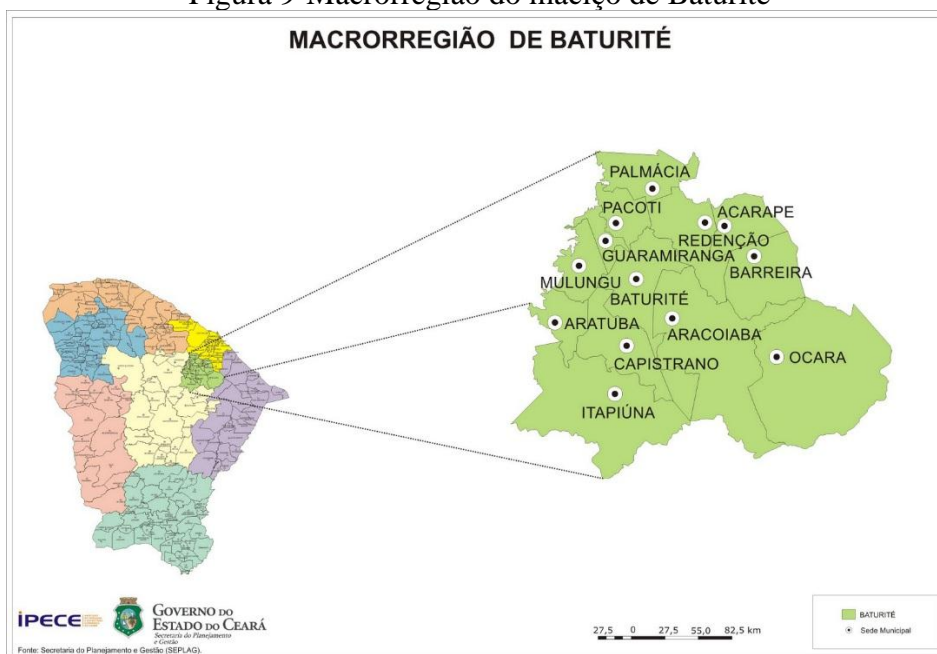
Figura 8-Mapa do Ceará



Fonte: IPECE (2013).

De acordo com o Instituto de Pesquisas Econômica do Ceará (IPECE), o Maciço de Baturité é composto pelos municípios de Acarape, Aracoiaba, Aratuba, Baturité, Barreira, Capistrano, Guaramiranga, Itapiúna, Mulungu, Ocara, Pacoti, Palmácia e Redenção. A área em estudo ocupa uma superfície de 3.704 km², correspondendo a 2,5 % do Estado do Ceará e 0,24% do Nordeste. A População residente da região de Baturité é a menor do Estado com representação de 2,7% do total da população do Estado. A densidade demográfica da região é de 79,25 habitantes por km². A Taxa de urbanização da Macrorregião é de 43,14%, a menor taxa entre as macrorregiões do Estado.

Figura 9-Macrorregião do maciço de Baturité



Fonte: IPECE (2013).

A população total do Maciço de Baturité de acordo com censo de 2010 é de 241.633 habitantes. Na zona urbana estão 129.904 pessoas (46%), enquanto na zona rural residem 111.729 pessoas (54%) como mostra a Tabela 2.

Tabela 2- Indicativos de desenvolvimento da região do maciço

Maciço De Baturité		
População		241.633
	Urbana	129.904
	Rural	111.729
D.D (Hab/Km ²)		79,25153846
T.U (%)		43,14416667
T.C (%)		0,76
Domicílios		62.761
	Urbana	31.375
	Rural	31.386
Média de moradia (Hab/domicílios).		3,72
IDH (%)		33,06
IDM (%)		0,59
Consumo de E.E (MWh)		156.876
	Residencial	58.162
	Industriais	11.567
	Comercial	15.491
	Rural	45.883
	Público	25.543
	Próprio	230
Pib/Per capita (Per Capta)		4.870

Fonte: Próprio Autor

Ainda de acordo com a mesma fonte, a taxa média geométrica de crescimento anual da população em 2010 foi de 0,76 %. A taxa de mortalidade infantil era de 13,16 de 2000/2010 por cada mil nascidos vivos. A taxa de analfabetismo funcional no ano de 2000 foi de 34,86 % e no ano 2010 foi de 25,79 %, configurando assim um decréscimo de 9,07% durante 10 anos.

Uma das atividades que marca profundamente o perfil econômico-financeiro da região é a agricultura, embora a mesma venha sendo desenvolvida dentro dos moldes tradicionais voltado para agricultura familiar, cerca de 70% da população economicamente ativa ainda depende deste setor.

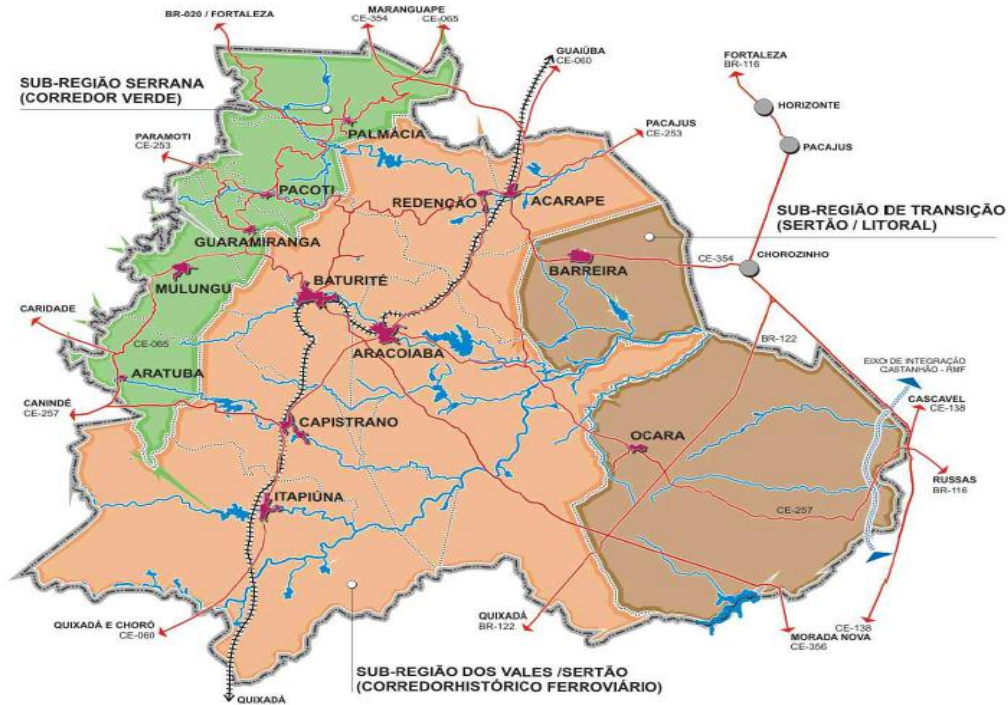
O setor pecuário na região é constituído, principalmente pelas seguintes espécies: bovinos, ovinos, caprinos e suínos. Levando em consideração a importância econômica das culturas exploradas na microrregião de Baturité, destacam-se os seguintes produtos: banana, cana-de-açúcar, arroz, algodão, feijão e milho.

O setor primário que outrora chegou a ser representativo em termos de geração do PIB/ Produto interno bruto regional está em processo de decadência econômica pela baixa capacidade de competitividade e pelas restrições de caráter ambiental que a região naturalmente impõe. O setor secundário no Maciço é voltado para o beneficiamento rudimentar de produtos locais através de engenhos, alambiques, casas de farinha, e moageiras de café. Nos últimos anos este setor tem apresentado uma queda linear e, conseqüentemente, sua participação na economia do maciço tem diminuído.

