

NILTON DO VAL FILHO

RONALDO QUINTILIANO DA LUZ FILHO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM
PARQUE EÓLICO NA CIDADE DE IPANEMA ATRAVÉS DE
AEROGERADORES SÍNCRONOS**

BACHARELADO

EM

ENGENHARIA ELÉTRICA

DOCTUM-MG

2015

NILTON DO VAL FILHO

RONALDO QUINTILIANO DA LUZ FILHO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM
PARQUE EÓLICO NA CIDADE DE IPANEMA ATRAVÉS DE
AEROGERADORES SÍNCRONOS**

Trabalho de Monografia apresentado à Banca Examinadora do Instituto Tecnológico de Caratinga – ITC/DOCTUM como exigência parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do professor Daniel Buters Mageste.



ITC – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA

Credenciado pela Portaria nº 3.977 de 06/12/2004

Curso: Engenharia Elétrica

Reconhecido pela Portaria nº 286 de 21/12/2012.

FOLHA DE APROVAÇÃO

A Monografia intitulada: Viabilidade Técnica de Implantação de um Parque de Energia Eólica na Cidade de Ipanema através de Aeroeradores.

Elaborada pelos Alunos: Nilton do Val Filho; Ronaldo Quintiliano da Luz Filho

Foi aprovada por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Integradas de Caratinga – FIC, como requisito parcial da obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Caratinga, dezembro de 2015

Orientador.

Examinador 1

Examinador2

“Eu sou a minha cidade, e só eu posso mudá-la. Mesmo com o coração sem esperança, mesmo sem saber exatamente como dar o primeiro passo, mesmo achando que um esforço individual não serve para nada, preciso colocar mãos à obra. O caminho irá se mostrar por si mesmo, se eu vencer meus medos e aceitar um fato muito simples: cada um de nós faz uma grande diferença no mundo”.

Paulo Coelho

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus por ser essencial em minha vida.

À minha família, em especial a minha mãe, por sua capacidade de acreditar em mim. À minha irmã Tânia, pelo incentivo incondicional. A presença de vocês significou segurança e certeza que não estou sozinho nesta caminhada.

Nilton.

Dedico este trabalho a Deus e ao meu pai, Ronaldo e minha mãe Célia, que sempre estiveram presentes nos momentos mais importantes de minha vida, dividindo tribulações e alegria.

Dedico a todos os amigos em especial Agostinho e Maílson, família e companheiros de jornada, que me ajudaram nas horas mais difíceis e sempre me deram suporte para esta difícil caminhada.

Ronaldo Filho

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dados todas as condições de caminhar até conseguirmos esta vitória.

Ao Prof. Daniel Buters Mageste, meu orientador e amigo de todas as horas, que acompanhou o desenvolvimento deste trabalho dando suporte para a sua realização.

Ao Prof. Joildo Fernandes da Costa Junior pelas cobranças, insistências e dedicação ao nosso aprendizado e crescimento intelectual.

A todos os professores que contribuíram para a nossa formação e todas as demais pessoas que de alguma forma permaneceram próximas a nós fazendo esta vida valer cada vez mais à pena.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Formula de Lettau

Equação 2 - Fator de Capacidade

Equação 3 – Energia Estimada

Equação 4 – Energia Anual

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Gerador de polos lisos;
- Figura 2 – Área para estudo;
- Figura 3 – Área para estudo da implantação do Parque Eólico;
- Figura 4 – Visão da área onde poderão ser instalados os aerogeradores;
- Figura 5 – Demonstração das camadas atmosféricas;
- Figura 6 – Atlas eólica de Minas Gerais
- Figura 7 – Visualização do local indicado ao parque eólico
- Figura 8 – Aerogeradores alinhados ou enfileirados;
- Figura 9 – Curva de Potência típica de uma turbina eólica;
- Figura 10 – Princípio de Funcionamento de um aerogerador;
- Figura 11 – Gerador Síncrono;
- Figura 12 – Nacele de um gerador síncrono;
- Figura 13 – Partes de um aerogerador síncrono;
- Figura 14 – Pá de aerogerador em transporte;
- Figura 15 – Corte lateral de um cubo montado;
- Figura 16 – Vista de uma nacele aberta;
- Figura 17 – Torre treliçada;
- Figura 18 – Montagem de uma torre tubular;
- Figura 19 – Escavação para construção da base de um aerogerador;
- Figura 19.1 – Armação da estruturada base;
- Figura 19.2 – Concretagem;
- Figura 19.3 – base concretada;
- Figura 19.4 – Torre tubular a ser montada na base;
- Figura 19.5 – Torre após a montagem;
- Figura 20 – Unidade de controle e medidores de velocidade e direção;
- Figura 21 – Conversor AC/DC;
- Figura 22 – Vista Geral de um grupo de transformadores instalados em um sítio protegido;
- Figura 23 – Concentração de dióxido de carbono no ar;
- Figura 24 – Concentração de CO₂;
- Figura 25 – Anomalia da Temperatura Global (°C);
- Figura 26 – Oferta de energia primária o Brasil em 2004;
- Figura 27 – Evolução da oferta de energia no Brasil

Figura 28 – Cálculo da área útil e número dos aerogeradores.

Figura 29 – Uso compartilhado do solo para energia eólica e pecuária;

Figura 30 – Uso compartilhado do solo para pecuária e energia eólica;

Figura 31 – A energia eólica e a produção agrícola;

Figura 32 – Parque eólico harmonizado com o ambiente;

Figura 33 – Sombra de um aerogerador;

Figura 34 – Parâmetros de projeto de um Parque Eólico;

Figura 35 – Esquema da metodologia para o projeto de Estudo da Viabilidade Técnica de um Parque Eólico;

.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico 1 – Medidas de Vento e rajadas no local escolhido;

Gráfico 2 – Medidas de Vento e Rajada;

Gráfico 3 – Estimativa de mortes anuais de pássaros nos países baixos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interferência dos aerogeradores no sistema elétrico e suas causas.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Corrente Alternada
BND	Banco o Nordeste
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CLA	Camada Limite da Atmosfera terrestre
DC	Corrente Contínua
EAG	Energia Anual Gerada
ENE	Este/Nordeste
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento
GEE	Gerador do Efeito Estufa
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias
INSS	Instituto Nacional de Serviço Social
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
KW	Kilowats
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PCH	Pequenas Centrais Elétricas
PIS	Programa de Integração Social
PMSG	Geradores Síncronos de Imãs Permanentes
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
TJLP	Taxa de Juro a Longo Prazo.

RESUMO

A busca de energia alternativa é no Brasil de hoje, um dos maiores desafios. A escassez de água no país diminui assustadoramente a geração de energia de fonte limpa, ao mesmo tempo em que obriga o consumo de energia proveniente de fontes como a atômica que além de ser uma energia perigosa é de custo elevado. Por isso, projetar um Parque Eólico é de extrema importância, pois esta é uma fonte de energia limpa e renovável, que, apesar do custo de implantação, ela advém de uma fonte inesgotável que pode ajudar a vencer a crise energética do País. Portanto esta atividade, objetiva mostrar que é possível gerar energia limpa e mais barata no Brasil, onde os ventos são vigorosos abundantes e alcançam uma velocidade que pode ser aproveitada com inúmeras vantagens sobre as demais. Para a implementação do Parque Eólico, foram analisadas diversas áreas e escolhida uma que, a 100 metros de altura, apresenta um tipo de vento constante e com uma velocidade favorável para a movimentação dos aerogeradores. Foi feita uma pesquisa de campo com o objetivo de encontrar a melhor área para a instalação do Parque Eólico e através de uma revisão bibliográfica que foi estudada, como forma de abalizar este projeto, concluiu-se pela possibilidade de instalação de 20 unidades de Aerogeradores em uma área no Córrego Ariranha, por onde passa uma rede de alta tensão da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais – que pode ser a rede de coleta da energia produzida. Cada Aerogerador instalado está apto a produzir cerca de 500 Kw cada um, que será disponibilizado para conexão com a linha de transmissão oficial do Estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Energia. Renovável. Ventos. Transmissão.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS	16
1 PARQUE EÓLICO EM IPANEMA.....	23
1.1 MEDIÇÃO DOS VENTOS.....	26
1.1.1 Direção dos Ventos	28
1.2 AEROGERADORES	29
2 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	41
2.1 MEIO AMBIENTE	45
2.1.1 Os Impactos Socioambientais da Energia Eólica	50
3 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	56
4 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIA.....	67
ANEXOS	71
ANEXO A - Atlas Eólicos.....	72
ANEXO B – Fotos ilustrativas da montagem de um parque Eólico.	73

INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica limpa, no Brasil, é hoje a maior demanda do mercado, mesmo porque a energia mais barata, a hidráulica está cada vez mais escassa, devido ao fenômeno da falta de chuva na maioria das regiões brasileiras.

Devido ao fenômeno da seca, principalmente nas regiões das usinas elétricas que utilizam a água como fonte de força produtiva, o país está sendo obrigado a usar, há vários meses, fontes de energia atômicas que encarecem a produção e influencia diretamente no custo de vida de toda a população.

Portanto a busca de alternativas, como a geração de energia pela luz solar e, no presente caso a utilização dos ventos como fonte produtiva de energia, não é só uma necessidade, mas também uma estratégia para não prejudicar ainda mais o povo, aumentando a crise econômica brasileira.

Além disso, a energia eólica é limpa, isto é, não emite partículas poluentes não agravam os problemas ambientais e tem a vantagem de ser uma fonte renovável, não esgotando pela sua utilização, pois os ventos estão sempre presentes na natureza.

O Brasil é um país privilegiado na questão da utilização dos ventos, entre os vários Estados onde a possibilidade de produzir energia eólica está Minas Gerais, onde se localiza a Cidade de Ipanema, que por sua topografia, embora com algumas montanhas, existem áreas planas que favorecem a utilização dos ventos como fonte de energia.

Apesar dos problemas existentes no que diz respeito aos recursos necessários para a sua implantação, os resultados que poderão ser obtidos superam os obstáculos, principalmente aqueles relativos ao financiamento de uma usina eólica.

Em detrimento dos custos de implantação de uma usina eólica estão as vantagens que confirmam a crescente utilização, não só no Brasil, como em todo o mundo, apresentando um incremento energético mundial em cerca de 230% nos últimos cinco anos¹.

Outra vantagem da implantação de parques de energia eólica é a geração de empregos e consequente desenvolvimento socioeconômico da região onde é implantada descentralizando o desenvolvimento.

Este trabalho pretende apresentar as viabilidades técnicas da implantação de um parque eólico em Ipanema – MG, analisando as possibilidades locais para a sua implantação.

¹ GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL.. **Wind Power is Crucial for Combating Climate Change**, 2010. Disponível em: <http://www.gwec.net/uploads/media/Wind___climate_fact_sheet_low_res.pdf>. Acesso em: 27/08/2015.

Será feito um estudo do terreno, elaborando critérios que considere os aspectos técnicos e de infraestrutura, com o estudo do vento e suas características para o uso na geração de eletricidade. Será feito também um estudo da disposição das máquinas no parque eólico, bem como definindo a distância entre os aerogeradores e sua disposição no terreno.

Será considerada também a distribuição da energia produzida bem como a possibilidade de inserir a produção energética na rede oficial da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG – como forma de contribuir para melhorar o abastecimento de energia não só na região, mas em todo o Brasil.

Este trabalho será apresentado, a partir de algumas considerações conceituais. Em seguida será dividido em três capítulos.

O primeiro com o título Parque Eólico em Ipanema apresentará o estudo do terreno, local, possivelmente será instalado o Parque Eólico, trazendo ainda a medição e a direção dos ventos e um estudos dos aerogeradores.

O segundo capítulo tratará da implementação do projeto, o estudo do meio ambiente, os impactos socioambientais da energia eólica e no terceiro capítulo será feita uma análise da viabilidade técnica do Projeto.

No final serão feitas as considerações finais em seguida serão apresentadas as referências bibliográficas e os anexos.

CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

Não só o Brasil, como o mundo de modo geral, está enfrentando diversas crises, econômica, política e uma das piores para a economia é a energética.

A crise no setor de energia está prejudicando consideravelmente, pois com a diminuição do uso da energia hidráulica, devido à diminuição do potencial das quedas d'águas ocasionado pelo descontrole na precipitação pluvial, o país está ocorrendo a outros tipos de fontes de energia e uma delas é a energia atômica que além de cara é perigosamente suja e pode acarretar diversos problemas, não só na economia, mas também no meio ambiente.

Segundo Milanez (2006)², a “tecnologia nuclear tem o estigma do perigo e dos resíduos tóxicos além das “catástrofe”, “bomba” e seus exemplos marcantes, Chernobyl e Hiroshima”.

O uso de energia, como a nuclear passou a ser uma necessidade. Custódio (2009), afirma que isso se deve aos problemas da escassez de energia. Para ele, “nas últimas décadas o mundo tem visto diversas crises energéticas que se agravam com as flutuações do preço do petróleo, desregulamentação dos mercados de eletricidade principalmente nos anos noventa, e atualmente pressões ambientais”³.

A procura de energia no mundo é cada vez maior. Pinho, (2008), “prevê-se que a procura energética mundial (e das correspondentes emissões de CO₂) aumente cerca de 60% até 2030. O consumo global de petróleo aumentou 20% desde 1994, e prevê-se que a procura global de petróleo cresça 1,6% ao ano”⁴.

Nesse sentido, o autor destaca que “as energias renováveis já são a terceira fonte de geração de eletricidade no mundo (depois do carvão e do gás) e têm potencial para continuar a crescer, com todas as consequentes vantagens ambientais e econômicas”⁴.

Por isso se faz necessário buscar alternativas de energia limpa e uma delas é a energia proveniente dos ventos – a eólica, que é uma das fontes de energia que não acarretam a emissão de gases do efeito estufa (GEE) – a energia mecânica contida no vento vem se destacando e demonstra potencial para contribuir significativamente no atendimento dos

² MILANEZ, J. V. et al. **Energia Nuclear Socialmente aceitável como solução possível para a demanda energética brasileira**. Revista Ciências do Ambiente On-Line Fevereiro, 2006. Volume 2, Número 1.

³ CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009, p. 1.

⁴ PINHO, António Monteiro. **Gestão de Projectos de Parques Eólicos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008, p. 28.

requisitos necessários quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental⁵.

Além disso, os estudos apontam que o aproveitamento da energia eólica é uma realidade em diversos países e que muitos já investem nesta tecnologia e já utilizam a energia dos ventos nos diversos segmentos sociais, como indústrias, residências e na iluminação pública⁶.

O Brasil ainda não está totalmente desenvolvido na questão do aproveitamento da energia eólica, ficando muito a desejar, se comparado a outros países, principalmente os europeus. Mas isto não significa que o país está parado no tempo, pois existem sim, políticas de incentivo que estão sendo implementadas no país, visando melhorar o seu desempenho para os próximos anos. Dentre estes esforços está o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro que mostra a viabilidade econômica de projetos de aproveitamento dos recursos renováveis no país, entre elas, a energia eólica⁷.

E evidente que as fontes de energia elétrica no Brasil têm seus principais ramos em hidráulica, termoelétrica, térmica, nuclear e a eólica que vem crescendo. No qual sua maior geração é através de hidrelétricas, devido o grande número de bacias hidrográficas existentes em nosso país, mas devido à grande escassez de chuva e a grande demanda de energia em nosso país, grandes reservatórios e barragens hidrelétricas vêm perdendo grandes volumes, baixando seus níveis de água, causando assim à diminuição de geração e dado ao alto consumo de energia, buscaram outras fontes energéticas, no qual podem vir a prejudicar o meio ambiente.

Em meio essa grande crise o governo pretende aumentar o potencial elétrico com outros tipos de fontes energéticas, conforme cita em artigo o professor Ernani Sartori:

Este governo pretende agora instalar 49 usinas termoelétricas no Brasil inteiro, movidas a gás natural e a serem compradas de multinacionais. E, se as concessionárias que possuirão essas malfadadas usinas estão sendo privatizadas, por que os gastos com as instalações estão sendo feitos com o dinheiro do povo pobre e indo em benefício de particulares multibilionários? Não devia ser o povo brasileiro a ganhar com a “venda”? E ao contrário do que tem sido divulgado no Brasil como propaganda enganosa, o gás natural não é energia limpa, ele é apenas 20% menos poluente do que o petróleo. Para cada GWh produzido com gás natural, são emitidas em torno de 500 toneladas de CO₂ para a atmosfera. E para que essas 500 toneladas sejam lançadas ao ar do Brasil, basta apenas duas horas de operação de cada uma dessas usinas que querem desnecessariamente espalhar pelo País. Os gases poluentes

⁵ GLOBAL Wind Energy Council, Global Wind Energy Outlook 2006. Disponível em <http://www.gwec.net/index.php?id=65>. Acesso em 27/08/2015.

⁶ P. Agnolucci, Renew. Sustain. Energ. Rev. 11, 951, 2007.

⁷ O.A.C. do Amarante, M. Brower, J. Zack e A.L. Sá, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro** (Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001).

emitidos agora para a atmosfera demorarão 150 anos para se dissipar. Além de todo esse dano, a termoelétrica ainda tem capacidade de causar outros enormes prejuízos ao ambiente. Uma termoelétrica necessita de enormes volumes de água para a refrigeração de seus equipamentos e por causa disso ela sempre é instalada perto de grandes mananciais, como rios e lagos. A termoelétrica pega a água fria do rio e a devolve muito quente ao caudal, cuja água então aquecida é capaz de destruir a sua fauna e flora.⁸

Juntando tudo a isso a emissão de gases do efeito estufa muito alta e a poluição local do ar com elementos que causam chuva ácida e afetam a respiração.

A outra parcela de demanda de energia elétrica no país que vem recebendo investimento se concentra na energia nuclear.

O Brasil possui duas usinas em operação atualmente: Angra 1 e Angra 2, instaladas no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro, com potencial de geração de 2 mil megawatts. A inauguração da usina de Angra 3 está prevista para 2015, adicionando mais 1080 megawatts de energia elétrica à disposição⁹.

Apesar deste avanço a energia nuclear não é a mais indicada para fornecimento de energia elétrica para o país.

Por outro lado, a energia eólica, permite a geração de uma energia ambientalmente limpa, que não contribui para o efeito estufa, e não é afetada pelas variações climáticas.

“Esse é o tipo de usina que mais cresce no mundo. “É a bola da vez mesmo”, diz Roberto Schaeffer, professor de planejamento energético da pós-graduação em engenharia da UFRJ.” Em uma matéria feita pelo G1 feita sobre geração de energia elétrica, 26/03/2011.

