

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA AMBIENTAL

FERNANDA AÖR

GESTÃO DO AMBIENTE SONORO DE PARQUES EÓLICOS: ALTERNATIVAS PARA
AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTO ACÚSTICO

Rio de Janeiro,
2014



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

GESTÃO DO AMBIENTE SONORO DE PARQUES EÓLICOS: ALTERNATIVAS PARA A AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTO ACÚSTICO

Fernanda Aör

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador:

Emilio Lèbre La Rovere

Rio de Janeiro,
Agosto de 2014.

GESTÃO DO AMBIENTE SONORO DE PARQUES EÓLICOS: ALTERNATIVAS PARA
AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTO ACÚSTICO

Fernanda Aör

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Aprovado por:

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc

Prof. Heloísa Teixeira Firmo, D.Sc.

Fernanda Fortes Westin, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
AGOSTO de 2013.

Aör, Fernanda

Gestão do Ambiente Sonoro de Parques Eólicos:
Alternativas para Avaliação e Mitigação do Impacto Acústico/
Fernanda Aör. - Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica,
2014.

xii, 82 p.; il.; 29,7 cm.

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Projeto de Graduação - UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de
Engenharia Ambiental, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 71.

1. Acústica de Parques Eólicos; 2. Estudo de impacto
acústico; 3. Metodologia; 4. Ferramentas para avaliação e
mitigação de impacto acústico.

I. La Rovere, Emilio Lèbre. II. Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia
Ambiental. III. Gestão do Ambiente Sonoro de Parques
Eólicos: Alternativas para Avaliação e Mitigação do Impacto
Acústico.

AGRADECIMENTOS

Lembro-me do meu primeiro dia nesta Universidade, ingênua eu era ao tentar prever o meu futuro como Engenheira. Hoje, ao me formar, a certeza que tenho é a da imprevisibilidade da vida.

Agradeço aos que me amam incondicionalmente, aqueles que principalmente durante estes últimos anos estiveram comigo a cada recomeço que a vida me proporcionou. Obrigada por continuarem acreditando na filha de vocês.

Sou grata à minha querida tia Beth, incluindo a sua "trupe animal", pelo carinho imenso. Ao meu irmão, Rodrigo, meu grande parceiro.

Devo agradecer aos meus amigos, colegas e todos aqueles que, em algum momento, me proporcionaram o prazer de ouvir e ser ouvida, aprender e ensinar, ajudar e ser ajudada. Entre eles, sou muito grata ao meu amigo Emanuel. Como um sábio, esteve sempre ao meu lado, me guiou e soube o momento certo de me deixar partir.

Agradeço ao Prof. Fernando Lima e aproveito para lembrá-lo do último parágrafo da carta de motivação que escrevi para o intercâmbio acadêmico:

"No futuro, ao finalizar meus estudos na Universidade, espero ter pavimentado, a partir de experiências como estas, o caminho pelo qual darei minha contribuição à sociedade. Não obstante, estou segura de que a experiência será de grande valia não apenas em meu crescimento profissional, mas também em minha evolução como pessoa e cidadã."

Fernando, certamente a sua confiança me auxiliou na construção do caminho que escolhi seguir desde o meu retorno da França.

Je tiens à remercier M. René GAMBIA pour m'avoir permis de travailler comme stagiaire au sein du groupe GAMBIA Acoustique. J'ai eu un réel plaisir à travailler et à partager des moments de détente avec les membres de la société.

Je remercie tout particulièrement M. Sébastien GARRIGUES pour tout ce que j'ai pu apprendre de son expérience. Depuis le début de ma recherche jusqu'au résultat final, ce rapport de fin d'études a été réalisé grâce à ses conseils et son support. Merci beaucoup.

Finalmente, agradeço profundamente meu orientador Emilio por reconhecer e acreditar que estou determinada a seguir o "*caminho pelo qual darei minha contribuição à sociedade*".

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

GESTÃO DO AMBIENTE SONORO DE PARQUES EÓLICOS: ALTERNATIVAS PARA
AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTO ACÚSTICO

Fernanda Aör

AGOSTO DE 2014.

ORIENTADOR: EMILIO LÈBRE LA ROVERE

CURSO: ENGENHARIA AMBIENTAL

O crescimento da capacidade instalada para geração eólica no Brasil e as expectativas de investimento no setor deverão incentivar, nos próximos anos, o uso de ferramentas que viabilizem a execução de projetos bem planejados do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Um estudo realizado recentemente para o diagnóstico da localização de empreendimentos eólicos em operação no país concluiu que 70% dos parques listados, que somam 1891 MW de potência instalada, encontram-se em zona de risco acústico, com residências expostas a níveis sonoros superiores aos valores máximos admissíveis pela regulamentação.

A gestão do ambiente sonoro de parques eólicos deve iniciar-se na fase de concepção do empreendimento, utilizando como base os resultados do estudo de previsão de impacto acústico. O objetivo do estudo é oferecer ao desenvolvedor do projeto alternativas para gestão do ruído emitido pelos aerogeradores durante o funcionamento do parque que garantam a conformidade legal de sua operação.

Com base na metodologia aplicada na França para a realização de estudos de impacto acústico de parques eólicos, este projeto tem como objetivo apresentar as ferramentas existentes para a sua avaliação e mitigação, bem como incentivar a sua aplicação entre empreendedores e órgãos ambientais no Brasil.

Por isso, foi realizado um estudo de caso para um dos projetos brasileiros ainda em fase de outorga. A partir de dados obtidos sobre o projeto, o prognóstico do ruído dos aerogeradores na área de influência do parque foi realizado com o uso do software de cálculo da propagação sonora AcousPROPA®. Os resultados serão apresentados e

comparados com as exigências regulamentares em vigor no país. Em seguida, será realizada uma análise comentada do EIA/RIMA do projeto disponibilizado pelo IDEMA.

Após a análise crítica dos procedimentos aplicados no Brasil para a avaliação do impacto acústico de parques eólicos, são propostas soluções que viabilizarão a expansão do setor eólico com a garantia de redução dos riscos socioeconômicos a ela associados.

Palavras-chave: impacto acústico, parque eólico, gestão do ambiente sonoro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. JUSTIFICATIVA.....	14
1.2. OBJETIVO.....	14
1.3. METODOLOGIA.....	14
2. DESENVOLVIMENTO DA GERAÇÃO EÓLICA	16
2.1. MUNDO	16
2.2. BRASIL	17
3. PARQUES EÓLICOS E MEIO AMBIENTE	20
3.1. FUNCIONAMENTO DE AEROGERADORES.....	20
3.2. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NEGATIVOS.....	21
i. Ruído	22
ii. Efeitos do ruído de aerogeradores na saúde humana	23
3.3. NÍVEIS DE RUÍDO E CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	24
i. Ruído de aerogeradores e distância	25
ii. Ruído ambiente	25
iii. Meteorologia	26
iv. Características do terreno.....	29
4. ACÚSTICA DE PARQUES EÓLICOS: A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL E O CASO DA FRANÇA	34
4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO ESTADO DA ARTE	34
4.2. O CASO DA FRANÇA.....	39
i. Histórico.....	39
ii. Contexto regulamentar e normativo	41
iii. Metodologia para a gestão do ambiente sonoro de parques eólicos	42
5. ESTUDO DE CASO: PARQUES EÓLICOS CAMPO DOS VENTOS I, III E V	55
5.1. O PROJETO.....	55

5.2. LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	56
i. Avaliação do ambiente sonoro	58
5.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO	59
i. Condições meteorológicas no local.....	60
ii. Características do aerogerador	61
iii. Área de influência	61
5.4. ESTIMATIVA DA CONTRIBUIÇÃO SONORA DOS AEROGERADORES	62
i. Modelagem da propagação sonora.....	63
ii. Resultados do cálculo.....	64
5.5. ANÁLISE DO EIA/RIMA PARQUES EOLICOS CAMPO DOS VENTOS I,III E V	67
i. Diagnóstico Ambiental	67
ii. Identificação e análise dos impactos ambientais	71
iii. Proposição de medidas mitigadoras dos impactos ambientais e planos de controle e monitoramento ambiental.....	76
6. ANÁLISE CRÍTICA DA REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA DE PARQUES EÓLICOS	78
6.1. ANÁLISE CRÍTICA E BOAS PRÁTICAS EM NÍVEL INTERNACIONAL.....	78
6.2. ANÁLISE CRÍTICA DA REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA.....	79
6.3. SUGESTÕES E PROPOSTAS PARA IMPLANTAÇÃO NO BRASIL	81
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
BIBLIOGRAFIA	86
APÊNDICE A - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS	87
APÊNDICE B - PRESENÇA DE COMPONENTES TONAIIS	89
APÊNDICE C - PADRONIZAÇÃO DOS VENTOS SEGUNDO O PROJETO DA NORMA FRANCESA PR NFS 31-114.....	91
APÊNDICE D - COEFICIENTE DE RUGOSIDADE E GRADIENTE DE VENTO	93

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Distribuição geográfica dos parques eólicos em operação no Brasil até o final de 2013.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2: Componentes de um aerogerador.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3: Influência da direção do vento na propagação sonora entre fonte de ruído e receptor.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4: Influência do gradiente de temperatura na propagação sonora em ausência de vento.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5: Influência do solo na propagação sonora em terrenos planos e acidentados.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6: Influência da vegetação na propagação sonora em terreno plano e acidentado.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7: Exemplo de material utilizado durante as campanhas de medição sonora.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 8: Simulação da trajetória dos raios sonoros emitidos por um aerogerador.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 9: Mapa de ruído das contribuições sonoras do parque eólico para um vento a 6 m/s e direção NNE.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 10: Etapas de um estudo de previsão de impacto acústico.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 11: Etapas de um estudo de monitoramento da operação de um parque eólico.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 12: Localização dos Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 13: Recomendações do Termo de Referência elaborado pelo IDEMA para o diagnóstico dos níveis sonoros no ambiente de localização do projeto.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 14: Recomendações do Termo de Referência elaborado pelo IDEMA para a caracterização do Complexo Eólico Campo dos Ventos.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 15: Vista do setor norte da área do Parque Eólico Campo dos Ventos I.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 16: Mapa das contribuições sonoras dos aerogeradores dos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V durante o período da noite sob vento a 8 m/s e direção SSE.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 17: Recomendações da norma técnica CETESB para a realização de medições sonoras.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 18: Medição para caracterização de ruído ambiente antes da implantação dos parques eólicos. .</i>	<i>68</i>
<i>Figura 19: Pontos de medição de ruído ambiente para diagnóstico ambiental do EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 20: Premissas consideradas no EIA/RIMA para a avaliação do impacto acústico durante a fase de operação dos parques eólicos.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 21: Mapa de isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos I.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 22: Mapa de isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos III.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 23: Mapa de isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos V.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 24: Proposta para mitigação do impacto acústico durante a fase de operação do projeto.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 25: Distância mínima entre parques eólicos e edificações vizinhas.</i>	<i>82</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da capacidade instalada para a geração eólica no mundo. Fonte: GWEC	16
Gráfico 2: Os dez países líderes em capacidade eólica instalada. Fonte: GWEC.	17
Gráfico 3: Evolução da capacidade instalada para geração eólica no Brasil. Fonte: GWEC.	18
Gráfico 4: Projeção para a evolução da capacidade instalada eólica brasileira. Fonte: PDE 2022.	19
Gráfico 5: Evolução da potência elétrica produzida por um aerogerador em função da velocidade do vento.....	21
Gráfico 6: Evolução da potência acústica do aerogerador em função da velocidade do vento. Fonte: Autoria própria.	22
Gráfico 7: Evolução do desconforto da população em função da emergência sonora. Fonte: Autoria própria.	24
Gráfico 8: Evolução da geração eólica na França. Fonte: Autoria própria.	39
Gráfico 9: Rosa dos ventos.	44
Gráfico 10: Exemplo de curva de dados de medição apresentando emergências superiores ao valores admissíveis. Fonte: Autoria própria.	51
Gráfico 11: Rosa dos ventos da área de implantação dos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V. Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.	60
Gráfico 12: Verificação da presença de componentes tonais.....	90
Gráfico 13: Variação dos gradientes de vento de acordo com os coeficientes de rugosidade.	95
Gráfico 14: Diferença entre as velocidades deslocadas à altura de 10 m segundo o coeficiente de rugosidade utilizado.	95
Gráfico 15: Etapas para a padronização do vento.....	96

