



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JONAS GABRIEL DE FREITAS MEDEIROS  
LAUANY ALVES RAMOS**

**ENERGIA EÓLICA: AVALIAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO  
DE UM PARQUE EÓLICO EM GOIANÉSIA**

**PUBLICAÇÃO Nº: 09**

**GOIANÉSIA / GO  
2019**



**JONAS GABRIEL DE FREITAS MEDEIROS  
LAUANY ALVES RAMOS**

**ENERGIA EÓLICA: AVALIAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO  
DE UM PARQUE EÓLICO EM GOIANÉSIA**

**PUBLICAÇÃO N°: 09**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: PROF. Me. EDUARDO MARTINS TOLEDO**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MEDEIROS, JONAS GABRIEL DE FREITAS

RAMOS, LAUANY ALVES

Energia Eólica: Avaliação de implementação de um parque eólico em Goianésia [Goiás]  
2019xi, 58P, 297 mm (Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEDEIROS, J. G. F.; RAMOS, L. A. Energia Eólica: Avaliação de Implementação de um Parque Eólico em Goianésia. TCC, Publicação ENC. PF-001A/19, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 58p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jonas Gabriel de Freitas Medeiros e Lauany Alves Ramos

Estudo da Energia Eólica.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Jonas Gabriel de Freitas Medeiros

Rua 45B QD.128 LT.28

76380-812 – Goianésia/GO - Brasil

---

Lauany Alves Ramos

Rua 29 N°. 567 Setor Sul

76382-182 – Goianésia/GO - Brasil

**JONAS GABRIEL DE FREITAS MEDEIROS  
LAUANY ALVES RAMOS**

**ENERGIA EÓLICA: AVALIAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO  
DE UM PARQUE EÓLICO EM GOIANÉSIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Me. (FACEG)  
(ORIENTADOR)**

---

**LUANA DE LIMA LOPES, Ma. (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**THIAGO FERREIRA DA CUNHA, Dr. (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**GOIANÉSIA/GO, 07 DE DEZEMBRO DE 2019.**

*Dedicamos este trabalho:  
aos nossos pais, Tânia e Helcio;  
José Ribeiro e Gricélia;  
aos nossos irmãos, Helcio Junior;  
Gesiely Medeiros;  
e a todos familiares que nos apoiaram.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro momento queremos agradecer a Deus pelo dom da vida, pois Ele nos concedeu um caminho cheio de luz e persistência, sendo essencial para buscarmos amparo e força em situações difíceis e de pensamentos negativos. Agradecemos de forma especial aos nossos pais, Tânia Alves De Abreu, Helcio Guedes Ramos, Gricélia Maria de Medeiros e José Ribeiro de Freitas Filho, os quais proporcionam apoio e discernimento para seguirmos a construção de nosso próprio caminho, nos fortalecendo espiritualmente, mentalmente e nunca desistindo de nós.

Agradecemos ao professor Me. Eduardo Toledo pela orientação, incentivo, confiança, amizade e esforço máximo para se dedicar e nos atender nas dúvidas em momentos de correria do dia a dia. Não podemos deixar de lado o agradecimento as amizades colhidas durante a graduação, sendo eles: Nelson Martins Pereira Junior, Tiago Antunes Domingos Pereira, Debora de Deus Carrilho, João Marcos Rabelo e Cleibe Ananias Filho, foram momentos que ficarão guardados em nossas memórias, pelo compartilhamento de alegrias e tristezas. Por fim, somos gratos aos demais amigos e colegas do curso de engenharia civil da Faculdade Evangélica de Goianésia, que não citarei, mas que foram de válida importância no decorrer de nossa formação e, ainda, aos professores do curso de Engenharia Civil da FACEG, pelo auxílio e incentivo.

*“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”*  
**Max Weber**

## RESUMO

A utilização de fontes renováveis para produção da energia elétrica, como alternativa para suprir as necessidades da matriz energética brasileira, vem crescendo cada dia mais. Os recursos tradicionais para geração de energia elétrica estão escassos e seus efeitos negativos ao meio ambiente estão fazendo com que a necessidade de uma matriz energética com mais fontes de energia cresça. Para diminuir os impactos causados a natureza, fontes renováveis estão sendo utilizadas como uma fonte secundária de produção de energia, mostrando também que esse não é a única vantagem, trazendo um custo-benefício superior ao esperado. A energia Eólica como fonte de energia elétrica tem sido colocada como uma alternativa para compor a matriz energética brasileira, ela é uma fonte promissora, que tem um recurso de grande potencial a ser explorado, no qual o Brasil detém de uma vasta vantagem em sua velocidade e pouca variação do vento. Através do estudo de caso, buscamos mostrar a viabilidade climática para implantação de uma usina de energia eólica em Goianésia, mostramos seus benefícios, como ela funciona, o que ela necessita para que seja montada, podendo então suprir as necessidades e complementar as fontes tradicionais de geração de energia elétrica. Foram avaliados o relevo e as variações climáticas, e não foi levado em consideração sua viabilidade econômica. O modelo de energia eólica seria uma alternativa secundária para geração de energia, podendo suprir a necessidade em algumas épocas do ano. Mas em virtude de a incidência dos ventos ser sazonais, a sua velocidade não é constante durante o ano todo.

**Palavras-chave:** energia renovável, matriz energética, energia elétrica, energia eólica.

## ABSTRACT

The usage of renewable sources for producing electric energy, as an alternative for supplying the necessities of the Brazilian energetic matrix, has been daily growing. The traditional resources for electric energy production are scarce and its negative effects to the environment have been making the necessity of an energetic matrix with more sources of energy grow up. For decreasing the impacts caused to the nature, renewable sources of energy production, also showing that it is not the only advantage, bringing a superior cost/benefit than the expected. The wind energy as source of electric energy has been set as an alternative to build the national energy matrix, this is an efficient source, which has a resource of a big potential to be explored, in which Brazil keeps a wide advantage on its velocity and few wind variation. Through its case study, we sought to show the weather viability to the implantation of wind energy power plant in Goianésia, we showed its benefits, how it works, what is necessary for being set up, being able to supply the necessities and complementing the traditional source of electric energy production. The relief and the weather variations were analyzed, but the economic viability was not. The wind energy model would be an secondary alternative for the energy production, being able to supply the demand in some seasons of the year. But due the wind incidence be directly related to the seasons of the year, its velocity is not constant during the whole year.

**Key-words:** renewable energy, energetic matrix, electric energy, wind energy.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> - Consumo de Petróleo X Consumo de Energias Renováveis. ....	6
<b>Figura 2</b> - Oferta Interna de Energia Elétrica 2012. ....	7
<b>Figura 3</b> – Oferta Interna de Energia Elétrica 2015. ....	8
<b>Figura 4</b> - Cata-Vento de Charles F. Bruch. ....	20
<b>Figura 5</b> - Evolução da Capacidade Eólica Brasileira. ....	22
<b>Figura 6</b> - Formação dos Ventos da Terra. ....	23
<b>Figura 7</b> - Evolução da Tecnologia Eólica. ....	25
<b>Figura 8</b> - Detalhamento Aerogeradores. ....	26
<b>Figura 9</b> - Evolução da oferta interna de energia. ....	28
<b>Figura 10</b> - Principais forças aerodinâmicas resultante da pá da turbina. ....	31
<b>Figura 11</b> - Mapa de Relevo de Goianésia – GO.....	33
<b>Figura 12</b> - Mapeamento do Fator de Forma de Weibull. ....	33
<b>Figura 13</b> - Velocidade Média Anual de Ventos .....	34
<b>Figura 14</b> - Aerogerador Modelo - NM64/1500.....	35

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Energias Renováveis e Não-Renováveis. ....	14
<b>Tabela 2</b> - Superfície do terreno. ....	24

**LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1</b> - Emissão de CO <sup>2</sup> .....	11
<b>Gráfico 2</b> - Estágio de Desenvolvimento e Consumo de Energia. ....	12
<b>Gráfico 3</b> - Crescimento das Energias Renováveis.....	13
<b>Gráfico 4</b> - Matriz Energética Brasileira em 2016.....	15

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

MME – Ministério de Minas e Energia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

MMA – Ministério do Meio Ambiente

USP – Universidade de São Paulo

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	2
1.1	OBJETIVOS.....	3
1.1.1	Objetivo Geral .....	3
1.1.2	Objetivos Específicos.....	3
1.2	METODOLOGIA .....	3
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	4
<b>2</b>	<b>ENERGIAS RENOVÁVEIS .....</b>	<b>5</b>
2.1	IMPORTÂNCIA E DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS.....	8
2.2	O USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	11
2.2.1	Fontes de energia renováveis e não-renováveis .....	14
<b>3</b>	<b>ENERGIA EÓLICA.....</b>	<b>18</b>
3.1	SURGIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E NO MUNDO.....	19
3.2	ORIGEM E CONVERSÃO EM ENERGIA EÓLICA .....	23
<b>4</b>	<b>SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>30</b>
5.1	MÉTODOS DE ANÁLISE .....	30
5.1.1	Fundamentos da Geração Eólica .....	30
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em meados dos anos 80, as fontes de energias renováveis, adquiriram centralidade na pauta de governos mundiais. Isso porque na década anterior, período dos anos de 1970, ocorreu uma grande crise energética, despertando em muitos países a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis em suas matrizes energéticas. A partir desse momento, a comunidade começou a dar maior significado à geração de energia por fontes alternativas, a exemplo da solar e da eólica, bem como ao desenvolvimento de biocombustíveis (NASCIMENTO, 2015)

Durante o período da revolução industrial, a busca dos países por privilégios econômicos e a procura por uma melhor qualidade de vida, fez com que começasse a caça e exploração por fontes tradicionais. A energia é o motor da tecnologia, da vida e da sociedade. Os recursos energéticos auxiliam na criação de riquezas e melhoria dos padrões de vida dos cidadãos e das organizações. Seguindo esse pensamento, uma fonte energética segura é requisito necessário para o desenvolvimento dentro de uma sociedade (DICER; ROSEN, 2005).

Após a disputa petrolífera ocorrida na década de 70, a ideia de uso das energias renováveis se mostra como opção de exploração de recurso ilimitado. Por um lado, a necessidade de garantir a diversidade e compromisso no fornecimento de energia e, de outro ponto de vista, a obrigação de proteger o ambiente, cuja degradação é acentuada pelo uso de combustíveis fósseis, motivaram o atrativo interesse pelas renováveis (DUARTE, 2004).

O uso de energias renováveis como possível solução para problemas econômicos, sociais e ambientais enfrentados, deve ser expressamente levado em consideração para a busca pelo desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a Energia Eólica apresenta-se como uma das alternativas para a matriz energética. Sendo considerada uma das mais promissoras fontes naturais, exibindo recursos ilimitados. A tecnologia do vento busca produzir energia elétrica a preços inferiores e de forma limpa e renovável, sendo pertinente dizer que a partir dessa concepção foram desenvolvidos os aerogeradores (DUARTE, 2004).

No Brasil a procura por caminhos para a expansão da geração de energia se deu após a crise de 2001. Em decorrência desse fato, a matriz energética encontrou na energia eólica uma opção flexível, proporcional e de curto prazo de implantação (BNDS, 2018).

Dados do Ministério de Minas e Energia (MME) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) retrata a geração de energia por fonte eólica como a que vem se destacando e crescendo em grande escala nas participações de leilões desde 2009. Esse fato demonstra o alcance de preços mais competitivos, colaborando, em destaque, para a instalação de uma indústria nacional que atende a esse mercado (MME; EPE, 2013).

As políticas energéticas cominadas com as políticas industriais e tecnológicas em pensamento ao desenvolvimento industrial e ganhos de eficiência e produtividade, possivelmente poderá acelerar a redução dos custos de geração de energia limpa e incentivar a propagação dessas tecnologias. Com isso, os países buscam viabilizar novas fontes alternativas, em paralelo à geração de emprego e renda, ao progresso técnico, à inovação e ao desenvolvimento econômico. Essa foi uma forma que os países encontraram para acelerar a aceitação das novas fontes renováveis alternativas, visto que esse modo de geração de energia é mais dispendioso que as fontes convencionais. A redução dos custos na geração de energia por meio de fontes renováveis alternativas não acontecerá em uma velocidade necessária para que seja possível diminuir os efeitos aquecimento global (LAZONICK; HOPKINS, 2013).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Uma das principais preocupações da população atual é o aumento cada vez maior da demanda de energia elétrica. Devido a isso, a busca por fontes mais seguras e limpas que atendam a sociedade e que possa sanar problemas com a interrupção sem aviso prévio vêm crescendo.

Neste cenário, a energia eólica desponta como uma alternativa renovável de energia a curto prazo. A produção de energia em quantidade suficiente e com custos razoáveis consistem em uma das condições para a sustentabilidade da produção e, por consequência, a expansão do mercado. Sendo está um fator determinante no aumento de renda e emprego, a qual pode acarretar um crescimento econômico (DIANA, 2018).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Compreender as necessidades e carências do setor de energia elétrica brasileira, e apresentar a viabilidade de implantação de uma usina eólica, estimando sua potencialidade de produção e a sua capacidade de condicionada ao longo do ano.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise do setor energético;
- Apresentar a importância das energias renováveis na composição da matriz energética nacional;
- Explorar desafios para implantação, destacando a potencialidade da energia eólica para composição da matriz energética nacional e local;
- Destacar a implantação da energia eólica na região central do Brasil;
- Viabilizar a implantação do modelo de energia eólica em Goianésia – GO.