O grande aumento de investimentos nesse setor faz com que a confiança cresça a cada dia. Acreditando que antes do final da década possa produzir quanto Itaipu:

Segundo previsões da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), a participação da energia eólica na matriz energética brasileira vai saltar dos atuais 3% para 8%, alcançando, em mais alguns anos, o equivalente ao produzido pela hidrelétrica de Itaipu. No horizonte dos próximos dez anos, técnicos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério das Minas e Energia, preveem que o Brasil terá a mesma capacidade de renováveis em comparação com as fontes atuais, mesmo com a diminuição das fontes hidráulicas. O custo da energia eólica também contribui para esse avanço: seu preço já é hoje inferior ao da energia das pequenas centrais hidrelétricas, por exemplo.¹⁰

⁸ SARTORI, Ernani. **Usinas termoelétricas causam muitos danos ao ambiente e ao país.** Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2008/08/16/usinas-termoeletricas-causam-muitos-danos-ao-ambiente-e-ao-pais-artigo-de-ernanio-sartori>. Acessado em 13/03/2015.

⁹ SANTIAGO, Emerson. **Energia nuclear no Brasil.** Disponível em: <http://www.infoescola.com/geografia/energia-nuclear-no-brasil>. Acessado em 14/03/2015.

¹⁰ EQUIPE, Caminhos para o futuro. **Brasil avança em energia solar e eólica.** Disponível em: <http://epocanegocios.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Energia/noticia/2014/08/brasil-avanca-em-energia->

Entre suas diversas vantagens, temos uma tecnologia inesgotável e também não emite gases poluentes na atmosfera e por ser baseada em corrente de ventos não gera resíduo. Em suas desvantagens encontramos o ruído, impacto visual, sombra, reflexo e a interferência dos aerogeradores sobre as aves, um dos impactos da energia eólica na fauna, como já estudado em outra parte.

Portanto, estudar a viabilidade de implantar um parque eólico em Ipanema é fundamental para o desenvolvimento regional, mesmo porque possui um posicionamento geográfico privilegiado, próximo a grandes Centros Urbano, como Vitória, Ipatinga e Governador Valadares. Além disso, está conectada a estas cidades através de linhas de transmissão energética, pois está próxima a importantes usinas hidrelétricas, como a “Areia Branca” e “Pipoca” que exporta a sua energia produzida para estas e outras localidades.

Assim, a absorção da energia produzida é de grande facilidade não sendo necessários grandes investimentos nas linhas de transmissão.

No que diz respeito à mão de obra, a região dispõe de boas faculdades que estão formando engenheiros elétricos que poderão ser aproveitados, oferecendo emprego para a própria mão de obra local.

Em 2010, foi criado o Atlas Eólico de Minas Gerais que demonstrou que o Estado possui um potencial eólico de cerca de 39 GW, para a altura de 100 metros.

O que indica que este potencial supera em 2,7 vezes a Usina de Itaipu ou é 3,5 vezes maior que a Usina de Belo Monte. Devido a isso a CEMIG decidiu que participará em até 49% de empreendimentos que demonstrem viabilidade técnica, ambiental e econômico financeira, criando um departamento específico para cuidar dos empreendimentos eólicos no Estado¹¹.

Este estudo foca na Engenharia Elétrica e na tecnologia, pois os aerogeradores necessitam de técnicas acuradas tanto na parte elétrica, como também na tecnologia de ponta para a construção dos geradores bem como de suas instalações. Prima também pela automação, pois equipamentos de última geração necessitam trabalhar com autonomia, para evitar danos e prejuízos de forma a manter os custos de manutenção o mínimo possível e com maior produtividade.

Por isso é que, em Ipanema, decidiu-se pelo Gerador Síncrono é de ímã permanente

para a produção do fluxo do rotor, com a utilização de polos lisos, nos quais o entreferro é constante ao longo de toda a periferia do núcleo de ferro. Figura 1

A conexão ao sistema elétrico é feita por meio de uma conversora de frequência eletrônica formada por um conjunto retificador/inversor. Como a frequência produzida pelo gerador depende de sua rotação, essa será variável em função da variação da rotação da turbina eólica. Entretanto por conta da conversora, a frequência da energia elétrica fornecida pelo aerogerador será constante e sincronizada com sistema elétrico.¹²

Figura 1- Gerador de polos lisos



Fonte: Reis¹³

Nos geradores com polos lisos, os condutores são distribuídos ao longo da periferia, diminuindo à medida que aumenta a velocidade, sendo que o diâmetro destas máquinas é de pequenas dimensões.

Nestes casos, a máquina tem um comprimento avantajado, mas o seu momento de inércia é relativamente pequeno, comparados àquelas de polos salientes que é mais curta, mas

ielged.fieng.com.br/.../Apresentação%20Atlas%20Eólico%20MG%20-%... Acesso em 27/08/25015.

¹² CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

¹³ REIS, Joana Magda Vaz da Silva. **O comportamento dos Geradores Eólicos com conversores diante de Curto-circuito no sistema. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013, p. 54.**

com o diâmetro bem maior¹⁴.

Nos PMSG, onde o fluxo magnético do rotor é gerado por ímãs permanentes, como não tem enrolamentos de campo do rotor, a alta potência pode ser alcançada reduzindo o tamanho e o peso do gerador.

Pelo fato de não haver perdas no enrolamento do rotor, isso faz reduzir a tensão térmica sobre o rotor. Por haver também maior espessura nos entreferros, permite uma redução na concentração do fluxo magnético no seu interior, quando os geradores possuem maior número de polos.

Na prática isso possibilita a construção de geradores de baixa velocidade de rotação, com grande número de polos com dimensões pequenas com relação à potência de saída. Isso permite que o gerador (multipolos) trabalhe com baixas velocidades de rotação acopladas diretamente ao rotor da turbina eólica, e em alguns casos dispensando até mesmo a caixa de engrenagens.¹⁵

Nesta configuração toda a potência elétrica gerada pela máquina é processada pelo conversor de potência que funciona como a interface com a rede elétrica. A desvantagem destes geradores reside no fato de ímã permanente ser muito caro e propenso à desmagnetização¹⁶.

Uma grande vantagem do Gerador Síncrono é sua atuação no período de curto circuito. Por ser o principal elemento do sistema, é a fonte de energia do sistema elétrico. Neste caso o gerador síncrono supre, dentro de suas limitações, a energia solicitada pelas cargas, mantendo os níveis de tensão num estreita faixa que não comprometa os elementos periféricos, garantindo assim a estabilidade do sistema.¹⁷

O gerador síncrono é o elemento ativo do suprimento da corrente de curto-circuito e quando ele ocorre no sistema, a impedância vista pelo gerador síncrono cai consideravelmente. Isso permite ao gerador manter as condições sistêmicas, injetando no sistema, corrente de curto-circuito elevada. Neste caso o defeito somente será eliminado com o adequado funcionamento da proteção e a devida abertura dos disjuntores correspondentes. Isso ocorre porque as correntes de defeito do gerador síncrono são assimétricas e compostas

¹⁴ Idem, p. 70.

¹⁵ REIS, Joana Magda Vaz da Silva. **O comportamento dos Geradores Eólicos com conversores diante de Curto-circuito no sistema. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica**, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013, p. 57.

¹⁶ Idem p. 70

¹⁷ REIS, Joana Magda Vaz da Silva. **O comportamento dos Geradores Eólicos com conversores diante de Curto-circuito no sistema. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica**, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013, p. 58.

por uma componente contínua e uma componente alternada. A componente contínua é decrescente e aparece devido a importante propriedade de que o campo magnético, mais apropriadamente o fluxo magnético, não pode variar bruscamente, obrigando as correntes de curto das três fases partirem de zero¹⁸.

Essa compensação já é bastante favorável à escolha de um gerador síncrono. É também de extrema importância que o gerador eólico seja usado com o conversor o que o torna mais rentável quando for utilizado o gerador multipolar.

A utilização de geradores síncronos na implementação de usinas que operam a velocidade variável surgiu no mercado como uma alternativa bastante atrativa para a eliminação da caixa de transmissão mecânica. Conectadas à rede por meio de conversores de frequência, estas usinas podem operar em baixa velocidade rotacional graças a grande quantidade de polos magnéticos de seu gerador.¹⁹

Os geradores síncronos são empregados, geralmente, para aplicações de turbinas eólicas com velocidade variável. As centrais eólicas que operam a velocidade variável oferecem mais benefícios quando comparadas com centrais a velocidade fixa, uma vez que uma potência maior pode ser extraída do vento²⁰.

Com isso, espera-se que a lucratividade seja maior, mesmo com os preços finais da energia beneficie também os consumidores, tanto domésticos quanto industriais, objetivo principal deste projeto.

¹⁸ Idem p.71

¹⁹ REIS, Joana Magda Vaz da Silva. **O comportamento dos Geradores Eólicos com conversores diante de Curto-circuito no sistema. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica**, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013, p. 58.

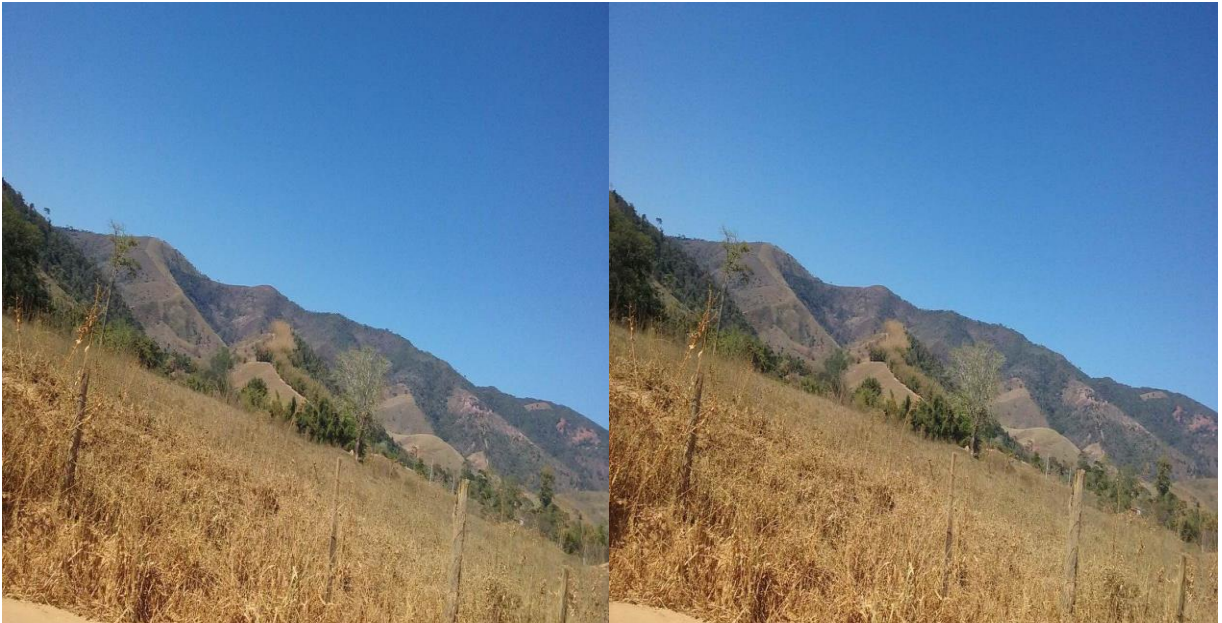
²⁰ Idem p. 77

1 PARQUE EÓLICO EM IPANEMA

Um Parque Eólico deve ser implantado em uma área propícia, onde os ventos tenham um desempenho excelente, principalmente a partir dos 100 metros de altura.

Em Ipanema, foram escolhidas duas áreas para análise: Ariranha e Piabanha. Os dois locais possuem uma superfície plana, com poucas montanhas e baixa presença de obstáculos, conforme se pode verificar nas figuras abaixo:

Figura 2 – Área para estudo (Piabanha).



Fonte: (Acervo do autor)

Analisando a Figura 2, e após estudo, decidiu procurar outro local, devido a presença de montanhas nos dois lados que aumentam a rugosidade do terreno, impedindo a formação de corrente de ar com potência suficiente para girar os aerogeradores.

Outro fator que impediu de continuar os estudos desta área se deu pelo fato de que ela fica a uma distância razoável das linhas de transmissões de energia de alta tensão pertencente à Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, a Estatal responsável pela distribuição de energia em todo o Estado de Minas Gerais.

Por este motivo, uma segunda área foi analisada, esta fica próximo MG111, que apresentou alguns pontos positivos em relação à primeira, cujos estudos serão apresentados nos próximos parágrafos.

É uma área privilegiada com todas as condições para a instalação de um Parque Eólico, diferente das apresentadas na primeira área da localidade de Piabanha.

Figura 3 – Área para estudo da implantação do Parque Eólico (Ariranha).



Fonte – (Acervo do autor)

Esta área tem todas as condições de instalação de dezenas de Aero geradores, apresentando um terreno de Rugosidade classe 1 do tipo ($Z_0 = 0,03$ m). É um terreno de fazendas com quebra-ventos afastados a mais de 1.000 m entre si, e algumas construções espalhadas, caracterizando-se por grandes áreas abertas entre alguns quebra-ventos em um terreno plano.

Para a escolha da área para a instalação do Parque Eólico em Ipanema foi considerado o Cálculo entre os elementos de rugosidade e o comprimento de rugosidade de acordo com a equação de Lettau (1969): (Equação 1)

$$Z_0 = 0,5 \frac{h \cdot s}{A_h}$$

Onde:

h = altura do elemento de rugosidade [m];

s = seção transversal na direção do vento, do elemento de rugosidade [m²];

A_h = área horizontal média dos elementos de rugosidade uniformemente distribuído [m²].

Dáí a conclusão de que a área da Figura abaixo (4) é a ideal, que está classificada na classe 1, ou seja, $Z_0 = 0,03$. Uma área aberta com poucos quebra ventos com 80% plana e 20 levemente ondulada com fazendas simples e poucos arbustos e árvores²¹.

²¹ LETTAU, H. **Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughnesselement description.** Journal of Applied Meteorology 8, 1969, ps. 828-832.

Figura 4 – Visão da área onde poderão ser instalados os aerogeradores



Fonte – (Acervo do autor)

Essa classificação está delineada de acordo com Mortensem et al (1993)²². Um dos fatores que influenciou a escolha desta área para a instalação do Parque Eólico foi a proximidade com a rede de alta tensão da CEMIG, que passa ao lado, cerca de 500 metros do terreno, o que facilitaria a interligação para a distribuição de energia.

A escolha de um terreno, em sua maior parte, plana, se deve ao fato de que, quanto menor a rugosidade do terreno, menor é o atrito do ar com o solo. Por isso, planeja-se a colocação dos aerogeradores a uma altura de 100 metros, onde o atrito é quase zerado.

Com os equipamentos a uma altura de 100 metros, bem acima da camada limite atmosférica, onde o ar tem a circulação livre produzindo o vento “geostrófico” que é o resultado do balanço entre as forças de gradiente de pressão e a força Coriolis.

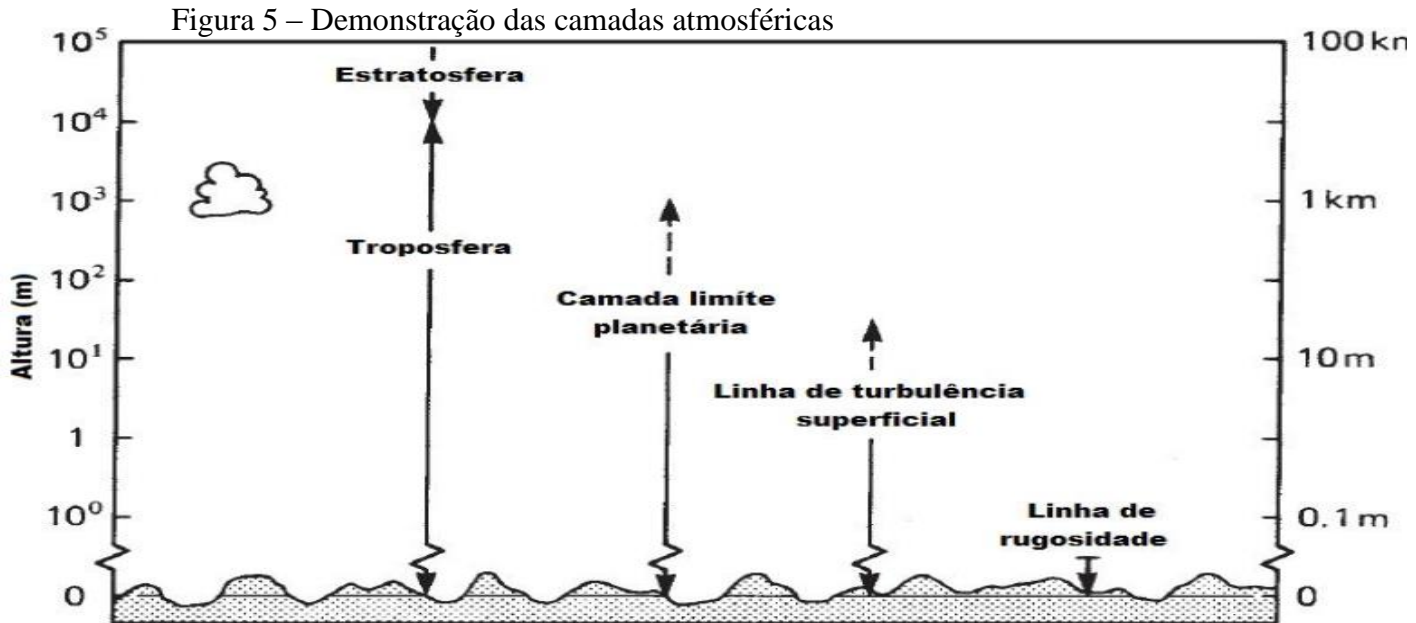
A Camada Limite Atmosférica (CLA)

pode ser definida como a região da atmosfera que é diretamente afetada pelas propriedades da superfície terrestre (fricção, aquecimento e resfriamento), que geram turbulência e podem assim manter essa região misturada até uma certa altura, onde há uma inversão térmica que limita a troca de ar.²³

²² MORTENSEM, N. G. et al. **Win Atlas Analysis and Aplicacion Program (ASsP)**. Vol 1 e 2. Riso National Laboratory, Roskde, Denmark, 1993, p. 29.

²³ GARRATT, J. R. **The atmospheric boundary layer**. [S. l.]: Cambridge, 1992, p.1.