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1: Impactos socioambientais negativos da geração eólica.</i>	21
<i>Tabela 2: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Alemanha).</i>	34
<i>Tabela 3: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Reino Unido).</i>	36
<i>Tabela 4: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Dinamarca).</i>	37
<i>Tabela 5: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Suécia).</i>	37
<i>Tabela 6: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Grécia).</i>	38
<i>Tabela 7: Exemplo de Sistema de Controle de Ruído (SCR) desenvolvido para ventos no setor de 20° a 120° durante o período da noite.</i>	52
<i>Tabela 8: Exemplo de Sistema de Controle de Ruído (SCR) desenvolvido para ventos no setor de 120° a 220°.</i>	53
<i>Tabela 9: Níveis sonoros globais máximos admissíveis por tipo de área ocupada segundo a norma ABNT NBR 10 151.</i>	59
<i>Tabela 10: Médias Climatológicas da área de implantação dos parques eólicos Campo dos Ventos I,III e V.</i>	60
<i>Tabela 11: Níveis de potência sonora dos aerogeradores dos parques eólicos em função das velocidades do vento.</i>	61
<i>Tabela 12: Condições meteorológicas adotadas para o cálculo de previsão da propagação sonora.</i>	63
<i>Tabela 13: Coeficientes de absorção sonora adotados para o cálculo de previsão da propagação sonora do ruído de aerogeradores.</i>	64
<i>Tabela 14: Resultados do cálculo das contribuições sonoras dos aerogeradores em residências vizinhas aos parques eólicos Campo dos Ventos I,III e V.</i>	64
<i>Tabela 15: Resultados das medições de ruído ambiente na vizinhança dos parques eólicos.</i>	68
<i>Tabela 16: Exigências regulamentares francesas para a avaliação da presença de componentes tonais.</i>	89

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Agência do Meio Ambiente e do Uso Racional da Energia)

AFFSET: Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (Agência Francesa de Segurança Sanitária do Meio Ambiente e do Trabalho)

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ANM: Academie Nationale de Médecine (Academia Nacional de Medicina)

BIG: Banco de Informações de Geração

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

EIA/RIMA: Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental

FEAM: Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais

GWEC: Global Wind Energy Council (Conselho Mundial de Energia Eólica)

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICPE: Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (Instalação Classificada para a Proteção ao Meio Ambiente)

IDEMA-RN: Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente - Rio Grande do Norte

IEC: International Electrotechnical Commission (Comissão Internacional Eletrotécnica)

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

MMA: Ministério do Meio Ambiente

MME: Ministério de Minas e Energia

MNS: Medidor de Nível de Som

NCA: Nível Critério de Avaliação

NPS: Nível de Pressão Sonora

OCDE: Organização Econômica de Cooperação e Desenvolvimento

PDE: Plano Decenal de Expansão de Energia

PROINFA: Programa de Incentivo à Fontes Alternativas

RAS: Relatório Ambiental Simplificado

SISNAMA: Sistema Nacional de Meio Ambiente

INTRODUÇÃO

Diante do atual panorama do setor de geração elétrica brasileiro, é evidente a necessidade de uma mudança de paradigmas e o incentivo à construção de um parque gerador equilibrado, eficiente e confiável, que priorize a inclusão de fontes limpas e renováveis.

Em julho de 2009, foi assinada a Carta dos Ventos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), Ministério de Minas e Energia (MME), o Fórum de Secretários Estaduais para Assuntos de Energia e outras autoridades. Este documento define as diretrizes para a geração de energia eólica no Brasil e nele estima-se que o país apresente um potencial eólico de 143 GW, considerando apenas a sua superfície continental. Este potencial está associado às suas características geográficas e climáticas, bem como à sua grande extensão territorial. Sendo assim, o investimento em projetos de geração eólica apresenta-se como alternativa para a diversificação da matriz energética do país. Por este motivo, as projeções de crescimento para esta fonte apontam aumento considerável de sua capacidade instalada, passando dos atuais 3 GW em operação para 17,5 GW até o ano de 2022.

Segundo texto publicado pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), dentre suas vantagens, vale destacar a grande complementaridade entre a geração eólica e a hidroelétrica, uma vez que no Brasil os ventos são mais fortes no período em que os rios apresentam menor vazão. Além disso, o mercado eólico e sua cadeia de suprimentos fomentam a instalação de indústrias, crescimento da infraestrutura urbana, geração de empregos e aumento de renda em regiões de baixo desenvolvimento no país.

Todavia, é importante ressaltar que esses empreendimentos não são isentos de impactos ambientais negativos e, por isso, estão sujeitos ao processo de licenciamento exigido pelos órgãos ambientais brasileiros.

Atualmente, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), um grupo técnico de trabalho, o GT Eólica, dedica-se à elaboração de uma nova proposta para a definição de procedimentos que garantam eficácia no processo de licenciamento sem a perda de qualidade técnica dos estudos de impacto.

Um estudo realizado recentemente para o diagnóstico da localização de empreendimentos eólicos em operação no país concluiu que 70% dos empreendimentos listados, que somam 1891 MW de potência instalada, encontram-

se em zona de risco acústico.

A realização de estudos de impacto acústico objetiva a previsão dos níveis sonoros na vizinhança de parques eólicos e, caso necessário, a proposição de soluções para a garantia da viabilidade operacional e legal do empreendimento. Nesse sentido, o crescimento da capacidade instalada de geração eólica no Brasil e as expectativas de investimento no setor devem incentivar, nos próximos anos, o uso de ferramentas que viabilizem a execução de projetos bem planejados do ponto de vista econômico, social e ambiental.

1.1. Justificativa

O risco socioeconômico do desenvolvimento e expansão da geração eólica no Brasil sem a adoção de critérios e procedimentos que garantam a prevenção da saúde e qualidade de vida da população vizinha aos parques eólicos.

1.2. Objetivo

Este projeto tem como objetivo o aprimoramento da metodologia aplicada para a avaliação do impacto acústico de parques eólicos no Brasil e o incentivo à adoção de alternativas tecnológicas existentes para a gestão do funcionamento de aerogeradores visando a redução do impacto de suas contribuições sonoras ao meio ambiente.

1.3. Metodologia

Considerando as perspectivas de crescimento deste setor de geração elétrica no Brasil e a insuficiência dos estudos de impacto acústico realizados para projetos hoje já licenciados, serão apresentadas ferramentas para a avaliação do ambiente sonoro na vizinhança de parques eólicos e para a gestão do funcionamento de aerogeradores de modo a garantir a emissão de níveis sonoros que não comprometam a saúde e qualidade de vida da população.

O início deste trabalho apresenta o panorama atual e as perspectivas de crescimento para a geração eólica no mundo e no Brasil.

No capítulo seguinte, são descritas as principais consequências na saúde humana da exposição ao ruído de aerogeradores e como as características do meio ambiente

podem influenciar na propagação das ondas sonoras na vizinhança do parque eólico.

Para contextualização mundial do tema abordado, será apresentada a situação atual da regulamentação internacional aplicada para o controle deste impacto. Em seguida, com mais detalhes, será descrito o caso da França: histórico, contexto regulamentar e normativo e a metodologia aplicada atualmente no país para a avaliação e mitigação do impacto acústico de parques eólicos.

Com o objetivo de verificar a confiabilidade da metodologia aplicada no Brasil para este tipo de avaliação, foi realizado o estudo de caso de um projeto brasileiro ainda em fase de outorga. A partir de informações sobre o projeto obtidas através de seu EIA/RIMA, serão apresentados os resultados do cálculo da propagação do ruído dos aerogeradores para uma situação específica e estes valores serão comparados com os critérios regulamentares. Para a realização do cálculo de previsão foi utilizado o software Acous PROPA®, desenvolvido pela empresa francesa Groupe Gamba para o prognóstico da propagação de ruído em ambientes externos. O software possui ainda um módulo específico para avaliações em ambientes de geração eólica, neste módulo são incluídos como dados de entradas as condições meteorológicas que podem influenciar na propagação sonora.

Em seguida, será proposta uma análise comentada sobre o EIA/RIMA elaborado para o projeto como condicionante para a sua participação no Leilão de Energia de Reserva.

Tendo em vista a metodologia e critérios regulamentares adotados no Brasil, foi realizada uma pesquisa para a análise do atual panorama brasileiro no que diz respeito às distâncias adotadas entre aerogeradores e residências vizinhas aos parques eólicos. As coordenadas dos parques em operação foram obtidas através do Banco de Informações sobre Geração (BIG) da ANEEL. Com auxílio de imagens obtidas no Google Earth® e suas ferramentas, foram medidas as distâncias entre os parques em operação atualmente no Brasil e as residências mais próximas a tais empreendimentos.

Por último, após uma análise crítica das exigências regulamentares internacionais e brasileiras relativas aos padrões para emissões de ruídos em parques eólicos, serão propostas possíveis soluções para a gestão do impacto acústico sobre a população tendo em vista o atual cenário brasileiro.

2. DESENVOLVIMENTO DA GERAÇÃO EÓLICA

2.1. Mundo

A partir do ano 2000, frente à necessidade de diversificação da matriz energética mundial, altamente dependente de combustíveis fósseis, o mundo vem experimentando um crescente aumento de sua capacidade instalada para geração de energia elétrica a partir da força do vento.

Inscritos no contexto de geração renovável, principalmente por contribuírem para a redução das emissões de gases estufa, os empreendimentos eólicos sofrem a influência de um convidativo mercado industrial dedicado à produção e montagem de turbinas com custos progressivamente decrescentes. A partir da década de 80, por exemplo, países como Dinamarca e Estados Unidos tiveram o seu mercado eólico alavancado por mecanismos de incentivo institucionais.

Diante deste cenário, a energia do vento tornou-se a fonte energética com as maiores taxas de crescimento em capacidade instalada nos últimos anos, chegando a níveis de 25% ao ano.

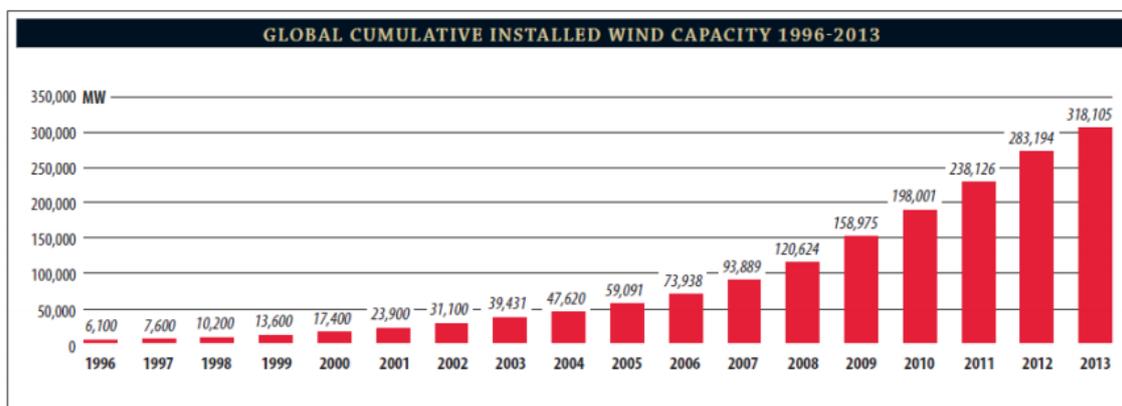


Gráfico 1: Evolução da capacidade instalada para a geração eólica no mundo. Fonte: GWEC

O mercado chinês, o maior desde 2009, obteve novamente a primeira colocação em 2013, acompanhado pela Europa em segundo lugar e os EUA em terceiro. Devido às facilidades do mercado, está previsto que até o final de 2014 a Ásia ultrapasse a Europa em metros quadrados de superfície eólica instalada.

De maneira geral, a diversificação do mercado vem se intensificando ao longo do tempo e esta tendência deverá se manter para os próximos anos. Novos mercados fora da OCDE (Organização Econômica de Cooperação e Desenvolvimento)

continuam a aparecer e alguns deles deverão constituir uma significativa diferença para os valores globais de mercado. Por outro lado, dentro da OCDE, maior é a disputa do mercado por políticas de suporte.