O setor terciário associado às receitas institucionais (previdência oficial e emprego público) e os aluguéis, respondem por mais de 50% da riqueza gerada, o que aponta a fragilidade das atividades privadas.

A região do maciço de Baturité está subdividida em três sub-regiões conforme a figura 10: sub-região serrana também conhecida como corredor verde, sub-região de transição correspondente ao sertão litoral e a sub-região dos vales ou sertão do corredor histórico ferroviário.

Figura 10-Divisão da macrorregião do maciço de Baturité



Fonte: Plano diretor do Maciço de Baturité

A Sub-região Serrana, tem clima e solo favoráveis à produção agrícola, além de boa pluviosidade, no entanto o corredor verde como é conhecido, tem sua condição ambiental ameaçada pela reduzida capacidade de armazenamento de água. Outros fatores que limitam a utilização dessa região é a topografia e a constante devastação a que tem sido submetida.

Na sub-região dos vales há um indicativo de solos de boa qualidade ao longo da área de influência ferroviária, além de apresentar razoável capacidade de armazenamento de água nos açudes Aracoiaba, Castro e Pesqueiro.

Já a sub-região de transição é caracterizada por ter baixa densidade demográfica, onde estão localizados os centros urbanos dos municípios de Ocará e Barreira. O uso agrícola predominante na região é a cajucultura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho serão avaliados os recursos energéticos do lado da oferta eólico e solar na região do maciço de Baturité. A caracterização completa desses recursos envolve desde levantar e descrever o potencial da fonte até assinalar as tecnologias possíveis de aproveitamento e ainda valorar os recursos dentro das quatro dimensões do PIR.

4.1 Cálculo do Potencial eólico

O levantamento do potencial Eólico está sujeito a vários fatores como, por exemplo: velocidade e direção do vento, temperatura, rugosidade do terreno, geologia, dentre outros. Estes fatores podem ser determinados em estudos de campo e/ou encontrados em atlas eólicos e torres meteorológicas

Os ventos surgem basicamente por dois fatores, a diferença de temperaturas na superfície da terra que causa diferentes gradientes de pressão e acaba por ocasionar o movimento das massas de ar e pela rotação normal da terra ou força de coriolis.

O potencial de energia eólica de uma região pode ser determinado a partir da potência contida nos ventos, mas para isso é necessário conhecer o perfil de velocidade do vento, para tanto foram analisados dados de velocidade do vento obtidos da estação meteorológica de Guaramiranga em um intervalo de 5 anos com três medições por dia, (0h, 12h e 18h), a 10m de altura. De posse dos valores calculou-se a velocidade média durante o período de 5 anos, o desvio padrão e a variância de acordo com (1), (2) e (3) respectivamente.

O ideal para medição das condições de velocidade e direção do vento é que se faça medições em diversos pontos ao longo da área considerada, ao longo de vários anos para que se possa obter com precisão a média das velocidades do vento. Porém, a urgente necessidade de obtenção dos potenciais para um rápido aproveitamento energético levou a construção de modelos para que se possa realizar medições em um único ponto durante um único período, que em geral corresponde a um ano (BERNAL, 2009). Para este trabalho, como já citado, foram analisados dados colhidos durante 5 anos.

$$V_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (1)$$

Em que :

V_m = é a velocidade média

N = Numero de ocorrências

v_i = Valor da velocidade fornecido a cada intervalo de tempo

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - V_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i^2 - NV_m^2)} \quad (2)$$

A variância é definida como a média dos quadrados dos desvios padrão σ_v^2 (3)

A velocidade média, desvio padrão e variância para região do maciço de Baturité no período analisado, estão representados na tabela 3.

Tabela 3 Valores de velocidade média, desvio padrão e variância

V_m	σ_v	σ_v^2
2,92	0,97	0,94

Fonte: Próprio Autor

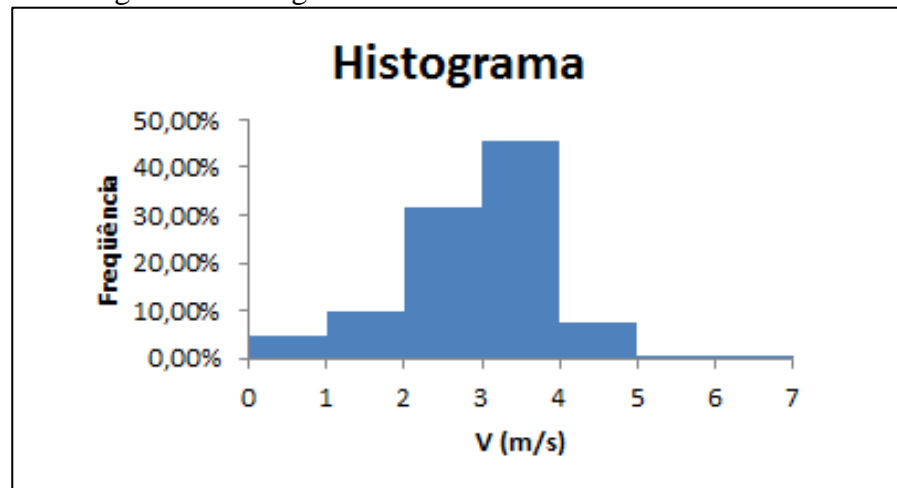
Uma forma de compactar os dados, e com isso determinar melhor a produção energética é distribuí-los em classes de velocidades que se associam a uma frequência de ocorrência. O gráfico da figura 11 e a tabela 4 estão as frequências de ocorrência e as classes de velocidades para região do maciço de Baturité.

Tabela 4-Frequência de velocidade do vento para o Maciço de Baturité

Classes de velocidades (m/s)	Frequência (horas)	Frequência (%)	Probabilidade acumulada
0-1	284	4,58%	97,98%
1-2	616	9,93%	95,42%
2-3	1968	31,72%	85,50%
3-4	2837	45,72%	53,78%
4-5	463	7,46%	8,06%
5-6	35	0,56%	0,60%
6-7	2	0,03%	0,03%

Fonte: Próprio Autor

Figura 11-Histograma da velocidade do vento



Fonte: Próprio Autor

Para representar o comportamento dos ventos são utilizadas várias funções probabilísticas, como, por exemplo, distribuição Gaussiana, distribuição normal bivariável, distribuição exponencial, distribuição de Rayleigh e distribuição de Weibull. Neste trabalho utilizou-se a distribuição de Weibull para analisar os dados, pois de acordo com Fadigas (2011) a distribuição de Weibull é uma das mais utilizadas para caracterização de dados eólicos, pelo fato dela incorporar tanto a distribuição exponencial quanto a de Rayleigh e ainda se aproxima muito da distribuição normal quando o valor de k é próximo de 3,5.

