



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

ANÁLISE ENERGÉTICA DO RIO TIETÊ A ENERGIA E SUAS POSSIBILIDADES

Matheus Henrique Soares Zanqueta¹; Antonio Carlos Caetano de Souza²

UFGD-FAEN, C. Postal 533, 79804-970 Dourados-MS, E-mail:

matheuszanqueta@outlook.com

¹ Aluno de Engenharia de Energia - UFGD.

² Docente do Curso de Engenharia de Energia - UFGD.

RESUMO

O objetivo inicial deste trabalho é o desenvolvimento de uma análise energética do Rio Tietê, ou seja, basicamente analisar o aproveitamento do potencial hidrelétrico do rio em questão. As centrais hidrelétricas são responsáveis por alagar grandes áreas que normalmente ficam “inutilizadas”. O objetivo do trabalho também é buscar opções para tornar úteis estas áreas alagadas. Neste trabalho, ao buscar opções observa-se a possibilidade de utilizar estas áreas alagadas para gerar energia através de coletores solares e torres eólicas. Quanto à estimativa sobre a potência instalável de energia solar e eólica nas áreas de lago citadas no trabalho, há dados que indicam uma geração adicional relevante. Este estudo incentiva de certa forma uma análise aprofundada de cada área de lago. Seguindo uma análise preliminar, pode-se obter uma potência total de 2284 MW nos lagos formados no rio Tietê.

Palavras-chave: Rio Tietê, Energia Solar, Energia Eólica.

INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar possibilidades de otimizar as áreas alagadas pelas construções de usinas hidrelétricas. Os tópicos a seguir

dão embasamento para esta discussão, onde equilibrar as questões energéticas e ambientais são essenciais.

1. O RIO TIETÊ

Segundo pesquisas, o rio Tietê, ou rio Anhembi como os índios o chamavam, tem cerca de 10 a 15 milhões de anos, e seus 1136 quilômetros de extensão corta todo o estado de São Paulo e chega até o rio Paraná na divisa com o Mato Grosso do Sul.

O rio Tietê atravessa praticamente todo território do estado de São Paulo e principalmente por isso se faz o principal curso d'água do estado. O rio nasce no município de Salesópolis no estado de São Paulo numa altitude aproximada de 1120 metros acima do nível do mar e termina cerca de 220 metros também acima do nível do mar. A UHE (Usina Hidroelétrica) Jupia represa os últimos quilômetros de percurso do rio, e graças às obras de reversão na UHE Henry Borden se gera grande quantidade de energia devido as águas de cabeceira serem desviadas para o mar diretamente. O seu desnível entre a desembocadura e as cabeceiras de pouco mais de 860 m o que dá uma declividade média global de 74 cm/km. Devido a este desnível se deu a instalação de várias usinas hidrelétricas para aproveitar o potencial de produção de energia que o rio possui. [1]

A declividade do Tietê é bastante variável, depende da natureza e características dos terrenos que atravessam. No primeiro trecho, na Serra do Mar, a declividade é muito acentuada, e reduz pouco a pouco, conforme o rio se aproxima do planalto paulistano; considerando-se unicamente o trecho à jusante da capital de São Paulo, até a desembocadura, a declividade média total baixa a menos de 50 cm/km. No trecho encachoeirado entre o fim da canalização do rio, no município de São Paulo até Salto de Itu, num percurso de cerca de 80 km, a declividade aumenta novamente atingindo cerca de 200 cm/km. Daí em diante, a declividade média cai a 30 cm/km. [2]

2. AS USINAS HIDRELÉTRICAS

Uma usina hidrelétrica, nada mais é do que um conjunto de obras e equipamentos no qual o objetivo final é produzir energia através do potencial hidráulico de um rio.

Como toda e qualquer ação do homem, as usinas hidrelétricas causam alguns impactos ambientais. As centrais hidrelétricas geram, como todo empreendimento energético, alguns tipos de impactos ambientais como inundações ou alagamento das áreas vizinhas, os níveis dos rios explorados sobem, e em alguns casos o curso do rio é alterado prejudicando assim a fauna e a flora da região com intensidade destes impactos dependendo das particularidades de caso a caso. Mesmo com esses pontos negativos, a instalação de usinas hidrelétricas continua sendo um tipo energia consideravelmente “limpa” quando comparada com as demais opções que dominam a matriz energética como energia nuclear, e com a utilização de derivados de petróleo. Instalar uma UHE está cada vez mais difícil em relação aos tempos passados, se fazendo necessária uma análise de viabilidade técnica de cada caso individualmente por especialistas em engenharia ambiental e especialista em engenharia hidráulica, que geralmente para seus estudos e projetos utilizam modelos matemáticos, modelos físicos e modelos geográficos.