Portanto, o espaço a ser utilizado para o Parque Eólico fica entre 50 a 150 metros de altura, na cama livre, abaixo da Troposfera, conforme mostra o esquema abaixo.



Fonte: Faqueclimate²⁴

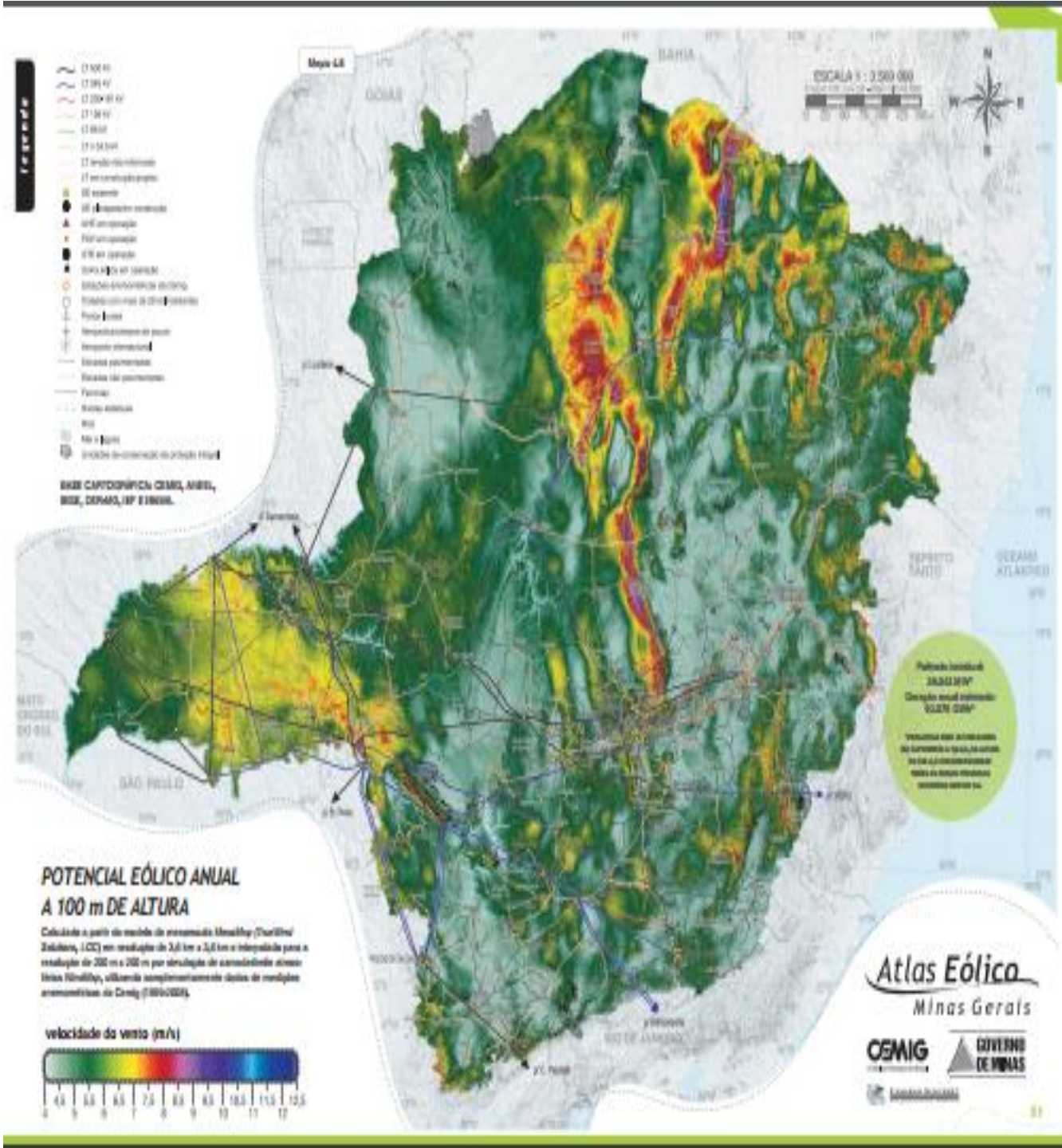
Pelo que se observa na figura acima todo o vento a ser utilizado está abaixo da troposfera, isto é, até 100 metros de altura onde o vento consegue se manter numa velocidade quase constante, já que nesta altura o vento consegue encontrar um caminho livre para se movimentar, bem acima das rugosidades existentes, onde há inconstância que provocam as turbulências superficiais.

1.1 MEDIÇÕES DOS VENTOS

Decidimos embasarmos a velocidade do vento, pelo mapa eólico, disponibilizado pela CEMIG, para podermos assim termos uma certeza da velocidade do vento, na altura no qual se almeja colocar os aerogeradores.

²⁴ Faqueclimate.wordpress.com

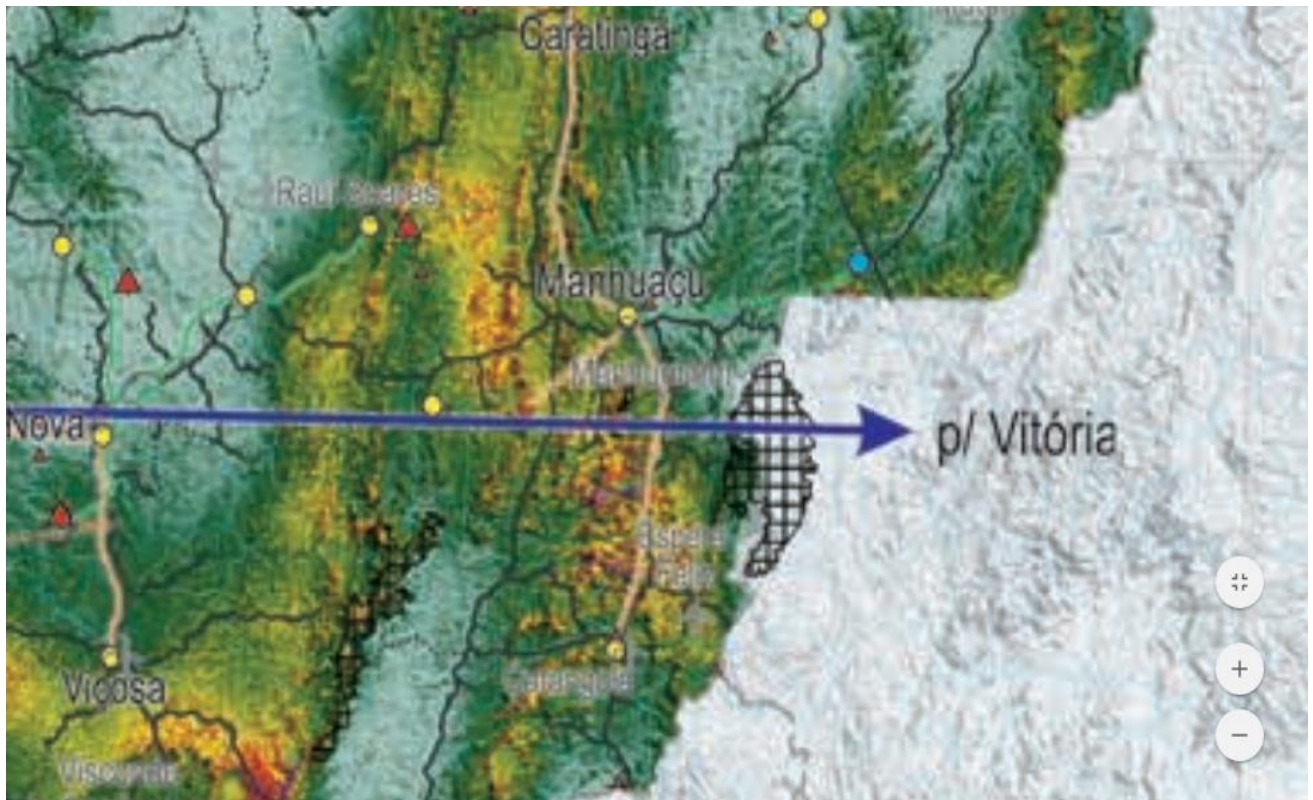
Figura 6 – Mapa eólico de Minas Gerais acima de 100 metros.



Fonte: CEMIG²⁵

²⁵ Atlas Eólico de Minas Gerais

Figura 7 – Visualização do local indicado ao parque eólico.



Fonte: Idem

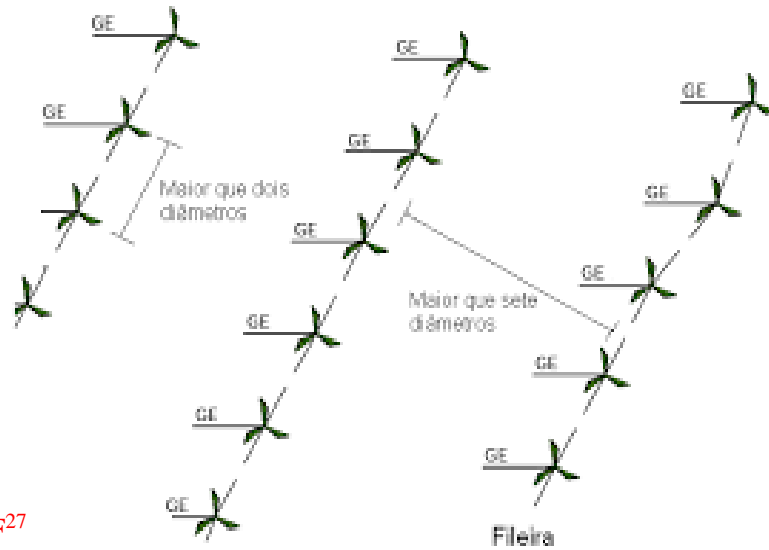
1.1.1 Direção dos Ventos.

Durante a Medição dos ventos, analisou-se também a sua direção, através da instalação de uma “biruta”. Este equipamento, nada mais é, Segundo Machado (2009)²⁶, “um anemômetro de copos, composto de um eixo vertical e três copos que capturam o vento detectando a sua direção. O número de revoluções por segundo é registrado eletronicamente”.

Observou-se durante a medição que o vento sempre soprou na direção ENE – isto é, Leste-Nordeste, conforme mostra a Figura 6, o que já possibilitou prever que a instalação dos aerogeradores deve ser alinhada nesta disposição para que se possa aproveitar toda a potencialidade dos ventos que sopram constantemente nesta direção Figura 8.

²⁶ MACHADO, Rogerio Rossi. **Estudo do Potencial Eólico do Pontal do Abreu**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2008, p. 40.

Figura 8 – aerogeradores alinhados ou enfileirados



Fonte: UFJF²⁷

A partir do conhecimento da área e, escolhido o local do Parque, agora é hora de conhecer um pouco mais sobre o que são os Aerogeradores.

1.2 AEROGERADORES

O Parque Eólico em Ipanema será implementado com a utilização de Aerogeradores destinado a transformar a energia mecânica ou cinética dos ventos em energia elétrica. O aerogerador utiliza uma turbina eólica e um gerador, além de outros acessórios que acompanham o dispositivo do sistema.

Para funcionar bem um aerogerador deve possuir turbinas eólicas projetadas para gerar máxima potência em uma determinada velocidade do vento, em torno de 03,6 a 8m/s. conforme figura 7.

Figura 9 Curva de Potência típica de uma turbina eólica.



²⁷ www.ufjf.br/prh-pb214/files

Fonte: Engenheiro Associados²⁸

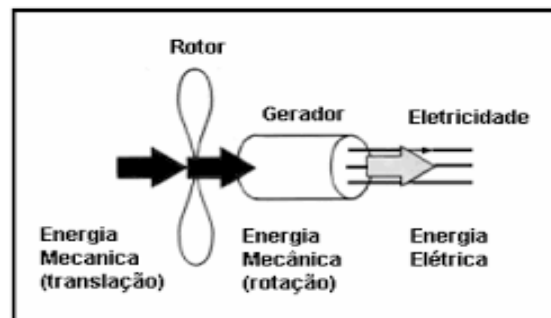
É de extrema importância destacar que a figura 9 mostra uma potência total instalada em um Parque Eólico, ou seja, o seu fator de capacidade. Considera-se excelente um fator de capacidade acima de 35%.

Pavinatto, (2005), destaca que “os aerogeradores modernos contam com diversos mecanismos de controle que se destinam à orientação do rotor, controle de velocidade, controle de carga entre outros. Se considerarmos a potência gerada pela turbina, temos dois tipos principais: Controle “Stall” e “Pitch”²⁹.

Para o autor, o primeiro foi durante muito tempo o mais utilizado, no entanto, por apresentar maior flexibilidade na operação e melhor desempenho, atualmente o controle através da variação do ângulo de passo das pás tem sido mais utilizado.

O aerogerador produz energia elétrica a partir da turbina eólica que é acionada pelo vento, através de um eixo que movimenta o alternador que transforma a energia mecânica em elétrica, conforme se observa na Figura 10.

Figura – 10 Princípio de Funcionamento de um aerogerador



Fonte: Idem³⁰

Na atualidade, existem disponíveis no mercado três tipos de aerogeradores. As diferenças principais entre eles estão no sistema de geração e forma como se busca a eficiência aerodinâmica do rotor visando prevenir os problemas que podem ocorrer com as altas velocidades do vento para evitar as sobrecargas mecânicas. O sistema de geração de energia nos aerogeradores são bem parecidos.

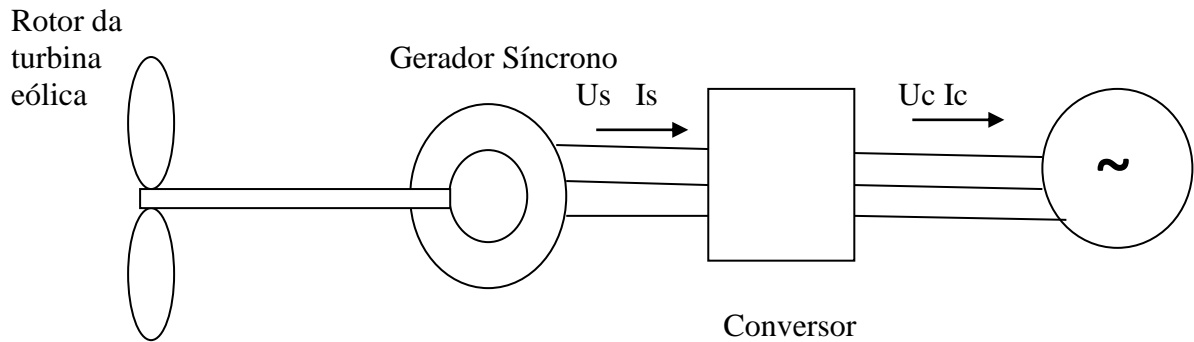
Em Ipanema, pretende-se trabalhar com um aerogerador síncrono, conforme figura 11 abaixo.

²⁸ engenheirosassociados.com.br

²⁹ PAVINATTO, E. F. “Ferramenta para Auxílio à Análise de Viabilidade Técnica da Conexão de Parques Eólicos à Rede Elétrica”. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)- COPPE. Rio de Janeiro, RJ- Brasil, 2005, p.4.

³⁰ engenheirosassociados.com.br.

Figura 11 – Gerador Síncrono

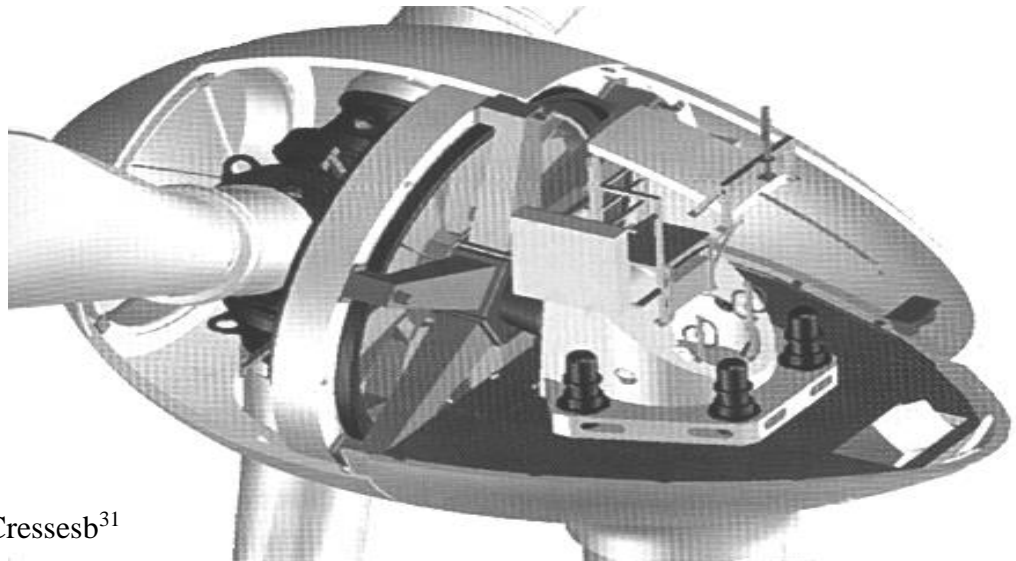


Fonte: (Acervo do autor)

O gerador síncrono é excitado através de um enrolamento de campo ou ímãs permanentes. Este sistema é vantajoso. Porém há algumas desvantagens, pois o inversor deve ser dimensionado para suportar a potência total do sistema; como consequência a eficiência do inversor vai afetar a eficiência total do sistema.

A Figura 12 mostra a nacele de um aerogerador que possui um gerador síncrono acionado diretamente pelo rotor da turbina eólica.

Figura 12 – Nacele de um gerador síncrono.



Fonte: Cressesb³¹

Neste modelo de aerogerador, o princípio da geração de energia elétrica utiliza uma turbina eólica que é acionada pelo vento e produz energia mecânica em um eixo que movimenta o gerador (alternador).