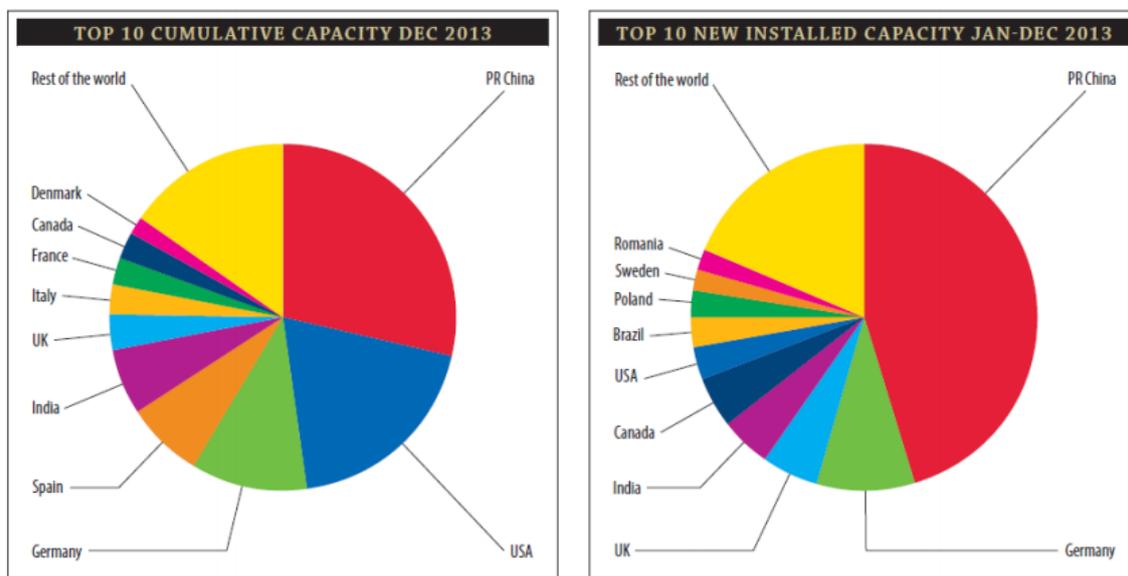


Gráfico 2: Os dez países líderes em capacidade eólica instalada. Fonte: GWEC.

Países como o Brasil, África do Sul, Turquia e México apresentam preços para a energia eólica extremamente competitivos com suas outras principais fontes energéticas. Isto se explica principalmente devido ao aumento do investimento de empresas e novos subsídios governamentais voltados ao desenvolvimento do mercado de renováveis.

Estima-se que 2014 será um ano recorde, com crescimento de 34% da capacidade eólica instalada, o que corresponde a um mercado anual de 47 GW. Está previsto que o maior crescimento deste setor concentre-se na América do Norte e na Ásia e será claramente visível o aumento de sua força no Brasil. No entanto, a previsão do Global Wind Energy Council (GWEC) para os próximos anos é o retorno das condições “normais” de crescimento, na faixa de 6% à 10% ao ano, até 2018. É provável que a capacidade instalada atual de 300 GW duplique e chegue aos 600 GW até o ano de 2018.

2.2. Brasil

O primeiro grande impulso ao crescimento da energia eólica no Brasil deu-se na década de 2000 por meio do Programa de Incentivo à Fontes Alternativas (PROINFA). Instituído em 2004, o PROINFA tinha como objetivo aumentar a participação da

energia eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas na matriz energética brasileira. O Programa resultou na instalação de 1100 MW de potência para a geração eólica, dos quais 79% encontram-se hoje em operação ou em construção.

O segundo impulso ocorreu em 2009, quando o Segundo Leilão de Energia de Reserva, promovido pelo Ministério das Minas e Energia – MME, permitiu a participação exclusiva da fonte eólica, resultando a contratação de 1805 MW. No ano seguinte, o MME promoveu mais dois leilões abertos à fonte eólica: um Leilão de Energia de Reserva e um Leilão de Fontes Alternativas. Nos anos subsequentes, a participação das usinas eólicas em leilões ocorreu por meio de dois outros certames promovidos em 2011, um em 2012 e três leilões em 2013, totalizando uma contratação equivalente a 11.1 GW, que entrarão em operação até o ano de 2018.

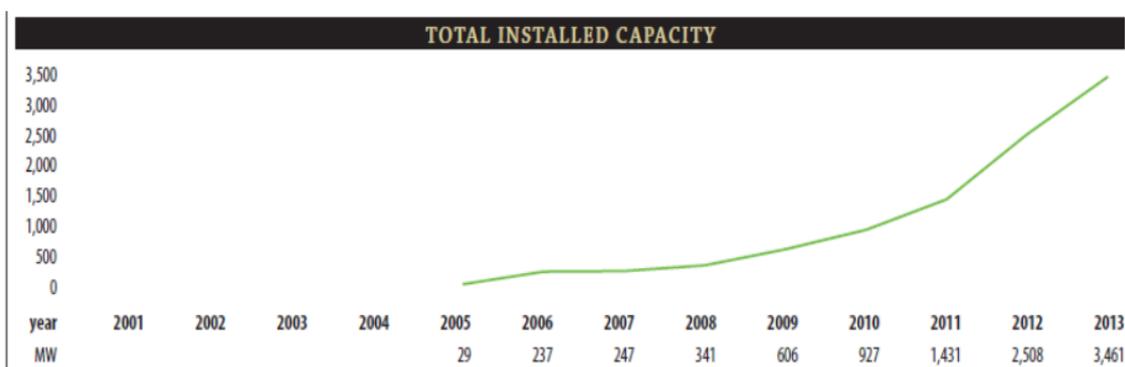


Gráfico 3: Evolução da capacidade instalada para geração eólica no Brasil. Fonte: GWEC.

Ao final de 2013, o Brasil contava com aproximadamente 3,5 GW de potência eólica instalada ou em construção, energia suficiente para abastecer 8 milhões de casas, o que corresponde a 3% do total da energia consumida no país. Segundo o relatório anual do GWEC, 34 novos parques entraram em operação somando mais 953 MW à potência brasileira instalada apenas no ano de 2013. A indústria eólica e a sua cadeia de suprimentos mostram-se bem estabilizados no mercado nacional. A presença de 9 fabricantes internacionais com instalações no Brasil justifica esta afirmativa.

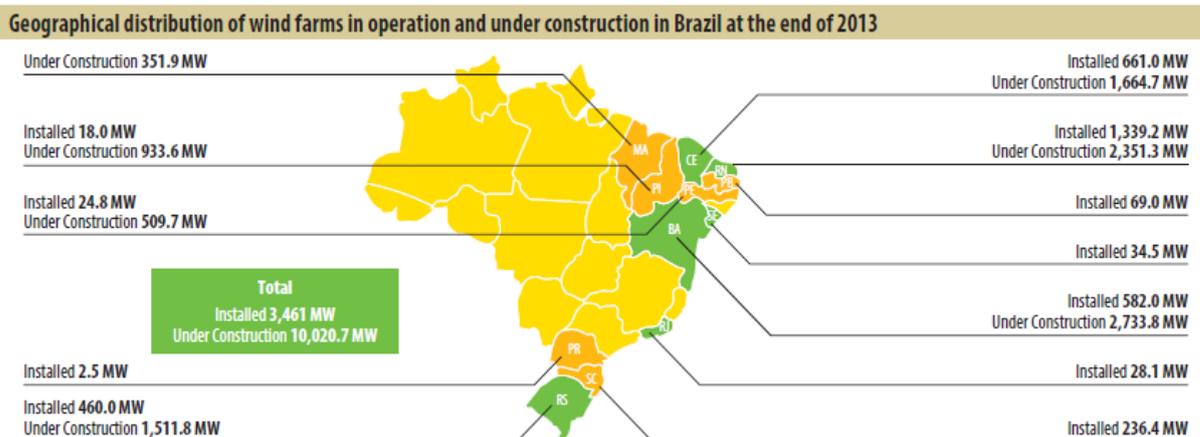


Figura 1: Distribuição geográfica dos parques eólicos em operação no Brasil até o final de 2013. Fonte: GWEC.

Segundo o Plano Decenal de Energia (PDE 2022) o governo brasileiro espera alcançar 17,5 GW de capacidade instalada até 2022, o correspondente a 9,5% da energia consumida no país.

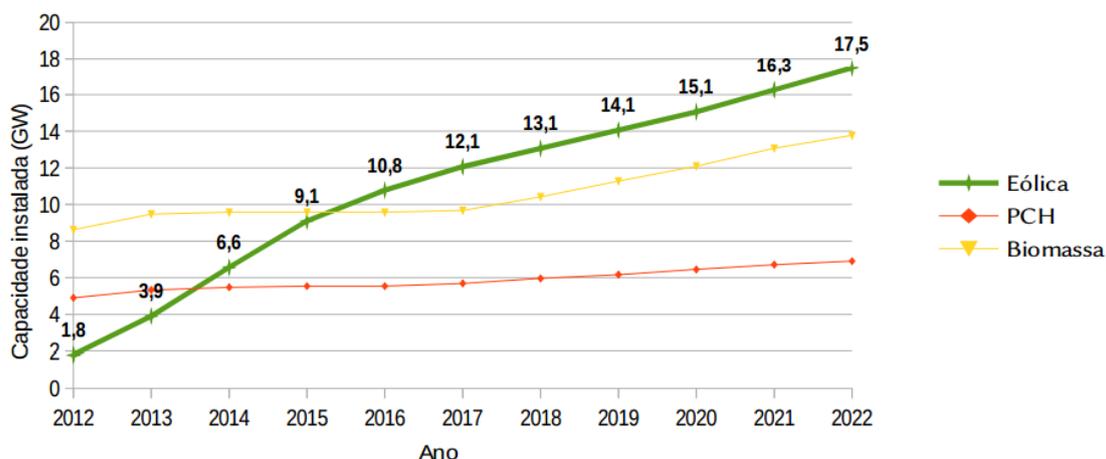


Gráfico 4: Projeção para a evolução da capacidade instalada eólica brasileira. Fonte: PDE 2022.

Os resultados obtidos pelo mercado eólico em leilões ocorridos em 2013, com preços altamente competitivos, mostram a sua crescente maturidade suportada por uma eficiente cadeia de suprimentos. Por isso, espera-se um próspero ano de 2014 com a instalação de mais 4 GW, totalizando 7.5 GW de capacidade instalada, o que levará o Brasil à 10ª posição no ranking das potências globais do mercado de geração eólica.

3. PARQUES EÓLICOS E MEIO AMBIENTE

3.1. Funcionamento de aerogeradores

Os aerogeradores são máquinas utilizadas para a produção de energia elétrica a partir da energia cinética do vento. Seus principais componentes são a turbina eólica e o gerador, além de outros dispositivos e sistemas.

Elevada por uma torre com altura entre 50 m e 100 m, a turbina eólica converte a potência do vento em potência mecânica. Normalmente são utilizadas turbinas de eixo horizontal ligadas à 3 perfis aerodinâmicos, as pás. Quando acionadas pelo vento, as pás giram em círculos de 40 a 120 m de diâmetro de 6 a 25 vezes por minuto, convertendo a energia cinética em energia mecânica. No interior de uma carcaça denominada nacele encontra-se o gerador elétrico que, ao ser rotacionado pelo movimento da turbina, realiza a conversão de energia mecânica em energia elétrica. Ao final, o transformador eleva a tensão da energia gerada para o valor adotado pela rede elétrica na qual o aerogerador será conectado.

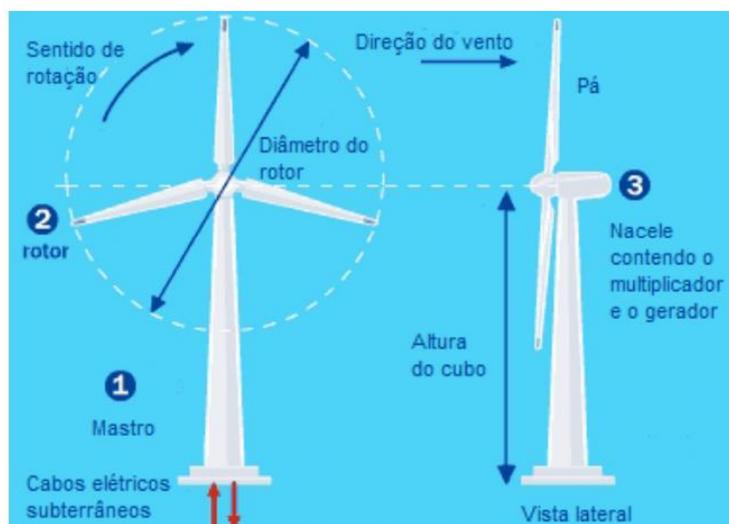


Figura 2: Componentes de um aerogerador. Fonte: <http://www.economiedenergie.fr/>

A potência elétrica produzida por aerogeradores é proporcional à área varrida pelo seu rotor e ao cubo da velocidade do vento. O aerogerador funciona na presença de ventos com velocidade a partir de 3 m/s e atinge a sua potência nominal para ventos a aproximadamente 14 m/s na altura da nacele.