## 1.2 METODOLOGIA

Com base no método de revisão bibliográfica, foi feita a seleção de artigos, monografias e livros, para a busca de dados que mostre o crescimento e com isso também as carências do setor de energia elétrica no Brasil, sugerindo a utilização da energia eólica como uma fonte secundária de geração de energia, mostrando suas qualidades e abordando o seu desenvolvimento, desde a captação do vento, montagem das torres de captação, a transformação de vento em energia, e o seu crescimento no decorrer dos anos. Desta forma foi feita uma revisão literária abordando o desenvolvimento sustentável, a energia renovável, baseando no que traz os autores Pacheco (2006), Goldemberg; Lucon (2006-2007), Nascimento (2007), Ringer (2014), Queré (2018), Losekann e Hallack (2018) e descreve a historiologia no surgimento da energia eólica no Brasil, analisando suas principais qualidades, custo benefício, verificando as formas de captação e conversão do vento por meio dos aerogeradores, relatando desde a montagem até a disponibilização e fornecimento nas residências, com base nos autores Duarte (2004), Welch e Venkateswaran (2009) e Farret

(2004). Foram utilizados para obtenção de dados as principais instituições relacionadas ao setor, como Ministério de Minas e Energia (MME), Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), Revista Brasileira de Energias Renováveis, a International Energy Agency (IEA), a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica).

Para ser possível a análise do estudo de caso, é feito um levantamento de dados do local escolhido, obtendo-se informações de relevo e especificações climáticas ao longo do ano. E para se fazer completa a captação de informações efetua-se o estudo com base em um modelo de aerogerador utilizado em nível mundial e, por fim, destacando a viabilização de implantação desse modelo de geração de energia.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No item (1) o trabalho está expondo a introdução do tema escolhido, descrevendo de maneira superficial o que será apresentado. Após essa etapa, o item (2) descreve sinuosamente o uso e a importância das energias renováveis, seguindo o destaque dentre essas energias para a Eólica, sendo decorrido no item (3), a histologia e formação, até o aproveitamento como fonte de energia limpa. Posteriormente, no item (4), citamos a situação da matriz energética brasileira. Logo, após a revisão bibliográfica, elaboramos o estudo de caso, evidenciado no item (5), no qual avaliamos a capacidade de geração de energia eólica na cidade de Goianésia, Goiás.

## 2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

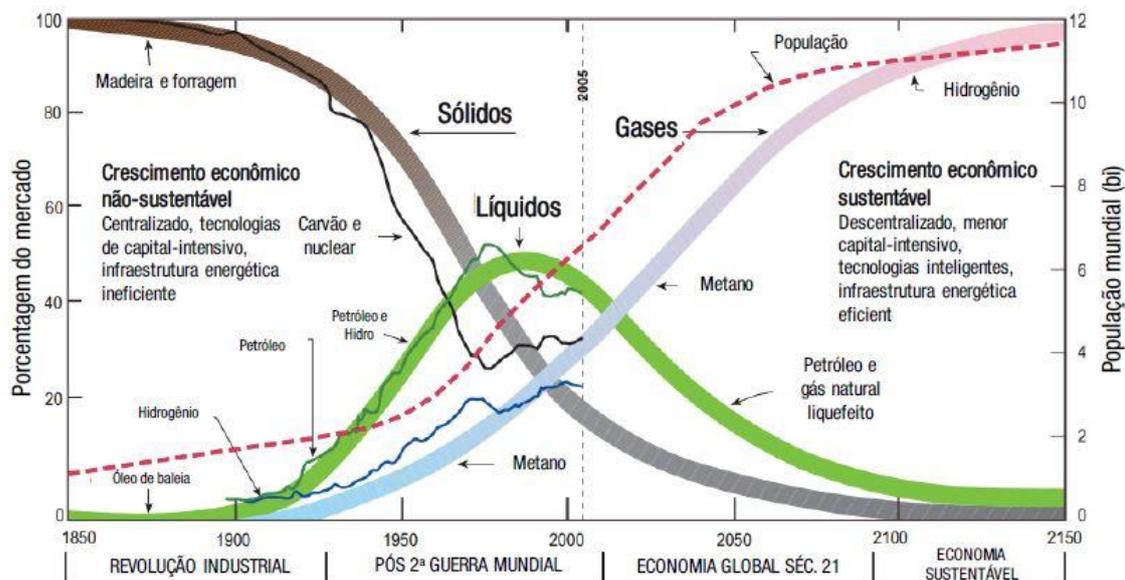
As energias renováveis, também chamadas de alternativa ou limpa, tem sua denominação por meio da sua capacidade de recomposição de matéria prima, obtendo uma inesgotável quantidade a ser explorada. Por isso são conhecidas pela imensidão de recurso disponível (ECOTURISMO, 2009).

Fontes renováveis de energia são utilizadas há muito tempo e fazem parte da história da humanidade. Com a evolução tecnológica a utilização desse tipo de energia recebeu melhoras gradativas, os investimentos nessa área vêm crescendo cada dia mais com o aumento da demanda por alternativas energéticas e a busca por energia sustentável. Em comparação com as fontes de energia tradicionais a energia renovável ocupa ainda uma pequena fração (ROGGIA *et al.*, 2011).

Os recursos oferecidos por fontes naturais foi avaliada e estuda a medida em que a população se expandiu e as carências por energias foram assimiladas. Além disso, as energias renováveis são uma alternativa diante da iminência do Pico do Petróleo e diante de investimentos cada vez menores. A estimativa é de que a produção global de petróleo cairá 50% até 2025, conforme é observado atualmente em países que são produtores de combustíveis fósseis, nos quais já convivem com essa queda de produção. Dessa forma, a necessidade de serviços, agregando-se a carência por energia renováveis deverá aumentar na estimativa até 2050, em proporção de 1,5 a 3 vezes da atual carência da população mundial (ALVES, 2018).

Na figura 1 descreve a evolução do consumo de matérias primas, juntamente com o crescimento da população, e a ascendência das energias renováveis (ERBR, 2019).

**Figura 1 - Consumo de Petróleo X Consumo de Energias Renováveis.**



Fonte: ERBR, 2019.

Com a demanda e oferta mundial atual de energia cada vez mais a capacidade de sustentabilidade dos recursos energéticos e os seus efeitos para o desenvolvimento econômico e social vem sendo colocado em evidência. Com isso, o aumento de investimento para pesquisa e desenvolvimento de fontes de geração de energia renovável está crescendo significativamente. Existe também a preocupação com o meio ambiente, com a necessidade de diminuir a emissão de poluentes e desenvolver fontes de energias mais eficientes (HEAL, 2009).

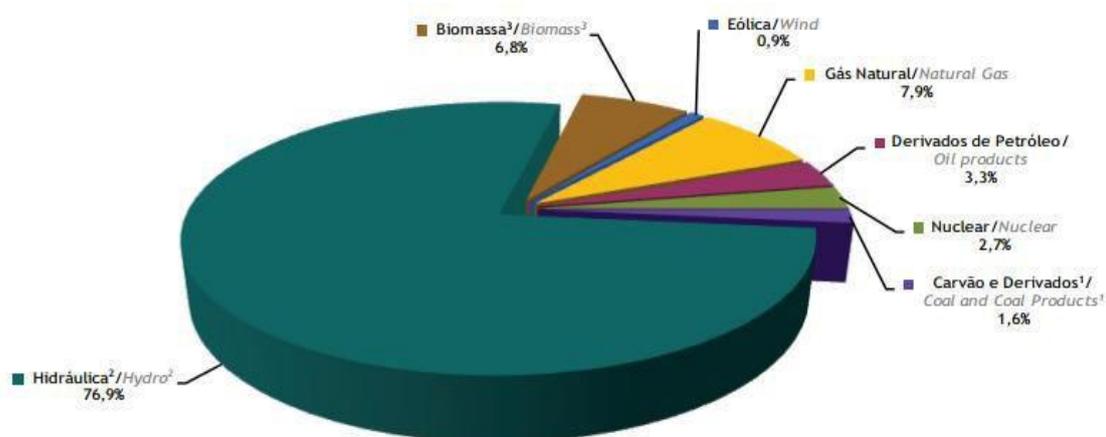
Para atender as demandas populacionais, de acordo com Ringer (2014), o caminho mais eficaz são as energias renováveis, além de aparecerem como recursos alternativos dos combustíveis fósseis e de redução de emissão de gases poluentes no planeta pelo uso da tão utilizada energia elétrica. Logo, tudo isso é decorrência de uma energia que adota meios sustentáveis de produção, a qual não gera impactos, e se for o caso, é mínimo, tendo como fontes a solar, hidráulica, biomassa, eólica, geotérmica, dentre outras.

As energias renováveis também possuem limites, mas esses estão longe de serem atingidos. O mundo possui vastos potenciais em renováveis, muitos dos quais já estão ao alcance da tecnologia atual. É o que acontece com a hidroeletricidade, a energia eólica, os potenciais geotérmicos e, especialmente no mundo em desenvolvimento, a biomassa moderna (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

À vista disso, as energias renováveis se realçam como forma de abastecimento por meio de fontes inesgotáveis, pois apesar de apresentarem limitações, não é algo que acarrete riscos imediatos de extinção (RINGER, 2014).

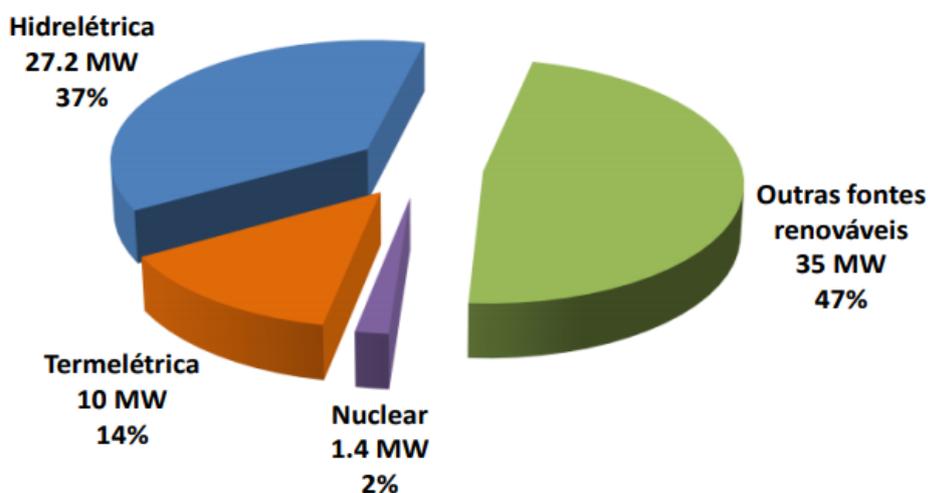
Algumas cidades e países oferecem incentivos para que a capacidade de geração de energia renovável aumente. As fontes de energia renováveis produziu em 2006 foi de 435 TWh de um total de 18.930 TWh, que representa 2,3% da produção total (IEA, 2006). No Brasil em 2012 a geração de energia proveniente de fontes renováveis era de 15,5% do total, em comparação com o ano de 2015, houve um aumento de em 2013 subiu para 20,7% (EPE, 2014). E segundo figura 2 do balanço energético (2013), relata a oferta de energia da matriz energética brasileira, e em contrapartida na figura 3 demonstra a capacidade de oferecimento das energias.

**Figura 2** - Oferta Interna de Energia Elétrica 2012.



**Fonte:** Balanço Energético Nacional (2013).

**Figura 3** – Oferta Interna de Energia Elétrica 2015.



Fonte: EPE, 2016.

De acordo com as características geográficas e climáticas do Brasil, o país apresenta vantagens em relação à geração de energia vinda de fontes renováveis. Em comparação com a média mundial os ventos têm uma presença até duas vezes maior, e tem a oscilação da velocidade de 5% o que proporciona maior previsibilidade ao volume produzido. Em períodos de estiagem a velocidade do vento é maior, possibilitando o uso da energia eólica, complementando assim as usinas hidrelétricas e possibilitando a economia de água nos períodos de pouca chuva (ATLAS, 2008).

As fontes de energias renováveis produzidas em usinas hidroelétricas, parques eólicos, usinas fotovoltaicas, biomassa, e etc., possuem algumas características em comum olhando com uma visão econômica, elas necessitam de um alto investimento inicial antes da energia começar a ser gerada, tem um alto custo fixo que depende dos níveis de produção, só que elas não apresentam custos de suprimento, os seus custos são de operação e manutenção (HEAL, 2009).

## 2.1 IMPORTÂNCIA E DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS

Foi na Idade Moderna (1400 D.C.) que se começou a utilizar a queda d'água e o vento para executar algumas tarefas, como por exemplo, moer trigo. Nessa época a energia

de origem fóssil quase não era utilizada, o petróleo que nos tempos atuais é muito conhecido e utilizado era pouco popular para a época (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A população e o consumo de energia começaram a crescer a partir da Revolução Industrial de 1875. O conhecido como “homem tecnológico” desenvolveu então novas máquinas mais modernas e que tinham como base para ser movidos derivados do petróleo, como diesel e gasolina. Tempos depois surgiram os motores elétricos e a energia nuclear, mesmo tendo disponível outras fontes de energia, o homem daquela época até os dias atuais nunca pôde deixar de utilizar o petróleo (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Na busca do homem por melhor qualidade de vida, eis que em 1987 um grupo de especialistas se reuniu formando a “Comissão para o Meio Ambiente e Desenvolvimento” e após análise, emitiu um relatório chamado “Nosso Futuro Comum” e no presente momento se desenvolveu a seguinte definição “Desenvolvimento que supere as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações atenderem as suas necessidades”. Estima-se que até a data atual metade do petróleo que possui no planeta já foi explorado restando apenas mais 50%, quantidade essa que deve esgotar em 50 anos, levando então o mundo a se preocupar, estudar e investir em outras opções energéticas (RINGER, 2014).