O cálculo da potência instalada de uma usina é efetuado através de estudos de energéticos que são realizados por engenheiros mecânicos, eletricitas e civis ou até um engenheiro de energia. A energia hidráulica é convertida em energia mecânica por meio de uma turbina hidráulica, que por sua vez é convertida em energia elétrica por meio de um gerador, sendo a energia elétrica transmitida para uma ou mais linhas de transmissão que é interligada à rede de distribuição.

Um sistema elétrico é constituído por uma rede interligada por linhas de transmissão que fazem o transporte da energia. Nessa rede estão ligadas as cargas (pontos de consumo de energia) e os geradores (pontos de produção de energia). Uma central hidrelétrica é uma instalação ligada à rede de transporte que injeta uma porção da energia solicitada pelas cargas.

3. AS USINAS DO RIO TIETÊ

A seguir um breve resumo sobre as usinas hidrelétricas do rio Tietê que de alguma forma influenciam no curso do rio Tietê.

3.1. USINA HIDRELÉTRICA BARRA BONITA

A UHE Barra Bonita (Figuras 1 e 2) foi inaugurada em 1963 está localizada no município brasileiro de Barra Bonita-SP. A primeira eclusa construída na América Latina se situa nesta UHE, foi construída para compensar o desnível de 25 metros para as embarcações continuarem a navegação no rio Tietê.



Figura 1 - Foto de Satélite da UHE Barra Bonita (Imagens de Satélite) [3]

- Ficha Técnica:
 - Concluída em 1964.
 - Quatro turbinas Kaplan com potência de 35 MW cada.
 - Reservatório de 310 km².
 - Desnível máximo de 24 m.



Figura 2 - Represa de Barra Bonita (Imagens de Satélite) [3]

3.2. USINA HIDRELÉTRICA ÁLVARO DE SOUZA LIMA (BARIRI)

Situada entre Bariri e Boracéia no estado de São Paulo, a UHE Bariri (Figuras 3 e 4), tem como nome oficial Álvaro de Souza Lima. A usina que entrou em operação em 1965 é mais uma das várias usinas no Tietê.

- Ficha Técnica:

- Concluída em 1969.
- Três turbinas Kaplan com potência de 48 MW cada.
- Reservatório de 63 km².
- Desnível máximo de 24 m.



Figura 3 - Foto de Satélite da UHE Bariri (Imagens de Satélite) [3]



Figura 4 - Represa Bariri (Imagens de Satélite) [3]

3.3. USINA HIRELÉTRICA IBITINGA

Inaugurada em 1969, a UHE Ibitinga (Figuras 5 e 6) está localizada em Ibitinga no estado de São Paulo, no curso do rio Tietê. A barragem de Ibitinga possui dez comportas no total, sendo três de fundo e sete delas de superfície.



Figura 5 - Foto de Satélite da UHE Ibitinga (Imagens de Satélite) [3]



Figura 6 - Represa Ibitinga (Imagens de Satélite) [3]

- Ficha Técnica:
 - Concluída em 1969
 - Três turbinas Kaplan com potência de 44 MW cada
 - Reservatório de 114 km²
 - Desnível máximo de 23 m.

3.4. USINA HIDRELÉTRICA MÁRIO LOPES LEÃO (PROMISSÃO)

Conhecida como UHE Promissão (Figuras 7 e 8), a obra da barragem teve início em 1966, entrando em operação posteriormente em 1975. A usina está localizada entre as cidades de Avanhandava e Promissão, no rio Tietê.