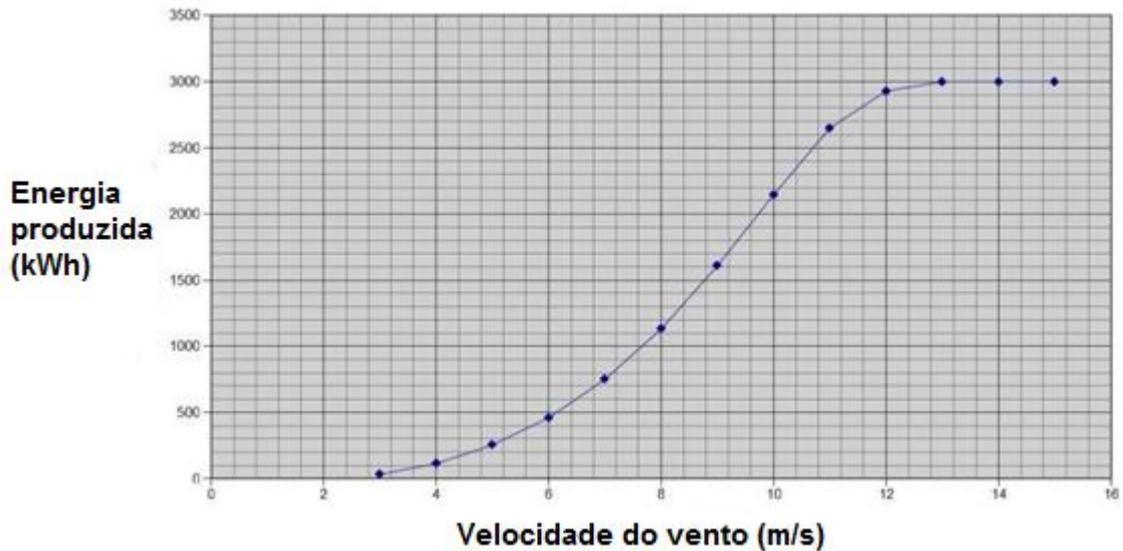


Gráfico 5: Evolução da potência elétrica produzida por um aerogerador em função da velocidade do vento.

3.2. Impactos socioambientais negativos

Os principais impactos negativos sobre o meio biótico, físico e socioeconômico gerados pela instalação de empreendimentos para geração de energia eólica são citados na tabela a seguir:

Meio biótico	Meio físico	Meio socioeconômico
Alteração no ecossistema: fauna e flora	Impermeabilização e compactação do solo	RUÍDOS
Supressão da vegetação	Sítios arqueológicos	Impacto visual
Colisões de aves e morcegos com aerogeradores	Alteração do nível do lençol freático	Efeito estroboscópico
Mudança na rota migratória de aves		Corona visual ou ofuscamento
		Interferências eletromagnéticas

Tabela 1: Impactos socioambientais negativos da geração eólica. Fonte: FEAM.

Neste trabalho serão abordado especificamente o impacto do ruído sobre o meio

socioeconômico na área de influência de parques eólicos.

i. Ruído¹

O ruído emitido durante o funcionamento de aerogeradores possui basicamente duas origens: mecânica e aerodinâmica. O avanço da tecnologia utilizada para a fabricação das máquinas, como o melhor isolamento da nacele e melhoria na continuidade dos movimentos na turbina, possibilitou a redução dos ruídos de origem mecânica. Atualmente, a principal fonte de ruído em aerogeradores é de natureza aerodinâmica, som emitido no momento em que o vento atravessa as pás do rotor.

De maneira equivalente à potência elétrica, a potência acústica desta fonte de ruído relaciona-se diretamente com a velocidade do vento que atua sobre o aerogerador. O gráfico a seguir demonstra a evolução da potência acústica em função da velocidade do vento para uma máquina de 3MW de potência que possui um cubo a uma altura de 94 m acima do nível do solo.

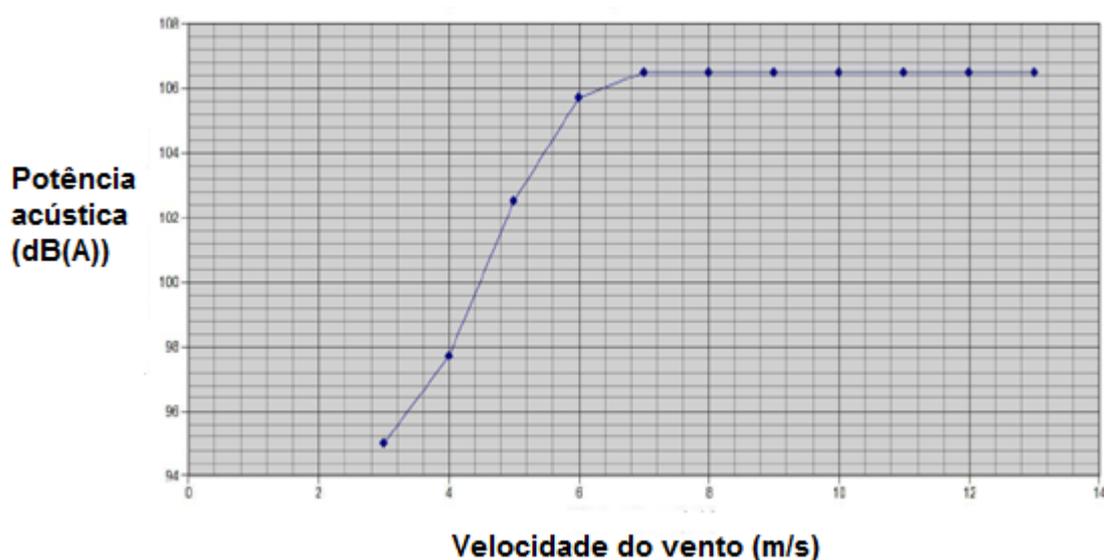


Gráfico 6: Evolução da potência acústica do aerogerador em função da velocidade do vento.

Fonte: Autoria própria.

¹ Verificar Apêndice A - Glossário de Termos Técnicos para maiores informações durante a leitura do texto.

ii. Efeitos do ruído de aerogeradores na saúde humana

As consequências na saúde humana da exposição ao ruído estão associadas tanto aos seus efeitos diretos no aparelho auditivo quanto aos seus efeitos denominados “não auditivos”, sendo que estes comprometem o funcionamento de todo o corpo. O ruído pode ser a causa de modificações em diversas funções fisiológicas: sistema cardiovascular, sistemas neuroendócrinos, digestivo, respiratório, ocular ou, ainda, insônia, alterações de humor e de comportamento.

Um sono sem interrupções é indispensável ao bom funcionamento psicológico e mental dos seres vivos (HOBSON 1989) e as perturbações no sono são reconhecidas como um dos principais efeitos negativos do ruído na saúde humana. Com o objetivo de reduzir a ocorrência dos efeitos negativos sobre a população causados pela exposição ao ruído, a Organização Mundial da Saúde recomenda níveis sonoros menores que 35 dB(A) no interior de moradias. No entanto, vale ressaltar que níveis de ruído ainda menores e em baixas frequências também podem causar alterações no sono.

Considerando os efeitos diretos no aparelho auditivo, os níveis sonoros medidos na vizinhança de parques eólicos em operação não possuem intensidade suficiente de forma a comprometer a saúde auditiva da população. Todavia, os seus efeitos “não auditivos” podem ter significativa importância.

A principal consequência da exposição ao ruído de aerogeradores relaciona-se ao aspecto psicológico deste impacto: o desconforto. Esta sensação pode ocorrer a partir do momento em que a fonte de ruído incômoda torna-se audível, porém ela independe da intensidade do nível sonoro e varia para cada indivíduo. No caso de parques eólicos, o desconforto sentido pela vizinhança é consequência da sua própria percepção e convicções pessoais sobre a instalação dos aerogeradores. Por isso, esta noção é dificilmente quantificável através dos valores sonoros medidos. Segundo o relatório publicado em 2008 pela AFFSET, um estudo sueco sobre a percepção e o desconforto causado pelos aerogeradores mostrou que 43 % dos entrevistados sentiam-se incomodados por ruídos que correspondiam a níveis sonoros de 35 a 37,5 dB. Estas pessoas moravam a uma distância entre 300 e 500 m dos aerogeradores, sendo possível enxergar as máquinas da janela de suas casas.

O mesmo estudo mostrou que o ruído aerodinâmico de aerogeradores é mais facilmente percebido que o ruído mecânico. Entre as pessoas que se mostraram incomodadas pelo ruído, o que mais desagradava era o arraste das pás contra o ar. Geralmente, os ruídos mais incômodos são os de baixa frequência e intermitentes.

Para compreendermos melhor a relação entre o desconforto da população e os níveis de emergência sonora devido à presença de uma nova fonte de ruído, foi criado o "índice de incômodo", que varia de 0 a 100, onde 0 significa a ausência do incômodo que aumenta até o valor máximo definido em 100. A linha azul do gráfico abaixo demonstra a variação do desconforto da população com o aumento da emergência sonora provocada pelo acréscimo de uma nova uma fonte ao local. A linha rosa do gráfico apresenta o caminho contrário, ou seja, como a redução do desconforto é mais lenta para cada unidade de emergência a ser reduzida a partir do momento em que a população já conhece o desconforto causado pela fonte de ruído.

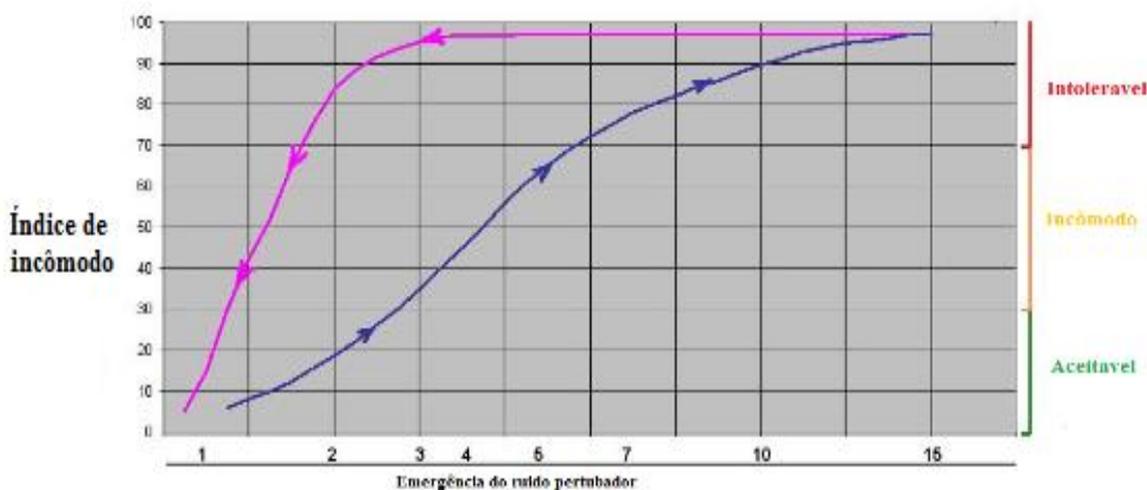


Gráfico 7: Evolução do desconforto da população em função da emergência sonora. Fonte: Autoria própria.

Nesse sentido, a partir do momento em que uma nova fonte ruidosa é instalada e a população passa a reconhecer o seu incômodo, maior deverá ser a redução nos valores de sua emergência para a mitigação deste impacto numa fase posterior à sua instalação.