A distribuição de Weibull é dada pela seguinte equação

$$P(v) = \left[\frac{k}{c}\right] x \left(\frac{v_m}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v_m}{c}\right)^k\right] \quad (4)$$

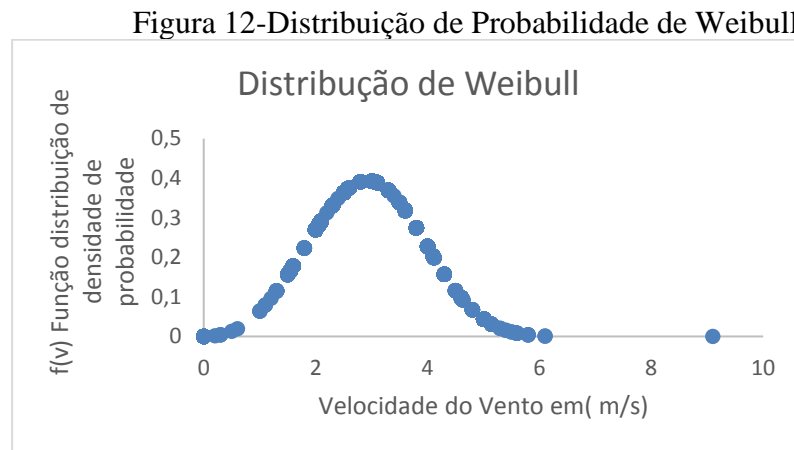
A equação depende de dois parâmetros além da velocidade média V_m , o parâmetro k conhecido como fator de forma, adimensional que indica uniformidade da distribuição dos valores da velocidade e o parâmetro c chamado de fator de escala dado em m/s, possui dimensão de velocidade e a qualifica.

Vários métodos são utilizados para determinar o fator de forma e de escala dentre eles, análise por mínimos quadrados, métodos de velocidade média e quartis, método da correlação entre k e a velocidade média. Neste trabalho utilizou-se as equações (5) e (6) encontradas em Fadigas (2011) para determinar os coeficientes k e c .

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{v_m}\right)^{-1,086} \quad (5)$$

$$c = \frac{v_m}{\Gamma\left(\frac{1+1}{k}\right)}. \quad (6)$$

Os valores de k e c encontrados para região do maciço foram 3,32 e 3,26 respectivamente, com estes valores pode-se traçar uma curva de distribuição de Weibull como é visto na figura 12.



Fonte: Próprio Autor

Analisando o gráfico da figura 12 observa-se que para o valor de $k=3,32$ os valores de velocidade representados pela área em baixo da curva tenderam a se concentrar em torno da velocidade média, portanto a distribuição de Weibull representa significativamente a distribuição de velocidade do maciço de Baturité.

A distribuição da velocidade do vento tende a mudar com a altura, essa mudança é mais rápida próximo da superfície e menos em alturas elevadas, a região próxima da superfície em que ocorre mudanças mais rápidas na velocidade é conhecida como camada limite. Na camada limite o ar escoar de forma turbulenta devido a influência de parâmetros tais como: densidade e viscosidade do ar e a rugosidade do terreno.

A potência contida nos ventos é função da densidade do ar e a densidade é função da temperatura e pressão, estes dois últimos parâmetros são variáveis de acordo com a variação da altura em relação ao solo, como os aerogeradores são instalados na faixa da camada limite é de suma importância conhecer o perfil de variação da velocidade do vento com a altura.

A velocidade do vento possui um perfil exponencial desde o solo até elevadas alturas, (figura 13), logo este perfil permite extrapolar a velocidade de uma certa altura H_r para outra que se deseja saber H . A velocidade em diferentes alturas pode ser encontrada por meio da Lei de potência equação (7), em que V é a velocidade na altura que se deseja obter, V_r é a

velocidade na altura de referência, geralmente 10m e n é expoente que indica a descrição do terreno.

$$V = V_r * \left(\frac{H}{H_r}\right)^n \quad (7)$$

A lei de potência representa o modelo mais simples e é resultado de estudos da camada limite sobre uma placa plana. É a mais simples de ser aplicada, porém sem uma precisão muito apurada, pois considera o escoamento acontecendo em um terreno plano.

A lei de potência não é indicada para terrenos que apresentem urografia elevadas, terrenos que apresentem elevações e depressões e valores de H maiores que 50m.

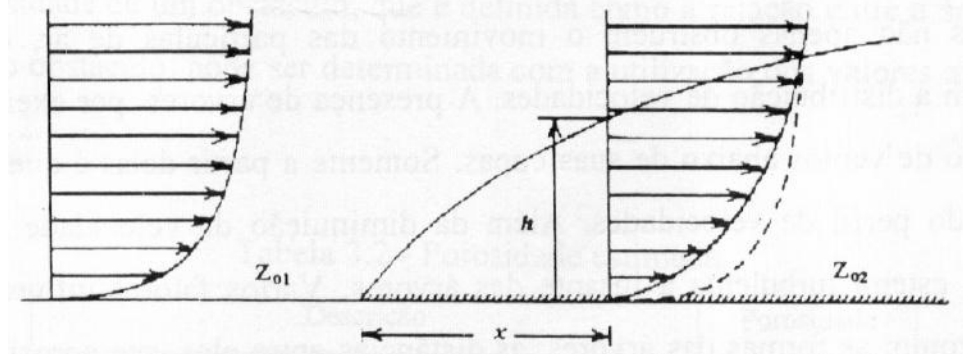
Para representar o perfil vertical do vento o modelo baseado na lei logarítmica é mais complexo e realístico, pois considera o escoamento na atmosfera altamente turbulento, assim para este trabalho utilizou-se a lei logarítmica.

A equação (8) representa a lei logarítmica quando se deseja encontrar a velocidade do vento em uma altura de referência H_r , para outro nível de altura H .

$$\frac{v(H)}{v(H_r)} = \frac{\ln\left(\frac{H}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_r}{Z_0}\right)} \quad (8)$$

Z_0 é tido como sendo o comprimento de rugosidade que está associado com o tipo de terreno.

Figura 13-Perfil de velocidade do vento de acordo com a altura e rugosidade do terreno



Fonte (PEREIRA, 2007)

Na tabela 5 estão valores para Z_0 de acordo com a utilização do solo

Tabela 5- Coeficiente Z_0 para diferentes tipos de superfície

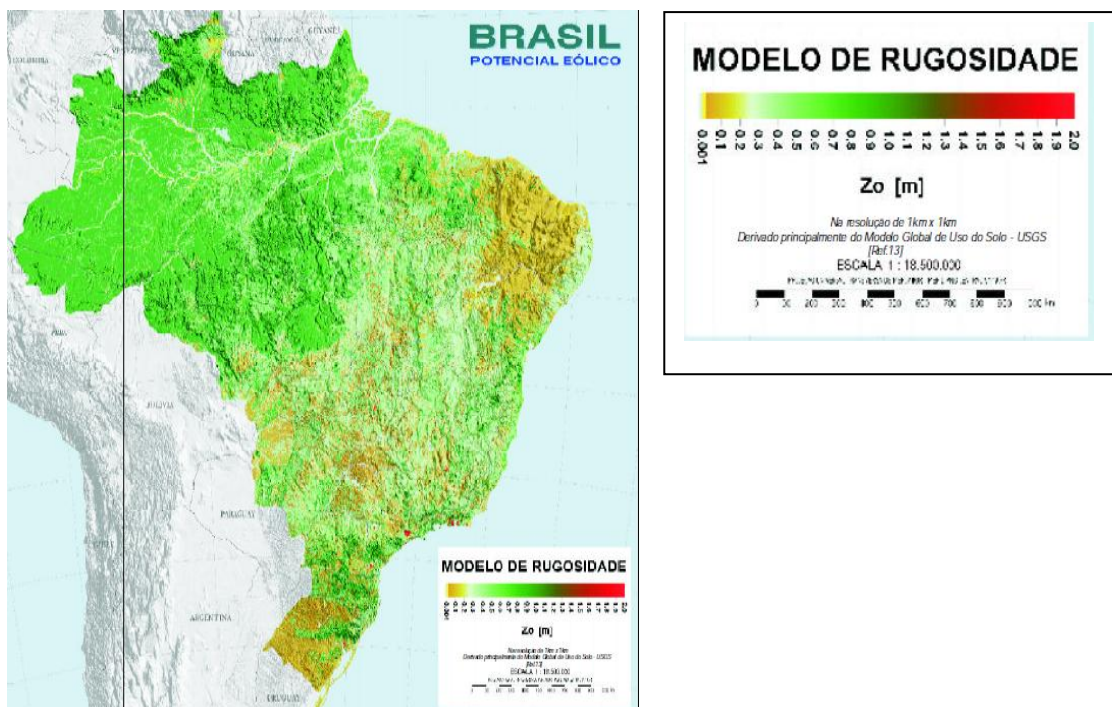
Descrição do terreno	Coefficiente Z_0 (mm)
Liso, gelo, lama	0,01
Mar aberto e calmo	0,20
Mar agitado	0,50
Neve	3,00
Gramado	8,00