Figura 7 - Foto de Satélite da UHE Mário Lopes Leão (Imagens de Satélite) [3]

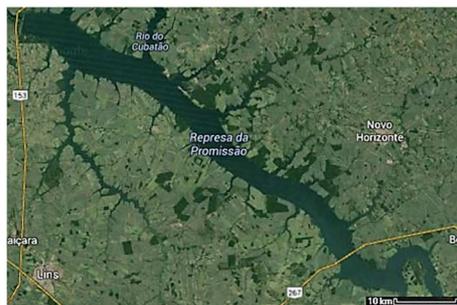


Figura 8 - Represa Promissão (Imagens de Satélite) [3]

- Ficha Técnica:
 - Concluída em 1977
 - Três turbinas Kaplan com potência de 88 MW cada
 - Reservatório em 530 km²
 - Desnível máximo de 27 m.

3.5. USINA HIDRELÉTRICA NOVA AVANHANDAVA

Localizada em Buritama-SP, às margens do Tietê (Figuras 9 e 10). Foi inaugurada em 1982 com potência instalada de 347 MW e área alagada de 210 km².



Figura 9 - Foto de Satélite da UHE Nova Avanhadava [3]



Figura 10 - Represa Nova Avanhadava (Imagens de Satélite) [3]

- Ficha Técnica:
 - Concluída em 1985
 - Três turbinas Kaplan com potência de 115 MW cada

- Reservatório de 210 km²
- Desnível máximo de 16,6 a 18 m

3.6. USINA HIDRELÉTRICA TRÊS IRMÃOS

Maior usina construída no rio Tietê e inaugurada em 1993, a UHE Três Irmãos (Figuras 11 e 12) está localizada entre os municípios paulistas Pereira Barreto e Andradina. O Canal Pereira Barreto, com 9.600 m de comprimento, interliga os reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, propiciando a operação energética integrada dos dois aproveitamentos hidrelétricos, além de permitir a navegação entre os ramos norte e sul da Hidrovia Tietê-Paraná.



Figura 11 - Foto de Satélite da UHE Três Irmãos [3]



Figura 12 - Represa Três Irmãos (Imagens de Satélite) [3]

- Ficha Técnica:
 - Concluída em 1999
 - Oito turbinas Francis com potência de 161,5 MW cada
 - Reservatório: 669,6 km²
 - Desnível máximo de 24,3 a 25,5 m.

4. A RELAÇÃO: VAZÃO x POTÊNCIA

Em toda e qualquer UHE, a vazão de água disponível e a potência das usinas são grandezas proporcionais, vazão essa que é utilizada para movimentar as usinas e que nada mais é do que o escoamento superficial do rio. Essa vazão pode ser calculada através de modelos hidrológicos ou medida em determinados pontos do rio.

Define-se a vazão afluente, como sendo a vazão que atinge um determinado ponto, e depende dos aproveitamentos existentes a montante e das condições hidrológicas naturais da bacia hidrográfica.

Uma vez que não há aproveitamentos hidrelétricos a montante ou os mesmos operam a nível constante, a vazão neste caso é chamada de vazão natural afluente, ou seja, é a vazão que existia antes da ação do homem no rio.

4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VAZÕES

A medida da vazão é feita em determinados pontos dos rios, a série das medições de cada ponto forma um conjunto de dados podendo ser por hora, diário ou mensal, podendo assim calcular médias anuais também.

O ONS fornece relatórios anuais com os dados de medições mensais e diárias das vazões naturais de todas as usinas em operação a partir de 1931.

Na Tabela 1 são apresentados os dados de vazões medidas nas usinas em operação no rio Tietê. São médias anuais entre o ano de 1993 e 2012.

4.2. ANÁLISE PRELIMINAR ENTRE VAZÃO MÉDIA E POTÊNCIA ASSEGURADA

Abaixo segue uma tabela (Tabela 2) obtida através dos dados fornecidos pela ONS [4] e pela ANEEL [5] onde o intuito foi ter uma ideia de quanto da vazão está sendo aproveitada na geração de energia elétrica nas UHEs do Tietê. A tabela contém também índices ambientais como a razão entre potência instalada e área alagada.

Analisando, grosso modo, a tabela abaixo nota-se que a usina que melhor aproveita a vazão é a UHE Henry Borden que pra cada GW gerado utiliza apenas 0,37 m³/s.