3.3. Níveis de ruído e condições ambientais

O impacto do ruído de parques eólicos depende tanto da variação do ruído ambiente

(Lamb), níveis sonoros típicos do local de implantação, quanto do ruído emitido pelas máquinas (Laero). Os aerogeradores funcionam, pela própria definição, graças ao vento. Por isso, é de extrema importância que a metodologia aplicada para a realização de estudos de impacto acústico de parques eólicos considere o vento e seus intervalos de velocidade como variável principal na avaliação, isso porque o vento tem influência direta na potência acústica emitida pelas máquinas e na variabilidade do ruído de fundo.

Além disso, tanto o ruído proveniente dos aerogeradores como o emitido por outras fontes presentes no local tem a sua trajetória definida pelas características de dispersão, reflexão e absorção do meio em que se propagam. Por isso, as estações do ano, as orientações do vento, os períodos do dia, a topografia e o tipo de solo, as condições de ventilação e meteorológicas no local, são parâmetros que também influenciam os níveis sonoros no entorno do parque (L_{tot}) e, conseqüentemente, o que será ouvido pela população vizinha ao empreendimento.

i. Ruído de aerogeradores e distância

As fontes de ruído de um aerogerador localizam-se no disco fictício de diâmetro igual ao do rotor, no nível da nacela, e ao longo do mastro, tanto para o ruído de origem aerodinâmica como para os ruídos e vibrações de origem mecânica. Considerando o tamanho destas máquinas, a percepção do ruído pela vizinhança será diferente de acordo com a distância entre as fontes e os receptores.

Na prática, estudos de impacto acústico de parques eólicos consideram os aerogeradores como fontes pontuais de ruído. Esta fonte pontual é definida no centro do rotor, que localiza-se em um campo livre, e as emissões sonoras são iguais em todas as direções (fonte omnidirecional). Para estas condições, prevê-se uma atenuação de 6 dB a cada duplicação da distância entre os aerogeradores e a vizinhança. Como no caso de parques eólicos trabalhamos com distâncias entre fonte e receptor superiores a 300 m, as condições atmosféricas e os efeitos do solo devem ser considerados no cálculo da propagação das ondas sonoras.

ii. Ruído ambiente

Além dos níveis sonoros resultantes do funcionamento de aerogeradores e da

influência dos fatores ambientais na propagação do som, estudos de impacto acústico devem considerar o ruído ambiente, ou ruído de fundo, que são os níveis sonoros já existentes na vizinhança antes do início da operação do parque.

Assim como as contribuições sonoras das máquinas, os níveis de ruído ambiente variam em função da velocidade e direção do vento, tanto o movimento da vegetação como a contribuição sonora de outras fontes (indústrias, estradas, etc). No entanto, o vento não é a única causa da variação do ruído ambiente. As atividades humanas, a fauna, o tipo de vegetação e o relevo são outros parâmetros que causam variações do ruído ambiente.

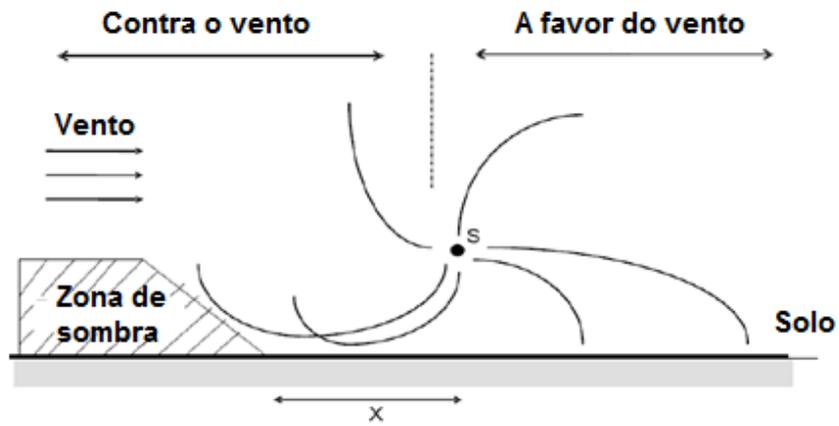
Estas fontes de ruído ambiente variam ao longo do tempo e a sua contribuição, seja pela sua intensidade ou frequência, pode mascarar parcialmente ou totalmente o ruído emitido pelas máquinas.

iii. Meteorologia

Quando as distâncias entre fonte e receptor forem superiores a 100 m, as condições meteorológicas predominantes no local em estudo tem impacto significativo nos níveis sonoros percebidos pela vizinhança de parques eólicos.

Variações do perfil vertical de velocidade do vento influenciam a propagação do som pois modificam a trajetória das ondas sonoras. Estes perfis podem ser estimados a partir dos gradientes verticais de temperatura e da direção do vento. Por exemplo, nos casos em que o gradiente vertical de velocidade do som é nulo, sob condições homogêneas, a trajetória dos raios sonoros é retilínea. No entanto, para variações positivas do perfil vertical de velocidade do som – gradiente de temperatura positivo ou propagações sonoras a favor do vento –, a trajetória dos raios sonoros possui curvatura em direção ao solo (condição favorável à propagação do som). Caso o gradiente de velocidade do som seja negativo – gradiente de temperatura negativo ou vento contrário à direção de propagação-, os raios sonoros direcionam-se para o céu (condição desfavorável a propagação). Neste último caso, ocorre o fenômeno conhecido como “sombra acústica”.

Quando a propagação do som tem direção contra o vento, os raios sonoros curvam-se para o céu a partir de uma distância X normalmente superior a 200 m, a zona de



“sombra acústica”
inicia-se
neste
ponto.

Figura 3: Influência da direção do vento na propagação sonora entre fonte de ruído e receptor. Fonte: AFFSET.

Se a temperatura atmosférica decresce com o aumento da altitude, condição normal em período diurno, as ondas sonoras curvam-se em direção ao céu e ocorre a formação de uma zona de “sombra acústica” no entorno da fonte de ruído. Ao contrário, noites frias e claras em ausência de vento, possuem como característica a inversão no perfil de temperatura na superfície. Nesse caso, a estabilidade do ar tende a direcionar os raios sonoros para o solo, o que pode tornar audíveis fontes de ruído

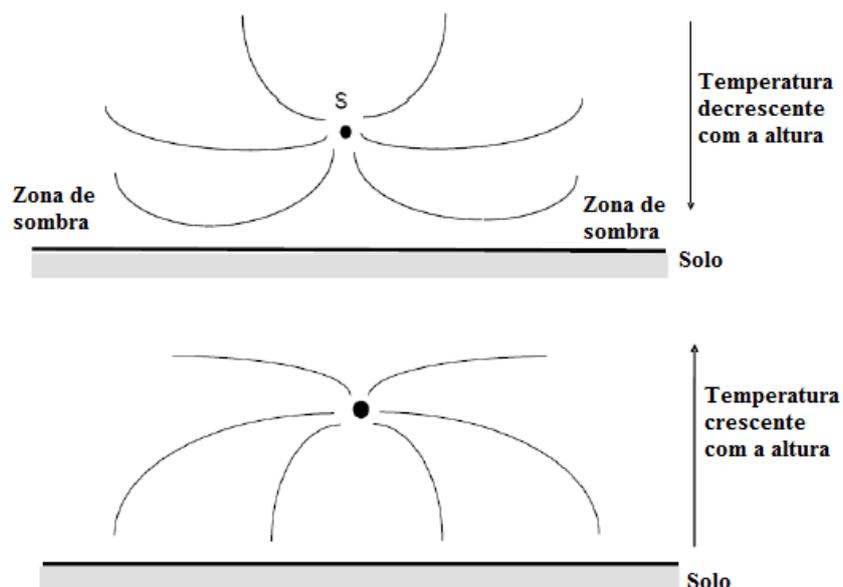


Figura 4: Influência do gradiente de temperatura na propagação sonora em ausência de vento.

Fonte: AFFSET.

localizadas a grandes distâncias.

Dependendo das condições atmosféricas atuando no local em estudo, a variação dos níveis sonoros que se propagam em grandes distâncias pode ser considerável. Variações de até 20 dB já foram identificadas, tanto em terreno plano como acidentado, para uma distância de 900 m entre fonte de ruído e vizinhança. Em condições homogêneas, o nível sonoro pode aumentar até 5 dB em condições favoráveis de propagação sonora ou reduzir até 20 dB para condições desfavoráveis de propagação.

Como o fenômeno de refração dos raios sonoros é fruto da combinação dos gradientes de velocidade do vento e de temperatura existentes na área de

propagação, é indispensável que estes parâmetros sejam considerados na análise do ambiente sonoro de um parque eólico.

iv. Características do terreno

As características do terreno que influenciam na propagação das ondas sonoras relacionam-se principalmente à natureza e composição do solo, bem como sua topografia.

Tipo de solo

O tipo de solo tem influência na atenuação das ondas sonoras ao longo da trajetória entre a fonte de ruído e o receptor. O grau de atenuação depende da frequência e da trajetória do som, sendo a atenuação maior para ondas de alta frequência que possuam trajetória de propagação rasante ao solo.

A atenuação do som devido aos “efeitos de solo” é resultado da interferência entre o som refletido pela superfície do terreno e o som que se propaga diretamente entre a fonte e o receptor. A influência dos “efeitos do solo” na atenuação dos níveis sonoros é maior quando as ondas sonoras encontram a superfície do terreno sob pequenos ângulos de incidência e se o solo for do tipo poroso (absorvente).

No caso particular de parques eólicos, quando as distâncias são menores que 100 m, o ângulo de incidência das ondas sonoras é grande e sendo maior a importância do fenômeno de reflexão sonora, o que contribui para um aumento dos níveis sonoros no ambiente. No entanto, a partir de 100 m, quanto maior a distância, menor será o ângulo de incidência e maior a importância dos “efeitos de solo” na propagação das ondas.

Em terrenos planos, devido à grande altura dos aerogeradores, a trajetória do ruído emitido pelas máquinas situa-se distante da superfície do terreno e a influência dos “efeitos de solo” é insignificante. Todavia, em terrenos acidentados tais efeitos podem ter maior importância.

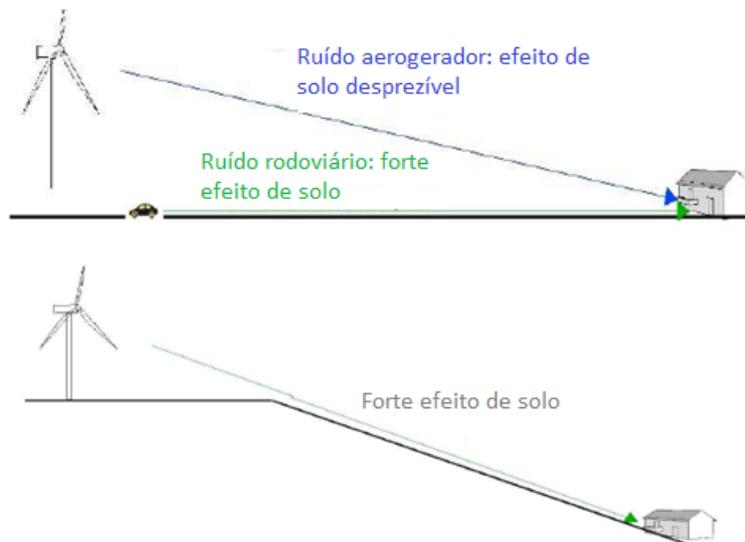


Figura 5: Influência do solo na propagação sonora em terrenos planos e acidentados. Fonte: AFFSET.

Vegetação

Estudos realizados (N. Barrière, Y. Gabillet) demonstraram que a presença de vegetação no entorno de infraestruturas de transporte terrestre induz uma alteração nos níveis sonoros em sua vizinhança. As três principais causas desta modificação são :

- atenuação do ruído devido ao solo ;
- difusão sonora pelos troncos, ramos e folhas ;
- alterações nos perfis meteorológicos do local.

Tais estudos provam que a principal causa para atenuação dos níveis sonoros são as alterações nas condições meteorológicas do local. Por exemplo, foi registrada a atenuação de 1 à 3 dB(A) do ruído rodoviário em um ponto de medição situado a 150 m da rodovia devido à existência de uma floresta de 110 m de largura entre a fonte e o receptor.