Pasto acidentado	10,00
Campo em declive	30,00
Cultivado	50,00
Poucas árvores	100,00
Muitas árvores, poucos edifícios, cercas	250,00
Florestas	500,00
Subúrbios	1500,00
Zonas urbanas com edifícios Altos	3000,00

Fonte: Fadigas, 2011

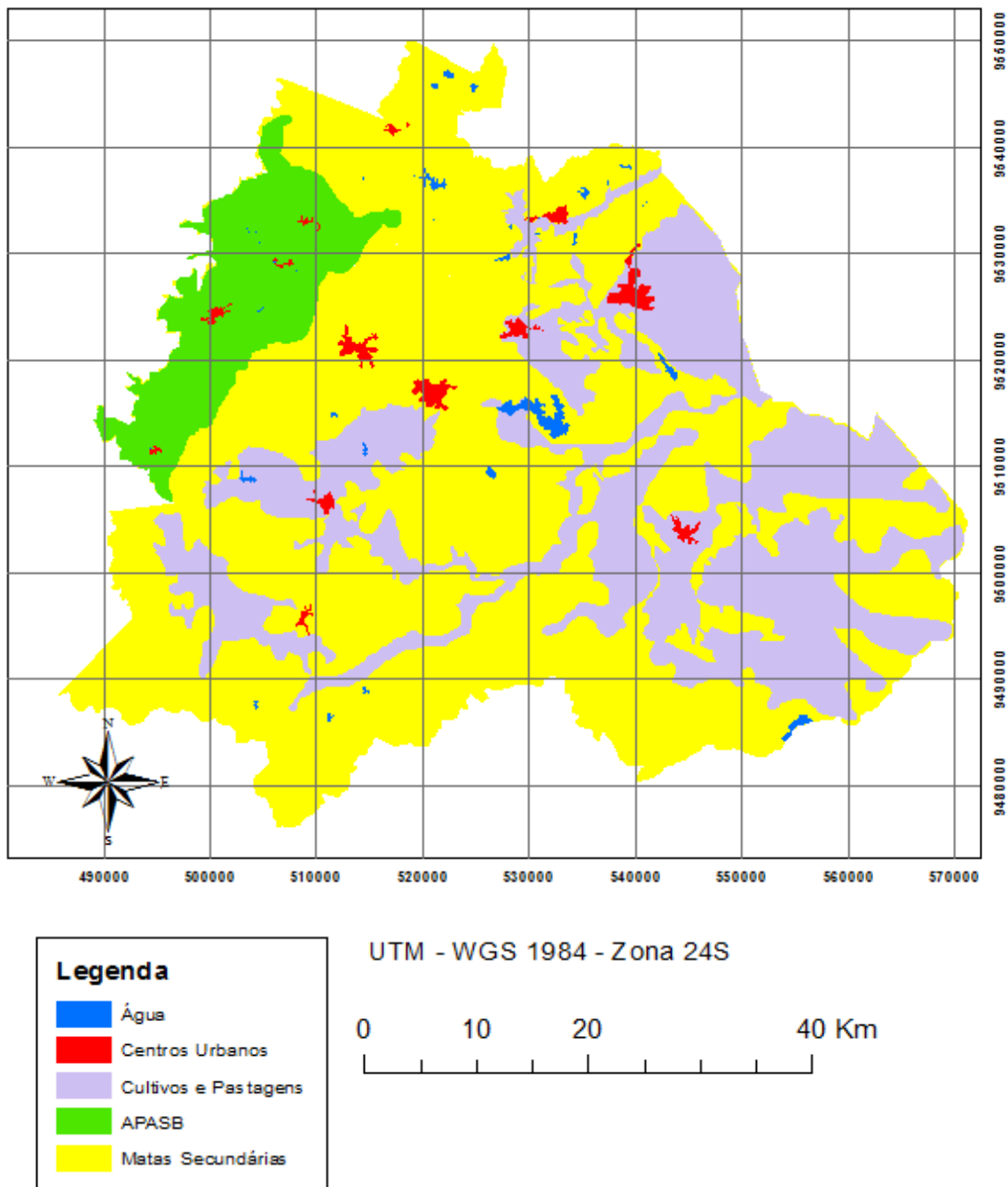
O coeficiente Z_0 para o maciço de Baturité foi determinado a partir do atlas eólico brasileiro e de um programa de georreferenciamento (ArcGIS). O uso do sistema de georreferenciamento permite descrever o uso do solo como um todo bem como partes isoladas. A figura 14 apresenta o mapa de rugosidade para as diferentes regiões do Brasil e a figura 15 apresenta uma representação do uso do solo para o maciço de Baturité gerado a partir do ArcMap.

Figura 14-Mapa de rugosidade



Fonte: Atlas do potencial Eólico, 2001

Figura 15-Mapa de uso do solo para o maciço de Baturité



Fonte: Próprio Autor

Fazendo o cruzamento dos dados da tabela 5 com as figuras 14 e 15 o coeficiente de rugosidade adotado foi de 0,25m, assim calculou-se as velocidades a 50m e a 100m de altura de acordo com a equação 8. A tabela 6 contém os resultados obtidos.

Tabela 6- Velocidades a 10, 50 e 100m para o maciço de Baturité

Velocidade a 10m (m/s)	Velocidade a 50m (m/s)	Velocidade a 100m (m/s)
1	1,44	1,62
2	2,87	3,25

3	4,31	4,87
4	5,75	6,50
5	7,18	8,12
6	8,62	9,75
7	10,05	11,37

Fonte: Próprio Autor

Fazendo-se uma comparação dos dados de velocidade média da estação de Guarimiranga com o mapa de velocidade média do atlas eólico, podemos afirmar que os dados foram bem trabalhados, pois apresentam significativa proximidades com relação ao valor de velocidade média do atlas, enquanto o atlas apresenta uma velocidade média entre 4 e 4,5 m/s a 50m de altura o valor calculado da velocidade média de acordo com os dados da estação de Guarimiranga também a 50m foi de 4,37m/s e a 100m 5,20m/s.

O aproveitamento da energia eólica depende de um fluxo de vento contínuo que passa por uma área com intensidade capaz de gerar energia elétrica. A potência contida no vento é dada pela seguinte equação:

$$P_{Eol} = \left(\frac{1}{2}\right) \rho A v^3 \quad (9)$$

Em que:

P_{Eol} é a potência contida nos ventos

ρ é a densidade característica do ar 1,225 para 760 mm de Hg

A é Área varrida pelas pás do aerogerador

V Velocidade do vento

Os valores do potencial teórico de aproveitamento eólico de acordo com a equação (9) por unidade de área (m²) de varredura de pá para região do maciço de Baturité estão nas tabelas 7 e 8 para 50m e 100m, respectivamente.