Tabela 1 - Vazão média anual das UHEs em operação no Rio Tietê [4]

VAZÃO (m³/s)						
ANO	UHE Três Irmãos	UHE Nova Avanhadava	UHE Promissão	UHE Ibitinga	UHE Bariri	UHE Barra Bonita
1993	925	862	839	692	568	466
1994	753	659	655	526	426	352
1995	1154	1064	1036	850	695	583
1996	939	834	839	737	620	522
1997	1041	889	876	730	615	506
1998	956	834	823	692	594	490
1999	1073	963	913	760	636	519
2000	812	714	696	555	465	378
2001	748	666	663	555	484	390
2002	859	750	732	612	516	428
2003	748	651	623	501	418	346
2004	765	671	666	568	474	389
2005	807	695	694	599	502	410
2006	739	635	641	555	472	388
2007	848	748	727	589	478	386
2008	748	649	643	537	448	365
2009	931	859	853	704	582	468
2010	1077	980	968	789	652	519
2011	1076	992	965	789	627	499
2012	875	790	796	665	540	418
MÉDIA	894	795	782	650	541	441

Tabela 2 - Análise de aproveitamento de vazão nas UHEs e os respectivos índices ambientais [4,5]

Nome	Ano de início de operação	Potência instalada (MW)	Energia assegurada (MW médios)	Razão potência firme/potência instalada	Área alagada (km ²)	Razão potência instalada/área alagada	Razão potência firme /área alagada	Vazão (m ³ /s médios)	Razão vazão/potência assegurada
Bariri (Álvaro de Souza Lima)	1966	143	66	0,46	58,35	2,45	1,13	541	8,20
Barra Bonita	1963	141	45	0,32	331,69	0,43	0,14	441	9,80
Rasgão	1925	22	11,84	0,54	0,83	26,51	14,27	-	-
Ibitinga	1969	131	74	0,56	126,06	1,04	0,59	650	8,78
Promissão (Mário Lopes Leão)	1975	264	104	0,39	572,72	0,46	0,18	782	7,52
Três Irmãos	1990	807,5	217	0,27	669,59	1,21	0,32	894	4,12
Nova Avanhadava (Rui Barbosa)	1982	347	139	0,4	218,05	1,59	0,64	795	5,72
Henry Borden	1926	889	108	0,12	127	7	0,85	40	0,37

A UHE Barra Bonita neste caso seria a usina que precisa de mais m³/s de vazão para gerar mil MW de energia. Em relação aos índices ambientais, temos a usina de Rasgão que dentre as tabeladas é a mais antiga em operação e por isso tem um valor alto de área alagada por MW gerado. Barra Bonita aparece de novo se destacando junto à UHE de Promissão dessa vez por terem menor área alagada por unidade de energia gerada.

5. UNINDO O ÚTIL AO AGRADÁVEL

Sabe-se que ao instalar usinas hidrelétricas, formam-se imensas represas que desapropriam os moradores da região e tornam improdutiva a terra que ali existe. Surge então a pergunta: O que fazer com esse espaço que é praticamente inutilizado em alguns casos? Pode-se pensar na possibilidade de gerar um tipo de energia alternativa como a energia eólica e energia solar.

É claro que cada um desses requer um estudo específico como, por exemplo, identificar e quantizar a fauna do local, se há práticas de pesca e etc. No fim das contas a ideia é otimizar a utilização do espaço, suprir uma crescente demanda de energia de forma impactar menos o ambiente.

5.1. ENERGIA SOLAR

A energia solar é dada como uma fonte inesgotável de energia, e está entre as fontes de energia que se destacam quando tratamos de renovação da matriz energética e sustentabilidade.

Podemos dividir a energia solar em dois grupos:

- Energia Solar Fotovoltaica: Processo de aproveitamento da energia solar para conversão direta em energia elétrica, utilizando os painéis fotovoltaicos.
- Energia Solar Térmica: Sistemas de aquecimento de água utilizando coletores planos e acumuladores.

Não há dúvidas da viabilidade da energia solar, quando nas outras fontes de energia contamos com custos de extração, transmissão e etc. Como já foi citado, resta apenas fazer um estudo aprofundado de cada caso, para confirmar ou não a viabilidade de um projeto de aproveitamento de energia solar.

Segue abaixo uma tabela (Tabela 3) que apresenta o potencial energético solar de cada área referente às usinas, levando em consideração que são cálculos sujeitos a erros devido a superficialidade do estudo. O mapa abaixo foi utilizado para obtenção de dados para os cálculos, o mesmo apresenta a média anual da incidência solar global diária (Figura 13).