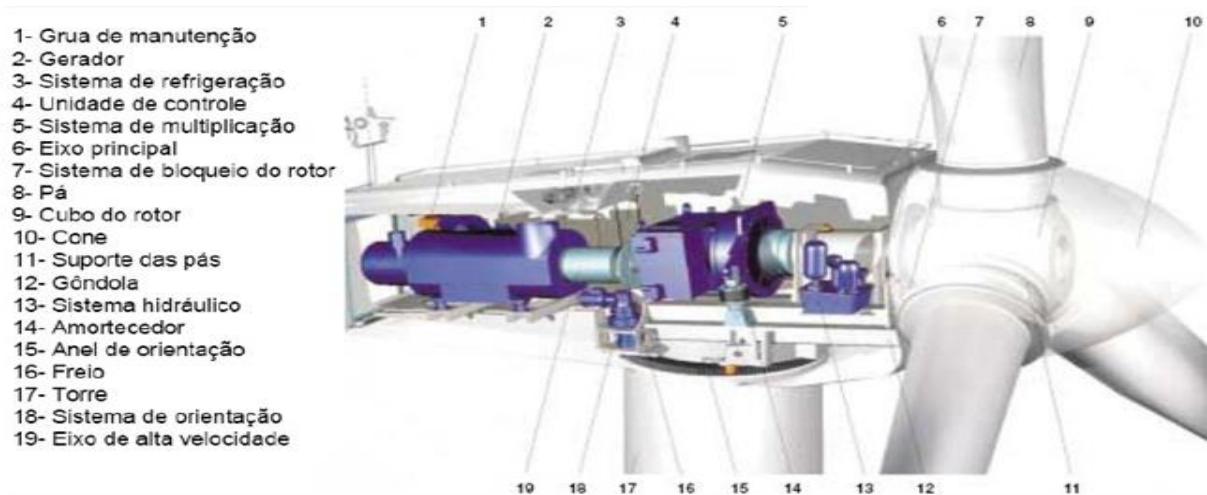
Assim o gerador elétrico é acionado pela turbina, convertendo a energia mecânica em elétrica por meio de um conversor eletromagnético. O Gerador Síncrono utiliza a caixa de acoplamento, que melhora a qualidade da rotação.

O aerogerador se compõe de diversas partes: Pás; Caixa de Engrenagem; Freio;

³¹ www.cressesb.cepel.br

Gerador Síncrono; Medidor de vento; Unidade Hidráulica; Carcaça da Nacele; Amortecedor de ruído; Torre; Rolamentos; Cubo; Mecanismo de acionamento das pás (controle do passo) e uma caixa de acoplamento, conforme se pode observar na figura 13, abaixo:

Figura 13 – Partes de um aerogerador síncrono



Fonte: focusolar³²

As pás de um aerogerador são perfis aerodinâmicos capazes de interagir com o vento convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico.

As pás são fabricadas de fibra de vidro. Reforçadas com epóxi e/ou madeira. A sua fixação no cubo é feita pela inserção de raiz em aço inoxidável

No caso das turbinas com controle de velocidade por passo, que o caso específico do Parque Eólico de Ipanema/MG, dispõe de rolamentos em sua base, possibilitando que gire para alterar o ângulo de ataque.

Figura 14 – Pá de aerogerador em transporte

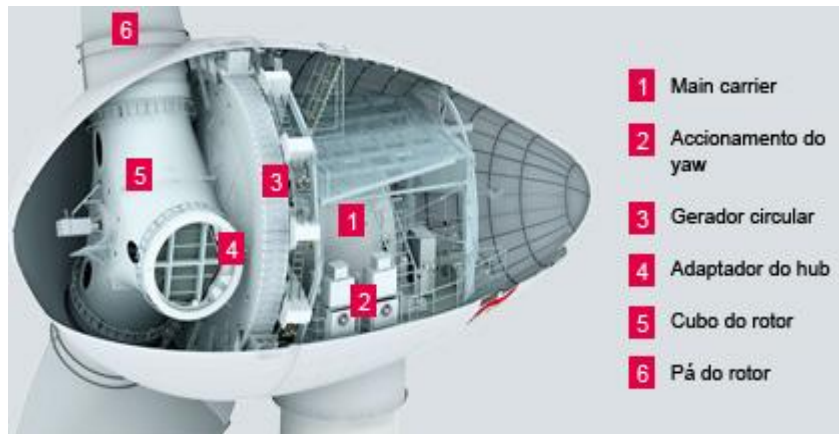


Fonte: pastre³³

³² www.focusolar.com.br

As pás de um aerogerador são fixadas em um cubo, ponta do eixo da turbina por meio de flanges. O cubo é construído em aço ou uma liga metálica de alta resistência. O seu interior é composto de maquinários compactos que permite o seu transporte e montagem no próprio local de instalação.

Figura 15 – Corte lateral de um cubo montado

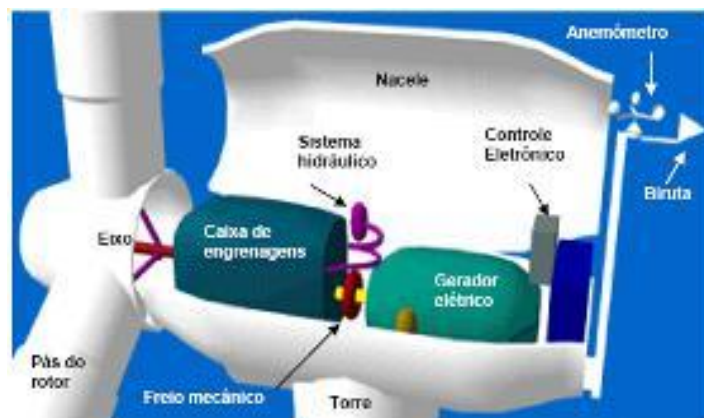


Fonte: meuprofessor³⁴

O eixo de uma aerogerador é responsável pelo acionamento do gerador, fazendo a transferência da energia mecânica da turbina. É construído em aço ou liga metálica de alta resistência, indicado na figura 13.

O aerogerador também possui uma Nacele, a carcaça montada sobre a torre, que abriga o gerador, a caixa de acoplamento e os demais dispositivos, que ficam no alto junto à turbina. São vários modelos usados dependendo do “design” do fabricante.

Figura 16 – Vista de uma nacele aberta



Fonte: axion³⁵

“A Torre de uma aerogerador é uma estrutura que tem a função de elevar a turbina do solo até a uma altura conveniente.”³⁶ No caso do presente estudo, a 100 metros de altura, onde o vento apresenta maior velocidade garantindo um maior desempenho do aerogerador. A torre pode ser tubular cônica ou treliçada.

Figura 17 – Torre treliçada



Fonte: brametal.com.br³⁷

Figura 18 – Montagem de uma torre tubular



Fonte: impsa.com³⁸

As torres cônicas podem ser construídas em aço ou concreto. As treliçadas são feitas de aço. No topo da torre é montado um rolamento principal que possibilita o movimento da nacela como também da turbina, permitindo o alinhamento dessas com o vento.

As torres treliçadas são menos usadas, mesmo sendo mais baratas e de fácil transporte e montagem, isso devido a possibilidades de riscos de instabilidades pela presença de frequências harmônicas de vibração, apresentando dificuldade de definição e dimensionamento, devido à ampla e complexa resposta no domínio da frequência do comportamento do vento.³⁹

³⁴ www.meuprofessordefisica.com

³⁵ www.axionconstrucoes.wordpress.....

³⁶ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

³⁷ www.brametal.com.br

³⁸ www.impsa.com

³⁹ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

Devido a necessidade de segurança e garantia de estabilidade as torres devem ser montadas em fundações ou bases com uma estrutura de concreto armado para dar sustentação a toda a parafernália de um aerogerador.

A seguir estão colocadas, em sequencia, várias figuras que indicam a sequência da construção de fundações para aerogeradores.

Figura 19 – Escavação para construção da base de um aerogerador.



Fonte: pavsolo⁴⁰

Figura 19.1 – Armação da estruturada base.



Fonte: santa cruz eng.⁴¹

⁴⁰ www.pavsoloconstrutora.com.br

⁴¹ www.santacruzengenharia.com.br

Figura 19.2 – Concretagem



Fonte: piniweb⁴²

Figura 19.3 – base concretada



Fonte: blog da engenharia civil⁴³

19.4 Torre tubular a ser montada na base



Fonte: Faz forte⁴⁴

19.5 Torre após a montagem



Fonte: Rheoset⁴⁵

Devido à inconstância da direção do vento, que sopra em diversas direções, é necessário que seja colocado no interior da nacela um dispositivo que se adapte à mudança do vento. É um sistema que tem a função de alinhar a turbina com o vento. Este sistema verifica a direção do vento e gira a turbina até a posição em que o vento tem a maior força sobre as pás. É um motor elétrico que gira sobre a torre com auxílio do rolamento principal, provocado por uma engrenagem que tem a função de ajustar a velocidade de giro. A mudança de direção é feita em baixa velocidade, menos do que 0,5°/s objetivando evitar turbulências e esforços extras à turbina.

A turbina eólica gira em baixa velocidade. Por isso, necessita de uma caixa multiplicadora em seu acoplamento, já que o gerador é de alta rotação. Os geradores de baixa rotação não necessitam de caixa multiplicadora e há casos em que há necessidade de uma caixa redutora. (Figura 13)

⁴² www.piniweb.pini.com.br

⁴³ www.blogdaengenhariacivil.wordpress.com

⁴⁴ www.fazforte.com.br

⁴⁵ www.rheoset.com.br

O sistema eólico com caixa de engrenagem precisa também de uma unidade hidráulica. É um sistema com bombas, trocadores de calor e sistema de comando, supervisão e controle. Nos geradores com acoplamento direto dispensa o sistema hidráulico. (Figura 10).

Para controlar a velocidade e mantê-la em um nível padrão, o sistema com um freio, feito de aço e geralmente em forma de disco. É usado nas paradas de emergências ou em tempestades e também quando está fora de operação. Recomendação do fabricante.

O Parque Eólico deve ter uma unidade de controle. Ela é responsável pelo controle elétrico e supervisão do aerogerador e dos sistemas periféricos. Estes equipamentos e o seu sistema devem ser instalados na nacela e na base da torre em seu interior. Na nacela ficam os sensores, medidores e motores, já no interior da base fica o painel de controle, com os sistemas digitais e analógicos usados no controle e supervisão do aerogerador. Possui também um quadro de alarmes e sistema de comunicação que permite a supervisão e controle à distância.

O vento sopra em diversas direções e velocidade. Para manter um padrão na produção de energia é instalado, sobre a nacela, um medidor de vento para medir a velocidade e a direção do vento. O anemômetro mede a velocidade e a biruta mede a direção. Os dados coletados nestas medidas servem para a monitoração do desempenho do aerogerador. (Figuras 20).

Figura 20 – Unidade de controle e medidores de velocidade e direção



Fonte: PUC CRS⁴⁶

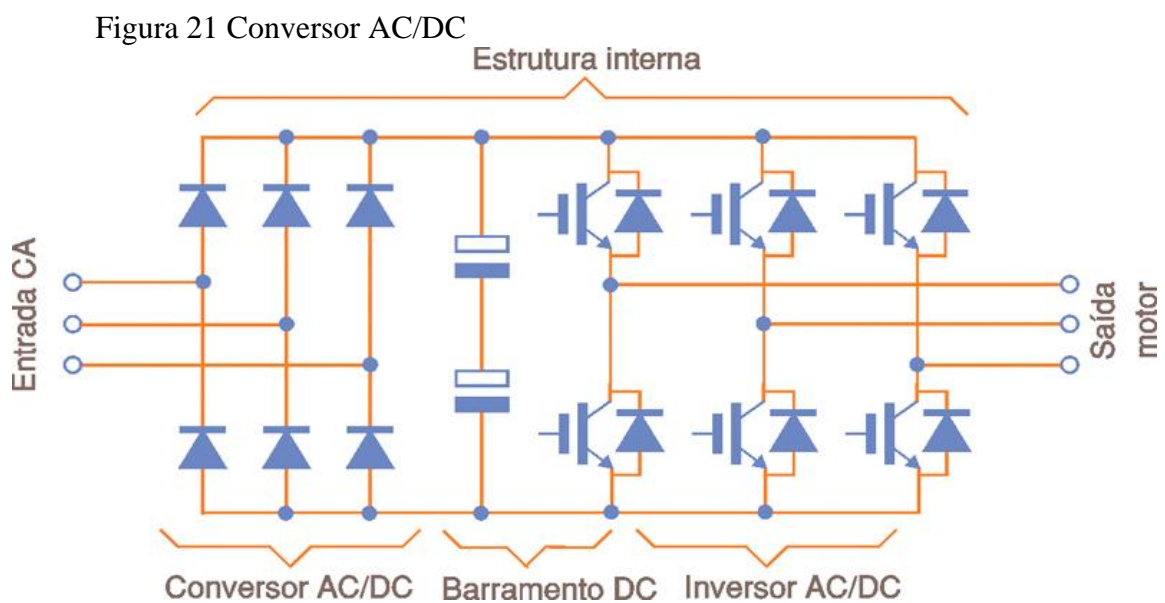
O equipamento mais importante de um aerogerador é o gerador, propriamente dito. É ele o responsável pela produção da energia elétrica. Os aerogeradores tanto podem usar geradores síncronos, como assíncronos, de acordo com o modelo, da potência e das condições

⁴⁶ www.pucrs.br

de uso.

Os aerogeradores de velocidade variável podem usar gerador síncrono. Este modelo tem a capacidade de controlar através da excitação, a tensão e a potência reativa gerada, o que não é possível nos geradores assíncronos. Com os geradores síncronos, se faz necessário o de sistemas de conversão de frequência, pois este modelo, a frequência acompanha a rotação do rotor.⁴⁷

Os sistemas de conversão utilizam de conversão de frequência que é formado por um retificador “AC-DC” e um inversor “DC-AC” que controla a onda de saída: a forma, a frequência, o fator de potência e a amplitude, conforme diagrama abaixo:



Fonte: Mecatronicaatual⁴⁸

O sistema de conversão é de extrema importância, pois padroniza a corrente elétrica para a distribuição.

Em alguns modelos de aerogeradores são usadas mais de uma unidade geradora, com diferentes potências. Neste caso projeta-se um gerador para operar em uma potência maior e outro em uma potência menor, de acordo com a velocidade do vento local. Isso pode melhorar o desempenho do aerogerador. Funciona assim. Enquanto o vento está mais fraco, opera o menor gerador e quando o vento estabiliza em uma velocidade maior, para o gerador menor e entra em operação o gerador maior.

⁴⁷ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

⁴⁸ www.mecatronicaatual.com.br

Não importa o valor da energia produzida. De qualquer modo se faz necessário a instalação de transformadores que é um equipamento elétrico que eleva a tensão de geração ao valor padrão da rede elétrica à qual o aerogerador está conectado. O transformador, tanto pode ser instalado no chão, com os devidos cuidados de proteção, pois é um local de grande perigo, devido à grande voltagem transformada, ou pode ser na torre a uma altura intermediária.

Figura 22 – Vista Geral de um grupo de transformadores instalados em um sítio protegido



Indústria e Comércio de Transformadores

Fonte: photacki⁴⁹

Devido ao trabalho com altas frequências é fundamental o controle de frequência de uma aerogerador.

O objetivo principal de um aerogerador é, portanto, produzir energia elétrica a partir da energia eólica. Isso exige que a energia produzida seja padronizada na frequência da rede receptora. No entanto, a frequência de geração elétrica com a rotação do gerador elétrico e essa, em um aerogerador, variam de acordo com a rotação da turbina, cuja rotação é afetada pela velocidade do vento que é uma variável sem controle. Assim o controle da frequência de saída é de suma importância e exige soluções adequadas e complexas.

A montagem de um aerogerador exige muita capacidade técnica, pois é feita no campo, local de operação do mesmo. Requer uma área com uma infraestrutura adequada e um

⁴⁹ www.br.photacki.com

planejamento rigoroso. A montagem exige grandes máquinas e guinchos de alta capacidade e com lanças de elevado comprimento, com capacidade superior altura do aerogerador que chegar e até ultrapassar a 100 metros de altura.

O transporte dos componentes de grandes dimensões como pás, até o local de instalação do parque requer cuidados especiais e exige, a preparação e/ou melhorias das estradas de acesso.

A torre, na maioria das vezes, é dividida em parte durante a fabricação visando facilitar o transporte. É montada no local. Fotos disponibilizadas a partir dos Anexos, mostram o passo a passo de uma montagem de um Parque Eólico.

A produção de energia de um aerogerador é o fator mais importante. As incertezas e as dúvidas no que diz respeito a capacidade do vento de girar uma turbina, a sua velocidade são fatores preponderantes na qualidade de energia gerada o que pode elevar a risco financeiro.

Assim a estimativa de produção de energia é realizada com base em um ano, pois assim se tem uma ideia do comportamento do vento durante os doze meses trabalhados. A produção anual de eletricidade é denominada EAG e é calculada com fórmulas específicas com baixíssimas margens de erros.

2 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Para a implementação do projeto de um Parque Eólico em Ipanema - MG, além da viabilidade técnica, isto é, a análise da área de instalação, deve-se atentar também para a legislação que dá suporte à produção de energia limpa.

O início da caminhada da produção de energia limpa no Brasil remonta a século passado. Em 1995, foi aprovada a Lei nº 9.074⁵⁰, criando a figura do Produtor Independente de Energia e do Consumidor Livre, cuja Lei foi regulamentada pelo Decreto nº 2.003/1996⁵¹, embora não se referisse diretamente à produção de energia eólica.

No entanto isso abriu caminho para que a Aneel, editasse a Resolução nº 112/1999⁵², estabelecendo os requisitos necessários para a Implantação e/ou ampliação de centrais termelétricas, seja eólica ou outras iniciativas para a produção de energia alternativa de fontes limpas, tanto para uso próprio como para a comercialização. Neste mesmo, através da Resolução nº 233⁵³, a Aneel definiu valores normativos ou Teto de repasse dos custos de geração de energia para tarifa de fornecimento para as diversas fontes de geração, incluindo a eólica, abrindo espaço para a sua competitividade no mercado. Revogada em 2001, pela Aneel, provocou outra Resolução, desta vez, pela Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, criando o Programa Emergencial de Energia Eólica que previa a implantação de 1,05 mil MW, embora não se concretizasse na prática.

Foi assim que em 2002, com o surgimento da Lei nº 10.438⁵⁴, alteradas pelas Leis 10.762/2003⁵⁵ e 11.075/2004⁵⁶, foi instituído o primeiro incentivo à geração de energia com a fonte eólica, criando o PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica que abrange a Eólica, as PCHs, Biomassas.

⁵⁰ BRASIL. Lei nº 9.074/1995, **Produção Independente de Energia**. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074cons.htm. Acesso em 15/09/2015.

⁵¹ _____. Decreto 2003/96 - Presidência da Republica – **Regulamenta a Lei 9074/1995**. Disponível em: presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/109351/decreto-2003-96. Acesso em 15/09/2015.

⁵² ANEEL. Resolução Nº 112/1999. **Requisitos para autorização de implantação de.....** Disponível em: www.gasnet.com.br/legislacao/ANEEL112.PDF. Acesso em 15/09/2015.