Tabela 7- Potencial por m² de energia eólica no maciço de Baturité a 50m

Velocidade a 10m (m/s)	Velocidade a 50m (m/s)	Potência por área 50m (W/m ²)	Potência anual por área 50 m (KWh/m ²)
1	1,44	1,81	15,89
2	2,87	14,52	127,18
3	4,31	49,00	429,24
4	5,75	116,15	1017,47
5	7,18	226,85	1987,24
6	8,62	392,00	3433,95
7	10,05	622,49	5452,99

Fonte: Próprio Autor

Tabela 8- Potencial por m² de energia eólica no maciço de Baturité a 100m

Velocidade a 10m (m/s)	Velocidade a 100m (m/s)	Potência por área 100 m (W/m ²)	Potência anual por área 100 m (KWh/m ²)
1	1,62	2,62	22,98
2	3,25	20,99	183,91
3	4,87	70,86	620,71
4	6,50	167,96	1471,31
5	8,12	328,04	2873,66
6	9,75	566,86	4965,68
7	11,37	900,15	7885,33

Fonte: Próprio Autor

4.1.1 Potencial Eólico Aproveitável

A produção de energia em um gerador eólico depende da interação do vento que movimentam as hélices de um aerogerador e que faz girar um eixo produzindo eletricidade. A velocidade do vento ao passar pela turbina não é nula com isso a potência contida nos ventos não pode ser aproveitada integralmente. A fração máxima de aproveitamento da energia contida nos ventos por um gerador eólico é conhecido como coeficiente de potência ou limite de Betz ($C_p = 16/27$), e significa que no máximo 59% da potência contida nos ventos pode ser aproveitada por um gerador.

De acordo com Bernal (2009), geralmente a distribuição de torres eólicas é feita resguardando uma distância de 5 a 9 vezes o tamanho do diâmetro da turbina na direção predominante do vento e de 3 a 5 vezes na direção perpendicular.

O potencial aproveitável deve levar em conta a área possível de aproveitamento. Supondo a instalação de um parque eólico no maciço de Baturité, o potencial de aproveitamento foi calculado admitindo as seguintes suposições e considerações; (I) que para instalação de turbinas eólicas utilize-se as áreas cultivadas e/ou de pastagem, para não ocasionar desmatamentos e maiores danos ambientais; (II) que a área de instalação ocupe 1,5% da área possível de aproveitamento, de acordo com o que foi feito por Bernal (2009); e (III) que seja utilizadas turbinas de 100m de alturas com 60m de diâmetros e 1500KW. A tabela 9 apresenta as áreas de ocupação do solo, ressaltando-se que o cálculo das áreas de matas secundárias foi feito desconsiderando pequenas atividades agrícolas e pequenas comunidades rurais por não ser objetivo de estudo de sistemas solares ou eólicos nessas áreas.

Tabela 9- Distribuição das Áreas de acordo com a ocupação do solo

Áreas (Km ²)			
Cultivos e pastagens	Centros urbanos	APASB	Matas secundárias
873,96	38,84	324,92	2466,28

Fonte: Próprio Autor

Para o maciço de Baturité, a área total possível de aproveitamento levando-se em consideração terras cultivadas e pastagens é da ordem de 873,93 Km², e a área ocupada por uma possível instalação do parque eólico é da ordem de 13,11 Km², o que equivale a instalação de 150 turbinas de 100m de altura e 60m de diâmetro. A energia mecânica produzida por um aerogerador é dada pela seguinte equação.

$$P_m = \left(\frac{1}{2}\right) \rho A v_1^3 * \frac{\left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) * \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right]}{2} \quad (10)$$

Em que;

 P_m é a potência mecânica extraída pelo aerogerador V_1 é a velocidade do vento não perturbado antes de passar pelo aerogerador V_2 é a velocidade do vento depois de passar do aerogerador

$$\text{Sendo } C_p = \frac{\left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) * \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right]}{2}$$

 C_p é o coeficiente de potência ou eficiência do rotor

Como já citado o máximo coeficiente de potência que uma turbina pode atingir é 16/27, Betz foi o primeiro físico a demonstrar esse valor, devido a isso frequentemente o coeficiente de potência é referido como limite de Betz. Para o maciço de Baturité, o coeficiente de potência de acordo com as características do aerogerador escolhido é de 0,46.

A tabela 9 apresenta a potência por turbina instalada para o maciço de Baturité, para cada classe de velocidades ocorrentes.

Tabela 10- Potencial aproveitado por turbina de energia eólica no maciço de Baturité a 100m

Classes de velocidades (m/s)	Velocidade a 100m	Potência aproveitada pela turbina (KW)
0-1	1,6242	2,802877
1-2	3,2484	22,423014
2-3	4,8726	75,677672
3-4	6,4968	179,384112
4-5	8,1210	350,359594

5-6	9,7452	605,421379
6-7	11,3694	961,386727
Total		2197,455375

Fonte: Próprio autor

Considerando a velocidade média anual para o maciço de Baturité e as condições da área possível de aproveitamento em conjunto com as características do aerogerador, à estimativa do potencial total possível de aproveitamento é da ordem de 12,07GWh/ano.

O fator de capacidade é uma forma de avaliar o potencial eólico de uma região e pode ser interpretado como o percentual de aproveitamento efetivo em relação ao total máximo instalado e depende das características do aerogerador e do local. Portanto, o potencial máximo de aproveitamento deve levar em conta tanto o limite de Betz como o fator de capacidade, associado com a melhor tecnologia e distribuição ótima de turbinas na região considerando que uma turbina sempre deve guardar certa distância para outra.

Em geral, o fator de capacidade é calculado levando em consideração um tempo de análise de um ano, podendo também ser calculados para outros períodos de análises. A equação (11) apresenta uma das maneiras de estimar a energia produzida em um período de análises.

$$E_{Elétrica} = \sum_{i=1}^n f_i * P_i * t \quad (11)$$

Em que:

f_i Frequência de ocorrência de uma velocidade de classe i

P_i Potencia equivalente para a velocidade de classe i (Watts)

t intervalo de tempo entre as medições

O fator de capacidade (FC) de um determinado local é definido como a razão entre a energia produzida (ou estimada) durante um ano, e a energia que seria produzida caso o aerogerador operasse em sua potência nominal durante 100% do tempo considerando suas características de rendimento. O FC pode ser escrito como:

$$FC = \frac{E_{Elétrica}}{P_{nominal} * T} \quad (12)$$

Em que:

P_n Potencia nominal do aerogerador

T tempo de análise

Para o maciço de Baturité o fator de capacidade é de 6,12% para as condições da turbina escolhida, nota-se que o fator de capacidade depende de uma escolha criteriosa da turbina, uma forma de aumentar o fator de capacidade seria reduzindo a potência nominal da

turbina. Reduzindo a potência para 500kw o fator de capacidade aumenta para 18%, mesmo assim fica abaixo da média dos empreendimentos geradores de energia eólica no Brasil, que é de 36% de acordo com o portal Brasil (2014). Sendo assim o recurso eólico para geração de eletricidade não se apresenta de forma viável no maciço de Baturité, uma vez que se limita pelas baixas velocidades de ventos ocorrentes na região impossibilitando a utilização do recurso para geração de eletricidade. Uma possível forma de utilização do recurso seria para bombeamento de água que exige velocidades mais baixas em torno de 3,5 a 4,5 m/s.