São número significativos se levarmos em conta que para suprir por exemplo a demanda de água quente em uma residência com quatro pessoas, necessita-se 4m² de coletor solar. Com certeza é interessante estudar essa alternativa, se é viável ou não isso só depende dos resultados dos estudos de caso aprofundados, mas por hora o que se deixa entender é que seria uma alternativa muito interessante tanto economicamente como ambientalmente.

5.2. ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é aquela que é obtido com o aproveitamento do movimento do ar, ou seja, do vento. Chama atenção devido aos seus aspectos ecológicos, pois é uma fonte de energia limpa, renovável e abundante na terra, diferenciando-se apenas na intensidade do vento e direção quando relacionamos uma região com a outra.

A transformação de energia elétrica se dá quando uma turbina eólica através dos rotores capta a energia cinética proveniente dos ventos. A potência elétrica é função do cubo da velocidade de vento v :

$$P(\text{Watts}) = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p \eta$$

Onde:

ρ = densidade do ar em kg/m³

$A_r = \pi D^2/4$, em que D é o diâmetro do rotor

C_p = coeficiente aerodinâmico de potência do rotor

η = eficiência do conjunto gerador/transmissão

Tabela 3 - Área alagada das usinas e seus potenciais de geração de energia solar [6,7]

Nome	Área alagada (km²)	Energia global diária incidente por m² (kWh/m².dia)	Estimativa da porcentagem da área alagada a ser utilizada (%)	Radiação solar diária incidente na área alagada a ser aproveitada (kWh/dia)
Bariri (Álvaro de Souza Lima)	58,35	5,6	50	163.380
Barra Bonita	331,69	5,5	30	547.289
Rasgão	0,83	5,1	30	1.270
Ibitinga	126,06	5,6	50	352.968
Promissão (Mário Lopes Leão)	572,72	5,5	50	1.574.980
Três Irmãos	669,59	5,6	50	1.874.852
Nova Avanhadava (Rui Barbosa)	218,05	5,5	30	359.783
Henry Borden	127,00	4,6	30	175.260



Figura 13 - Incidência solar global média anual [6]

Para este trabalho em específico vamos observar mais as regras gerais de instalação de geradores eólicos. Uma distância considerada segura para a instalação de novas turbinas é da ordem de dez vezes o diâmetro do rotor, se instalada a jusante, e cinco vezes o diâmetro do rotor, se instalada ao lado, em relação ao vento predominante (Figura 14).

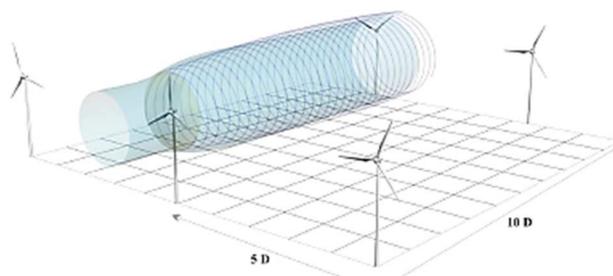


Figura 14 - Distância entre as torres eólicas para serem instaladas

Assim como falamos da energia solar, podemos tratar também de aproveitar as áreas alagadas pelas barragens instalando torres eólicas. Não é uma estimativa fácil de se fazer apenas com mapas e alguns dados médios. Um estudo mais avançado se faz necessário, pois analisar as áreas de lago é de suma importância para que seja considerada profundidade, área utilizável e etc.

Com base no material estudado [8], temos uma fórmula mais genérica do que a citada acima para realizar os cálculos. A fórmula abaixo nos dá como resultado a potência extraída do vento em Watts:

$$P(W) = \rho \times A \times v^3 \times \frac{1}{2}$$

Com os dados de velocidade do vento extraídas do mapa abaixo (Figura 15), com $\rho = 1,225\text{kg/m}^3$ considerando alguns dados apresentados a seguir, façamos os cálculos e assim chegamos na tabela abaixo (Ver tabela 4).

$$\mathbf{V = 6\text{m/s} \quad \text{Diâmetro do rotor: 80 m}}$$

Temos também como citado acima a distância que deve haver entre uma torre e outra na instalação, 10 vezes o diâmetro do rotor, se instalada a jusante, e cinco vezes o diâmetro do rotor, se instalada ao lado, em relação ao vento predominante, neste caso fizemos uma estimativa que será possível instalar uma torre eólica a cada $0,32\text{ km}^2$.