⁵³ _____. Resolução nº 233/99. **Estabelece valores normativos para fornecimento de energia de fonte alternativa**. Revogada pela Resolução 22/2001. Disponível em: www.aneel.gov.br/aplicacoes/...Publica/.../AP007_2000ENERSUL2.pdf. Acesso em 15/09/2015.

⁵⁴ BRASIL. **Lei n o 10.438, de 26 de abril de 2002** – Brasília. Casa Civil da Presidência da República, 2002. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm. Acesso em 15/09/2015.

⁵⁵ _____. **Lei 10.762 de 11 de novembro de 2003**. Brasília. Casa Civil da Presidência da República, 2003. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.762.htm. Acesso em 15/09/2015.

⁵⁶ _____. **Lei 11075/04** - Presidência da Republica – Jus Brasil Brasília. Casa Civil da Presidência da República. Disponível em: presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/96995/lei-11075-04. Acesso em:

O PROINFA é considerado o grande marco regulatório no incentivo às diversas fontes de energia renovável dentro da matriz energética brasileira.

O PROINFA, regulamentado pelo Decreto nº 4.541/2002⁵⁷, modificado pelo Decreto nº 5.025/2004⁵⁸, cuja Lei previa implantar o programa em duas etapas: a primeira, implementava projetos de até 3,3 mil MW, até 2006, prevendo a utilização de 1,1 MW de energia eólica. A segunda Etapa, ou o PROINFA 2, que deveria ser iniciada após o término da primeira etapa que foi prorrogada até 2010, Lei nº 11.943/2009. No entanto a segunda etapa foi congelada pelo Governo (DUTRA 2006)⁵⁹.

Apesar do congelamento da segunda etapa do PROINFA, o Governo Federal decidiu investir nas fontes de energia limpa, concedendo diversos incentivos com a finalidade de expandir a geração de energia de fontes renováveis. Estes incentivos são fiscais e financeiros com facilitação das condições de financiamentos, além da desoneração de impostos estaduais como o ICMS pelos Estados.

No que diz respeito aos incentivos fiscais foi criado o - REIDI - Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura. O primeiro passo para os incentivos fiscais foi através da Lei 11.488/2007⁶⁰, que contemplava descontos tarifários na distribuição e transmissão nos projetos eólicos. Esta Lei foi regulamentada pelo Decreto 6.144/2007⁶¹, com destaque para a isenção do PIS e do Cofins sobre a venda ou importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, além de material de construção destinados às obras de infraestrutura e a venda e importação de serviços utilizados nos projetos para a implementação e ampliação dos serviços destinados à produção de energia de fontes renováveis.

A abrangência dos incentivos fiscais chegaram também para o aluguel de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos utilizados na infraestrutura. Estes benefícios estão

15/09/2015.

⁵⁷ BRASIL. **Decreto nº 4.541, de 23 de dezembro de 2002** – Casa Civil da Presidência da República. 2002. Regulamentação Proinfa. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4541.htm. Acesso em 15/09/2015.

⁵⁸ ----- **DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004** – Altera Incisos da Lei 10.438. Disponível em: www2.camara.leg.br/.../decreto-5025-30-marco-2004-531461-norma-pe... Acesso em 15/09/2015.

⁵⁹ DUTRA, J. **Gestão de Pessoas: Modelo, Processos, Tendências e Perspectivas**. São Paulo: Atlas, 2006, p. 5.

⁶⁰ BRASIL. LEI Nº 11.488 - DE 15 DE JUNHO DE 2007 – DATAPREV. **Regime especial de incentivos, para o desenvolvimento de Infraestrutura**. Disponível em: www3.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2007/11488.htm. Acesso em 15/09/2015.

⁶¹ _____. Decreto nº 6144 – Casa Civil da Presidência da República. **Regulamenta a REIDI**. – Lei 11.488/2007. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/.../Decreto/D6144.htm. Acesso em 15/09/2015.

previstos na Lei nº 11.727/2008⁶². Além disso, foi autorizado a recuperação aceleradas dos créditos de PIS/PASEP e Cofins, a partir de 2007. Outra vantagem foi a ampliação do prazo de recolhimento das contribuições para o INSS, PIS/PASEP, Cofins e Imposto de Renda retidos na fonte.

A habilitação das pessoas jurídicas beneficiadas pelo REIDI foi regulamentada pelo Decreto 6.144/2007⁶³ e pela Portaria MME nº 319/2008⁶⁴, que inclusive poderiam participar dos leilões ou chamadas públicas para a participação do sistema alternativo de energia renovável.

O caminho dos incentivos levou também até ao Ministério da Fazenda que adotou, a partir de 2009, a alíquota zero no IPI para aerogeradores, isso em caráter permanente. Esta redução veio equilibrar a importação de produtos destinado aos aerogeradores, cuja taxa de importação havia sido majorada em 14%, numa tentativa de manter o mercado ativo para este segmento.

Ao mesmo tempo, o Imposto de Circulação de Mercadoria e Serviços, ICMS, teve sua prorrogação até dezembro de 2015. Em convênio do Conselho Nacional de Política Fazendária – Confaz-ICMS - nº 10197, ficou isento de ICMS diversos componentes de aerogeradores, como torres de suporte, pás de motor e turbina eólica. Estados como Ceará, Bahia, São Paulo, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Rio de Janeiro, adotaram incentivos para as indústrias voltadas para a produção de energia eólica.

Na mesma linha de incentivos, por determinação do Governo, os Bancos passaram a oferecer facilidades para o financiamento dos projetos e execução de usinas e Parques Eólicos.

Em vista do PROINFA, o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES – criou o Programa de Apoio Financiamento e Investimentos em Fontes Alternativas de Energia Elétrica, com participação máxima de 80% dos investimentos, prazo de até 12 anos e taxas de juros pela TJLP, somados a mais 3,5% ao ano nas operações diretas.

Atualmente dois programas aplicam em projetos eólicos: O BNDES-Finem que admite financiamento mínimo de 10 milhões de reais e o Finame que financia a comercialização de máquinas, equipamentos novos, além de outras linhas de crédito de acordo com o tipo de

⁶² BRASIL. **Lei nº 11.727, de 23 de junho de 2008** – Brasília. Casa Civil da Presidência da República., 2008c, Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111727.htm. Acesso em 16/09/2015.

⁶³ _____. **DECRETO Nº 6.144**, de 3 de julho de 2007 – Brasília. Casa Civil da Presidência da República, 2007b. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007.../2007/Decreto/D6144.htm. Acesso em 16/09/2015.

⁶⁴ BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Portaria MME 319/2008. Estabelece habilitação.....** Disponível em: www.contabeis.com.br/legislacao/53390/portaria-mme-319-2008/. Acesso em 16/09/2015.

empreendimento. Em 2011, o BNDES alocou cerca de 75 milhões de reais na produção de energia eólica.

Também o BND – Banco do Nordeste mantém uma linha de financiamento para produção de energia Alternativa através do Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FNDE), cujos recursos disponibilizados são para a área de infraestrutura e serviços públicos, seguindo sempre as diretrizes do Ministério da Integração Nacional.

Já o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), operacionalizado pelo BNB, aplicam recursos no desenvolvimento econômico e social do Nordeste, financiando os setores produtivos, principalmente na área de energia renováveis.

Em 2011, o BNB aplicou em energia eólica, através de seus Programas, 471 milhões 830,00 mil reais em projetos eólicos de geração e, também para a produção de equipamentos e componentes.

Além dos incentivos oficiais na área de financiamento, o Governo, através do Proinfa, criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, de olho dos projetos com fontes de geração renováveis que viessem a contribuir para a redução de emissão de gases do efeito estufa, em parte para atender o Protocolo de Quioto que influencia na proliferação de projetos desta natureza.

O Governo então chamou para si a responsabilidade do MDL, editando o Decreto nº 5.025/2004⁶⁵, alterado pelo Decreto 5.882/2006⁶⁶, delegando à Eletrobrás competência para:

Desenvolver, direta ou indiretamente, os processos de preparação e validação dos Documentos de Concepção de Projeto (DCP), registro, monitoramento e certificação das Reduções de Emissões, além da comercialização dos créditos de carbono obtidos no Proinfa (BRASIL, 2004).

O Governo determinou também que os recursos obtidos com a certificação dos projetos beneficiados pelo MDL, como também os dos mercados de carbono deveriam ser utilizados para a redução dos custos do Proinfa, reduzindo assim as tarifas para os consumidores o que seria de extrema importância para o desenvolvimento da energia limpa e renovável no país.

⁶⁵ BRASIL. **Decreto nº 2.025**, de 30 de março de 2004. Brasília: asa Civil da Presidência da República, 2004b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm. Acesso em 16/09/2015.

⁶⁶ _____. **Decreto nº 5.882**, 31 de agosto de 2006. Brasília. Casa Civil da Presidência da República, 2006. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/.../Decreto/D5882.htm. Acesso em 16/09/2015.

2.1 – MEIO AMBIENTE

A energia eólica produz uma energia elétrica limpa, renovável, alternativa, de pouco impacto no meio ambiente. É uma fonte energética que vem recebendo incentivos governamentais, pois é de grande aceitação nos meios sociais, devido ao seu baixo nível poluente, com a vantagem de ser uma fonte inesgotável de energia.

É de conhecimento mundial que os combustíveis fósseis, além de serem altamente poluentes, é uma fonte limitada, pois pode ser extinta com o passar dos anos pelo uso contínuo.

A emissão de gases tóxicos dos combustíveis fósseis vem tornando a vida no planeta insustentável, pois atinge uma das camadas protetoras da terra, a camada de ozônio, que está desaparecendo ao ser atingido pela emissão de gases que está alterando a composição química da atmosfera.

A partir da revolução industrial, de acordo com Down et al (2006)⁶⁷, são feitas emissões de gases que afetam a atmosfera nas seguintes proporções:

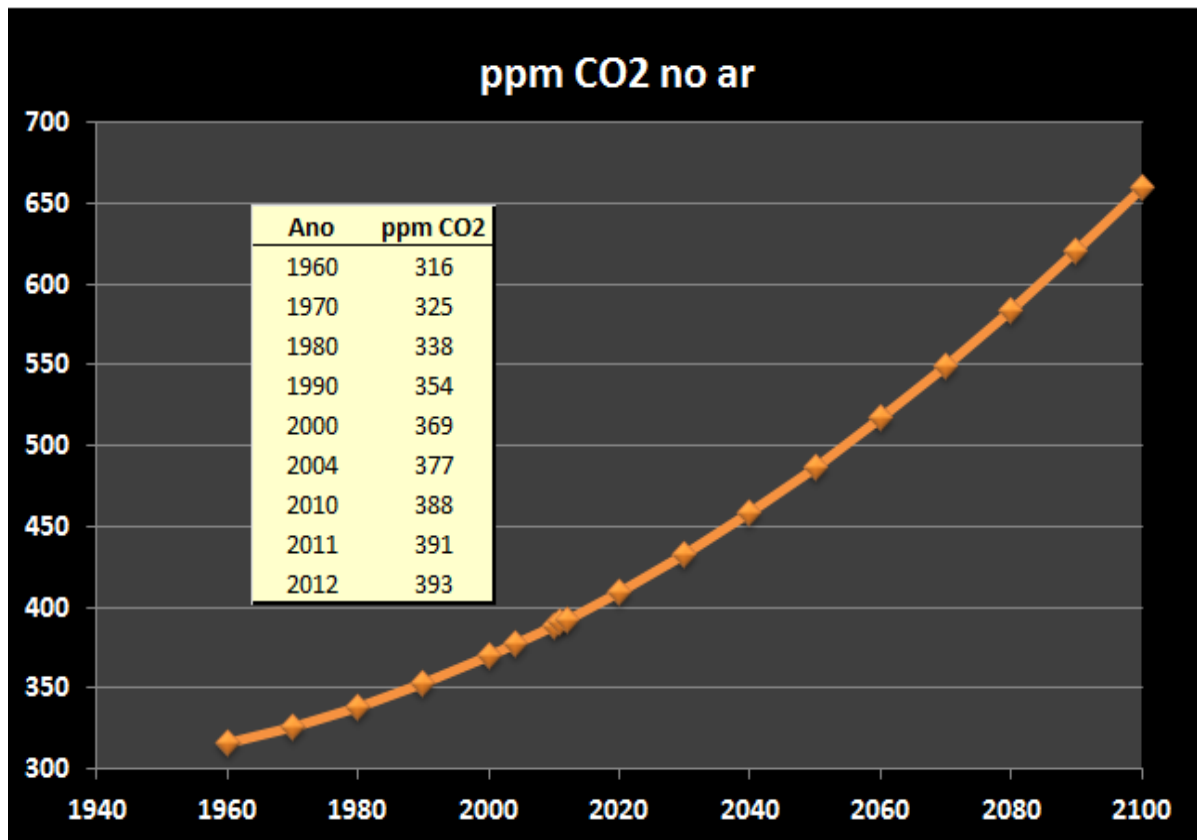
- a) N₂O – óxido nitroso: 18%;
- b) CO₂ – dióxido de carbono: 34%;
- c) O₃ – ozônio: 36%;
- d) CH₄ – metano: 154%;
- e) CCl₄ – tetracloreto de carbono: não fazia parte da composição da atmosfera.

Os gases artificiais, isto é, os emitidos pelo homem através do uso de combustíveis fósseis tem uma vida média de 200 anos e, portanto, vão acumulando na atmosfera que vai sendo envenenada, podendo até mesmo ser destruído o que colocaria em risco toda a vida do planeta.

A Figura 21 mostra a concentração de dióxido de carbono no período de 1960 a 2012, demonstrando o seu constante crescimento, cujo aumento começou a partir do início da revolução industrial, no século passado.

⁶⁷ DOWN, K; DOWNING; THOMAS, E. **The Atlas of Climate Change**. Earthscan, London, UK, 2006, p. 18.

Figura 23 – Concentração de dióxido de carbono no ar



Fonte: Workpres⁶⁸

A composição química da atmosfera foi alterada pela emissão de gases provocando o efeito estufa da terra, que é responsável pelas más condições ambientais do planeta.

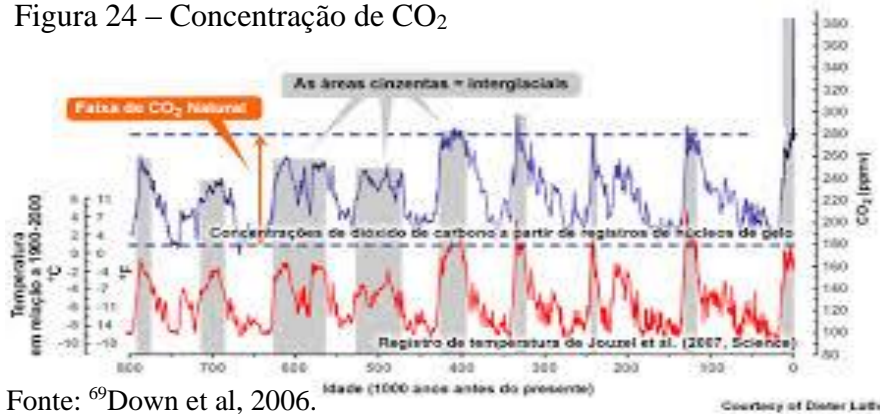
Uma das consequências destas alterações e do efeito estufa é o aquecimento global que influencia diretamente nas condições climáticas da terra. No Brasil estas consequências são visíveis, com a desorganização climática, que é responsável pelas secas em algumas regiões e chuva em excesso em outras. O efeito estufa é provocado pelo dióxido de carbono que o gás com maior emissão pelo homem.

Existe uma correlação bastante clara entre o dióxido de carbono e o aquecimento global o que pode ser observado na figura 21, onde a direita mostra a concentração de CO₂ na atmosfera (ppm), e à esquerda figura os índices de variação da temperatura da atmosfera em (°C).

Na figura abaixo percebe-se que com o aumento da emissão de CO₂, há um aumento proporcional de temperatura nas camadas atmosféricas.

⁶⁸ Caioaugustocarvalho.workpres.com

Figura 24 – Concentração de CO₂

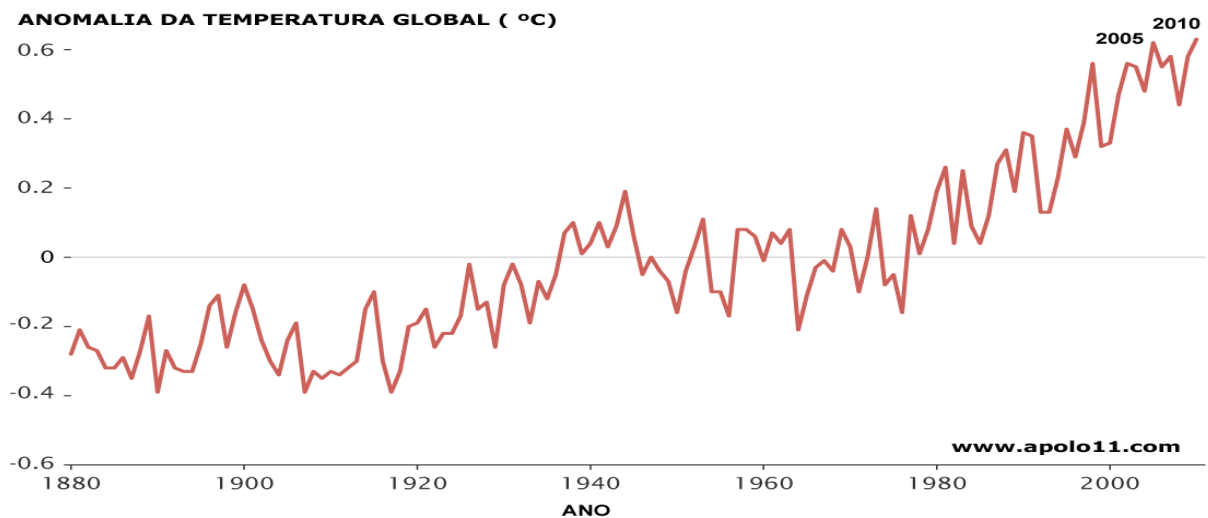


O aquecimento do planeta está claramente demonstrado na figura 35, cujas variações estão ilustradas de 1880 até 2010, apresentando uma anomalia importante para a vida terrestre. As alterações provocadas pelo aquecimento global, em franco crescimento, podem provocar distúrbios climáticos que vão afetar toda a vida terrestre. Mudar o rumo e tentar parar este aquecimento é o maior desafio da humanidade.

Dáí a importância de se trabalhar matrizes energética limpas, isto é, sem emissão de poluentes.