4.2 Cálculo do Potencial Solar

Quando se deseja estudar o potencial solar de uma região é de suma importância conhecer as características locais, além de ter dados confiáveis de radiação solar. De toda radiação emitida pelo sol apenas uma pequena parte é absorvida diretamente pela superfície terrestre (Radiação Direta). Em uma parcela bem menor a terra ainda recebe radiação difusa que atinge a atmosfera por diferentes ângulos.

Para a estimativa do potencial solar do maciço de Baturité, considerou-se para fins de cálculos a radiação global. A radiação solar é medida em W/m^2 , permitindo assim uma estimativa rápida e direta do potencial solar, seja para aproveitamento térmico ou fotovoltaico.

Os dados de radiação solar no Brasil ainda são limitados, existem poucas estações de levantamentos de dados de radiação, com isso, uma maneira de determinar a radiação solar de uma região onde não tem estações para este fim é extrapolar dados de estações próximas e/ou por meios de atlas solares e bancos de dados fornecidos por sites que disponibilizem estes dados.

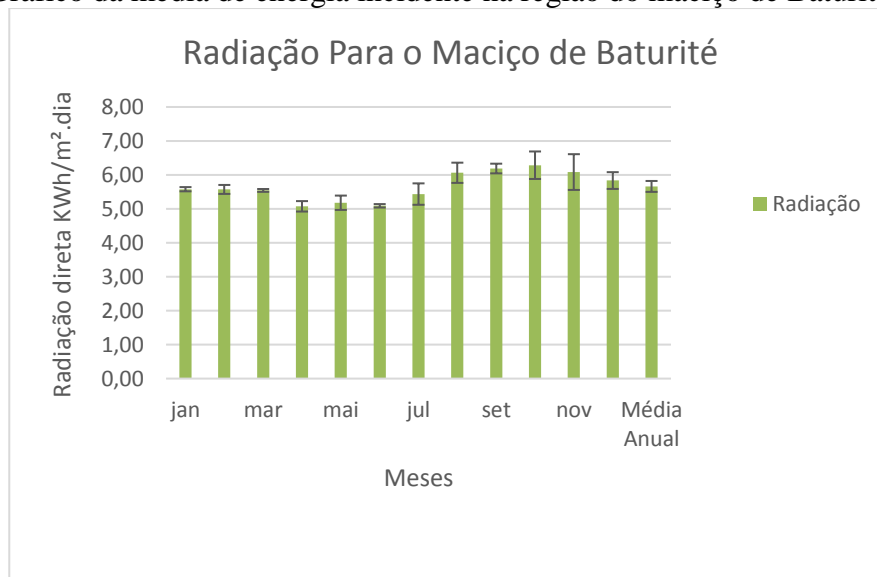
Para o maciço de Baturité, a radiação solar foi determinada a partir do banco de dados fornecidos pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito (CRESESB) que apresenta um sistema informatizado onde basta-se informar as coordenadas da região em questão, e o índice de insolação é apresentado. O projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) também foi utilizado para fins de cálculos, esta plataforma fornece fácil acesso a informações e dados de alta qualidade de recursos energéticos renováveis para usuários ao redor do mundo. Comparando os dois valores de radiação, (Tabela 11) fornecidos pelos sites, observa-se uma pequena variação em termos dos valores, optou-se, portanto, em utilizar-se a média dos valores de radiação fornecido pelo CRESESB e SWERA. Os valores médios da energia incidente no maciço estão na figura 16.

Tabela 11-Dados de radiação solar para o maciço de Baturité de acordo com CRESESB e SWERA.

Radiação Maciço de Baturité KWh/m ² .dia				
Meses	SWERA	CRESESB	Desvio Padrão	Média
Jan	5,52	5,64	0,06	5,58
Fev	5,70	5,44	0,13	5,57
Mar	5,58	5,5	0,04	5,54
Abr	5,23	4,92	0,15	5,07
Mai	4,97	5,39	0,21	5,18
Jun	5,04	5,14	0,05	5,09
Jul	5,12	5,75	0,32	5,43
Ago	5,76	6,36	0,30	6,06
Set	6,05	6,33	0,14	6,19
Out	5,88	6,69	0,41	6,29
Nov	5,56	6,61	0,53	6,08
Dez	5,59	6,08	0,25	5,83
Média Anual	5,50	5,82	0,16	5,66

Fonte: Próprio Autor a partir dos dados do SWERA e CRESESB

Figura 16-Gráfico da média de energia incidente na região do maciço de Baturité.



Fonte: Próprio Autor

A conversão direta da radiação solar por m² para o maciço de Baturité pode ser determinada a partir da tabela 11 e figura 16, como pode ser visto na tabela 12. Em aplicação

direta dos valores da tabela 12, o potencial anual da fonte de energia solar para o maciço de Baturité é. da ordem de 172,20 KWh/m².

Tabela 12-Radiação incidente no Maciço

Meses	Radiação Maciço de Baturité		
	Média Diária KWh/m ² .dia		Radiação Total Mensal em KWh/m ²
	SWERA	CRESESB	
Jan	5,52	5,64	172,92
Fev	5,70	5,44	156,02
Mar	5,58	5,5	171,80
Abr	5,23	4,92	152,22
Mai	4,97	5,39	160,55
Jun	5,04	5,14	152,67
Jul	5,12	5,75	168,47
Ago	5,76	6,36	187,92
Set	6,05	6,33	185,63
Out	5,88	6,69	194,84
Nov	5,56	6,61	182,51
Dez	5,59	6,08	180,84
Média Mensal	5,50	5,82	172,20

Fonte: Próprio Autor

4.2.1 Potencial Solar Aproveitável

A temperatura é um parâmetro bastante importante quando se pretende fazer o aproveitamento da energia proveniente do sol, seja de forma fotovoltaica seja para aquecimento de água. Neste trabalho, no entanto, o potencial solar foi estimado considerando apenas o aproveitamento fotovoltaico. Para o maciço de Baturité a temperatura média é 28° C.

O aproveitamento energético de energia solar para um sistema fotovoltaico pode ser determinado por meio das seguintes equações. Um cuidado que se deve ter no dimensionamento de sistemas solares para aproveitamento fotovoltaico é em relação a distância de um painel para outro, para que um não venha sombrear o outro. A figura 17 mostra o esquema de dimensionamento de painéis

$$P = \left(\frac{A_{\text{útil}}}{A_{\text{painel}}} \right) * \left(\frac{\eta_{\text{painel}}}{100} \right) \quad (13)$$

Em que:

P é a Potência instalada

$A_{\text{Útil}}$ é a área ocupada pelos painéis

A_{painel} é a área de um painel

η_{painel} é a eficiência do painel

$$E_g = P * R * \eta_{\text{Sistema}} \quad (14)$$

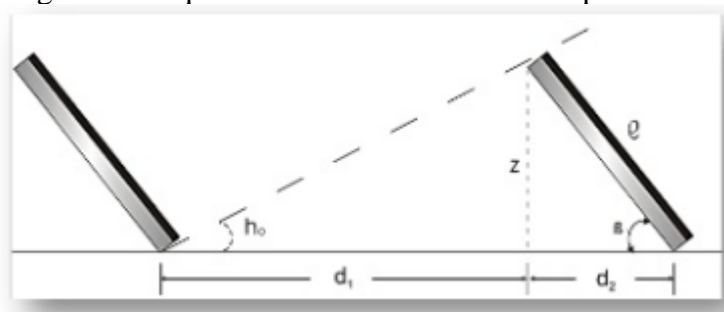
Em que

E_g energia gerada

R radiação incidente

η_{sistema} eficiência do sistema

Figura 17-Esquema de dimensionamento de painéis



Fonte: BlueSol, 2007

Partindo do princípio que pudessem ser utilizadas uma porcentagem da área urbana para instalação de sistemas fotovoltaicos, tomando como premissa que se pudessem utilizar os telhados para instalação e ainda uma pequena porcentagem da área cultivada para instalação de uma usina solar.