Lembrando também da área possível a ser aproveitada, a fração de cada área alagada que pode ser utilizada é apenas uma estimativa, vários fatores têm de ser levada em conta, como fauna, flora, navegação do rio, etc.

Tabela 4 - Estimativa de potência instalada nas represas do rio Tietê [6,7]

Nome da UHE	Área alagada (km²)	Porcentagem estimada da área alagada possível de se utilizar (%)	Potência estimada a ser instalada (MW)
Bariri (Álvaro de Souza Lima)	58,35	50	242,52
Barra Bonita	331,69	30	820,17
Rasgão	0,83	30	2,07
Ibitinga	126,06	50	523,95
Promissão (Mário Lopes Leão)	572,72	50	2380,4
Três Irmãos	669,59	50	2783,58
Nova Avanhadava (Rui Barbosa)	218,05	30	543,77
Henry Borden	127	30	316,71

6. CONCLUSÃO

Ao final desse trabalho vale ressaltar a dificuldade de encontrar algumas informações que por algum motivo são limitadas ao público, dados esses que são de suma importância para estudos aprofundados sobre a situação da matriz energética brasileira, e sobre a situação da hidrografia do mesmo.

Vale também observar as datas de conclusão das obras da UHEs citadas, a maioria já tem um bom tempo que está em operação, e isto “pesa” no mundo que vivemos hoje, onde a cada dia surge inúmeras novas tecnologias. Falando apenas de uma das partes da usina podemos dizer que uma turbina hoje é muito mais eficiente do que as empregadas anteriormente, sem falar no controle e automação de todo sistema.

Para obter alguns dados mais específicos buscou-se contato com a ONS (Operador Nacional do Sistema), porém não obtive retorno dentre esses meses. Quanto à estimativa sobre a potência instalável de energia solar nas áreas de lago citadas no trabalho, temos dados positivos que nos indica que um estudo mais aprofundado poderia render bons resultados.

O mesmo podemos dizer sobre a potência instalável de energia eólica, mesmo com dados estimados, e resultados não tão concretos, este estudo incentiva de certa forma uma análise aprofundada de cada área de lago. Considerando uma eficiência média de conversão de energia igual a 30%, teríamos uma potência instalável aproximadamente igual a 2284 MW no decorrer do rio Tietê.

Vale ressaltar que são áreas de lago formadas pela construção de UHEs, ou seja, as linhas de transmissão, e infraestrutura para distribuição de energia provenientes dessas fontes alternativas, já estariam quase prontas, e não necessitaria de grandes investimentos.

REFERÊNCIAS

[1] ESPERANÇA (Brasil). Blogger. **Poluição no Rio Tietê**. 2010. Disponível em: <http://preservacaoambientalagora.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html>. Acesso em: 17 jun. 2014.

- [2]MUNDO VESTIBULAR (Brasil). **Rio Tietê**. 2008. Disponível em: <<http://www.mundovestibular.com.br/articles/5138/1/Rio-Tiete/Paacutegina1.html>>. Acesso em: 17 jun. 2014.
- [3] GOOGLE MAPS.2014.Disponível em:<<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 16 jun.2014.
- [4] ONS. **Série Histórica de Vazões**. 2013. Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 13 abr. 2014.
- [5] ANEEL. **Usinas e Centrais Geradoras**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/energiaassegurada.asp>>. Acesso em: 13 abr. 2014.
- [6] SÃO PAULO. SECRETARIA DE ENERGIA. **Levantamento do Potencial de Energia Solar Paulista**. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/atlas-solar>>. Acesso em: 11 jun. 2014.
- [7] SÃO PAULO. SECRETARIA DE ENERGIA. **Atlas Eólico do Estado de São Paulo**. 2012. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/atlas-eolico>>. Acesso em: 11 jun. 2014.
- [8] CASTRO, Rui M G. **Introdução a Energia Eólica: Energias Renováveis e Produção Descentralizada**. 2033. 71 f. Departamento de Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2003.