A energia eólica uma das fontes renováveis, limpas que pode ser a saída para o futuro da humanidade, caso não queira sucumbir pelos fenômenos provocados pela poluição das fontes energéticas não renováveis.

Figura 25 Anomalia de Temperatura



Fonte: Apolo 11 ⁷⁰

⁶⁹ www.down et al, 2006.

⁷⁰ www.Apolo11.com

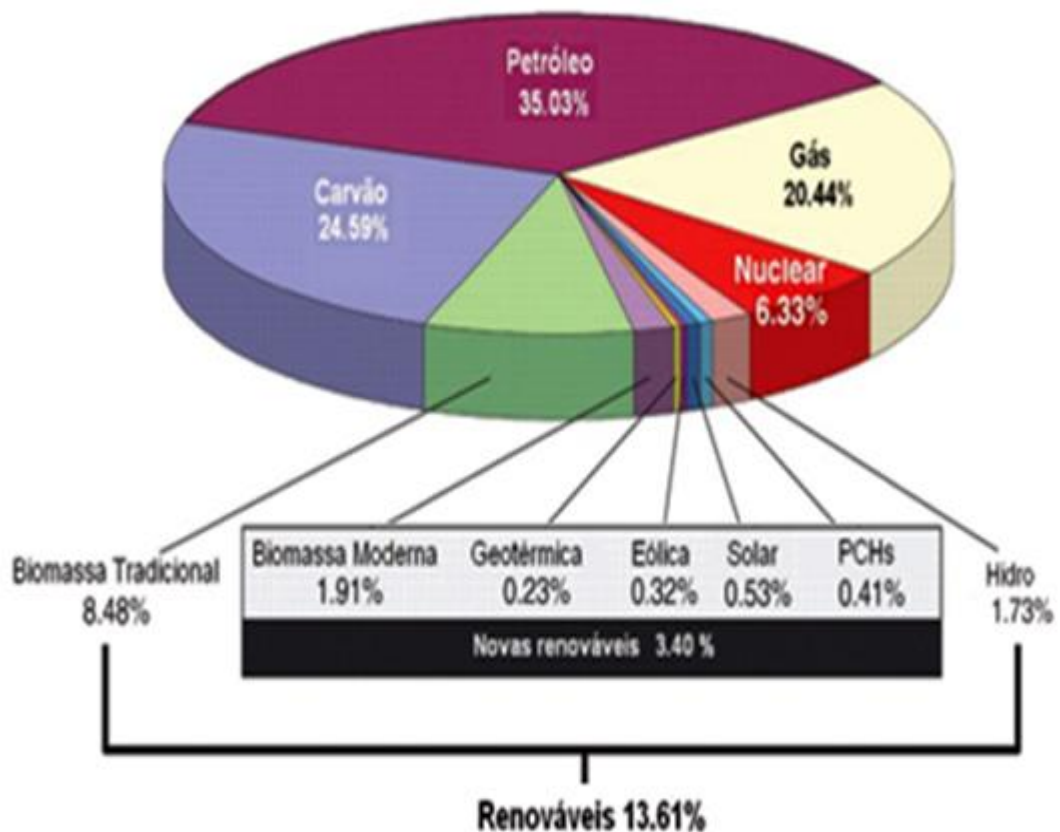
Existe uma forte relação entre as matrizes energética e o meio ambiente. Percebe-se claramente que a principal fonte de energia que move o mundo provém dos combustíveis fósseis que causa grande impacto no meio ambiente.

A emissão desses gases, provocado pela produção energética não renovável, aprofunda o efeito estufa e interfere diretamente no aquecimento global.

No Brasil, mais de 86% dos combustíveis são fósseis ou nuclear e emitem os gases tóxicos que envenenam a atmosfera, provocando o efeito estufa e alterando todo o sistema climático do país.

Conforme se vê na figura 24, apenas 13,61% dos combustíveis produzidos no Brasil em 2004, são de fontes renováveis, quando o cenário era comandado pelo petróleo e seus derivados.

Figura 26 – Oferta de energia primária o Brasil em 2004;

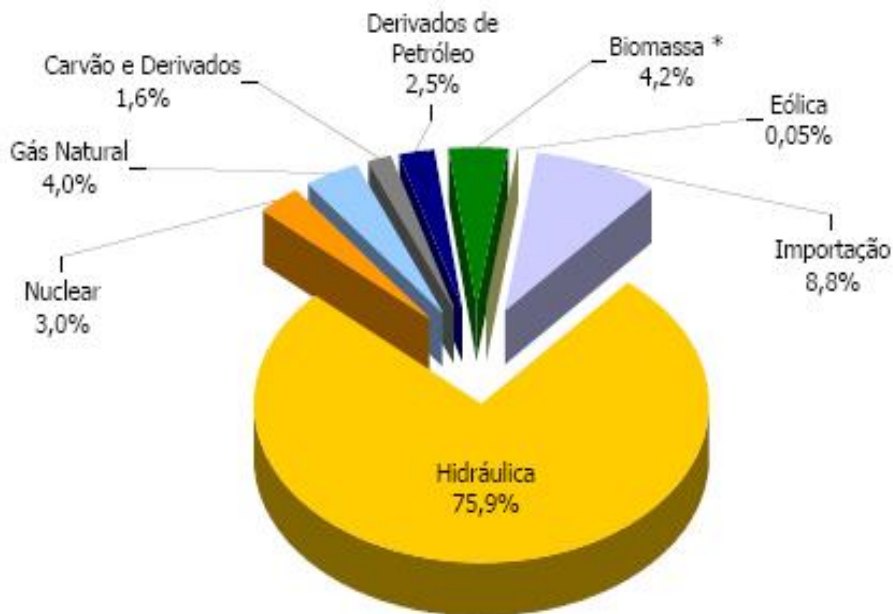


Fonte: Scielo⁷¹

⁷¹ www. Scielo.br.

Com isso, há uma predominância de fontes poluentes na matriz energética, tanto no Brasil, como a nível mundial havendo portanto uma grande emissão de gases, especialmente o gás carbônico. Dono de um quadro preocupante o Brasil passou a investir no Setor hidrelétrico numa tentativa de alterar matriz energética. A partir desses novos investimentos o resultado mudou. Os derivados de petróleo ainda continuam no comando, mas houve um grande avanço no desenvolvimento do quadro de energias renováveis e em 2014, já há uma nova configuração no que diz respeito a matriz energética brasileira.

Figura 27 – Evolução da oferta de energia no Brasil



Nota: * Inclui lenha, bagaço de cana-de-açúcar, lixo e outras recuperações.

Fonte: ecodebate⁷²

No entanto, ainda tem muito que fazer. O fato é que para alterar o quadro de aquecimento global e tentar preservar a humanidade dos riscos, até mesmo de extinção, se faz necessário reduzir drasticamente a emissão de gases poluentes que afetam a camada de ozônio e produzem o efeito estufa.

A emissão de gases, principalmente, aqueles provenientes dos combustíveis fósseis, que origina o efeito estufa, ultrapassa a casa dos 60%, são responsáveis pelo aquecimento global.

Portanto o setor elétrico, com as tecnologias atuais para a produção de energia limpa, aposta nas energias renováveis, entre elas a eólica.

Apesar de na atualidade, existirem poucos parques Eólicos em operação, existem

⁷² www.ecodebate.com.br

projetos para sua construção em maior escala.

Isto se justifica porque a energia eólica é uma importante alternativa para enfrentar grande desafio no combate ao aquecimento global.

A energia eólica na geração de eletricidade é uma alternativa renovável que produz baixos impactos ambientais, pois não usam combustíveis, não há emissões de gases ou de qualquer outro resíduo, como ocorre nas usinas termelétricas ou que utilizam os combustíveis fósseis, ou até mesmo as que utilizam a biomassas ou os resíduos industriais e urbanos.

Já no aspecto social, as usinas eólicas não provocam desapropriações de áreas, remanejamento de pessoas, como nas hidrelétricas, havendo compatibilidade entre a produção de eletricidade a partir do vento e ao mesmo o uso da terra para a pecuária e para a agricultura⁷³ Até mesmo os impactos socioambientais são pequenos devido a grande dimensão que assume a utilização desta importante fonte renovável de energia.

2.1.1 Os Impactos Socioambientais da Energia Eólica

A Energia eólica tem pouca influência no meio ambiente, já que em seu uso não há emissões de gases, nem sobra resíduos nocivos à vida humana. Além disso, não há deslocamento de populações, animais ou plantas, nem alagamentos de áreas, cidades ou sítios arqueológicos, nem inviabiliza a área utilizada⁷⁴.

No entanto, tudo que se vai fazer na natureza tem o seu preço e, a produção de energia eólica, também causa alguns impactos, embora sem grande importância para a natureza.

Na utilização do terreno⁷⁵, por exemplo, uma usina elétrica ocupa uma grande área, cerca de 10km². Por outro lado o espaço utilizado é de pequeno porte na ordem de 2km² x 5km², somando uma área total de 10km², ocupados pela torre do aerogerador na sua base.

Desta área destaca-se uma área útil, onde estarão os aerogeradores, livres de toda rugosidade, árvores, residências, rede elétrica, que gira em torno de 4Km², isto é, uma área de 1,6 Km² x 3.2 Km², onde se pode instalar cerca de 20 aerogeradores no sistema 5D X10D, que fornece maior segurança na geração de energia, vencendo os obstáculos, tais como perdas

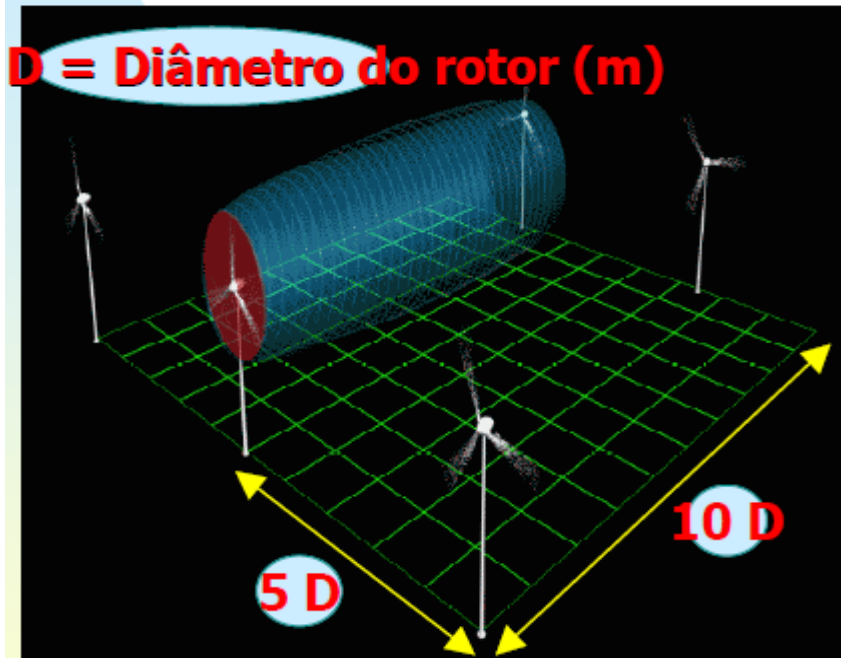
⁷³ CUSTÓDIO, Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada. Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

⁷⁴ Idem, 2013..

⁷⁵ AMARANTE, Odilon A. Camargo; ZACK, Michael Brower e John; Sá, Antônio Leite de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. CEPTEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2001.

elétricas: circuito interno + transmissão até o ponto de entrega; Consumo próprio e por indisponibilidade do sistema elétrico e dos aerogeradores (indisponibilidade forçada e programada), conforme figura 28.

Figura 28 – Cálculo da área útil e número dos aerogeradores.



Fonte: área e número de aerogeradores⁷⁶.

A grande vantagem é que o terreno pode ser ocupado e utilizado para outros fins como para a agricultura e pecuária e até mesmo para florestamento da área, como o plantio de eucalipto e pinus para uso industrial, sem influenciar nada na produção de energia, como mostra a Figura 28 a 31.

Figura 29 – uso compartilhado do solo para energia eólica e pecuária



Fonte: brsilagrícola⁷⁷

⁷⁶ AEROGERADOR. Cálculo de número e área útil de instalação. Disponível em: disciplinas.stoa.usp.br/mod/resource/view.php?id=43705. Acesso em 08/12/2015.

Figura 30 uso compartilhado do solo para pecuária e energia eólica.



Fontes: Idem⁷⁸

Figura 31– A energia eólica e a produção agrícola



Fonte: Idem⁷⁹

As figuras acima mostram o uso compartilhado do solo para produção de energia eólica e a agricultura.

Quanto ao impacto visual os modernos aerogeradores, com as torres acima dos 100 metros e suas pás com cerca de 30 metros, constitui uma alteração no espaço visual da paisagem, mas isso pode ser amenizado com algumas medidas simples como a pintura das torres nas cores da paisagem local.

Em muitos casos basta que os aerogeradores sejam dispostos de forma a se tornar parte do ambiente e com isso seja amenizado o impacto visual, como é o caso da Figura 32.

⁷⁷ www.brasilagrícola.com

⁷⁸ Idem p. 1

⁷⁹ Idem. 2

Figura 32 – Parque eólico harmonizado com o ambiente.



Fonte: Visãoolhar⁸⁰

Como impacto socioambiental pode ocorrer que a sombra do Aerogerador impacte pelo seu reflexo no solo, causando um desconforto para os moradores das imediações, conforme figura abaixo:

Figura 33 – Sombra de um aerogerador



Fonte: Panorama⁸¹

Por outro lado, no Brasil, o efeito da sombra é menos preocupante. Por ser um país tropical tem um azimute favorável, com produção de sombra a distância quase insignificante, além de o País possuir densas áreas com pouca densidade populacional o que favorece a instalação de aerogeradores sem a ocorrência deste problema.

Outro recurso que pode ser utilizado para amenizar o problema da sombra é utilização de pinturas opacas das pás que diminui o impacto da incidência solar sobre elas.

Outro impacto que certamente pode incomodar é a emissão de ruído.

Nos aerogeradores com diâmetro do rotor superior a 20 m, os ruídos são provocados pelos efeitos aerodinâmicos do vento sobre as pás da turbina. Os ruídos crescem à

⁸⁰ Visãoolhar42.blogspot.com

⁸¹ www.panorama.com

medida que aumenta a potência dos aerogeradores. No entanto, somente ruídos acima de 65 dB podem provocar efeito fisiológicos, embora os valores superiores a 30 dB, provoquem efeitos psíquicos sobre o ser humano. Por isso é que são recomendadas que as habitações devem ficar no mínimo a 200 m dos aerogeradores para evitar a interferência dos ruídos nos seres humanos.⁸²

Um dos principais efeitos socioambientais de um parque eólico sobre o meio ambiente é a possibilidade de mortalidade de aves, um efeito sensível à fauna do local de instalação das usinas eólicas. Este efeito se desdobra em: colisão com os aerogeradores, redução do habitat disponível, exclusão do habitat, redução do sucesso reprodutivo e eletrocussão e choque com as linhas de transmissão associado, mas o principal impacto é o choque com os aerogeradores. No entanto a mortalidade de aves é bastante específico para cada espécie e para cada lugar.

Os países baixos apresentam o seguinte índice de mortes anuais de aves, observando que o parque eólico tem uma mortalidade quase insignificante⁸³. A figura 42 mostra que A caça é responsável por 33,2% das mortes de aves. As Linhas de Transmissão, 22,1%; o Tráfego por 44,2% e as Turbinas Eólicas instaladas nos países baixos são responsáveis apenas por 0,4% das mortalidade de aves.

Isso ocorre, principalmente porque, as máquinas modernas possuem rotores de baixa rotação, inferior a 20 rpm. Isso minimiza o problema, já que as aves visualizam as pás e conseguem desviar, mesmo aquelas que voam a baixa altura.

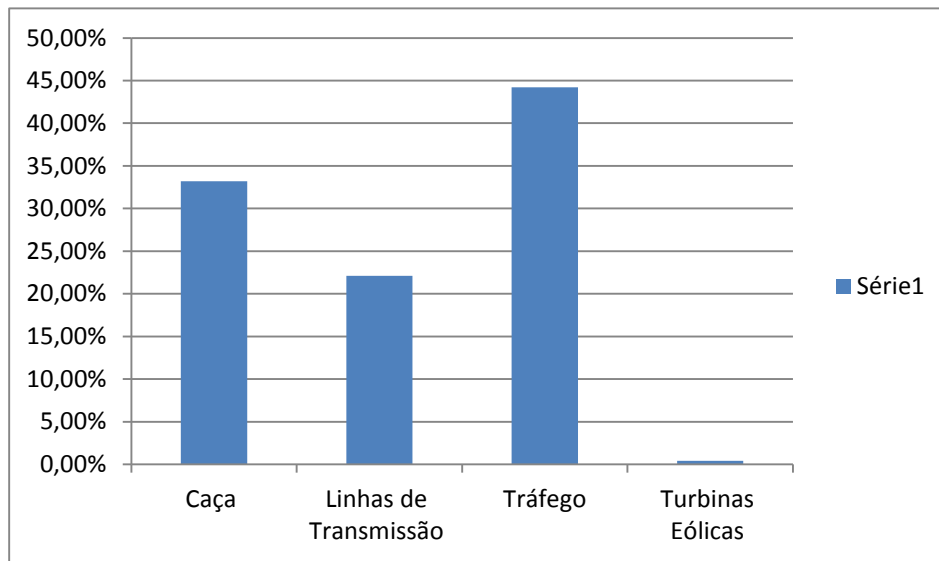
No entanto, mesmo com o impacto sendo pequeno, a instalação de parques eólicos em regiões densamente povoadas por pássaro deve ser analisada com cautela⁸⁴

⁸² semanaacademica.org

⁸³ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

⁸⁴ Idem 2013.

Gráfico 3 – Estimativa de mortes anuais de pássaros nos países baixos.



Fonte: (Acervo do autor)

Existem também as interferências eletromagnéticas pelos aerogeradores. Isso, em alguns casos, pode interferir e perturbar o sistema de telecomunicações. Apesar de não serem significativas são necessários estudos bem detalhados, em casos do parque ser instalado próximo a aeroporto e rede de retransmissão de sinais televisivos e telefônicos.

No quesito segurança das pessoas, os sistemas eólicos estão entre aqueles que produzem energia elétrica mais segura do mundo. É uma raridade alguém aparecer ferido por pedaços partidos de pás ou por queda de pedaços de gelo desprendido do sistema de refrigeração dos aerogeradores.