O cálculo do potencial solar aproveitado foi realizado de acordo com as seguintes considerações:

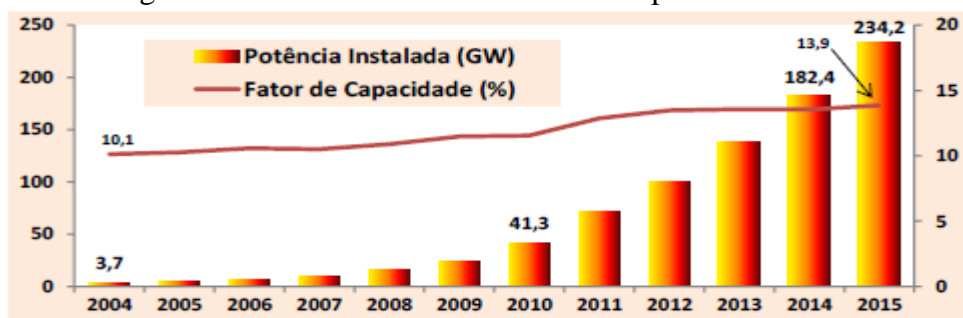
- A parcela da área adotada para instalação de sistemas fotovoltaicos nos telhados seja de 10% da área de centro urbanos e 0,5% da área cultivada, sendo 50% do total dessas áreas ocupadas por painéis,
- Os painéis utilizados sejam de silício poli cristalino de 1m² e eficiência de 13%
- Que o sistema seja interligado a rede com eficiência 12,1% (valor de referência de caso real, VITI, 2006 e FREIRE, 2013).

O potencial de energia solar fotovoltaico do maciço de Baturité de acordo com as equações (13) e (14) e resguardando as considerações feitas é de 1,32 GWh/ano com fator de capacidade de 14,12%.

Para fins de comparação o fator de capacidade mundial de acordo com o Ministério de Mina e Energias em 2016, gira em torno dos 13,9% como pode ser visto na figura 17. Assim

o fator de capacidade de energia solar fotovoltaica para o maciço de Baturité apresenta um bom desempenho.

Figura 18-Potência instalada e Fator de capacidade mundial



Fonte: Ministério de mina e energias, 2016

4.3 Cômputo E Valoração Dos Potenciais Completos

Conforme já mencionado anteriormente, para este trabalho o CVPC foi utilizado para avaliação dos potenciais dos recursos do lado da oferta, solar e eólico, dentro das quatro dimensões de que trata o PIR e de acordo com os sub-atributos do anexo I. Ressalta-se que a valoração não é necessariamente um valor discreto e mensurável, o que leva com que muitas das vezes os sub-atributos seja apresentados de maneira descritiva.

O cômputo e valoração dos potenciais completos é analisado exclusivamente em termos de operação, deixando de considerar externalidade que não tenha relação com a operação

Para o maciço de Baturité o cômputo e a valoração dos potenciais completos ficou conforme mostrado nas tabelas 13 14, 15 e 16.

Tabela 13-CVPC para dimensão Técnico-Econômica

Dimensão Técnico-Econômica		
Atributos de Análise	Recurso	
	Eólica	Solar
Fator de Capacidade	6%	14,12%
Domínio da tecnologia	Nacional	Estrangeiro
Equipamento e Material	Nacional	Estrangeiro
Tempo de Implantação	24 Meses	6 Meses
Qualificação da Mão-de-Obra	Especializada	Qualificação Técnica
Disponibilidade de Fornecimento	Sob encomenda	Comercial
Custo de Implantação	R\$ 2100,00 Por KW Instalado	R\$ 2700,00 Por KW Instalado
Custo de Operação e manutenção	R\$ 92,00 KW Instalado	R\$ 20,00 KW Instalado

Vida Útil	25 anos	15 anos
-----------	---------	---------

Fonte: Próprio Autor

Tabela 14-CVPC para dimensão Ambiental

Atributos de Análise	Recurso	
	Eólica	Solar
Dejetos Sólidos	Não há geração	Não há geração
Dejetos Líquidos	Não há geração	Não há geração
Ocupação do solo	13km ²	8,7 km ²
Consumo de Água	Não há Consumo	Pequeno Consumo Para limpeza dos painéis
Emissão de Poluentes DBO	Não há emissões	Não há emissões
Varição de Temperatura	Não há influencia	Não há influencia
Alteração do PH	Não altera	Não altera
Alteração do volume de Escoamento	Não altera	Não altera
Poluentes Atmosféricos gasoso	Não há emissões	Não há emissões
Material Particulado	Não há geração	Não há geração
Degradação da camada de ozônio	Não gera degradantes	Não gera degradantes

Próprio Autor

Tabela 15-CVPC para dimensão Social

Atributo de Análise	Recurso	
	Eólico	Solar
Geração de Empregos Operação e Manutenção	1,3 Empregados Por MW instalado	0,07 Empregos Por MW Instalado

Percepção de Conforto	Há mudança na passagem e poluição sonora	Há mudanças na arquitetura local
Pessoas deslocadas ou lesadas	Poucas pessoas serão deslocadas	Não ocorre
Existência de sítios Arqueológicos e Históricos	No caso de existência, o empreendimento afeta diretamente	Não afeta

Próprio Autor

Tabela 16-CVPC para dimensão Política

Dimensão Política		
Atributo de Análise	Recurso	
	Eólico	Solar
Apoio Político	Não tem	Não tem
Incentivos Fiscais	Não tem	Não tem
Fonte	Nacional	Nacional
Variação Cambial	Muito vulnerável	Muito vulnerável

Próprio Autor

A partir do processo de valoração dos potenciais completos pode-se construir uma visão geral de como seria a utilização do recurso solar e eólico no maciço de Baturité, sobre a ótica do planejamento integrado dos recursos. A análise dos recursos considerando as quatro dimensões do PIR, contribui para uma forma de planejamento mais eficiente e limpo, que não considera apenas o técnico e o econômico. Apesar do recurso eólico se mostrar inviável já na primeira dimensão do PIR é importante que se conheça todos os implicantes quando se deseja utilizar este recurso, para tanto o recurso foi analisado também nas outras três dimensões. O recurso solar se mostrou executável na dimensão técnico-econômica bem como nas outras dimensões.

5 CONCLUSÕES

A partir da elaboração deste estudo pode-se ter conhecimento dos potenciais teóricos e de aproveitamento das fontes eólica e solar no Maciço de Baturité. Com isso é possível ter uma noção se é possível utilizar uma das fontes e como utilizá-las. Questões como: disponibilidade de tecnologias de aproveitamento, degradação ambiental, necessidade de apoio político e modificações sociais com relação à utilização dos recursos podem ser conhecidas por meio deste estudo. Embora o recurso eólico não seja viável para o aproveitamento, para geração de energia, o mesmo pode ser aproveitado de forma mecânica para o bombeamento de água, uma vez que boa parte da população principalmente da zona rural não tem acesso a água encanada e muitas das vezes, moram distante dos reservatórios de abastecimento.