Quando analisamos as alterações no ambiente sonoro de parques eólicos devido à vegetação, a atenuação do ruído com a distância varia de acordo com a topografia do local da mesma maneira que citado anteriormente para os “efeitos de solo”. Então, se os aerogeradores localizarem-se no alto de uma colina e as moradias abaixo, considerando a presença de árvores no trajeto entre as fontes e os receptores, a atenuação sonora devido à vegetação deve ser considerada.

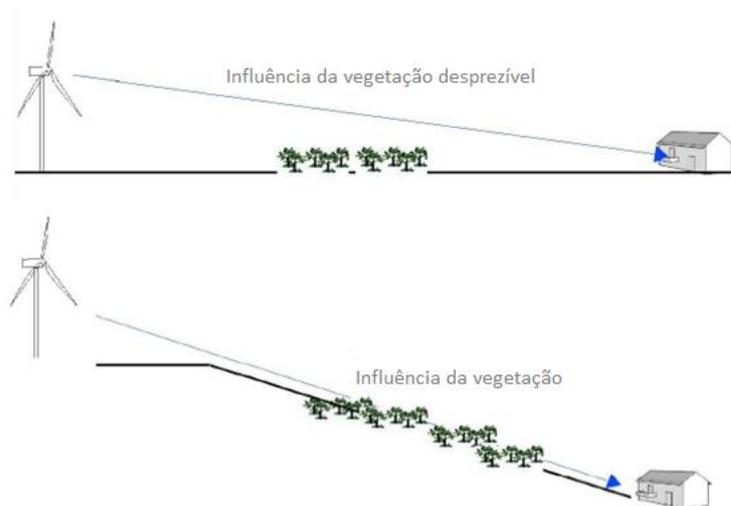


Figura 6: Influência da vegetação na propagação sonora em terreno plano e acidentado. Fonte: AFFSET

Topografia do terreno

As características do meio ambiente, citadas nos itens anteriores, que influenciam na atenuação do ruído emitido pelos aerogeradores estão diretamente relacionadas à topografia do terreno onde localiza-se o parque eólico em estudo.

Nos casos em que a vizinhança pode enxergar a fonte de ruído e a trajetória dos raios sonoros está a uma altitude elevada em relação ao solo, os “efeitos de solo” tem pouca importância. No entanto, se a fonte não pode ser vista pela vizinhança devido à existência de irregularidades no terreno ou obstáculos, a propagação sonora sofrerá perturbações pois haverá a formação de zonas de difração e refração, conhecidas como “zonas de sombra acústica”. Dependendo da altura do obstáculo, das distâncias fonte-obstáculo e obstáculo-receptor e do tipo de solo, os níveis podem variar

significativamente. Por exemplo, caso o receptor esteja situado em uma “zona de sombra”, para uma fonte omnidirecional, isto pode significar um acréscimo de 5 a 8 dB(A) na atenuação dos níveis sonoros.

Além disso, podem ocorrer fenômenos de refração sonora de acordo com as condições de propagação: favoráveis ou desfavoráveis. Quando consideramos a influência do relevo na curvatura dos raios sonoros, máquinas parcialmente ou totalmente invisíveis para a população podem tornar-se “visíveis” acusticamente. Podemos citar como exemplo um parque no alto de um planalto que esteja sob a incidência de ventos soprando na direção de sua vizinhança, que situa-se logo abaixo do terreno. Para esta situação, quando comparamos os resultados da simulação da propagação sonora em trajetória retilínea, sem considerar os fatores que influenciam na curvatura dos raios, e os valores registrados na medição, observamos diferenças de até 15 dB(A) entre os resultados.

Outro fator diretamente relacionado à topografia que tem influência no gradiente de velocidade do vento é o coeficiente de rugosidade do solo. Consideramos que a velocidade do vento é nula na superfície do solo e crescente com o aumento da altitude. Este perfil de velocidade do vento é definido pela rugosidade do terreno, que varia de acordo com a topografia e presença de obstáculos na trajetória do som.

Exemplo: Particularidades das condições de propagação em um terreno acidentado.

Em terrenos fortemente acidentados a vizinhança encontra-se normalmente abrigada do vento e, nesse caso, os valores de ruído ambiente não variam em função de sua velocidade. Medições realizadas antes do início da operação de um parque eólico, a ser instalado no pico de uma colina de um terreno acidentado, mostraram que os valores de ruído ambiente nas residências vizinhas ao empreendimento eram de aproximadamente 25 dB(A). Nesse caso, é muito provável que as contribuições sonoras dos aerogeradores ultrapassem os valores de ruído já existentes e tornem-se audíveis para a população. Por isso, neste tipo de terreno de implantação, é de extrema importância a adoção de grandes distâncias entre as fontes sonoras e os receptores.

4. ACÚSTICA DE PARQUES EÓLICOS: A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL E O CASO DA FRANÇA

4.1. Caracterização geral do estado da arte

Para a caracterização do cenário internacional atual no que diz respeito aos critérios utilizados para o controle do impacto acústico da operação de aerogeradores, serão apresentadas as exigências regulamentares de alguns países produtores de energia elétrica a partir do vento.

Alemanha : recomendações TA-Lärm

Esta regulamentação aplica-se ao controle do ruído proveniente de qualquer fonte que possa vir a causar impactos no meio ambiente e tem como base a noção de níveis sonoros globais máximos admissíveis definidos em função do tipo de ocupação do território. No caso de parques eólicos, são os níveis medidos na vizinhança do parque durante a sua operação. O índice de ruído utilizado é o L_{aeq} .

Os níveis sonoros globais (L_{tot}) máximos admissíveis no exterior de edificações são definidos para o período diurno, de 6h à 22h, e noturno, de 22h à 6h.

Uso do solo	Nível global máximo dB(A)	
	DIA	NOITE
Vilarejos e zonas rurais	50	45
Zonas residenciais	55 ou 50	40
Zona residencial rural	50	35

Tabela 2: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Alemanha). Fonte: AFFSET.

Ruídos com características impulsivas não devem ultrapassar os valores de 30 dB(A) no exterior de edificações.

A presença de componentes tonais também é considerada na regulamentação alemã. Penalidades em dB são definidas em função da percepção auditiva desta tonalidade. Estes valores serão subtraídos dos valores máximos admissíveis.

Estes critérios são aplicados considerando um vento de velocidade igual a 10 m/s a uma altura de 10 m em relação ao solo ou para velocidades que correspondam a 95% da potência nominal do aerogerador.

Reino Unido: recomendações ETSU R 97

As recomendações no Reino Unido descrevem a metodologia a ser adotada para medições sonoras em parques eólicos e indicam os níveis sonoros globais (L_{tot}) que garantem a proteção da população contra a exposição a ruídos excessivos. Elas foram redigidas visando atender as particularidades do ambiente sonoro de parques eólicos: medições na presença de vento e análise dos níveis sonoros em função das velocidades do vento.

Uma das recomendações mais importantes da ETSU-R-97 é a utilização do índice estatístico $L_{90_{10 \text{ min}}}$ do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído ambiente e global. O L_{90} é o nível de ruído que é ultrapassado em 90% do tempo total de medição. Optar pelo uso deste índice estatístico permite que não sejam considerados ruídos fortes ou transitórios emitidos esporadicamente por outras fontes. Se comparado ao L_{aeq} , os valores obtidos para L_{90} são de 1,5 à 2,5 dB menores. O ruído ambiente medido deve ser correlacionado às velocidades de vento medidas simultaneamente no local, à altura de 10 m do nível do solo.

Os períodos regulamentares definidos são os seguintes :

- Dia: 7h – 23h;
- Noite: 23h – 7h;
- Períodos calmos: 18h – 23h durante a semana, 13h – 23h sábado e domingo o dia inteiro.
- Todos os outros períodos do dia são definidos como períodos normais. Neles são previstos altos valores para o ruído ambiente devido à grande atividade humana, tráfego de veículos e outras fontes.

Os níveis sonoros máximos admissíveis no exterior de residências são definidos segundo o tipo de zoneamento urbano. Estes limites são estabelecidos de acordo com:

- número de residências expostas ;
- número de máquinas / potência instalada;
- a duração e nível de exposição sonora.

Em ambientes calmos, como é o caso de zonas rurais, devem ser respeitados os seguintes níveis sonoros na vizinhança do parque em operação :

Uso do solo	Nível global máximo dB(A)	
	DIA	NOITE
Zonas rurais	35 à 40	43

Tabela 3: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Reino Unido). Fonte: AFFSET.

Se o valor máximo global admissível for ultrapassado, considerando o funcionamento dos aerogeradores, este valor não deve ultrapassar em 5 dB(A) o valor do ruído ambiente em todos os períodos do dia.

Penalidades em dB são definidas em função da percepção auditiva de componentes tonais. Estes valores serão subtraídos dos valores máximos admissíveis.

Estes critérios aplicam-se para todas as velocidades de vento.

Vale ressaltar que a regulamentação analisada não garante a redução do impacto acústico na vizinhança do empreendimento para os casos em que forem registrados baixos níveis de ruído ambiente. Uma possível justificativa é o fato desta regulamentação ter sido desenvolvida com o objetivo de favorecer a instalação de parques eólicos no Reino Unido.

Dinamarca

Define níveis máximos de ruído na vizinhança do projeto em funcionamento sem distinção entre o período diurno e noturno.

Uso do solo	Nível global máximo dB(A)	
	Residências isoladas	45
Zonas residenciais	39	

Tabela 4: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Dinamarca). Fonte: AFFSET.

Caso seja detectada a presença de componentes tonais, deverão ser subtraídos 5 dB(A) dos valores máximos admissíveis.

Suécia

A regulamentação sueca é similar à dinamarquesa, porém nela há distinção dos níveis sonoros admissíveis em função do período do dia : manhã, tarde e noite.

Uso do solo	Nível global máximo dB(A)		
	MANHA	TARDE	NOITE
Zona comercial	60	55	50
Zonas residenciais	50	45	40
Zonas de lazer	40	35	30

Tabela 5: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Suécia). Fonte: AFFSET.

Na presença de componentes tonais, subtrair 5 dB(A) dos valores máximos admissíveis.

Grécia

A regulamentação grega atribui igualmente níveis de ruído máximos a serem respeitados na vizinhança de parques em funcionamento. Nela não há distinção entre os períodos do dia.

Uso do solo	Nível global máximo dB(A)
Zonas industriais	70
Zonas essencialmente industriais	65
Zonas residencias e industriais	55
Zonas residenciais	50

Tabela 6: Valores máximos de nível sonoro global no meio ambiente (Grécia). Fonte: AFFSET.

Austrália

A regulamentação para o licenciamento de parques eólicos é definida a critério de cada estado.

No ano de 2003, um dos órgãos australianos de proteção do meio ambiente, EPA (Environment Protection Authority South Australia), publicou recomendações para os níveis sonoros no ambiente de parques eólicos através do guia "Wind Farm Environmental Noise Guidelines". O guia propõe a adoção do valor de emergência sonora igual a 5 dB(A) em relação ao ruído ambiente na vizinhança do empreendimento em operação ou o nível máximo global de 35 dB (A).

O índice estatístico utilizado para definição do ruído ambiente corresponde ao L90 ou L95 do nível sonoro contínuo equivalente.

Nova Zelândia : norma 6808

A regulamentação da Nova Zelândia é similar à inglesa. Para a determinação dos valores de ruído ambiente e do ruído com as máquinas em funcionamento utiliza-se o índice estatístico L95. Os valores sonoros devem estar correlacionados às velocidades de vento medidas à 10 m do solo. Tais critérios são aplicados para avaliação no exterior de residências.

Foi estabelecido que o nível de ruído na vizinhança com o parque em operação não deve ultrapassar em 5 dB(A) o valor do ruído ambiente ou ser superior a 40 dB(A). Estes valores foram definidos com o objetivo de limitar os níveis sonoros no interior de residências a valores entre 30 e 35 dB(A). Esta regulamentação foi definida sem distinção entre os períodos do dia e não considera a possível ocorrência de componentes tonais no ruído emitido pelo parque.

4.2. O Caso da França

Durante a década de 90, o incentivo à adoção de políticas para o desenvolvimento sustentável teve início na França. Entre estas políticas, o programa «Eole 2005», lançado em 1996, teve como objetivo o desenvolvimento da geração eólica. Após uma década, no final de 2008, a União Européia implementou a regra “3 x 20”, na qual foi prevista a integração de no mínimo 20% de energias renováveis (23% na França) no consumo final de energia até 2020.