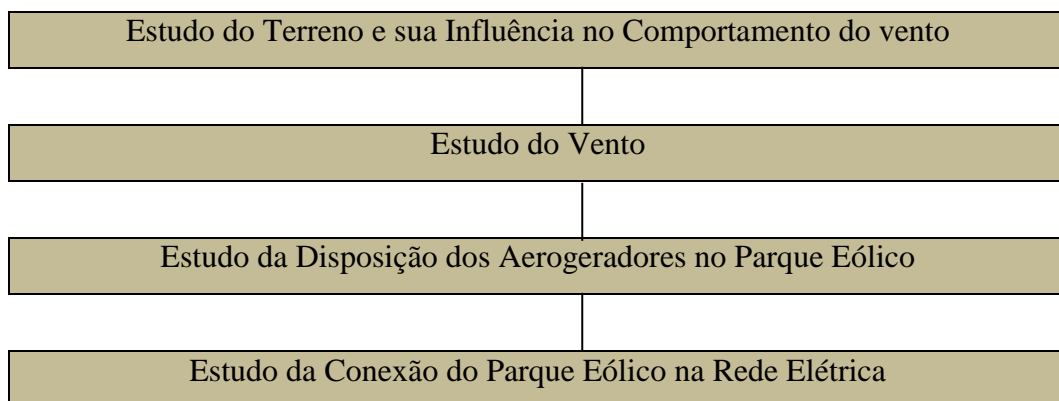
Mesmo em casos de descarga elétrica da atmosfera que danificam as pás, fazendo soltar delas estilhaços, mas isso impede de atingir pessoas, pois os parques eólicos são instalados em regiões descampadas, onde dificilmente há permanência de pessoas durante tempestades. Neste caso há mais risco de uma tempestade machucar as pessoas do que serem feridas pela queda de parte de pás danificadas pelas descargas atmosféricas.

3 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

A viabilidade Técnica para a instalação de um Parque Eólico depende de diversas variáveis, a começar por um Projeto bem elaborado que contemplem diversos parâmetros, como o estudo do terreno, estudo dos ventos, o estudo da disposição dos aerogeradores e o estudo da conexão da usina eólica à rede elétrica.

Na página 23, Título 1º foi analisado o estudo do terreno. Na página 26, no subtítulo 1.1, foi feita a análise dos ventos. Já a disposição dos aerogeradores foi feita a partir da análise da direção dos ventos, na página 28, item 1.1.1 onde ficou constatado que o vento sopra na direção ENE, ficando estabelecida a possibilidade da direção dos aerogeradores para aproveitar ao máxima a capacidade potencial dos ventos em transformar a energia mecânica em elétrica. Já a conexão da usina eólica com a rede elétrica, ficou bem clara, logo nas considerações conceituais, páginas 16 e 17, onde mostra que o local escolhido para o Parque Eólico está em posição estratégica, próximo à linha de transmissão de Alta Tensão da Cemig, sendo inclusive um local privilegiado, devido às proximidades de grandes centros de consumo de energia elétrica. Portanto um esquema viável de instalação de um Parque Eólico deve seguir um esquema que otimize a sua realização. Portanto se fazem necessários uma análise integrada dos efeitos do vento, do terreno, das turbinas e sua inserção na rede elétrica, conforme figura 43 ⁸⁵(CUSTODIO, 2013).

Figura 33 – Parâmetros de projeto de um Parque Eólico



Fonte: Energia Eólica⁸⁶

⁸⁵ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

⁸⁶ Idem 2013.

A viabilidade técnica para instalação de um Parque Eólico precisa analisar criteriosamente os parâmetros e determinar a metodologia que se vai seguir em vista da Construção deste Parque.

Na atualidade as “ferramentas computacionais têm sido desenvolvidas para auxiliar no projeto de um parque eólico e na locação das máquinas. Entretanto, nenhuma é autossuficiente e direta”⁸⁷.

Para o autor o projeto deve contemplar as seguintes fases mostradas na figura 31

Figura 34 – Esquema da metodologia para o projeto de Estudo da Viabilidade Técnica de um Parque Eólico .



Fonte: Idem⁷⁹

⁸⁷ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

Neste Estudo que contempla apenas a Viabilidade Técnica, estão excluídos os 3 últimos itens, ou seja, tudo o que se refere a investimentos e implantação, conforme está definido desde o início dos estudos.

No primeiro item do esquema prevê a escolha do terreno e no caso, foram analisado e concluído que a região é promissora, apresentando um bom potencial eólico e uma área que poderá ser ocupada por um período que compensa tal investimento.

O espaço para instalação dos aerogeradores é adequado, com pouca rugosidade e espaço que dá para a instalação dos aerogeradores dentro da expectativa pretendida.

A rugosidade do terreno e do entorno é favorável distante de residências e poucas matas, cujas árvores não ultrapassam a 20 metros de altura. O entorno é propício, com poucas montanhas que estão abaixo dos 100 metros preferenciais para a instalação dos rotores. A distância no sentido do vento ultrapassa a 20 km o que permite a instalação dos aerogeradores com baixa rugosidade.

No que diz respeito ao acesso ao local é facilitado. A área está ao lado da MG111, estrada com pavimentação asfáltica que liga Ipanema a Aimorés e Rio de Janeiro, propiciando facilidade de acesso para visitas técnicas e manutenção. No quesito transporte, A MG 111 está ligada a Aimorés, onde passa a linha de ferro, Vitória-Minas, com possibilidade de transporte de peças proveniente de importações, tanto do Porto de Vitória, como também do Porto do Rio de Janeiro, onde também tem acesso através da MG111. Portanto, não teria nenhum problema para transportes de peças pesadas para maquinário e guindastes para montagem dos aerogeradores.

Quanto à distância da rede elétrica e viabilidades de conexão é considerada uma das facilidades para a Instalação do Parque Eólico neste local. Não será necessário grandes investimentos em rede de distribuição, pois a rede Elétrica de Transmissão de Alta Tensão está próximo ao local e a 2 KM existe uma subestação da CEMIG que distribui energia para toda a região. Pela previsão será necessário algumas torres para receber a fiação, pois a distância é pequena e poderá fazer a inserção com um emprego baixo de recursos.

Quanto a autorização do proprietário não terá nenhuma dificuldade na cessão do terreno, mesmo porque pode continuar usando-o para pastagem e/ou para a agricultura de pequeno porte.

No Quesito restrições ambientais ou legais, estas são praticamente nulas, pois a região não é rota de migração de pássaros, a reserva ambiental mais próxima está há cerca de 50 km. Não há também restrições legais, pois a área é titulada com um só fazendeiro, não é de interesse público e não está em litígio jurídico. Quanto a outros aspectos como ruídos, não há

residência em um raio de 500 metros estando, portanto, dentro da margem de segurança.

Diante de todas estas informações já se pode pensar e definir a viabilidade técnica da construção de um Parque Eólico em Ipanema-MG.

Para que o Estudo da viabilidade técnica seja uma realidade alcançável, deve-se pensar primeiro nos Aerogeradores e na tecnologia a ser empregada.

Os aerogeradores que conhecemos atualmente baseiam-se nos que o Dinamarquês Poul la Cour construiu, em 1896, baseados em experiências que ele próprio conduziu. Nos anos 80 começaram a aparecer as primeiras indústrias e empresas fabricantes de aerogeradores (maioritariamente Dinamarquesas, como Vestas, Nordtank, Bonus...) e, conseqüentemente, os parques de geração, ligados à rede⁸⁸.

No que diz respeito às turbinas eólicas, estas podem ser horizontal e vertical. De acordo com Fellipes, (2012)⁸⁹, “existem dois tipos principais de famílias de turbinas eólicas: as de eixo vertical e as de eixo horizontal. Ambas podem utilizar força de arraste ou a força de sustentação produzida pelo vento para se movimentarem”.

As TEEH (horizontais)

são as mais utilizadas e comercializadas no mercado, e têm como característica principal a necessidade de um mecanismo que permita o posicionamento do eixo do rotor em relação a direção do vento, para um melhor aproveitamento, principalmente onde se tenha mudança na direção dos ventos⁹⁰.

As turbinas horizontais possuem três componentes básicos, o rotor com as pás, a gôndola (nacele) e a torre.

Em nosso caso, iremos calcular o uso de aerogeradores com turbina de eixo horizontal, cujas pás girem em um plano perpendicular em direção principal do vento, apesar das dificuldades em captar o vento, porém, aproveita melhor o vento em baixa velocidade, apresentando maior eficiência na conversão energética e do fator capacidade.

O fator capacidade de um aerogerador, de acordo com Custódio (2002)⁹¹, “é a relação entre a energia gerada e a capacidade de produção, dependendo da capacidade do vento local

⁸⁸CRUZ, Ricardo. VENTURA, Rui. **Integração da energia eólica na rede: Projeto de produção e planejamento de eletricidade**. 2009. 67 f. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009, p. 35.

⁸⁹FELIPPES, Rodrigo Adriano de. **Análise e desenvolvimento de aerogeradores com pás compósitas**. 2012, 178 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012, p. 65.

⁹⁰ WENZEL, Guilherme München. **Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal**. 2007, 74 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007, p. 35.

⁹¹ CUSTÓDIO, R. S. **Parâmetros do Projeto de Fazendas Eólicas e aplicação específica no Rio Grande do Sul**. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Elétrica)- PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto alegre, 2002

que pode ser apresentada pelas equações 1 e 2.

$$F_c = \frac{E_{\text{estimada}}}{E_{\text{nominal}}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde.

F_c – Fator de Capacidade

E_{estimada} – Energia estimada

E_{nominal} - Energia nominal.

A energia estimada pode ser calculada de acordo com a equação:

$$E = \int P_n dt \quad (\text{Equação 3}).$$

Onde :

E – Energia gerada

P_n – Potência nominal da máquina.

Já a energia anual é calculada através da equação:

$$E_a = \int P(V(t)) dt \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$P(V(t))$ – Potência em função da velocidade do vento – obtida da curva característica da máquina.

Fonte: Energia Eólica⁹²

De acordo com o gráfico, observa-se que a potência típica de um aerogerador é de 0,16p.u.

Sabendo – se que o aerogerador possui uma potência nominal de 1000Kw, concluímos que em 7 m/s irá gerar :

$$P = 1000kw \times 0.16 = 16 Kw$$

Utilizando como previsto no trabalho uma série de 20 aerogeradores pode – se gerar em torno de:

$$A \ 7 \ m/s.$$

$$P_{\text{total}} = 16kw \times 20 = 320kw$$

⁹² CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.** Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

Energia Anual Gerada

$$A \text{ 7 m/s} \quad \text{EAG} = 320K \times 8760 = 2,8 \text{ GWh}$$

EAG : Energia anual gerada 8760 = Número de horas de um ano.

Após os cálculos e a medição dos ventos, que obteve uma velocidade constante entre e 12 a 20km/h, encontra-se que o vento está em uma velocidade que pode atingir entre 3,6 m/s até 8m/s, de acordo com o item 1.1, p. 26, Medição dos ventos, propiciando a instalação de aerogeradores de médio porte que podem produzir com a velocidade do vento local, entre 500 a 1000 KW⁹³.

O cálculo do mínimo simplificado: $5 \text{ m / s} = 5 \times (1 / 1000) \text{ Km} / (1 / 3600) \text{ s} = 5 \text{ m / s} = (5 / 1000) \text{ Km} / (1 / 3600) \text{ s} = (5 \times 3600 / 1000) \text{ Km} / \text{s} = 5 \times 3,6 \text{ Km} / \text{s}$

Isso é de extrema importância, pois, Segundo Carvalho (2003)⁹⁴, a produção eólica vem crescendo nos últimos 30 anos, sendo “uma fonte de energia limpa e disponível mundialmente, em lugares com velocidades de vento maiores que 5m/s”, que é o caso de Ipanema-MG.

A viabilidade técnica da instalação de um Parque eólico em Ipanema cresce, à medida que ocorrem as mudanças climáticas cresce a importância das energias renováveis. Segundo Alves, (2010)⁹⁵, “no Brasil o potencial eólico tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com energia eólica”. E ainda que o Brasil, se apresenta como

melhor país do mundo para investimentos na área de energias renováveis, e o Rio Grande do Norte oferece as melhores condições para implantação de usinas eólicas, com ventos intensos e constantes em pelo menos 5% do seu território, que são as áreas: Nordeste do estado, Litoral Norte-Noroeste e as Serras centrais. O investimento nessa área fará com que o Estado se torne autossuficiente em geração de energia elétrica em pouco tempo, evitando assim o risco de apagões⁹⁶ (ALVES, 2010).

O que nos remete à uma maior viabilidade da instalação de um Parque Eólico em Ipanema.

Quanto ao potencial eólico brasileiro,

Embora ainda haja divergências entre especialistas e instituições na estimativa do

⁹³ ENERGIA EÓLICA – **Aneel**. Disponível em [www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso em 1/12/2015. p. 97.

⁹⁴ CARVALHO, P.. **Geração Eólica**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2003a. 146f.

⁹⁵ ALVES, Jose Jakson Amancio. **Análise regional da energia eólica no Brasil**. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, SP, v. 6, n. 1, p. 165-188, janabr/2010.

⁹⁶ ALVES, Jose Jakson Amancio. **Análise regional da energia eólica no Brasil**. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, SP, v. 6, n. 1, p. 165-188, janabr/2010.

potencial eólico brasileiro, vários estudos indicam valores consideráveis. Até poucos anos, as estimativas eram da ordem de 20.000 MW. Hoje a maioria dos estudos indica valores maiores que 60.000 MW. Essas divergências decorrem principalmente da falta de informações (dados de superfície) e das diferentes metodologias empregadas⁹⁷.

Em Ipanema, isso não mostra diferença muito importante. O Potencial eólico da área escolhida é bastante constante o que acena positivamente com vantagens compensatórias na instalação deste Parque Eólico, desde que seja escolhido o melhor tipo de conexão.

Precisa ser ressaltado que o estudo da conexão de uma usina eólica no sistema elétrico, é um dos principais parâmetros de um projeto de um parque eólico.

O estudo demonstra claramente que a conexão, neste projeto é viável devido a proximidade da rede.

No entanto, não basta apenas ser próximo à rede, é preciso fazer o tipo de conexão correta para não correr riscos de perdas de energia.

O circuito disponível é de Alta Tensão, isto é, acima de 34,5 KV até 230 KV.

O sistema elétrico disponível é o de subtransmissão, acima de 34,5KV, cujas linhas atendem ao transporte regional de energia para cidades de porte médio e um grupo de pequenas cidades.

O esquema elétrico de um Parque Eólico é composto de um conjunto de aerogeradores conectados em paralelo de forma a constituir uma usina de produção de energia.

No caso de Ipanema, podem ser instalados até 20 Aerogeradores que somados produzirão a quantidade de energia suficiente para tornar o Parque Eólico rentável e lucrativo.

O parque Eólico de Ipanema deverá produzir energia para se tornar complementar ao sistema elétrico regional, pois não será capaz de sozinho prover a energia para toda a região.

A qualidade da energia a ser produzida estará dentro dos padrões brasileira definida pelo ONS, Operador Nacional de Sistema Elétrico, cuja tensão está entre 13,8 e 525 KV e uma variação de frequência entre 59,5 e 60 Hz.

Para evitar interferências na qualidade de energia serão instalados conversores estáticos nos aerogeradores que são de velocidade variável, considerando os seguintes

⁹⁷ BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia eólica.** 2003. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06_Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06_Energia_Eolica(3).pdf)>. Acesso em: 21/09/2015.

aspectos:

- a) Variação da potência da turbina eólica;
- b) potência reativa e fator de potência;
- c) transitórios de chaveamento elétrico;
- d) flicker;
- e) harmônicos de tensão e corrente.

Na Tabela 1, estão apresentadas as possíveis interferências provocadas na rede pelos aerogeradores e suas possíveis causas, definindo os parâmetros da qualidade da energia produzida no local.

Portanto, se faz necessário analisar também a interferência dos aerogeradores no sistema elétrico já que qualquer alteração pode interferir diretamente no consumidor final, seja no equilíbrio energético, seja nos distúrbios de energia que pode ocasionar prejuízos e até mesmo danificar aparelhos elétricos nas residências, isto é, interferir na qualidade da energia fornecida.

Tabela 1 – Interferência dos aerogeradores no sistema elétrico e suas causas.

Interferência no Sistema Elétrico	Causa(s)
Sobretensão	Produção de Potência
Situação de tensão e flicker	Operações de chaveamento Efeito da sombra da torre Erro no passo da pá Erro de direcionamento Rajada de vento Flutuações da velocidade do vento
Harmônicos	Inversor de frequência Controle de trístores
Consumo de energia reativa	Componentes indutivos Gerador Assíncrono (Não se aplica)
Picos e afundamento de tensão	Operações de chaveamento

Fonte: Energia Eólica⁹⁸

⁹⁸ CUSTÓDIO, **Energia Eólica para produção de energia elétrica. 2ª Edição, Revista e ampliada.**

A determinação da qualidade da energia gerada por aerogeradores, visando a compatibilização com o sistema elétrico regional, deve considerar as condições normais e as especiais.

Considera-se condição normal quando a produção é contínua, sem interrupções e especiais quando ocorre alguma interrupção, por distorções de qualquer natureza.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Escolha da Cidade de Ipanema para a análise da possibilidade da instalação de um Parque Eólico se deu pelo fato de sua localização estratégica e proximidade de grandes centros de consumo, cujas linhas de transmissão que lhes fornecem energia cortam a cidade sendo um item importante na questão econômica da instalação de usinas de aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica.

Além disso, a cidade de Ipanema tem uma topografia que favorece, onde existem corrente de ventos com boa velocidade há de 100 metros de altura.

Outro fator que torna importante essa escolha é o acesso, pois esta região está ligada por vias asfálticas aos grandes centros urbanos e está a 90 km da Estrada de Ferro Vitória-Minas transformando-se num fator positivo para transporte de peças e equipamentos

Após os estudos da velocidade dos ventos, as condições ambientais e a localização de uma área propícia, entendeu-se por bem realizar análise para a instalação de aerogeradores síncronos com conversor em torres tubulares que produzissem uma faixa de energia classificada em média potencialidade.

Portanto o estudo aponta para a instalação de 20 unidades de aerogeradores que poderiam produzir uma potência de 320kw e uma energia anual de 2,8 Gwh que tornaria o Parque Eólico de Ipanema rentável e lucrativo.

As unidades aerogeradores, de acordo com a direção dos ventos deverão ser instaladas na direção ENE – Leste-Nordeste, para que a posição dos ventos seja favorável ao máximo aproveitamento de toda a sua potencialidade.

É também um fator positivo a possibilidade de utilização do solo onde o Parque será instalado de forma compartilhada, seja pela agropecuária ou pelo agronegócio.