Dincer (2005), defende que um dos meios de maior relevância no desenvolvimento sustentável e contribuição na redução de impactos ambientais, aliado a amenização por falta de energia posteriormente, é o maior uso em fontes de energias e tecnologias renováveis

Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro. Para ser alcançado, o desenvolvimento sustentável depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos (WWF BRASIL, 2019).

Em meios a discussões ligadas ao tema desenvolvimento sustentável, entre elas a energia renovável tem obtido grande força entre os pesquisadores. Para a sociedade atual atingir ou ao menos tentar alcançar, é necessário intenso esforço para se descobrir recursos energéticos sustentáveis no âmbito das energias renováveis (DINCER, 2000).

É evidente que este crescimento não pode ser dissociado de preocupações ambientais, tendo em vista que toda essa energia precisou ser extraída e transformada a partir de recursos naturais. Assim, para acompanhar ritmos de crescimento como esses é essencial que exista uma preocupação com a capacidade de renovação dos recursos. Nesse sentido, os países devem se preparar com a

construção de matrizes energéticas adequadas às necessidades e aos recursos disponíveis (DUPONT, 2015).

Para ocorrer essa transição energética para fontes de baixa emissão de carbono em escala mundial dependerá, consideravelmente, da redução na utilização de combustíveis fósseis como meio principal de geração de energia elétrica. Todo esse emissivo corresponde por um terço das emissões globais. Seguindo esse fator, será nítido no futuro a importância de se permitir a eletrificação provinda de fontes limpas e renováveis (LOSEKANN; HALLACK, 2018)

Segundo Lund (2007), para se promover um desenvolvimento sustentável, normalmente se envolve três mudanças tecnológicas, sendo elas: (1) economia de energia pelo lado de necessidade; (2) progressões com eficácia na geração de energia; e (3) implantação de diferentes fontes renováveis, possibilitando a substituição dos combustíveis fósseis. Posteriormente, tendo a visão de impor medidas estratégicas que traga geração de energias renováveis em larga escala proporcionando um sistema coerente influenciado pela economia e parâmetros com eficácia.

Na perspectiva global, os recentes avanços tecnológicos possibilitaram a transformação de energias renováveis como opção exclusiva para expansão da capacidade de geração elétrica (LOSEKANN; HALLACK, 2018).

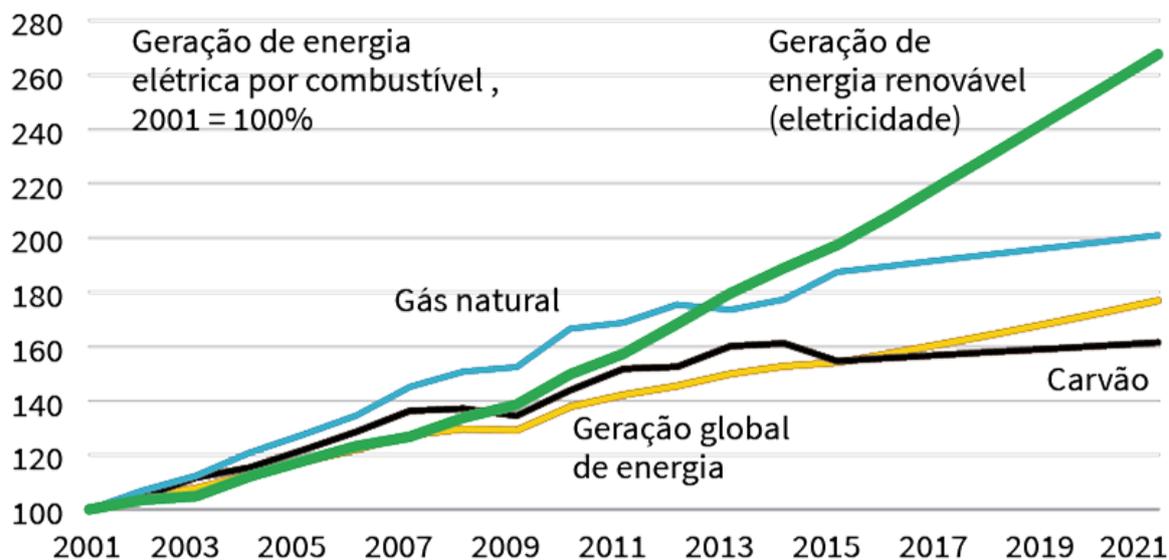
As tendências de energia pelo mundo estão mudando drasticamente, de maneira que o uso do carvão tem se diminuído em muitas partes do hemisfério global, mas esse crescimento ainda é abaixo do ano de 2013, em paralelo se observou uma explosão na busca e utilização de energia eólica e solar. Mesmo obtendo crescimento acelerado dessas energias renováveis, ainda insuficiente para reverter as tendências de emissões globais (QUÉRÉ, 2018).

A implantação da energia renovável e o avanço exponencialmente por todo o mundo possibilitou a geração de eletricidade crescer a uma média de 15% ao ano na última década. Mas isso não tem sido suficiente para compensar o crescimento da energia fóssil porque as energias renováveis estão crescendo a partir de uma base baixa. Porém, isso está mudando rapidamente (GLOBO, 2018)

Na expectativa do desenvolvimento sustentável, os países buscam similarmente a diminuição na emissão de  $CO_2$ , mas apesar do empenho o aumento da geração de energia

por meio de fontes fósseis ainda é crescente. Por meio do gráfico 1 se demonstra isso (MMA, 2018):

**Gráfico 1 - Emissão de CO<sup>2</sup>.**



Fonte: MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2018.

Dentre as várias fontes renováveis de energia, como a energia solar, eólica e das hidrelétricas, atualmente ainda é perceptível a predominância de fontes de energias de origem fóssil. Entretanto, é importante se analisar que toda energia consumida no mundo em 2001 apenas 13 % foi energia derivada de fontes renováveis, e desses 13% somente 2% foi de energia eólica. A forma atual que a maior parte de energia é produzida é incompatível com o desenvolvimento sustentável (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

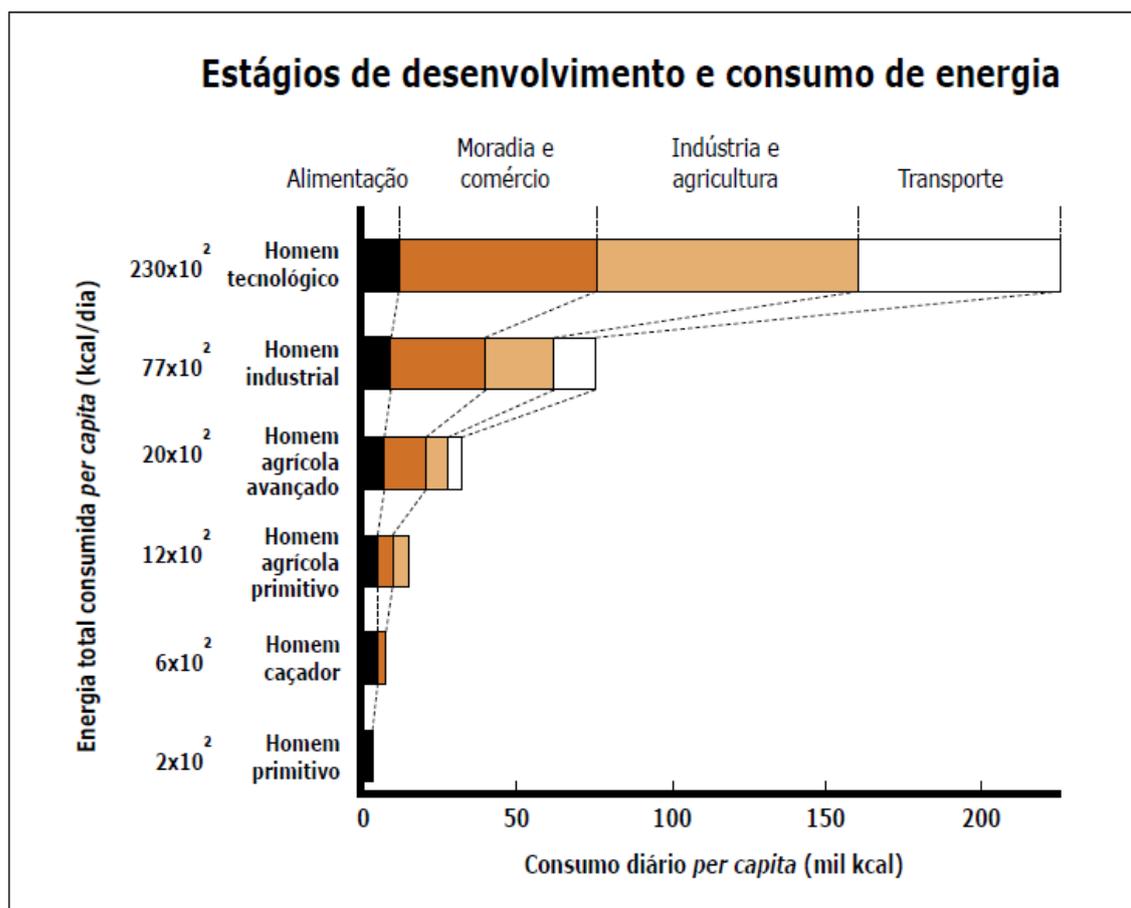
## 2.2 O USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Para Goldemberg (2007), o homem desde o princípio é uma máquina maravilhosa. Extremamente eficiente, soube usar sua inteligência para criar grandes obras e se engajar em guerras. Além disso, multiplicou sua descendência e dominou o planeta, tirando dele os recursos necessários para a sua sobrevivência e a satisfação de suas necessidades.

Tendo o homem desenvolvido a máquina a vapor, pode ir além aprimorando ainda mais as suas habilidades na indústria e nos transportes. Juntamente com esse crescimento, veio o aumento da população, e em decorrência desse ritmo também, o consumo de energia

elétrica (NASCIMENTO, 2007). No gráfico 2 demonstra a evolução do desenvolvimento humano em associação com o consumo de energia.

**Gráfico 2 - Estágio de Desenvolvimento e Consumo de Energia.**



**Fonte:** Revista USP, São Paulo, n.72 2006-2007.

Com a evolução da população, juntamente com os avanços científicos, se buscou o desenvolvimento de novas tecnologias. Para se aproximar de avanços no campo das energias elétricas, tendo como referência as energias renováveis, só se fez viável servindo de alternativa de menor custo, maior desempenho, sobretudo tendo responsabilidades ambientais de maior alcance em relação a geração da energia convencional. Muitas vezes, os benefícios gerados a partir das energias renováveis não são compreendidos (DINCER, 2000).

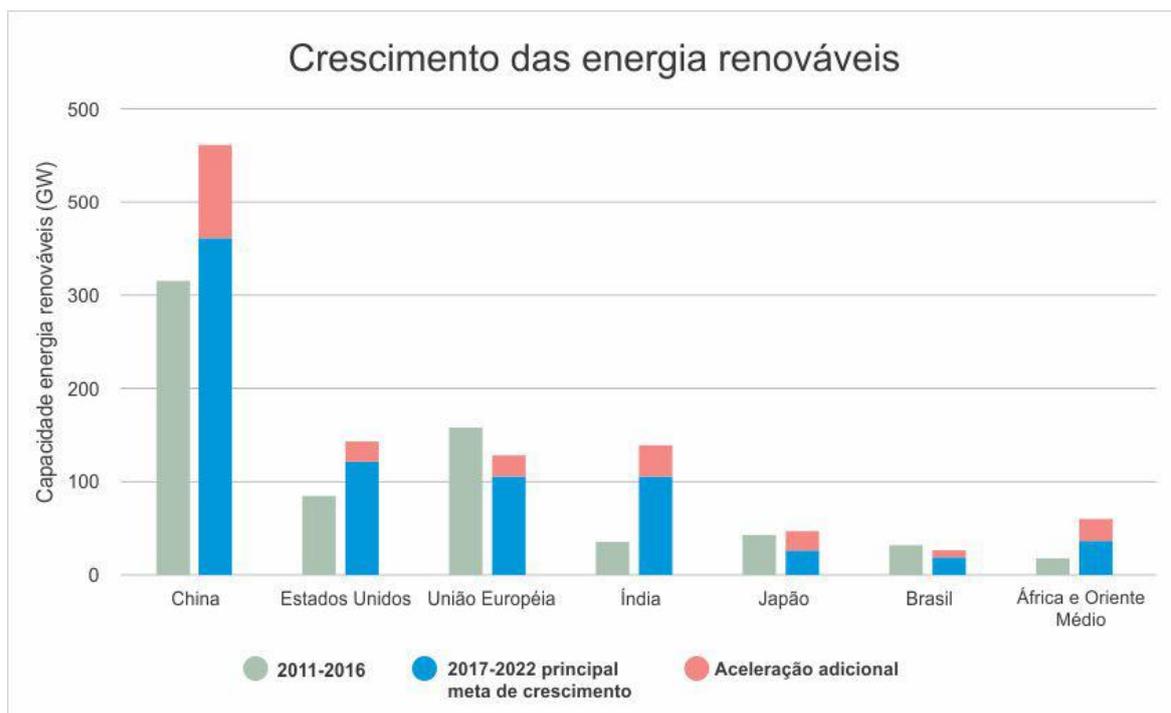
Geralmente tais fontes são difusas e não totalmente acessíveis, além de possuírem distinção nas variabilidades regionais. Apesar da dificuldade enfrentada no setor nos últimos

anos, a busca por sua expansão tem gerado pesquisas e conhecimento para soluções dos problemas acima. A viabilização da exploração das fontes renováveis só foi possível a partir do beneficiamento do desenvolvimento na biotecnologia, ciências de materiais e o além de muitas outras áreas que influenciaram indiretamente para o avanço (SILVA, NEILTON, FIDELIS, 2006).