Em 2008, a França confirma o seu compromisso com a geração eólica através da lei "Grenelle I". Esta lei estabeleceu como objetivo o aumento de 20Mtep em energias renováveis para o país até 2020, sendo 3,4 e 1,4 para, respectivamente, parques eólicos terrestres e off-shore. Este cenário corresponde a um total de 19000 MW terrestres e 6000 MW marítimos, o equivalente a aproximadamente 9000 aerogeradores instalados. Considerando que em 2010 o número de aerogeradores instalados era de 2500, esta previsão corresponde à instalação de 700 máquinas por ano.

A potência instalada para a geração eólica na França foi multiplicada mais que 5 vezes entre o final de 2006 e o ano de 2013, totalizando 8143 MW de potência acumulada. O parque gerador francês é responsável por 2,9 % da produção elétrica de todo o país

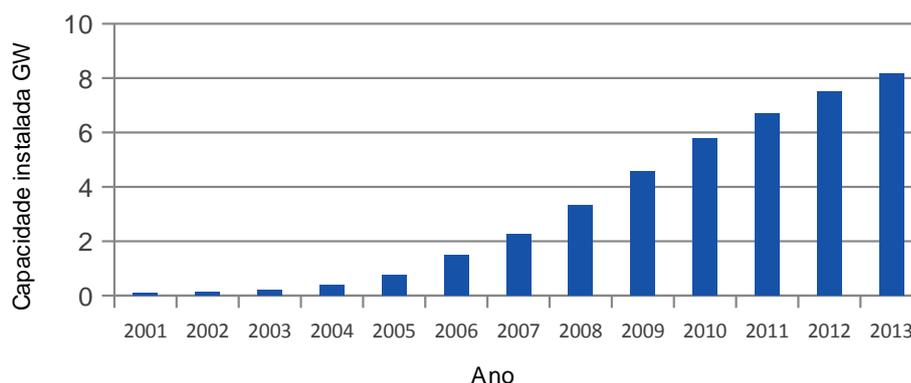


Gráfico 8: Evolução da geração eólica na França. Fonte: Autoria própria.

i. Histórico

1997: Primeiros parques eólicos

- Distância mínima média entre aerogeradores e vizinhança igual a 450 m.

2004 à 2006: Denúncias da população contra o ruído de aerogeradores e a instalação de parques eólicos.

- Parque eólico vítima de 8 denúncias oficiais, sendo três delas com processo judicial.
- 70% das queixas da população referem-se a parques instalados a menos de 500 m da vizinhança.
- A Academia Nacional de Medicina (ANM) publica um relatório sobre os efeitos do funcionamento de aerogeradores na saúde humana e recomenda a adoção da distância mínima de 1500 m entre residências e parques eólicos.
- Ausência de estudos de impacto acústico consistentes e bem adaptados às particularidades da problemática eólica.

2006: Início do Grupo Técnico de Trabalho

- Redação da norma específica voltada para avaliação do impacto acústico de projetos de geração eólica.

2008: Relatório Agência Francesa de Segurança Sanitária Meio Ambiente e do Trabalho (AFSSET): Impactos Sanitários do Ruído de Aerogeradores

Contando com a participação do Ministério da Ecologia, do Desenvolvimento Sustentável e da Energia através da ADEME, uma análise crítica sobre as recomendações da ANM foi realizada para avaliar a pertinência do incentivo à adoção de distâncias mínimas entre as residências e os aerogeradores. Segundo o relatório final, a gestão do ambiente sonoro na vizinhança de parques eólicos deve ser realizada “caso a caso”. Recomenda-se a realização de estudos precisos para a

avaliação dos níveis sonoros gerados pelo funcionamento das máquinas, definição dos potenciais impactos sanitários da operação e das alternativas para a mitigação do impacto acústico sobre a população.

2011: Nova exigência regulamentar

- Distância mínima entre aerogeradores e vizinhança é definida em 500 m.

2013: Distância mínima média igual a 700 m.

ii. Contexto regulamentar e normativo

A partir 25 de agosto de 2011, as exigências relativas ao licenciamento ambiental de empreendimentos para geração eólica na França foram modificadas pela inclusão de tais projetos no grupo das Instalações Classificadas para Proteção do Meio Ambiente (ICPE).

As emissões sonoras de parques eólicos são controladas pela seção 6 do Decreto de 26 de agosto de 2011, que dispõe sobre o enquadramento de empreendimentos para geração elétrica através da energia mecânica do vento como uma instalação submetida à autorização, de acordo com a seção 2980 da legislação de ICPE. Este Decreto substitui as disposições regulamentares anteriores relativas aos Ruídos de Vizinhança (Bruits de Voisinage – Decreto nº 2006-1099 de 31 de agosto de 2006).

A regulamentação francesa para o controle do impacto sonoro de diferentes instalações (indústrias, ruído de vizinhança, locais destinados a eventos musicais, parques eólicos) baseia-se na noção de emergência sonora. A emergência sonora é a diferença entre o nível de ruído total (medido na presença da fonte emissora do ruído incômodo) e o nível de ruído ambiente (medido na ausência da fonte emissora do ruído incômodo). Entrevistas realizadas com moradores vizinhos a empreendimentos ruidosos (indústrias, infraestruturas de transporte) permitiram uma correlação entre o incômodo sentido e valores de emergência sonora. Assim, foi possível definir um nível de emergência global em dB (A) a ser respeitado.

Na França, o nível de ruído total (máquinas em funcionamento) na vizinhança de um parque eólico deve ser inferior a 35 dB(A). Nos casos em que o nível de ruído total

ultrapassa 35 dB(A), a emergência do ruído perturbador deve ser inferior aos seguintes valores:

- 5 dB (A) durante o período do dia (7h – 22h),
- 3 dB (A) durante o período da noite (22h – 7h).

Além disso, a nova regulamentação define valores máximos para o ruído global medido em algum ponto dentro do menor polígono no qual estão inscritos os discos de centro de cada aerogerador com raio R igual a 1,2 vezes a altura da máquina. Os valores são fixados em 70 dB (A) durante o dia e 60 dB (A) de noite. Esta exigência não é aplicável se o nível de ruído ambiente durante o período considerado é maior que estes valores.

Para os casos em que o ruído ambiente medido na vizinhança apresente componentes tonais, conforme as definições do Decreto de 23 de janeiro 1997, a sua duração não deve exceder 30% do tempo de funcionamento do parque em nenhum dos períodos (noite ou dia).

A regulamentação francesa baseia-se na primeira versão da norma NFS 31-114, relativa à medição de ruído ambiental em parques eólicos, que está sendo finalizada e terá, em breve, a sua versão definitiva liberada. A norma descreve a metodologia a ser aplicada para medição e análise dos níveis de ruído ambiental de um parque eólico e foi redigida com o objetivo de solucionar as dificuldades encontradas para medições em presença de vento, ou seja, para o caso específico de parques eólicos. Ela define os métodos de medição de ruído e de registro dos dados de vento, os indicadores de ruído a serem utilizados, os métodos para estabelecer a correlação entre o ruído e as variações do vento, as análises estatísticas necessárias para a definição do valor de ruído a cada intervalo de velocidade do vento e as suas respectivas incertezas. Segundo as recomendações da norma, a emergência sonora deve ser estimada ou medida para cada intervalo de vento de 1 m/s, geralmente para o intervalo de velocidade do vento entre 3 e 10 m/s, medido a 10 m acima do solo.

iii. Metodologia para a gestão do ambiente sonoro de parques eólicos

Na França, a gestão do ambiente sonoro de parques eólicos inicia-se na fase de concepção do empreendimento e usa como base os resultados do estudo de previsão

de impacto acústico. O estudo tem como objetivo oferecer ao desenvolvedor do projeto as alternativas de gestão do ruído emitido durante o funcionamento do parque que garantam o seu dimensionamento em conformidade com as exigências da regulamentação ICPE .

O estudo é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Medição do ruído ambiente (Lamb) nas residências possivelmente impactadas;
- 2) Modelização numérica do terreno e da propagação sonora dos aerogeradores (Laero);
- 3) Determinação das emergências sonoras e verificação do respeito à regulamentação;
- 4) Eventuais Princípios de Solução (EPS).

Na etapa de operação do parque, o monitoramento do ruído em sua área de influência é indispensável para a confirmação das previsões do estudo de impacto e garantia da integração do empreendimento ao ambiente sonoro de sua vizinhança.

O objetivo do estudo de impacto acústico é, principalmente, de antecipar, verificar e viabilizar a operação do parque evitando riscos à saúde da população vizinha ao empreendimento.

Medições de ruído

A seguir, serão descritas as etapas para realização de medições sonoras necessárias ao estudo de impacto acústico de projetos para geração eólica.

Escolha dos pontos de medição

A partir das coordenadas de implantação dos aerogeradores definidas pelo desenvolvedor do projeto e conhecendo a sua área de influência, pontos de medição serão escolhidos para a determinação do ruído ambiente no exterior das residências mais próximas às máquinas. De maneira geral, a escolha dos pontos deve respeitar os

seguintes critérios:

- locais habitados expostos ao ruído de aerogeradores (varandas, jardins...);
- presença de pouca vegetação, para que sejam evitados “ruídos parasitas”;
- inexistência de outras fontes sonoras na proximidade;
- inexistência de barreiras entre o aerogerador e o ponto de medição.

Durante a fase de monitoramento de ruído, além dos pontos na vizinhança, são realizadas medições em pontos adicionais no “menor polígono no qual são inscritos os discos de centro de cada aerogerador com raio R igual a 1,2 vezes a altura da máquina”, com o objetivo de verificar os níveis sonoros máximos exigidos pela regulamentação ICPE.

Escolha dos intervalos de velocidade e direções do vento

Para a concepção de um parque eólico, o desenvolvedor do projeto utiliza os dados fornecidos pela rosa dos ventos do local de implantação. A rosa dos ventos contém os resultados de medições anemométricas no local durante um longo período de tempo e descreve as direções de vento predominantes no território.

Com base nestes dados, é possível selecionar as direções mais frequentes e/ou pertinentes para a realização do estudo de impacto acústico do parque eólico.

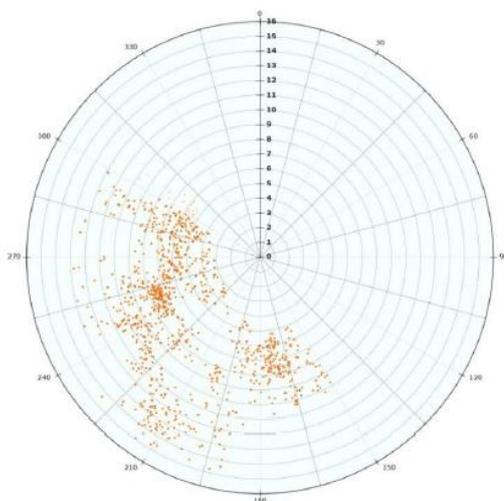


Gráfico 9: Rosa dos ventos.

Como interpretar uma rosa dos ventos?

As direções de vento são definidas pela rotação na direção contrária à trigonométrica. As velocidades do vento são crescentes com o aumento do raio dos círculos.

É importante ressaltar que estes dados de vento são obtidos em condições padrão, ou seja, a uma altura de 10 m em relação ao nível do solo com coeficiente de rugosidade igual a 0,05 m.

Campanha de medição

Uma vez que os pontos de medição e as direções de vento predominantes são conhecidos, as medições sonoras podem ser efetuadas.

No caso de estudos de previsão do impacto acústico, são realizadas medições do ruído ambiente nas residências mais próximas ao parque em bandas de frequência, sempre considerando as direções de vento predominantes.

Durante a fase de monitoramento do parque em operação, são efetuados 3 tipos de medições:

- medições dos níveis sonoros ambiente (máquinas desligadas) e global (máquinas em funcionamento) em bandas de frequência na vizinhança do empreendimento. Estes resultados servirão como base para a análise regulamentar das emergências sonoras dos aerogeradores.
- medições na vizinhança do parque dos níveis sonoros ambiente e global em bandas de 1/3 de oitava para a verificação de presença de componentes tonais;
- medições dos níveis sonoros globais no polígono ICPE para comparação com os valores máximos admissíveis.