O recurso solar por outro lado, mostrou ter grande potencial de aproveitamento na geração de energia, levando em consideração a conversão fotovoltaica. Uma outra forma de aproveitar o recurso solar no maciço seria para o aquecimento de água, contudo este processo não foi abordado neste trabalho por ser considerado um recurso do lado da demanda e aqui se restringiu a levantar o potencial dos recursos pelo lado da oferta.

A elaboração do cálculo e valoração dos potenciais completos contribuiu no sentido de enfatizar o baixo dano ambiental causado pelo uso dos recursos estudados, mostrar as procedências dos equipamentos necessários para instalação dos recursos, danos sociais causados e a necessidade de políticas regionais voltadas para o incentivo a utilização de fontes alternativas de energias.

REFERÊNCIAS

ABILIO, André de Araújo; SANCHES, Rafael da Silva; SALGADO, Raísa Oliveira. **Limitações e potenciais** energéticos. 2010. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

ANEEL. **Energia Eólica**. Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica>. Acesso em: 25 out. 2016.

ANEEL. **Energia Solar**. Disponível em: < www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar>. Acesso em: 26 out. 2016.

BACHI JUNIOR, Dante. **Uso da Técnica do Planejamento Integrado de Recursos – PIR, para a Avaliação da Disponibilidade de Geração de Energia Elétrica no Litoral Norte Paulista**. 2016. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia de Energias, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Cap. 10.

BAITELO, Ricardo Lacerda. **Modelagem Completa e Análise dos Recursos Energéticos do Lado da Demanda para o PIR**. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BAITELO, Ricardo Lacerda. **Modelo de Cômputo e Valoração de Potenciais Completos de Recursos para o Planejamento Integrado de Recursos**. 2011. 424 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia de Energias e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BERNAL, Jonathas Luiz de Oliveira. **Modelagem Para o Aproveitamento Sustentável dos Biocombustíveis Energia Eólica e Solar Dentro do PIR Local: Estudo De caso do PIR Região de Araçatuba**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BEZERRA, Francisco Diniz; SANTOS, Lucas Sousa dos. **Energia Solar no Nordeste**. 2016. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br>>. Acesso em: 31 maio 2017.

BIAGUE, Mario Fernandes. **Modelagem de Carteiras dos Recursos Energéticos No PIR: Validação do Modelo No PIR de Araçatuba**. 2010. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia de Energias e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRASIL, **Nota técnica pre 01/2009-r0**: Proposta para a Expansão da Geração Eólica

BRUNORO, Cladio Marcelo. **Metodologia de Tratamento Integrado de Energia Elétrica e Recursos Naturais Para Empreendimentos dos Setores Residencial e Comercial**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ENERGIA, Canal. **Potencial eólico onshore brasileiro pode ser de 880 GW**. 2016. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br>>. Acesso em: 31 maio 2017

FREIRE, Luiza Beana Chipansky. **Método para levantamento do potencial energético solar em campus universitário**. 2013. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FUJII, Ricardo Junqueira. **Modelo de Caracterização Sistêmica das Opções de Oferta Energética para o PIR**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. **Wind energy: resources, systems and regional strategies**. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

JANNUZZI, Gilberto De Martino. **Planejamento integrado de recursos energéticos**. Autores Associados, 1997.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (Brasil). **Energia Eólica no Brasil e no Mundo**. 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256600/Folder+Energia+Eolica.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (Brasil). **Energia Eólica no Brasil e no Mundo**. 2016. Disponível em: < www.mme.gov.br/...Energia+Solar++Brasil.../4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226...> Acesso em 19 mai 2017.

BRASIL, Portal. **Brasil é o país com melhor fator de aproveitamento da energia eólica**. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/12/brasil-e-o-pais-com-melhor-fator-de-aproveitamento-da-energia-eolica>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

REIS, L. B. dos; SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo : Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

RIGOLLIN, Pascoal Henrique da Costa. **Desenvolvimento de Um Sistema para Classificar Recursos Energéticos de Oferta e Demanda com Base no Cômputo e na Valoração do Potencial Completos dos Recursos Energéticos dentro do Planejamento Integrado dos Recursos.** 2013. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia de Energias e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Novos Instrumentos de Planejamento Energético e o Desenvolvimento Sustentável: Planejamento Integrado dos Recursos Na USP.** 2012. 124 f. Tese (Livre-Docência) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia de Energias e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Planejamento Integrado do Recursos Energéticos para o Setor Elétrico: Pensando o Desenvolvimento Sustentável.** 1997. 370 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sistema de Potência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ANEXO I

Tabela 17- Atributos analisados dentro da dimensão Técnico-econômica

Dimensão Técnico-Econômica	
Atributo	Descrição
Fator de Capacidade	Forma de avaliar o Potencial
Domínio da tecnologia	Apresenta quem é o portador da tecnologia Implantada (Nacional, Mista ou Importada)
Equipamento e Material	Descrição da Procedência (Nacional, Mista ou Importada)
Tempo de Implantação	Tempo da construção do empreendimento energético (Meses)
Qualificação da Mão-de-Obra	Nível de qualificação Necessária
Disponibilidade de Fornecimento	Possibilidade de Obtenção de equipamentos para Instalação do empreendimento
Custo de Implantação	Custo total do Empreendimento
Tempo de Retorno	Tempo necessário para os investimentos aplicados retorne
Custo de Operação e manutenção	Custo para manter e operar
Vida Útil	Tempo de funcionamento de forma eficiente e produtiva
Autor: Próprio Autor	

Tabela 18- Atributos analisados dentro da dimensão Ambiental

Dimensão Ambiental	
Atributo	Descrição
Dejetos Sólidos	Quantidades de Poluentes gerados durante a operação
Dejetos Líquidos	Todos os poluentes possíveis de infiltração no solo por vazamentos, depósitos ou despejo
Ocupação do solo	Área de ocupação pelo empreendimento
Consumo de Água	Necessidade de utilização de Água para o funcionamento
Emissão de Poluentes	Volumes de Poluentes gerados pelo Empreendimento
DBO	Representa o quão poluído estar um corpo d'água

Varição de Temperatura	Varição da temperatura dos corpos d'água e atmosfera causados pelo empreendimento
Alteração do PH	Alteração do Ph dos corpos d'água
Alteração do volume de Escoamento	Mudança do volume de escoamento da água
Poluentes Atmosféricos gasoso	Volume de gases poluentes emitidos para atmosfera
Material Particulado	Volume de materiais particulados gerados
Degradação da camada de ozônio	Se causa a degradação da camada de ozônio
Fonte: Próprio Autor	

Tabela 19- Atributos analisados dentro da dimensão Social

Dimensão Social	
Atributo	Descrição
Geração de Empregos	
Construção	Quantidades de Emprego Gerado durante a Construção
Operação e Manutenção	Quantidades de Emprego Gerado durante a operação
Percepção de Conforto	O quanto o recurso altera a estética, aplicação funcional e o conforto
Pessoas deslocadas ou lezadas	Quantidades de pessoas que serão deslocadas para a implantação do empreendimento
Existência de sítios Arqueológicos e Históricos	Consideração dos tipos de Impactos causados pela utilização dos recursos em possíveis sítios arqueológicos
Fonte: Próprio Autor	

Tabela 20- Atributos analisados dentro da dimensão Política

Dimensão Política	
Atributo	Descrição
Apoio Político	Possibilidade de utilização do recurso como lobby político

	ou suporte as políticas públicas
Incentivos Fiscais	Determinação de incentivos financeiros
Fonte	Se é local, regional, nacional ou internacional
Variação Cambial	Vulnerabilidade do recurso com o enfraquecimento da moeda nacional

Fonte: Próprio autor