Atualmente existe incentivo a iniciação científica com a finalidade de melhorar as eficiências de coleta e conversão, visando a diminuição dos custos preliminares e de manutenção, juntamente com o aumento da confiança e aplicação, e finalmente podendo compreender os fenômenos das energias renováveis (DINCER, 2000).

Por meio dos incentivos atuais, percebe-se no gráfico 3 o crescimento e expectativa de crescimento das energias renováveis para os próximos anos.

**Gráfico 3 - Crescimento das Energias Renováveis.**



**Fonte:** <https://facilita.eng.br/energia-solar-cresce-mais-que-combustivel-fossil/grafico-crescimento-das-energias-renovaveis/>, 2017.

### 2.2.1 Fontes de energia renováveis e não-renováveis

Bastante energia vem do Sol para a Terra, mas somente uma pequena parte é aproveitado. Uma parcela dessa radiação solar fornece calor, e outra parte os ventos, além dos potenciais hidráulicos dos rios, por meio da evaporação e condensação. Uma parcela mínima é incorporada nos vegetais por intermédio da fotossíntese, servindo para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta (GOLDEMBERG, 2007).

No decorrer dos milênios, a matéria orgânica dos seres que habitavam, acumulou-se no subsolo da terra, produzindo automaticamente as camadas ricas em fontes fósseis de energia: petróleo, carvão mineral, gás natural, entre outros. Todo esse processo ocorreu em milhões de anos (GOLDEMBERG, 2007).

As fontes de energias fósseis e nucleares requerem um longo tempo geológico para reposição, são consideradas não renováveis. Já as fontes repostas rapidamente pela natureza, como caso dos potenciais hidráulicos (queda d'água, eólicos ventos), a radiação solar e o calor do fundo da terra, podem ser consideradas fontes renováveis (GOLDEMBERG; LUCON 2007).

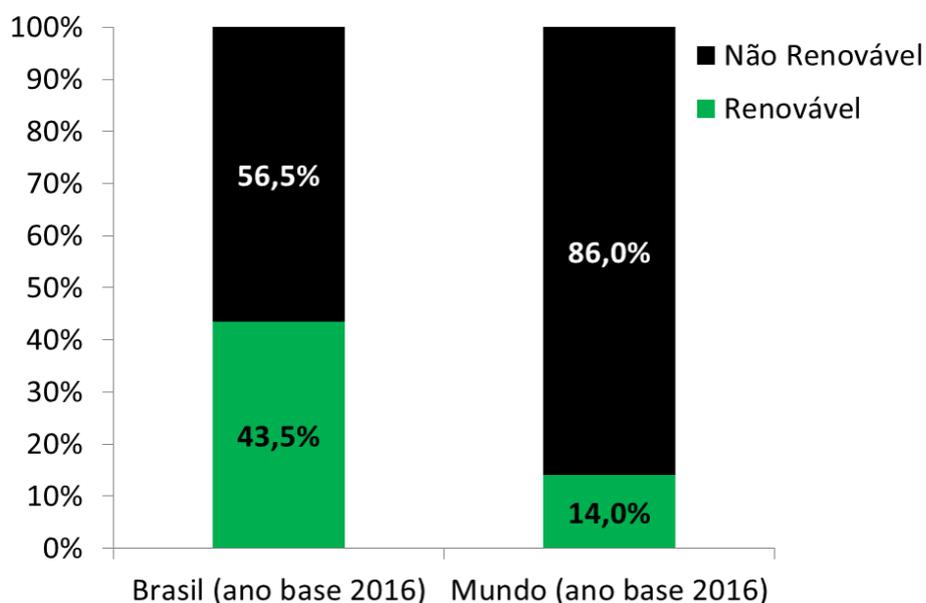
Algumas formas de conversão de energias renováveis são, portanto, tradicionais. Por outro lado, as fontes modernas são tecnologias dominadas e comercialmente distribuídas a muitas décadas (CASTRO, 2007).

Assim, as fontes de energia podem ser classificadas conforme a tabela a seguir:

**Tabela 1** – Energias Renováveis e Não-Renováveis.

<b>Fontes Renováveis</b>	<b>Fontes Não-Renováveis</b>
Solar	Petróleo
Eólica	Carvão Mineral
Biocombustíveis	Nuclear
Geotérmica	Gás Natural
Hidráulica	Xisto Betuminoso

**Fonte:** Revista USP, São Paulo, n.72 2006-2007.

**Gráfico 4 - Matriz Energética Brasileira em 2016.**

Fonte: BEM, 2018.

A seguir se descreve as energias renováveis:

- Energia Eólica

Energia eólica é uma energia cinética das massas de ar que é causada pelo aquecimento desigual da superfície da terra. A radiação e a rotação da terra são alguns dos fenômenos que colaboram na sua formação (MINERVA, 2010). Para a transformação do vento em energia é feito através de aerox – geradores a conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação (ANEEL, 2008).

Para saber se certo local tem potencial para geração de energia eólica, são feitos vários estudos como a velocidade do vento, suas direções e frequência, esses dados são coletados para que seja feito esse levantamento de qual o potencial de cada região (EPE, 2011). Apesar do crescimento nos últimos anos a parcela de energia eólica utilizada para geração energia no Brasil ainda é pequena segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008).

Os impactos ambientais e sociais que a energia eólica causa é os sonoros que vêm do ruído dos motores e visuais pois as torres são bem grandes e espaçosas (ENEGEP, 2012).

- Energia solar

A energia solar é uma fonte renovável e limpa, a forma direta de obtenção e através de células fotovoltaicas, geralmente feitas de silício. As placas fotovoltaicas captam os raios solares e os convertem em eletricidade. É necessários grandes áreas para coletar a luz solar e a transformar em energia (ANEEL, 2008).

Vêm aumentando cada vez mais a utilização de energia solar no Brasil, ela vêm sendo usada principalmente no aquecimento de água para beneficiar regiões mais necessitadas. Apesar de todos os aspectos positivos da energia solar ela é pouco utilizada, pois os custos financeiros para a obtenção de energia são muito elevados, não sendo viável economicamente. (ANEEL, 2008).

- Energia hidráulica

A energia hidráulica foi uma das primeiras a ser utilizada para o bombeamento de água e para moer grãos é também uma das primeiras a substituir trabalho animal por mecânico. Obtém-se energia elétrica através do aproveitamento da água de rio, construindo uma usina hidrelétrica em rios que possuem grande volume de água e também desníveis em seu curso (ANEEL, 2008). O potencial hidrelétrico brasileiro na região Centro-Oeste é estimado em 8.496,56 MW (ELETROBRAS, 2018).

Em 2002 havia registro de 433 hidrelétricas no Brasil muitas delas de pequeno porte, tinham uma capacidade de 62.020 MW. Apesar de ser uma fonte de energia renovável e não emitir poluentes, ela provoca impactos ambientais e sociais. A inundação de áreas para a construção de barragens gera problemas de realocação das populações ribeirinhas, comunidades indígenas e pequenos agricultores (ANEEL, 2008).

- Biomassa

Biomassa é a massa de organismos vivos de uma determinada área, essa massa possui uma grande reserva de energia, pois tem em sua composição hidratos de carbono, a partir da combustão é gerado a energia. Alguns materiais se destacam como fonte de energia gerada a partir da biomassa, como a madeira, os resíduos agrícolas, os resíduos municipais

sólidos, os resíduos dos animais, os resíduos da produção alimentar, as plantas aquáticas e as algas. Esse tipo de fonte renovável e restrito e tem sido feitos muitos estudos em cima desses potenciais energéticos (ANEEL, 2008).

Uma das principais dificuldades do uso da biomassa como gerador de energia e o alto custo. Além de ambientalmente mais favorável o aproveitamento energético e racional da biomassa tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas, por meio da criação de empregos. (PORTAL ENERGIA, 2016).

- Biogás

O biogás é um tipo de combustível gasoso, um dos seus principais componentes é o hidrocarboneto, para ser utilizado como energia elétrica ele necessita de um tratamento específico. O biogás é encontrado principalmente em grandes regiões agropecuárias onde há criação de suíno e de aves, uma das suas maiores dificuldades é o investimento tecnológico para tal tratamento de conversão. Para a utilização do biogás como fonte de energia, é feito alguns estudos como qual a sua vazão, composição química, os coloríficos, esse estudo serve tanto para determinar o potencial energético quanto o dimensionamento do processo de tratamento do biogás. (ENEGEP, 2012).

- Geotérmica

Energia geotérmica é derivada a partir do calor do interior da terra, é possível encontrar esse tipo de energia em locais com atividades vulcânicas onde existe, por exemplo, água com temperaturas elevadas e também em zonas onde é possível atingir estratos magnéticos, o calor provoca a evaporação de grandes quantidades de água nas camadas profundas do solo e a sua saída forte para a superfície (ENEGEP, 2012).

A conversão dela para energia elétrica é feita a partir de uma turbina que é movida a vapor, que é produzido pelo aquecimento do interior da terra. Os gases emitidos por essa fonte de energia não são os mesmos responsáveis pelo efeito estufa. (ENEGEP, 2012).

- Critérios de avaliação de uma energia renovável

A fim de encontrar o tipo de energia mais sustentável Evans e Strezov (2009) analisaram algumas fontes de energias. Dentre as fontes de energia renováveis e não renováveis foram consideradas as seguintes, energia fotovoltaica, hidrelétrica, eólica, geotérmica, carvão e gás. Foram avaliados os critérios abaixo:

- Preço da eletricidade gerada;
- Emissão de gases do efeito estufa durante o ciclo de vida da tecnologia;
- Disponibilidade de fontes renováveis;
- Eficiência da conversão de energia;
- Necessidade de área;
- Consumo de água;
- Impactos sociais.

Após feito o estudo Evans e Strezov (2009) constatou a energia eólica como sendo a forma de energia mais sustentável, sendo ela a que menos emite gases do efeito estufa, possuindo entre as demais o menor consumo de energia e gerando mais impactos sociais favoráveis. Entretanto, para sua instalação exige uma área bastante ampla, e um custo de capital elevado.

### **3 ENERGIA EÓLICA**

O aproveitamento de energia nas massas de ar em movimento (vento) é utilizada pelo homem há pelo menos três mil anos. Já no setor elétrico a geração da energia proveniente do vento se deu no início do século XX, onde aproveitava-se na utilização de moinhos para moer grãos, no transporte de mercadorias em barcos a vela e no bombeamento de água, sendo utilizado esses métodos os das atuais, onde o vento atinge a hélice girando e impulsionando o eixo do gerador (ATLAS, 2008).

### 3.1 SURGIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E NO MUNDO

A energia proveniente dos ventos é conhecida pelo homem a pelo menos 3000 anos, por meio da utilização de cata-ventos, como forma de energia mecânica. A roda de vento do engenheiro grego Herão de Alexandria, dada durante o ano I d.C., essa ferramenta é a mais antiga que se tem registro. Aos poucos a inserção dos cata-ventos foi observada pela Europa, principalmente, na época das cruzadas, há pelo menos 900 anos (DUTRA, 2008).

Em pleno século IX, se percebia a difusão do uso de moinhos hidráulicos no Ocidente, mas sua ascensão encontrou-se entre os séculos XI e XIV, onde alguns registros mostram o dobro de construções existentes nos períodos anteriores. Na utilização para fins artesanais e industriais, usavam os moinhos d'água, na qual tinham como principal tarefa a moagem grãos (MELO, 2019).

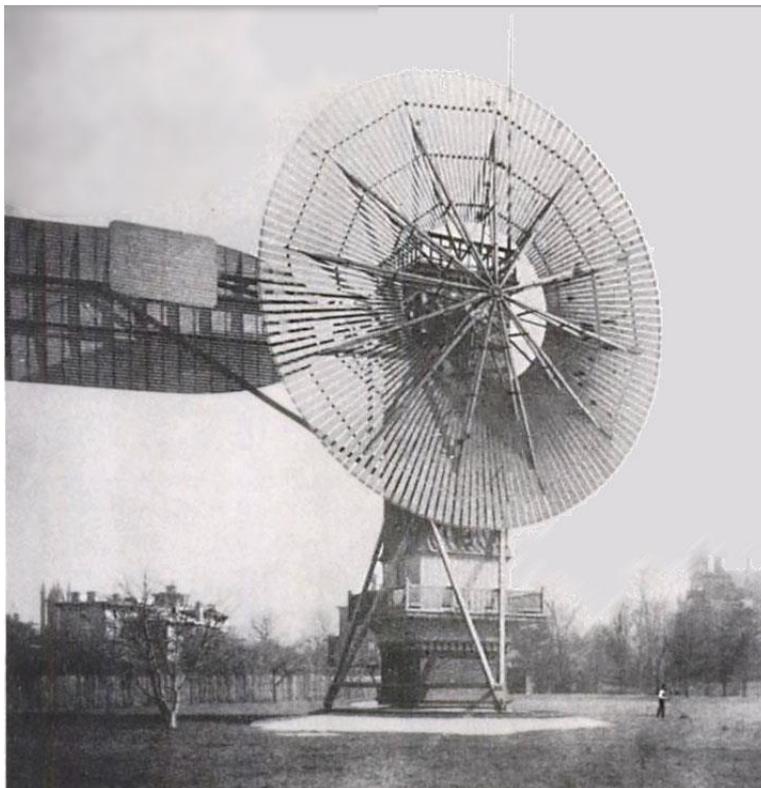
A persistência das máquinas primitivas prevaleceram até o século XII, onde começou a ser utilizado em moinhos de eixo horizontal em países como Inglaterra, França e Holanda. Esse tipo de sistema, conhecido como tipo “holandês” foi rapidamente dissipado por vários países da Europa (DUTRA, 2008).