Já no quesito segurança o estudo demonstrou que não há entraves, pois não existem reservas florestais próximos ao local e isso evita que aves possam morrer ao passar pelos aerogeradores e se chocarem com as pás em movimento. Não há problema para a segurança das pessoas, pois não há residências a área e o local é de pouca movimentação.

Assim, a cidade de Ipanema poderá sediar um Parque Eólico, com a possibilidade de produção de energia limpa, de fonte inesgotável e, com certeza, a viabilidade econômica mostrará que será também uma energia de baixo custo o que trará enormes benefícios não só

para a região, mas também para todo o Brasil.

Diante dos estudos realizados até o momento, percebe-se que existe viabilidade técnica para a instalação de um Parque Eólico em Ipanema, e fica, em aberto a proposta para que empresas ou pessoas físicas interessadas em construí-lo, promover os estudos necessários para definir a viabilidade econômica para a sua implementação.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jose Jakson Amancio. **Análise regional da energia eólica no Brasil**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, SP, v. 6, n. 1, p. 165-188, janabr/2010.

AZEVEDO, Reinaldo. **Dilma a energia e o vento: ela não aprende nada nem esquece nada!** Disponível em: <http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/geral/dilma-a-energia-e-o-vento-ela-nao-aprende-nada-nem-esquece-nada>. Acessado em 16/03/2015.

AMARANTE, Odilon A. Camargo; ZACK, Michael Brower e John; Sá, Antônio Leite de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2001.

ANEEL. Resolução N° 112/1999. **Requisitos para autorização de implantação de.....** Disponível em: www.gasnet.com.br/legislacao/ANEEL112.PDF. Acesso em 15/09/2015.

BRASIL, Resolução ANEL 394/ Artigo 2° , Brasília, 1998.

BRASIL. Lei n° 9.074/1995, **Produção Independente de Energia**. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074cons.htm. Acesso em 15/09/2015.

_____. Decreto 2003/96 - Presidência da Republica – **Regulamenta a Lei 9074/1995**. Disponível em: presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/109351/decreto-2003-96. Acesso em 15/09/2015.

_____. **Lei 10.762 de 11 de novembro de 2003**. Brasília. Casa Civil da Presidência da República. 2003. Disponível e: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.762.htm. Acesso em 15/09/2015.

_____. **Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica**. Energia eólica. 2003. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06Energia_Eolica(3).pdf). Acesso em: 21/09/2015.

_____. **Lei 11075/04** - Presidência da Republica – Jus Brasil Brasília. Casa Civil da Presidência da República. Disponível em: presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/96995/lei-11075-04. Acesso em: 15/09/2015.

_____. **Decreto n° 4.541, de 23 de dezembro de 2002** – Casa Civil da Presidência da República. 2002. Regulamentação Proinfra. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4541.htm. Acesso em 15/09/2015.

_____. **DECRETO N° 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004** – Altera Incisos da Lei 10.438. Disponível em: www2.camara.leg.br/.../decreto-5025-30-marco-2004-531461-norma-pe... Acesso em 15/09/2015.

_____. **LEI N° 11.488** - DE 15 DE JUNHO DE 2007 – DATAPREV. Regime especial de incentivos, para o desenvolvimento de Infraestrutura. Disponível em:

www3.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2007/11488.htm. Acesso em 15/09/2015.

_____. **Decreto nº 6144** – Casa Civil da Presidência da República. Regulamenta a REIDI. – Lei 11.488/2007. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/.../Decreto/D6144.htm. Acesso em 15/09/2015.

_____. **Lei nº 11.727, de 23 de junho de 2008** – Brasília. Casa Civil da Presidência da República., 2008c, disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/11727.htm. Acesso em 16/09/2015.

_____. **DECRETO Nº 6.144, de 3 de julho de 2007** – Brasília. Casa Civil da Presidência da República, 2007b. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007.../2007/Decreto/D6144.htm. Acesso em 16/09/2015.

_____. Ministério das Minas e Energia. Portaria MME 319/2008. Estabelece habilitação..... Disponível em: www.contabeis.com.br/legislacao/53390/portaria-mme-319-2008/. Acesso em 16/09/2015.

_____. **Decreto nº 2.025, de 30 de março de 2004**. Brasília: Casa Civil da Presidência da República, 2004b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm. Acesso em 16/09/2015.

_____. **Decreto nº 5.882, 31 de agosto de 2006**. Brasília. Casa Civil da Presidência da República, 2006. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/.../Decreto/D5882.htm. Acesso em 16/09/2015.

CARVALHO, P.. **Geração Eólica. Fortaleza:** Imprensa Universitária, 2003a. 146f.

CRUZ, Ricardo. VENTURA, Rui. **Integração da energia eólica na rede:** Projeto de produção e planejamento de eletricidade. 2009. 67 f. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

_____. **Parâmetros do Projeto de Fazendas Eólicas e a aplicação específica no Rio Grande do Sul.** Dissertação – (Mestrado em Engenharia Elétrica)- PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto alegre, 2002.

_____. **Energia Eólica para produção de energia elétrica.** 2ª Edição, Revista e ampliada. Editora Synergia. Rio de Janeiro, 2013.

DOWN, K; DOWNING; THOMAS, E. **The Atlas of Climate Change.** Earthscan, London, UK, 2006.

DUTRA, J. **Gestão de Pessoas: Modelo, Processos, Tendências e Perspectivas.** São Paulo: Atlas, 2006.

ENERGIA EÓLICA – **Aneel.** Disponível em [www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso em 1/12/2015.

EQUIPE, **Caminhos para o futuro**. Brasil avança em energia solar e eólica. Disponível em: <http://epocanegocios.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Energia/noticia/2014/08/brasil-avanca-em-energia-solar-e-eolica.html>. Acessado em: 22/04/2015.

FELIPPES, Rodrigo Adriano de. **Análise e desenvolvimento de aerogeradores com pás compósitas**. 2012, 178 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GARRATT, J. R. **The atmospheric boundary layer**. [S.l.]: Cambridge, 1992.

GLOBAL Wind Energy Council, **Global Wind Energy Outlook 2006**. Disponível em <http://www.gwec.net/index.php?id=65>. Acesso em 27/08/2015.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL.. **Wind Power is Crucial for Combating Climate Change**, 2010. Disponível em:
<http://www.gwec.net/uploads/media/Wind___climate_fact_sheet_low_res.pdf>.
Acesso em: 27/08/2015.

LETTAU, H. Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness element description. *Journal of Applied Meteorology* 8, 1969, 828-832.

MACHADO, Rogerio Rossi. **Estudo do Potencial Eólico do Pontal do Abreu**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2008.

MILANEZ, J. V. et al. **Energia Nuclear Socialmente aceitável como solução possível para a demanda energética brasileira**. *Revista Ciências do Ambiente On-Line* Fevereiro, 2006. Volume 2, Número 1

MORTENSEM, N. G. et al. **Win Atlas Analisis and Aplicacion Program (ASsP. Vol 1 e 2**. Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1993.

O.A.C. do Amarante, M. Brower, J. Zack e A.L. Sá, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro** (Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001).

PAVINATTO, E. F. **“Ferramenta para Auxílio à Análise de Viabilidade Técnica da Conexão de Parques Eólicos à Rede Elétrica”**. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)- COPPE. Rio de Janeiro, RJ- Brasil, 2005.

P. Agnolucci, *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 11, 951, 2007.

PINHO, António Monteiro. **Gestão de Projectos de Parques Eólicos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008.

REIS, Joana Magda Vaz da Silva. **O comportamento dos Geradores Eólicos com conversores diante de Curto-circuito no sistema**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SANTIAGO, Emerson. **Energia nuclear no Brasil**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/geografia/energia-nuclear-no-brasil>. Acessado em 14/03/2015.

SARTORI, Ernani. **Usinas termoelétricas causam muitos danos ao ambiente e ao país.** Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2008/08/16/usinas-termoeletricas-causam-muitos-danos-ao-ambiente-e-ao-pais-artigo-de-ernanio-sartori>. Acessado em 13/03/2015.

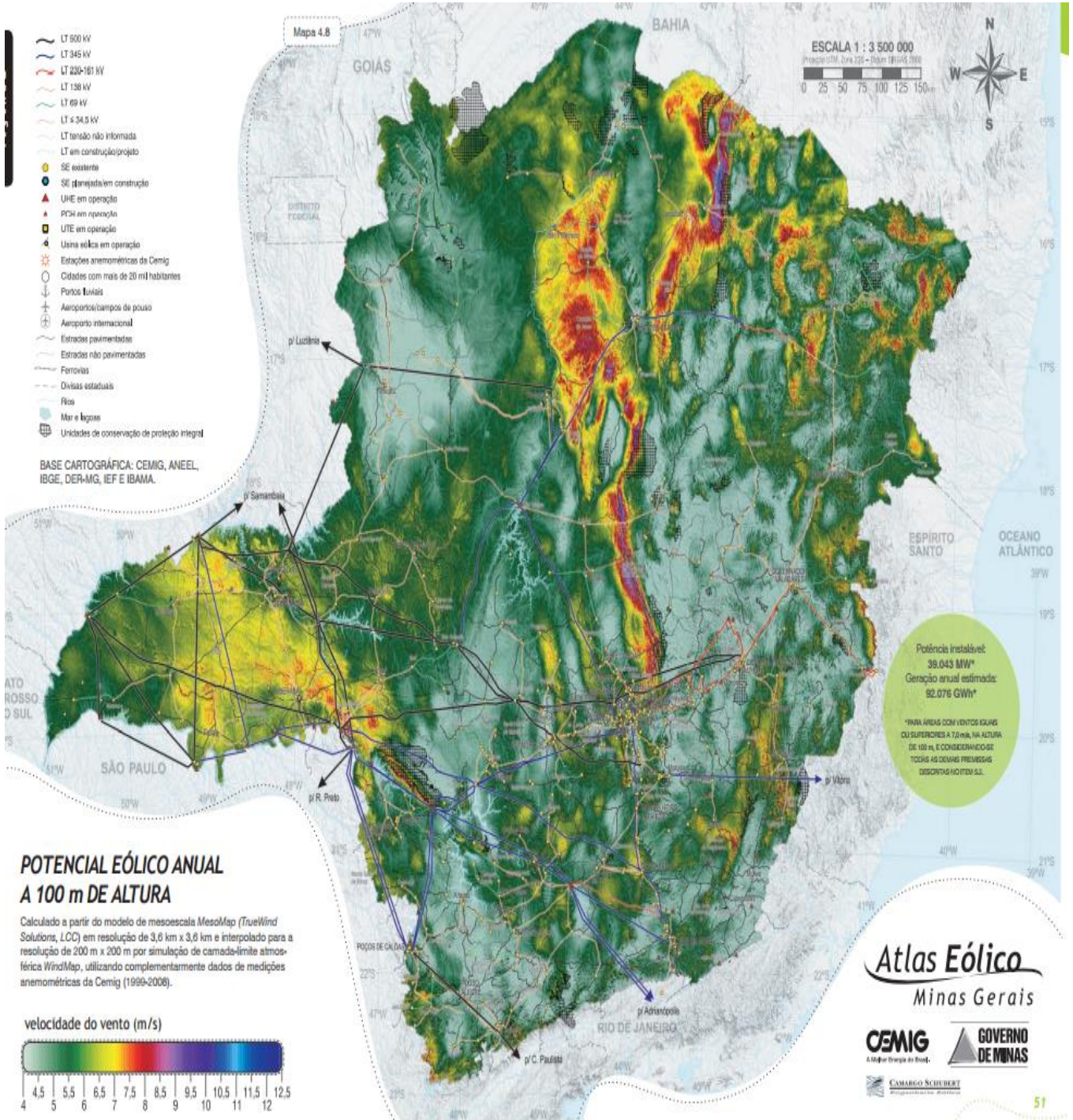
TEIXEIRA, José Cleber. **Atlas Eólico de Minas Gerais.** Disponível em: ielged.fiemg.com.br/.../Apresentação%20Atlas%20Eólico%20MG%20-%20... Acesso em 27/08/25015.

WENZEL, Guilherme München. **Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal.** 2007, 74 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ANEXOS

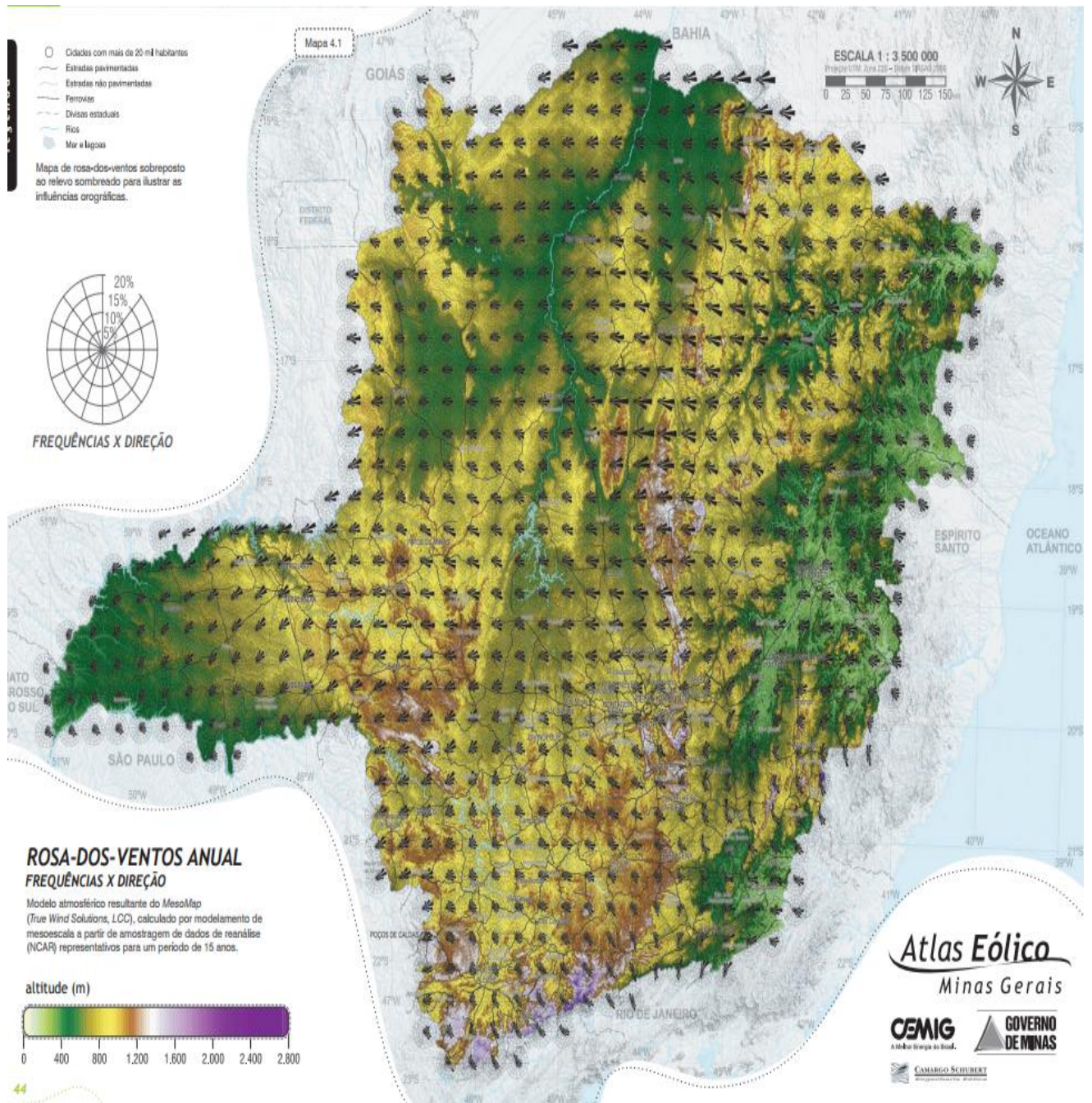
ANEXO A – Atlas Eólicos

Foto aérea 1 – Ventos a 100 metros de altura



Fonte – Atlas Eólico de Minas Gerais

Foto Aérea 2 – Direção dos Ventos



Fonte: Atlas Eólico de Minas Gerais

ANEXO B – Fotos ilustrativas da montagem de um parque Eólico.

Foto 1 – Preparação do terreno



Fonte: mogmo.com.br

Foto 2 – Depósito de Equipamentos.



Fonte: Brumadoagora.com.br

Foto 3 – Montagem da base



Fonte: incorporaçãoimobiliária.com

Foto 4 – Montagem da torre

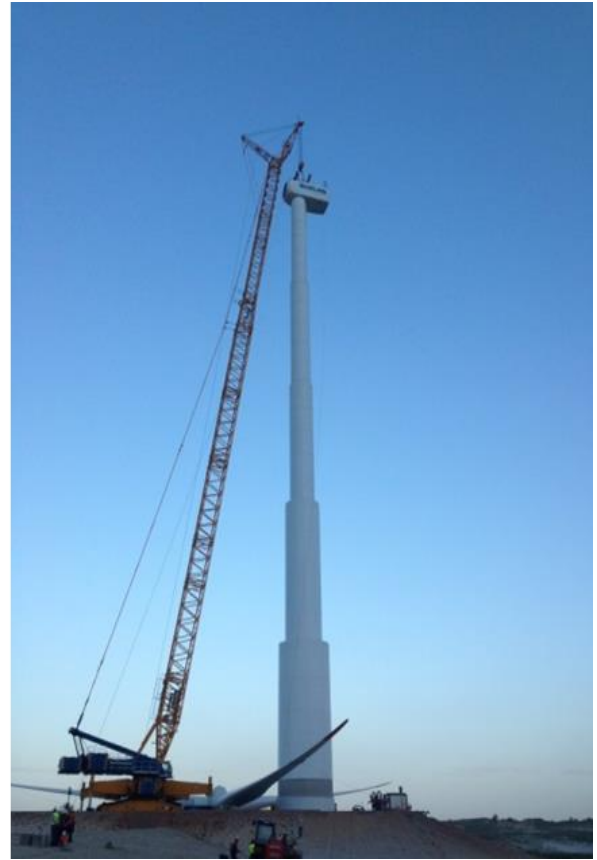


Fonte: skyscarpedit.com

Fotos 5 e 6 – Colocando a nacele



Final da colocação da nacele.



Fonte: eficienciaenergéticaucpel blogspot.com.

Foto 7 e 8 Colocando as pás



Colocação das pás.



Fonte: Portal energia.com

Fonte: Idem

Foto 9 – Um aerogerador pronto para funcionar e produzir



Fonte: potral/energia.com