No final do século XIX se iniciou a adaptação dos cata-ventos para a geração de energia elétrica, em 1887 o engenheiro escocês construiu uma turbina com pás de tecido, através desse sistema se aproveitava a eletricidade produzida para se carregar acumuladores para iluminação de sua residência (LEITE, 2013).

Já no próximo ano, o industrial do ramo das eletrificações Charles Francis Brush ergueu-o na cidade de Ohio, o primeiro cata-vento com intuito de geração de energia elétrica. Com um potencial de fornecimento de 12 kW, alimentava baterias, nas quais era destinada ao fornecimento de energia para 350 lâmpadas. Contendo em sua roda principal 144 pás, possuía 17m de diâmetro. Por se tratar de um sistema limitado, esteve presente por 20 anos, até ser desativado no ano de 1908 (DUTRA, 2008).

A energia renovável mais limpa hoje já trabalhada é a energia eólica. Energia eólica é a conversão da energia do vento em energia útil, tal como na utilização de aerogeradores para produzir eletricidade, moinhos de vento para produzir energia mecânica ou velas para impulsionar veleiros. A energia eólica, enquanto alternativa aos combustíveis fósseis, é renovável, está permanentemente disponível, pode ser produzida em qualquer região, é limpa, não produz gases de efeito de estufa durante a produção e requer menos terreno (LEITE,2013).

**Figura 4** - Cata-Vento de Charles F. Bruch.



**Fonte:** <https://www.15minutenews.com/article/28822451/the-first-power-generating-wind-turbine-was-this-60-foot-monster/>. Acesso 12 de Junho de 2019.

Na década de 1890, Poul la Cour um inventor dinamarquês, teve a iniciativa de construir geradores elétricos, com o intuito de produção de energia elétrica. Por meio de Cour, se descobriu que através de uma velocidade maior e com menos pás o sistema se tornava mais eficiente para produzir eletricidade (LEITE, 2013).

O primeiro indício do uso de um aerogerador de grande porte foi registrado na Rússia em 1931, desenvolvido pelo engenheiro francês Georges Darrieus. Chamado pelo nome de Balaclava, era um modelo mais avançado que o de Charles, tendo rendimento de geração de energia de 100 kW. Essa foi marcada como a primeira tentativa bem-sucedida de se conectar uma aerogerador a uma usina termelétrica (DUTRA, 2005).

Em 1941, os Estados Unidos desenvolveram um projeto de construção do maior aerogerador até então projetado. Tratava-se do aerogerador Smith-Putnam cujo modelo apresentava 53.3 m de diâmetro, uma torre de 33.5 m de altura e duas pás de aço com 16 toneladas. Na geração elétrica, foi usado um gerador síncrono de 1250 kW com rotação constante de 28 rpm, que funcionava em corrente alternada, conectado diretamente à rede elétrica

local. Esse aerogerador iniciou seu funcionamento em 10 de outubro de 1941, em uma colina de Vermont chamada Grandpa's Knob. Em março de 1945, após quatro anos de operação intermitente, uma das suas pás (que eram metálicas) quebrou-se por fadiga (OLIMPICO, 2019).

Apesar das catástrofes geradas pela Segunda Guerra Mundial, esse evento contribuiu para o desenvolvimento dos aerogeradores, em virtude de os países da época tentarem economizar combustíveis fósseis (DUTRA, 2005).

Após vários acontecimentos ocorridos no século XX, a ideia da tecnologia que utiliza o vento se tornou gradativamente apreciada na utilização da geração de energia elétrica. Com a necessidade de produzir eletricidade com preço acessível de forma limpa e renovável, e com a reação do aumento do preço do petróleo, começaram então o desenvolvimento dos atuais aerogeradores (DUARTE, 2004).

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Até o ano de 2003, existia mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. Em 1991, a Associação Europeia de Energia Eólica estabeleceu como metas a instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Essas e outras metas estão sendo cumpridas muito antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001) (GREENPEACE, 2003).

Com a expansão das pesquisas e das técnicas de utilização do vento para gerar energia, nos últimos anos a energia eólica se tornou uma peça chave. A energia eólica vem sendo considerada uma das mais importantes e premissas tecnológicas na geração de energia, justamente por ser abundante na natureza e de fácil acesso (TERCIOTE, 2002; WELCH E VENKATESWARAN, 2009).

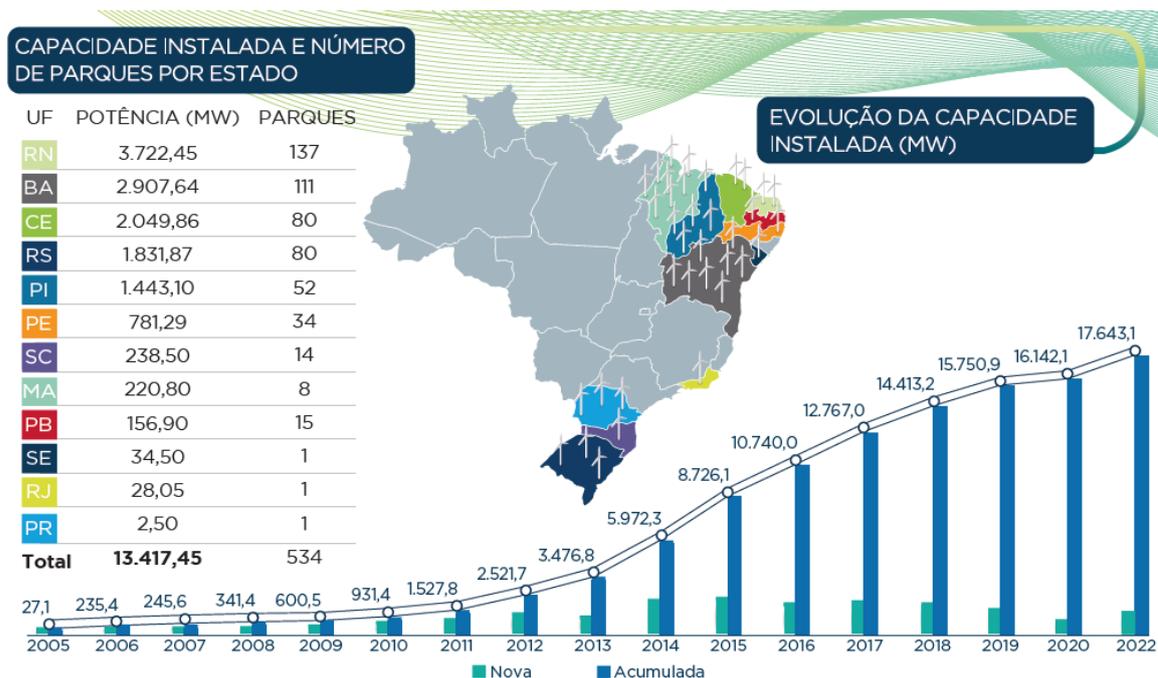
O constante desenvolvimento da China impulsionou o crescimento do setor de energia eólica, possibilitando o país a gerar a maior capacidade instalada no mundo. A busca constante pela superação e liderança de mercado, tornou hoje o país a produção com cerca de 2% em energia nuclear, no qual gera em torno de 10 TWh de eletricidade (ECOPOLÍTICA, 2013).

Já no Brasil a energia eólica teve sua história iniciada no ano de 1992, onde no arquipélago de Fernando de Noronha foi instalado o primeiro aerogerador, esse processo só foi possível por meio da parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), com incentivo financeiro do instituto pesquisas dinamarquês Folkecenter (ABEEÓLICA, 2018).

O “*Start*” dos patamares de capacidade instalada no Brasil deveu-se principalmente por iniciativa do governo que criou o Programa de Incentivo às Energias Alternativas – PROINFA instituído pela Lei 10.438, de abril de 2002, e revisado pela Lei 10.762, de novembro de 2003, visando adotar soluções regionais para o uso de fontes renováveis de energia (biomassa, eólica e de pequenas centrais hidrelétricas), estimulando o desenvolvimento da indústria nacional (ABEEÓLICA, 2018).

A capacidade avaliada da energia eólica nos anos de 1999 a 2005, foi incrementada minimamente. Através da figura 9, observa-se a evolução da capacidade instalada, somente a partir do ano 2006, se percebeu aumentos significativos contando com 208 MW instalados especificamente para esse ano, para um total de 236 MW no final do período. Com um aumento significativo no ano de 2007, a capacidade apenas cresceu só em 10,2 MW, elevando a capacidade total em 246 MW (ABEEÓLICA, 2018)

**Figura 5 - Evolução da Capacidade Eólica Brasileira.**



**Fonte:** ABEEÓLICA, 2019.

Em decorrência do estímulo do governo, em 2009, a energia eólica entrou de vez na matriz energética brasileira. A partir de então, a energia passou a ser negociada por meio de leilões de forma gradativa. Os primeiros parques eólicos foram instalados nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Sergipe e Rio Grande do Sul e em conjunção a este fato

o Brasil passou a apresentar o menor preço por MWh de energia eólica do mundo (CAMARGO, 2015).

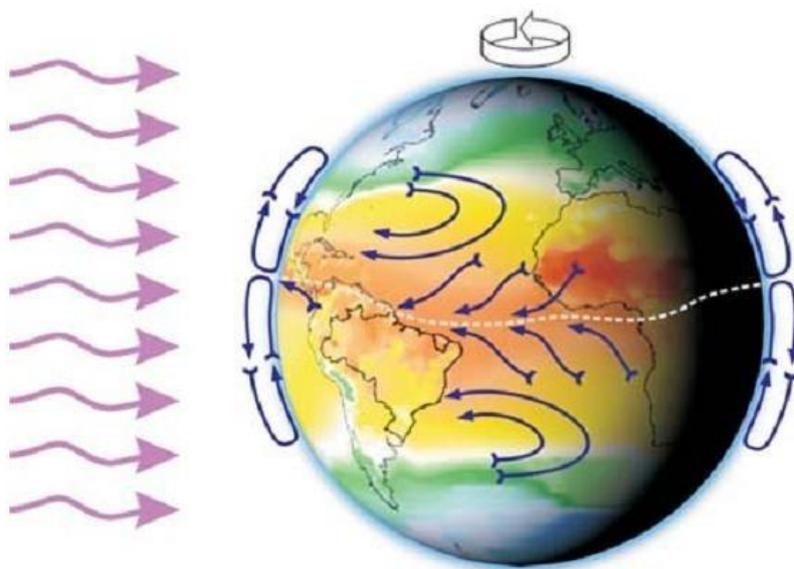
Segundo Vargas (2015), o Brasil nos últimos tempos se mostrou bastante interessado na geração de energia complementar apresentando expectativa de crescimento de 5% a.a. Os grandes desafios do setor elétrico se fez atraído pelo crescimento do consumo e a busca por novas fontes de energia, a energia eólica se mostrou como uma opção cada vez mais presente projetos de geração e expansão.

### 3.2 ORIGEM E CONVERSÃO EM ENERGIA EÓLICA

A forma de se aproveitar o vento vem desde antigamente, na forma de barcos a vela. As velas captavam o vento, gerando impulso para empurrar o barco ao longo da água. Para Vargas (2015), esse processo de aproveitamento do vento é similar ao explorado pelos cata-ventos, no qual serviu de bombeamento da água.

Na diferença de temperatura da terra, das águas, das planícies, das montanhas, nas localidades próximas a linha equatorial e dos polos da terra há a formação dos ventos (REIS, 2011).

**Figura 6** - Formação dos Ventos da Terra.



**Fonte:** AMARANTE, 2001.

É importante ressaltar que os ventos variam de acordo com a época do ano e as horas do dia. Outro fator de grande relevância é a topografia e a rugosidade do solo, onde se distribui a frequência de ocorrência dos ventos e a sua velocidade em um determinado local (REIS, 2011).

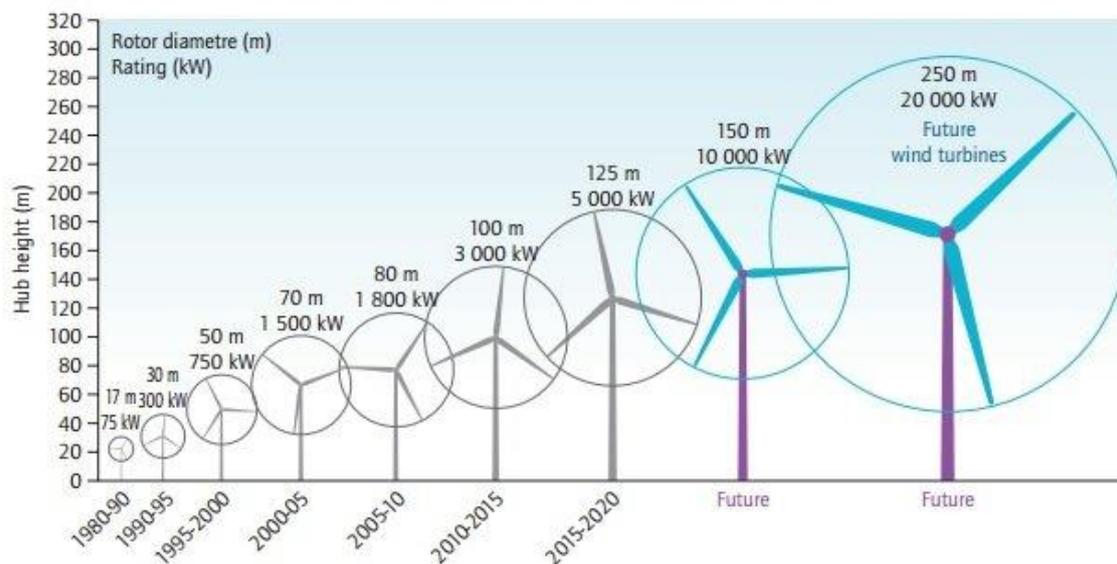
**Tabela 2** - Superfície do terreno.

CLASSE	% ENERGIA	TIPO DE TERRENO
0	100	Plano de água
1	52	Planície
2	39	Planície + casas
3	24	Floresta + vila
4	13	Grande Cidade

**Fonte:** PER, 2013.

É fundamental a avaliação do terreno e a capacidade do potencial de vento em uma região, além disso, a quantidade extraída varia de acordo com as características de desempenho, altura instalada e os espaçamentos horizontais dos sistemas. Por isso, é de extrema importância coleta de dados com precisão e qualidade, para que se forneça um mapeamento eólico da região (REIS, 2011).

Após o passo de coleta de dados, é feita a seleção de qual tipo de torre usual para a região. Cada peça do aerogerador tem função importante na geração de energia. As hélices usadas nos modelos atuais, são diferentes das lâminas dos velhos moinhos, devido a maior aerodinâmica e eficiência (VARGAS, 2015).

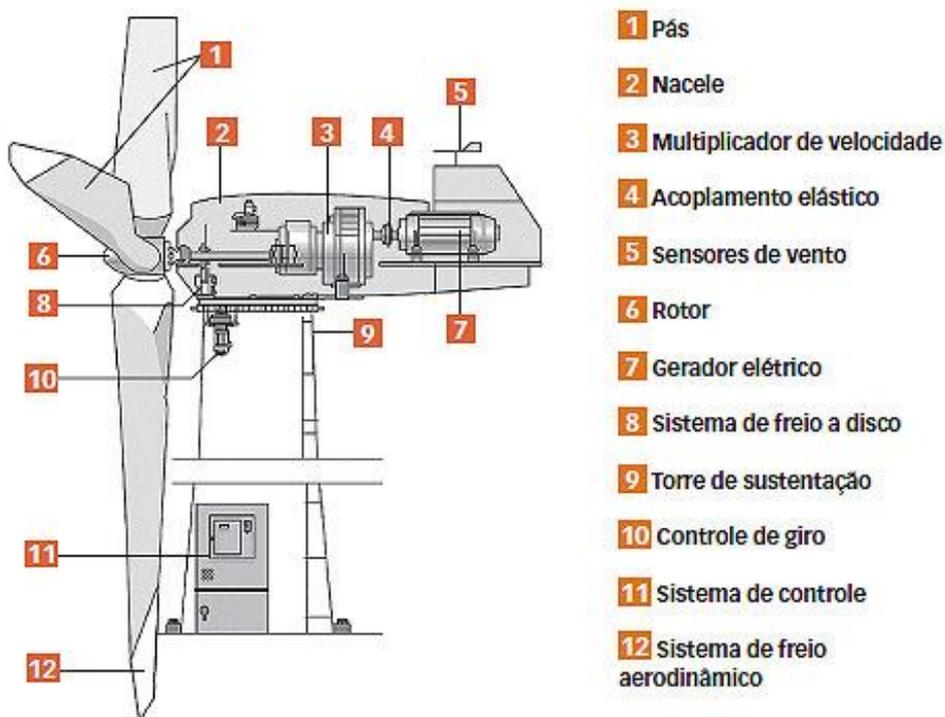
**Figura 7 - Evolução da Tecnologia Eólica.**

**Fonte:** IEA, 2016.

Ao conceituar a energia eólica como sendo uma energia cinética apresentada nas massas de ar em movimento (vento), se estabelece o aproveitamento desta energia ocorrido por meio da conversão da energia cinética de translação, para energia cinética de rotação, gerando eletricidade. Esse processo é todo captado via aerogeradores ou turbinas eólicas, na qual temos como componentes básicos as pás do rotor, eixo e gerador (EERE, 2013).

Assim como nos sistemas a velas, as pás têm a função de barreira para o vento, onde atua de forma direta, transferindo a energia para o rotor, o qual tem a função de converter energia cinética em energia mecânica. O eixo que está ligado ao cubo do rotor, é responsável de receber a energia mecânica entregue pelo rotor e transferi-la ao gerador elétrico. Já o gerador tem especialmente a função de converter a energia mecânica em energia elétrica, transformando as flutuações de potência geradas pelo rotor (VARGAS, 2015).

**Figura 8** - Detalhamento Aeroogeradores.



Fonte: ANEEL, 2008.

- **Pás:** São perfis aerodinâmicos, feitos à base de materiais leve e resistente.
- **Nacele:** É o componente que acopla e armazena todas as partes no topo da torre do aerogerador.
- **Multiplicador de velocidade:** É responsável por aumentar a rotação decorrente do rotor.
- **Sensores de Vento:** Tem a função de medir a velocidade instantânea do vento local.
- **Rotor:** conhecido como “nariz” do aerogerador, por meio dele são fixadas as pás e o cubo.
- **Gerador Elétrico:** Responsável para conversão de energia mecânica em energia elétrica.
- **Torre de Sustentação:** é responsável por sustentar o rotor e a nacele, podendo ser feita em aço ou concreto.

#### 4 SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

É evidente o quanto a energia é um fator importante para o Brasil, e diante disso, enfatiza-se as palavras de Tolmasquim (2012, p. 249), o qual relata que a energia é “ Um dos fundamentos da sustentabilidade econômica de um país é a sua capacidade de prover logística e energia para o desenvolvimento de sua produção, com segurança e em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis.”.

Em um ramo voltado exclusivamente para energia elétrica, aborda-se algumas reformas ocorridas nesse meio, as quais possuem o intuito de reajustar os setores, para que seja possível melhoras positivas de algo que não tem atingido o objetivo desejado. Logo, dentre elas estão: aumento de novas tecnologias, recursos investidos em obras, extensão fabril, criação de empresas, etc (QUEIROZ, 2013).

Em 2001, o país enfrentou uma grave crise energética que perdurou até o final de fevereiro de 2002. Para mitigar essa crise, o Governo Federal implementou medidas que incluíram a instituição do Programa de Racionamento nas regiões mais afetadas pela escassez de eletricidade e a criação da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, está para promover metas de redução do consumo de energia elétrica dos consumidores. Com o aumento da oferta e a redução da demanda foram suspendidas as medidas emergenciais e o Programa de Racionamento. Em abril de 2002 o Governo Federal promulgou o Acordo Geral do Setor Elétrico, cujo objetivo era firmar um acordo entre geradoras e distribuidoras, para definir as regras para compensação das perdas financeiras geradas (GRUPO ENERGISA, 2018, *online*).

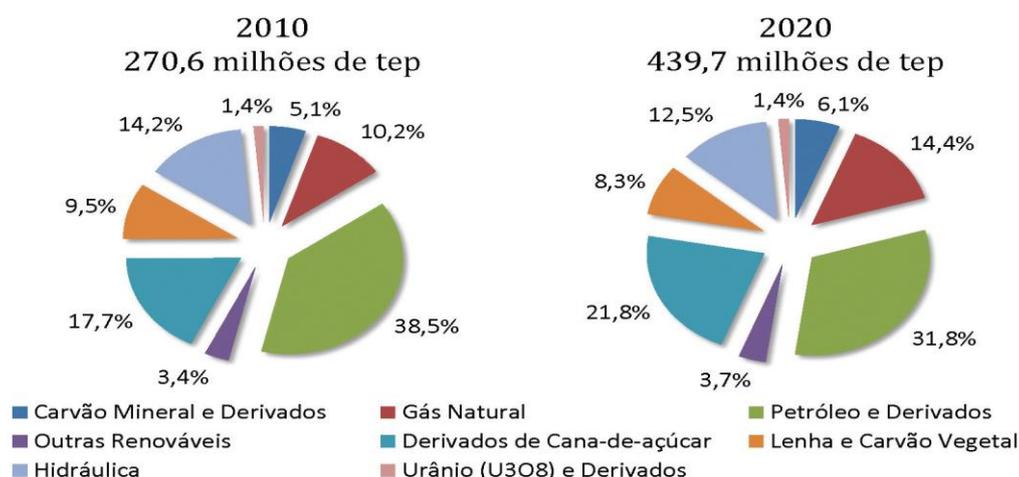
Ademais, menciona-se a indústria de rede, a mesma refere-se a indústrias que demandam a implantação de malhas para alcançar o consumidor e, por consequência, gera segmentos variados no meio social. Além do mais, deve-se atentar o zelo que os governantes necessitam ter para com isso, visto que caso haja, por parte de muitos agentes, divergências nas decisões pode ocasionar naquele setor o que denominam de desestruturação (QUEIROZ, 2013).

Nessa mesma linha de raciocínio, apresenta-se, nas indústrias de rede, a necessidade de permanecer com um equilíbrio de oferta e demanda, o que encontra contratempos de previsão e estocagem. Ainda, o Estado é um importante ator para essa questão, pois age como regulador, planejador e empresário, ou seja, é elemento significativo no que tange a tais particularidades (QUEIROZ, 2013).

Destarte, nas palavras de Tolmasquim (2012, p. 249), “Talvez o setor elétrico brasileiro tenha sido um dos setores no país no qual ocorreu, de forma mais significativa e emblemática, a recuperação da sua capacidade de planejamento e execução das ações planejadas, de forma integrada, governo e iniciativa privada.”.

No ano de 2016, a repartição da oferta interna de energia elétrica no Brasil foi de 41,2% de fontes renováveis e 58,8% de fontes não renováveis. Dentre as fontes não renováveis estão 37,3% para petróleo e derivados, 13,7% de gás natural, 5,9% de carvão mineral, 1,3% de urânio e 0,6% de outras fontes. Dentre as fontes renováveis estão 16,9% de biomassa da cana, 11,3% hidráulica, 8,2% de lenha e carvão vegetal e 4,7% de lixo e outras fontes. A repartição de lixo e outras fontes renováveis tem a fonte de energia elétrica eólica com 13,1% de participação, representando um crescimento de 78% de participação em relação ao ano anterior. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2016 apud LIMA et al, 2018, p. 224)

**Figura 9** - Evolução da oferta interna de energia.



**Fonte:** TOLMASQUIM, 2012.

Atualmente, não só no Brasil, mas em nível mundial, a utilização de energias renováveis tem se mostrado uma solução eficiente para inovar na produção de energia, até mesmo pela sustentabilidade que a mesma proporciona em relação àquelas que emitem muitos gases poluentes e acarretam sérios problemas para o ambiente. Lima (2018, p. 223), expõe que “Neste sentido, o Estado brasileiro adota duas políticas fundamentais para incentivar o desenvolvimento de fontes alternativas de energia no país. Desenvolveu o Programa de incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em 2004 e, posteriormente, os Leilões de energia.”.

O Plano Decenal de Expansão de Energia tem o intuito de oferecer um meio adequado de fornecimento de energia e, esse plano possui como segmento basilar a priorização da atuação das fontes renováveis em prol de atender ao aumento consumista de energia elétrica no que se refere ao horizonte decenal (TOLMASQUIM, 2012).

Dentre todas as formas de geração de eletricidade, a hidráulica é a única que reúne simultaneamente quatro atributos absolutamente relevantes: é renovável; praticamente não emite gases de efeito estufa; é extremamente competitiva; e, no caso do Brasil, a construção das usinas pode ser feita praticamente com 100% de fornecimento e serviços nacionais, o que significa geração de emprego e renda no país (TOLMASQUIM, 2012, p.252)

Em vista disso, a energia eólica, renovável e famosa por produção oriunda da força dos ventos, vem produzindo resultados positivos, tanto em capacidade acumulada quanto em crescimento, assim, mostra-se que o Brasil possui um excelente mecanismo eólico, influenciando na quantidade e qualidade dos ventos (LIMA et al, 2018).

A importância do potencial eólico no Brasil tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com energia eólica. A excelente qualidade nos níveis de radiação solar e ventos fortes, principalmente na costa nordestina, fazem com que o Brasil seja um ponto estratégico para a entrada de novas tecnologias para a América Latina (ALVES, 2010, p. 168).

Em termos de capacidade instalada, o Brasil, segundo LIMA (2018, P. 223, 224), ficou atrás apenas da China, Estados Unidos e Alemanha, ou seja, o país está com índices significativos de expansão de energia eólica. E, sendo assim, ele aborda que:

Nesse sentido, essa expansão gera duas consequências de cunho econômico: a primeira é a expansão da oferta de energia no país e aumento da segurança energética; a segunda refere-se aos ganhos de escala, uma vez que, em decorrência do aumento da produção há uma tendência de diminuição dos custos médios de produção da energia por MW.

Por fim, por mais que a energia eólica apresente sustentabilidade, ela ainda é causadora de alguns impactos socioambientais (decorre do barulho gerado pelos aerogeradores e da alta velocidade das hélices), sendo pertinente mencionar os sonoros e os visuais. Contudo, em razão do bem-estar da população, há legislação para regular essas questões e, diante disso, devem atender as normatizações previstas e adequar o barulho das turbinas aos padrões determinados por lei (ENERGIA ÉOLICA, 2018, *online*).

## 5 ESTUDO DE CASO

Por meio deste estudo de caso, se analisou objetivamente a viabilidade da implantação de um parque eólico na cidade de Goianésia, Goiás, levando em conta as dificuldades enfrentadas no setor de energia elétrica, e possibilitando como solução secundária para o fornecimento de energia no município.

### 5.1 MÉTODOS DE ANÁLISE

Para possibilitar o dimensionamento e análise é preciso basear-se o estudo levando em consideração vários fatores, dentre eles estão: local escolhido, relevo, modelo de aerogerador, além da disposição da velocidade média de vento.

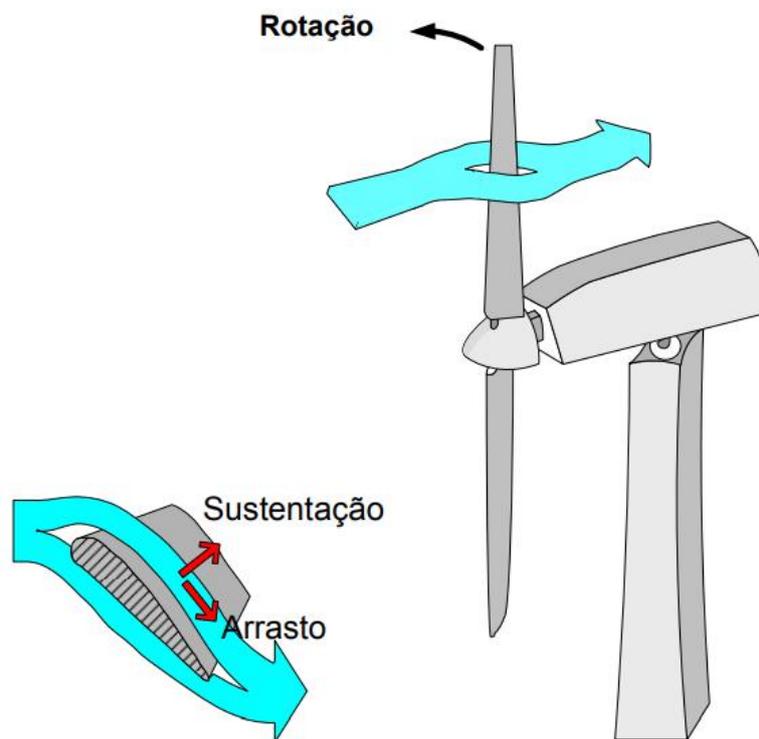
#### 5.1.1 Fundamentos da Geração Eólica

O aerogerador é o principal componente da máquina eólica, sendo responsável na conversão da energia cinética originada pelos ventos para energia elétrica. Buscando entender a estrutura e os conceitos diante dessa importante fonte de energia sustentável, é ponderoso se analisar o cálculo da potência efetiva gerada pelo aerogerador, juntamente explorando a dinâmica do vento e das pás.

- Aerodinâmica

A Figura 14 exibe um corte transversal de uma pá eólica. Por meio desse modelo expõe o efeito do vento, ocasionando a força de arrasto e de sustentação.

**Figura 10** - Principais forças aerodinâmicas resultante da pá da turbina.



Fonte: ROCHA, 2008.

Os modelos das turbinas exibem características aerodinâmicas semelhantes às dos aeroplanos. O vento passa pelas pás sobre o lado mais longo, criando uma área de baixa pressão. Esse diferencial de pressão entre as duas superfícies proporciona um gradiente de pressão, ocasionando uma menor pressão na parte superior, e em decorrência disso gerando a força de sustentação (SCHUTZER, 2012).

- Potência

Para se obter a potência calcula-se a derivação provinda da energia cinética. Percebe-se que a potência é proporcional a velocidade do vento ao cubo. Assim, a equação 1 demonstra a sensibilidade da geração de energia eólica devido a variação do vento.

$$P_v = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_v^3 \quad (1)$$

$P_v$  : Potência do Vento (W)

$p$  : Densidade do ar ( $kg/m^3$ )

$A$  : Área da varredura do rotor ( $m^2$ )

$V_v$  : Velocidade do vento ( $m/s$ )

Após o cálculo da potência do vento, por meio da equação 2 se calcula a potência de saída do rotor da turbina:

$$P_{rot} : \frac{1}{2} \times C_p(\lambda) \times p \times A \times V_v^3 \quad (2)$$

$P_{rot}$  : Potência do rotor ( $W$ )

$C_p(\lambda)$ : Coeficiente de Potência de Betz

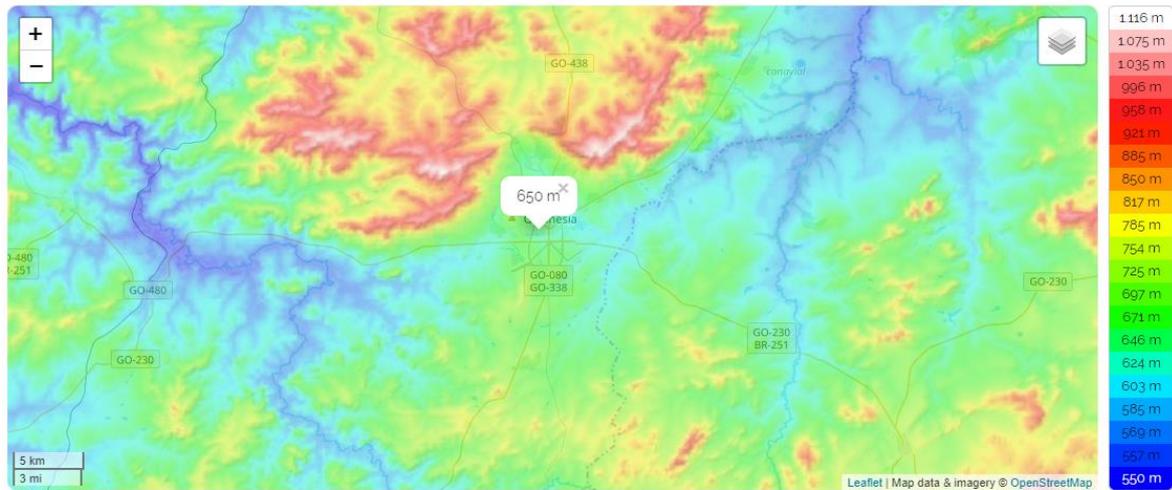
Nesta equação, através do teorema de Betz conseguimos o coeficiente de potência  $C_p$ , no qual por meio dele associa-se o volume do ar de entrada do aerogerador com o volume de saída dele.

Deste modo, se a conversão da potência do vento na potência do rotor fosse total, ter-se-ia a velocidade do vento nula após a passagem das pás, estagnando o escoamento de ar. Fazendo uma relação com a distribuição da velocidade e da pressão do vento no caminho percorrido, pode-se encontrar o valor para o qual a potência é máxima,  $C_{p_{máx}} = 0,593$ , que acontece no momento em que a velocidade do vento na saída do gerador corresponde à da velocidade do vento na entrada. No entanto, o coeficiente real máximo que as turbinas eólicas conseguem alcançar atualmente é de apenas (MACCARINI, 2009).

- Local Selecionado para a Análise

Situada entre vales e montanhas, o município de Goianésia localizado no estado de Goiás, possui uma altitude média de 650m e uma área de 1547 km<sup>2</sup>.

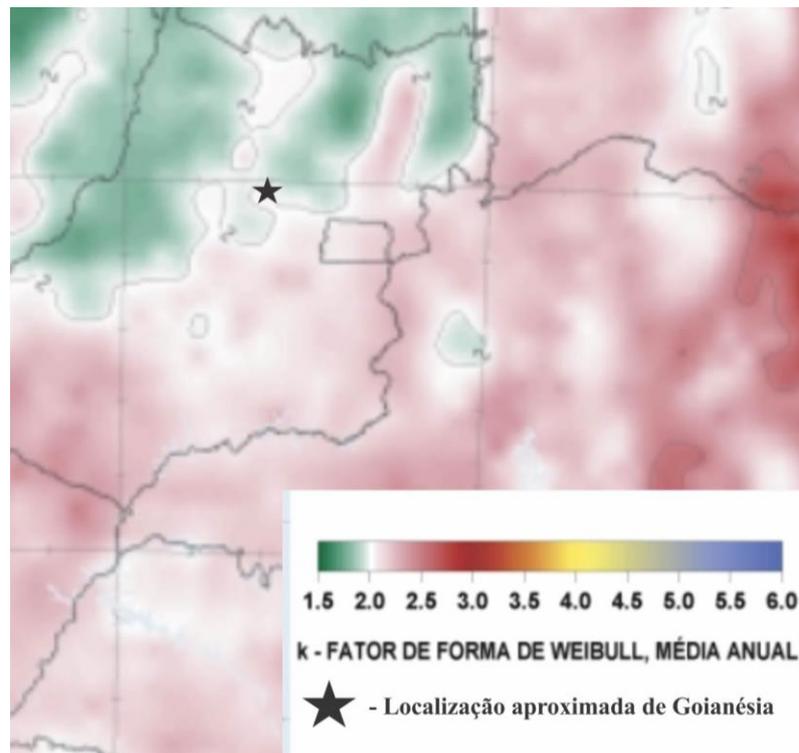
**Figura 11 - Mapa de Relevo de Goianésia – GO.**



Goianésia, Microrregião de Ceres, Mesorregião Centro Goiano, Goiás, Região Centro-Oeste, Brasil (-15,31183 -49,11620)

**Fonte:** TOPOGRAPIC-MAPA, 2019.

**Figura 12 - Mapeamento do Fator de Forma de Weibull.**

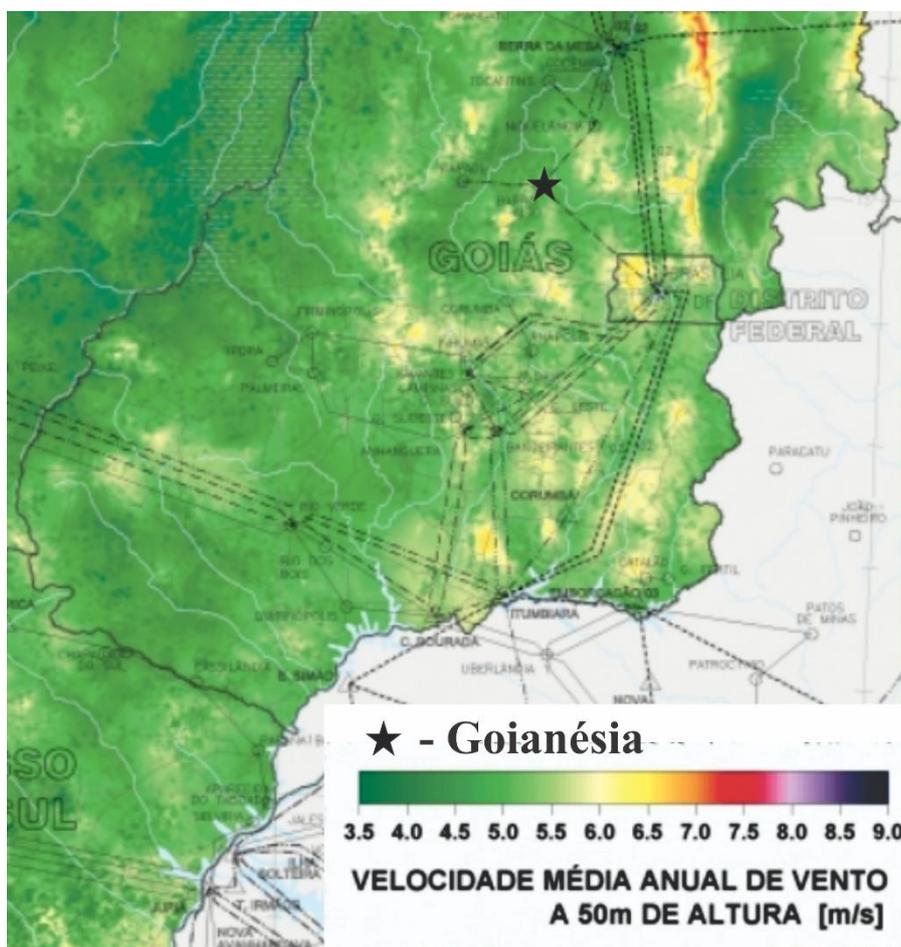


**Fonte:** CRESESB, 2001.

Provindo do Atlas do Potencial eólico Brasileiro, AMARANTE (2001), analisa a média de ventos anuais no interior do estado de Goiás levando em consideração suas direções predominantes.

Após a análise e comprovação do fator de forma de Weibull, se determinou a média anual de velocidade dos ventos na região selecionado para o estudo, obtendo o valor de 5,5m/s.

**Figura 13 - Velocidade Média Anual de Ventos**



Fonte: AMARANTE et al. (2001).

## 5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para comprovação de dados foi feita uma simulação, onde trabalhou-se com um gerador de fabricação dinamarquesa “*Neg Micon*”, modelo NM64/1500 com 3127 m<sup>2</sup> de

área de varredura. Para efeitos de cálculos adotou-se  $\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$  e para velocidade dos ventos usou 5,5 m/s. Por fim, empregou-se para o coeficiente  $C_p = 0,45$ , sendo utilizado devido ao valor máximo que se pode obter através dos modelos mais usuais no Brasil.

**Figura 14 - Aerogerador Modelo - NM64/1500**



**Fonte:** WINDER POWER, 2019.

$$P_{rot} : \frac{1}{2} \times 0,45 \times 1,25 \frac{kg}{m^3} \times 3127m^2 \times \left(5,5 \frac{m}{s}\right)^3 = 146,32kW \quad (3)$$

Essa potência resultaria em uma geração de  $105351,5kWh$  por mês. Para se ter maior entendimento, se considerarmos um parque eólico com 30 turbinas semelhantes a esta, teríamos a geração de  $3,16 \times 10^9 kWh$  por mês.

A média atual de consumo do brasileiro é de  $153 kWh$  por mês, segundo a ANEEL (2019), Goianésia atualmente encontra-se com 34046 unidades consumidoras, a potência gerada pelo aerogeradores seria capaz de atender pouco mais da metade da população, mas apesar desse fornecimento, esse meio de geração de energia é viável para a região.

Para explicar essa inviabilidade comparamos a cidade de Goianésia com a cidade Rio do fogo – RN, onde está localizada em uma região de grande influência do vento, esse potencial mensal gerado pelas mesmas 30 turbinas seria o equivalente a  $9,12 \times 10^9 kWh$ , aproximadamente 3 vezes maior que o potencial resultante em Goianésia.

Além disso, outro fator impactante nessa análise é a velocidade mínima para a rotação do aerogerador, pois para geração de energia a velocidade do ar deve estar acima de 5,0 m/s. Apesar da velocidade média anual em Goianésia ser de 5,5 m/s em épocas do ano, esse valor cai pela metade, impossibilitando a geração de energia. Já em Rio do Fogo – RN, o vento se manter praticamente em velocidade constante durante todos os meses dos anos.

## 6 CONCLUSÕES

A geração de energia provinda dos ventos é bastante produtiva, mas para se ter bons resultados a viabilidade de uma implantação desse tipo de modelo de energia deve ser bastante estudada, todo tipo de aspecto deve ser considerado para se obter uma capacidade gerada considerável para se manter ao longo do ano.

Em relevância a esses aspectos a análise clima e relevo é de extrema importância, devido que toda a produção está ligada diretamente as condições dos ventos e de sua altitude. No estudo de caso verifica-se a situação de Goianésia – GO, e constata-se deficiências para esse modelo de produção energética.

Para possibilitar a pesquisa, foi escolhido um modelo de aerogerador onde teríamos como base sua área de varredura e sua capacidade de geração final. E em detrimento a esse fator, se fez notável outro ponto que se distancia a possibilidade de implantação. Para se conseguir uma geração de energia satisfatória, é necessário ter além de uma média anual de ventos acima de 5,0 m/s, esse fluxo deve-se manter constante. Por meio desse ponto, observamos que apesar de Goianésia ter uma média anual de ventos superior a 5,0 m/s, esse fluxo não é constante, pois em alguns meses no ano a velocidade dos ventos não ultrapassa 3,0 m/s.

Além dos fatos destacados, foi contabilizado ainda um questionamento se a capacidade gerada seria suficiente para suprir a necessidade da demanda do município. E relatamos que quantidade gerada seria apenas como fonte para pouco acima da metade da população local, o que deixaria uma parte das residências sem acesso a essa fonte de energia.

Com base nesse estudo, destacou-se que para a implantação desse tipo de modelo energia deve-se seguir critérios de estudos que se torne viável e, por meio disso, mostramos que para a cidade de Goianésia - GO esse tipo de geração de energia é inviável e incompatível com a região.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Jose Jakson Amancio. **Estimativa da Potência, Perspectiva e Sustentabilidade da Energia Eólica no Estado do Ceará**. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pós-Graduação em Recursos Naturais. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) 163p, 2006.

ALVES, Jose Jakson Amancio. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], 2010.

ALVES, Jose Jakson Amancio. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Grupo de Estudos em Recursos Naturais**, Paraíba, p. 166-187, 11 dez. 2009.

ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 6, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://www.rbgdr.net/012010/artigo8.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

AMARANTE, O. A. C.; ZACK, J.; SÁ, A. L. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília: MME. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001.

ANEEL (2008), Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3a ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1687](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1687)

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Chamada Aneel de Projetos P&D Estratégico nº 017/2013**. Brasília: ANEEL, 2013. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/chamadas-de-projetos-de-p-d/-/asset\\_publisher/4f6nNc-41iP9m/content/chamada-de-projeto-de-p-d-estrategico-n-017-2013/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fchamadas-de-projetos-de-p-d%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_4f6nNc41iP9m%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_count%3D1](http://www.aneel.gov.br/chamadas-de-projetos-de-p-d/-/asset_publisher/4f6nNc-41iP9m/content/chamada-de-projeto-de-p-d-estrategico-n-017-2013/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fchamadas-de-projetos-de-p-d%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_4f6nNc41iP9m%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D1)>. Acesso em: 10 nov. 2019.

AZEVEDO, R. L. S. et al. Comunicação: Brazil Windpower 2012. Rio de Janeiro: BNDES, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/Hdku6V>>. Acesso em: 28 out. 2019.

BNDES. Potencial exportador da indústria eólica brasileira para o Cone Sul e o papel do financiamento. **BNDES Setorial**. 37. p 5-32, 2012.

BNDES. Regras para o credenciamento e financiamento de aerogeradores. **BNDES**. s/d. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Ferramentas\\_e\\_Normas/Credenciamento\\_de\\_Equipamentos/credenciamento\\_aerogeradores.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Normas/Credenciamento_de_Equipamentos/credenciamento_aerogeradores.html)>.

Acesso em 16 set 2019.

CASTRO, L. M.; MOTTA, R. S.. Mercado de Carbono no Brasil: analisando efeitos de eficiência e distributivos. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, v. 34, n. 125, p. 57-78, 2013.

CENTRO de Referência das Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. [S. l.], 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?> Acesso em: 6 nov. 2019.

DIANA, Juliana. **Energia Eólica**. Santa Catarina, 2018. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/energia-eolica/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

DINCER, I. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 4, n. 2, p. 157-175, jun. 2000.

DINCER, I.; ROSEN, M. A. Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, n. 2, p. 169-189, abr. 2005.

DINCER, I.; ROSEN, M. A. Energy as a Driver for Achieving Sustainability. **International Journal of Green Energy**, v. 1, n. 1, p. 1-19, 26 dez. 2004.

DINCER, I.; ROSEN, M. A. Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, n. 2, p. 169-189, abr. 2005.

DUTRA, R. M. “**Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do Proinfa.**” Tese de Doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 2007.

DUTRA, R. M. **Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira fase do Proinfa**, 2007. 437 f. Tese Doutorado – Curso de Engenharia Do Departamento de Ciências em Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/tese/200704\\_dutra\\_r\\_m\\_dr.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/tese/200704_dutra_r_m_dr.pdf).

Acesso em: 08 nov 2019.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, A.S.” Incentive Policies for Promoting Wind Power Production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) Under the New Brazilian Electric Power Sector Regulation”. *Renewable Energy*, v. 33, p. 65-76, 2008.

DUTRA, R. M.; TOLMASQUIM, M. T. Estudo de viabilidade econômica para projetos eólicos com base no novo contexto do setor elétrico. **Revista Brasileira de Energia**, v. 9, p. 135-158, 2002.

ELETROBRÁS. **História**. 2010. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/-data/Pages/LUMISB33DBED6PTBRIE.htm>>. Acesso em 11 jul. 2019.

**EÓLICA: energia para um futuro inovador**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>. Acesso em: 13 jun. 2019.

EPE (2009), Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2009. Brasília: EPE, 2009.

EPE - EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS - Cenários Macroeconômicos para Projeção do mercado de energia elétrica, Brasília, 2006.

EPE - EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS - Plano Decenal de Expansão 2006-2015, Brasília, 2006.

ERBR. Energias Renováveis. *In: Energias Renováveis*. [S. l.], 27 maio 2019. Disponível em: <https://www.erbr.com.br/>. Acesso em: 15 out. 2019.

FRANCISCO, C. M. **Connecting Renewable Power Plant to the Brazilian Transmission Power System**. The Institute of Brazilian Business and Public Management Issues. The Minerva Program. The George Washington University. Washington, DC. 2012. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Artigo\\_Cecilia\\_Francisco.-pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Artigo_Cecilia_Francisco.-pdf)>.

GOLDEMBERG, José. The case for renewable energies. Relatório Temático, Secretaria da Conferência Internacional para Energias Renováveis, janeiro, 2007.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias Renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, [S. l.], 2007.

GOLDEMBERG, J. **Energia e desenvolvimento sustentável**. São Paulo. Ed, Blucher, 2010. Série Sustentabilidade.

GREENPEACE, EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL 2007. Energy [R]evolution Report.

GREENPEACE, “A Caminho da Sustentabilidade Energética”. São Paulo, 2008.

HEAL, Geoffrey (2009). **The Economics of Renewable Energy**. Working Paper 15081. National Bureau of Economic Research, 2009. Disponível em: [http://www.nber.org/papers/w15081.pdf?new\\_window=1](http://www.nber.org/papers/w15081.pdf?new_window=1)

MACCARINI, M. C. Inversor Monofásico Sincronizado para a Conexão de um Gerador Eólica à Rede Elétrica: Estudo, Projeto e Implementação. 2009. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MAPAS topográficos. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://pt-br.topographic-map.com/?page=1>. Acesso em: 13 nov. 2019.

MOLDAR um futuro energético seguro e sustentável para todos. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 17 set. 2019.

JOHANSSON, T. KELLY, H.; REDDY, A. K. N.; WILLIAMS, R. H. (Ed.). **Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity**. Island Press, Washington, DC. 1993.

MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 125-142, jan. 2013.

MME/EPE [Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética]. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Brasília: MME/EPE, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019.

MME. **Leilões de Energia Elétrica. Ambientes de Contratação**. Ministério de Minas e Energia. 2014. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/programas/leiloes\\_de\\_energia/menu/inicio.html](http://www.mme.gov.br/programas/leiloes_de_energia/menu/inicio.html). Acesso em 20 jun. 2019.

MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2012.

MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2013.

MME [Ministério de Minas e Energia]. **Capacidade Instalada de Energia Elétrica 2016**. Brasília: MME, 2019.

MIDILLI, A.; DINCER, I.; AY, M. Green energy strategies for sustainable development. **Energy Policy**, v. 34, n. 18, p. 3623-3633, dez. 2006.

NASCIMENTO, Paulo A. Meyer M. Considerações sobre as indústrias de equipamentos para produção de energias eólica e solar fotovoltaica e suas dimensões científicas no Brasil. **RADAR**, [S. l.], Jun 2015.

NETO, Calisto Rocha de Oliveira; LIMA, Elaine Carvalho de. MERCADO EÓLICO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: PERSPECTIVAS DE FORMAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA EÓLICA MOTRIZ PARA O NORDESTE BRASILEIRO. **Revista Orbis Latina**, [s. l.], v. 6, ed. 2ª, p. 129-153, Jul/Dezembro 2016.

O QUE é desenvolvimento sustentável? [S. l.], 2019. [https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/desenvolvimento\\_sustentavel/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/).

O QUE É ENERGIA RENOVÁVEL? [S.l.], 17 dez. 2009. Disponível em: <http://revistaecoturismo.com.br/turismo-sustentabilidade/o-que-e-energia-renovavel/>. Acesso em: 20 ago. 2019

PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. **Economia em destaque**, Salvador, v. 144, p. 4-11, Outubro 2006.

QUEIROZ, R. Setor elétrico brasileiro: uma história de reformas. **Grupo de Economia da Energia. Blog Infopetro**. 09 nov. 2013. Disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2013/09/09/setor-eletrico-brasileiro-uma-historia-de-reformas/>>. Acesso em 27 jul. 2019.

REIS, Pedro. **História e funcionamento da Energia Eólica no Brasil**. [S. l.], 15 fev. 2011. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/historia-e-funcionamento-da-energia-eolica-no-brasil/>. Acesso em: 13 jun. 2019.

ROGGIA, L.; et al. **Design of a sustainable residential microgrid system including PHEV and energy storage device**. In: Proceedings of the 2011-14th European Conference on Power Electronics and Applications. p. 1-9, 2011.

**SETOR Elétrico Brasileiro**. [S. l.], 16 maio 2019. Disponível em: <https://ri.energisa.com.br/a-energisa/setor-eletrico-brasileiro>. Acesso em: 13 jun. 2019.

SILVA, G. T. F. **Encargos e tributos no novo modelo de comercialização de energia elétrica no Brasil**. (Monografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SCHUTZER, H. Estudo de Energia Eólica e Pequena Central Hidrelétrica e Simulação em Conjunto na Região do Ribeiro do Lobo. 2012. 81 f. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 10 nov. 2019.

SUSTENTABILIDADE: Da teoria à prática. [S. l.], 2019. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/participe/porque\\_participar/sustentabilidade/](https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/). Acesso em: 4 nov. 2019.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro**. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia; Brasília: EPE, 2012.

VARGAS, Soraida Aguilar. **Previsão da distribuição da densidade de probabilidade da geração de energia eólica usando técnicas não paramétricas**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, 2015.