Além dos níveis sonoros, as velocidades e direções do vento são registradas durante toda a campanha de medição em tempo real através de uma estação meteorológica. Se as medições de vento forem realizadas a uma altura diferente de 10 m acima do solo, estes dados serão sempre transformados de forma a respeitar as condições padrão descritas anteriormente.

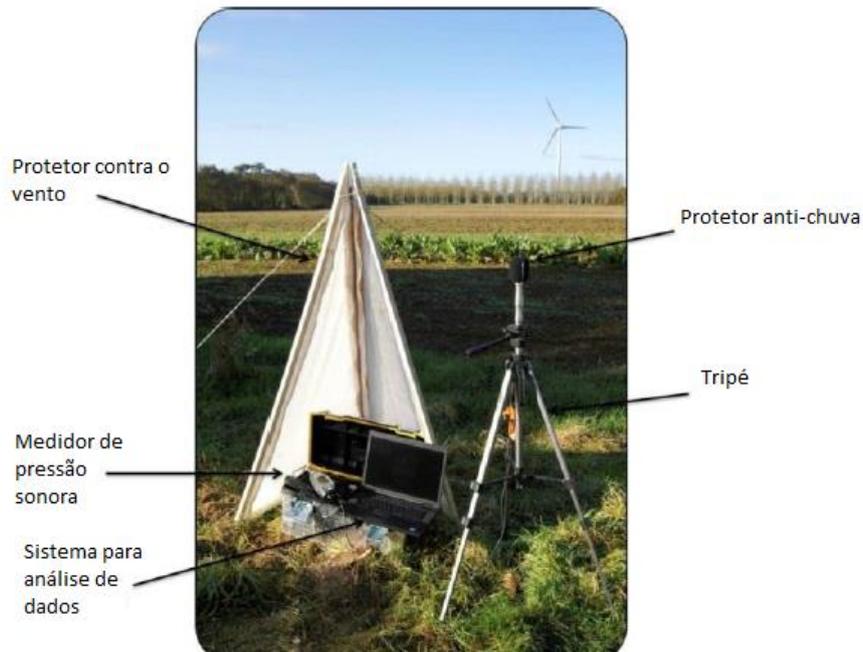


Figura 7: Exemplo de material utilizado durante as campanhas de medição sonora. Fonte: Autoria própria.

Análise de dados

Após a obtenção dos resultados das medições sonoras, uma análise da evolução temporal dos dados obtidos é realizada sob a forma de gráficos através de softwares específicos. Neste momento é verificada a ocorrência de níveis sonoros muito altos em relação à tendência geral dos dados medidos, como a passagem de um carro ou qualquer outra atividade que não represente o ruído ambiente no local estudado. Como estes valores podem comprometer a análise requerida, eles são apagados do registro de dados.

Modelagem e simulação da propagação sonora

Uma vez finalizada a campanha de medições, a modelagem numérica do terreno em estudo servirá como base para a simulação das contribuições sonoras dos aerogeradores. A previsão dos níveis de ruído derivados do funcionamento do parque é feita através de softwares de cálculo desenvolvidos especificamente para a análise da propagação sonora em parques eólicos.

Modelagem numérica do terreno

A modelagem do terreno consiste no desenho em três dimensões do território em estudo através da determinação de pontos com as altitudes correspondentes à carta topográfica do local. Em seguida, são definidas as localizações dos pontos de recepção, que representam as residências onde foram realizadas as medições na etapa anterior do estudo, e as fontes de ruído, que são os aerogeradores do parque.

Simulação da propagação sonora

A partir deste modelo de terreno, o software de simulação calcula a trajetória dos raios sonoros de cada aerogerador para todos os pontos de recepção considerando as condições meteorológicas e o tipo de solo do local.

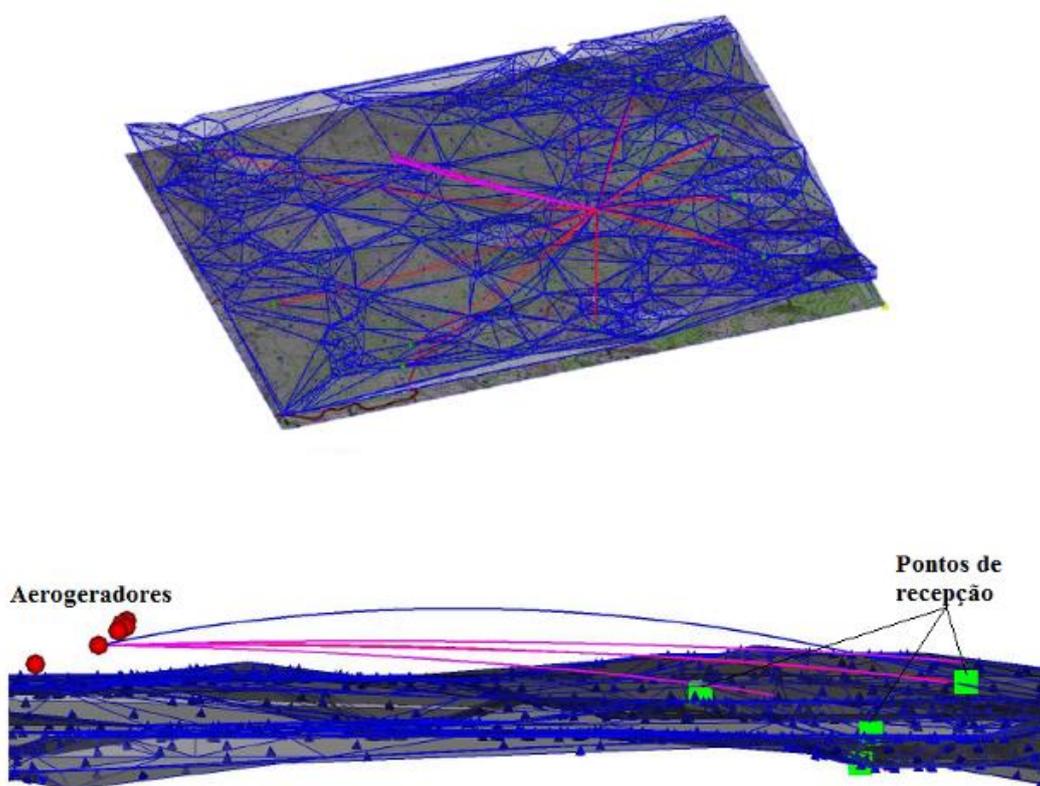


Figura 8: Simulação da trajetória dos raios sonoros emitidos por um aerogerador. Fonte: Autoria própria.

O resultado do cálculo é plotado em forma de mapa das contribuições sonoras de todos os aerogeradores do parque em sua área de influência para uma certa velocidade e direção de vento.

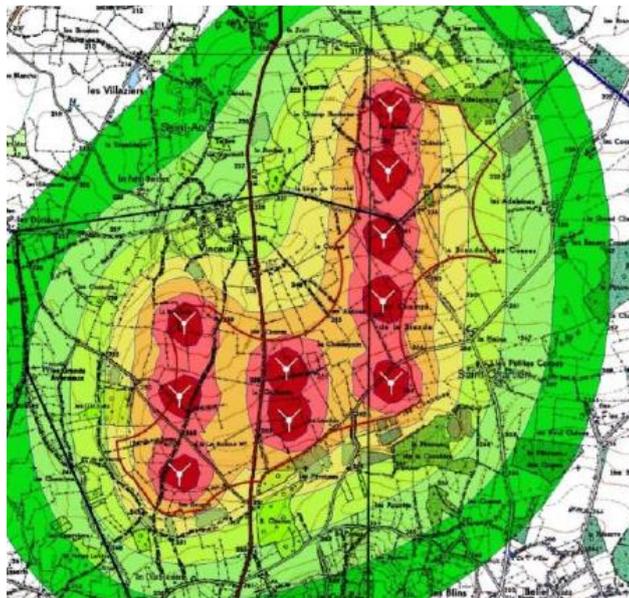


Figura 9: Mapa de ruído das contribuições sonoras do parque eólico para um vento a 6 m/s e direção NNE. Fonte: Autoria própria.

Avaliação de impacto acústico e alternativas para a sua mitigação

Estudos de previsão tem como objetivo avaliar a viabilidade da integração de um projeto ao meio ambiente e propor alternativas que garantam a conformidade da operação do parque eólico às exigências regulamentares

No caso de estudos de impacto acústico, para a verificação da conformidade do parque eólico com a legislação vigente são estabelecidas correlações entre o nível de ruído global na vizinhança do parque em operação (soma logarítmica entre os resultados do cálculo das contribuições sonoras dos aerogeradores e os valores de ruído de fundo medidos nas residências vizinhas ao empreendimento) e as velocidades de vento medidas no mesmo instante.

Cálculo dos valores de emergência sonora

- Estudos previsionais de impacto acústico

Os níveis sonoros globais (L_{tot}) são calculados para cada ponto de medição e velocidade de vento através da soma logarítmica entre os resultados do modelo acústico (L_{aero}) e os valores de ruído ambiente (L_{amb}) medidos nas residências:

$$L_{tot} [db(A)] = L_{amb} + L_{aero} \quad (\text{soma logarítmica})$$

onde,

L_{tot} : nível de ruído global;

L_{amb} : nível de ruído ambiente (de fundo);

L_{aero} : nível de ruído dos aerogeradores.

Uma vez calculados os níveis sonoros globais, os valores são comparados aos valores máximos estabelecidos pela regulamentação e, caso necessário, são calculadas as emergências sonoras em cada ponto. Emergência sonora é a diferença entre os níveis globais e os valores de ruído ambiente.

Se os resultados de emergência sonora ultrapassarem os valores máximos estabelecidos pela regulamentação em algum ponto, são propostas soluções (PDS) para o funcionamento das máquinas em função das condições meteorológicas que atuam no local.

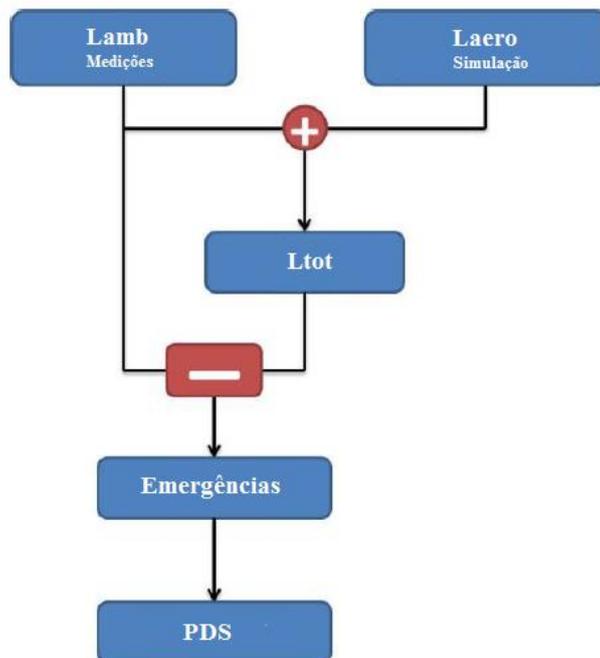


Figura 10: Etapas de um estudo de previsão de impacto acústico. Fonte: Autoria própria.

- Estudos de monitoramento

Neste tipo de estudo, são realizadas medições de ruído global (parque em operação) e de ruído ambiente (máquinas desligadas) com a finalidade de monitorar a atividade do parque eólico e garantir a sua conformidade legal. Os dados obtidos pelas medições sonoras são analisados e os valores não coerentes apagados. Em seguida, são estabelecidas correlações entre os valores L50 (níveis detectados durante 50% do tempo de integração) de ruído medidos a cada 10 min e as velocidades de vento medidas no mesmo instante. O L50 é utilizado com o objetivo de “alinhar” a curva de medição e desconsiderar os valores altos resultantes de possíveis perturbações exteriores.

A partir dos níveis sonoros medidos a cada dez minutos, o valor adotado para o ruído global e ambiente para cada velocidade de vento é a mediana dos resultados da medição em cada intervalo de 1 m/s. O gráfico a seguir demonstra o resultado da evolução dos níveis sonoros em um parque eólico durante o período da noite em função das velocidades do vento. A mediana de cada intervalo é representada pelas

“ampolas” coloridas.

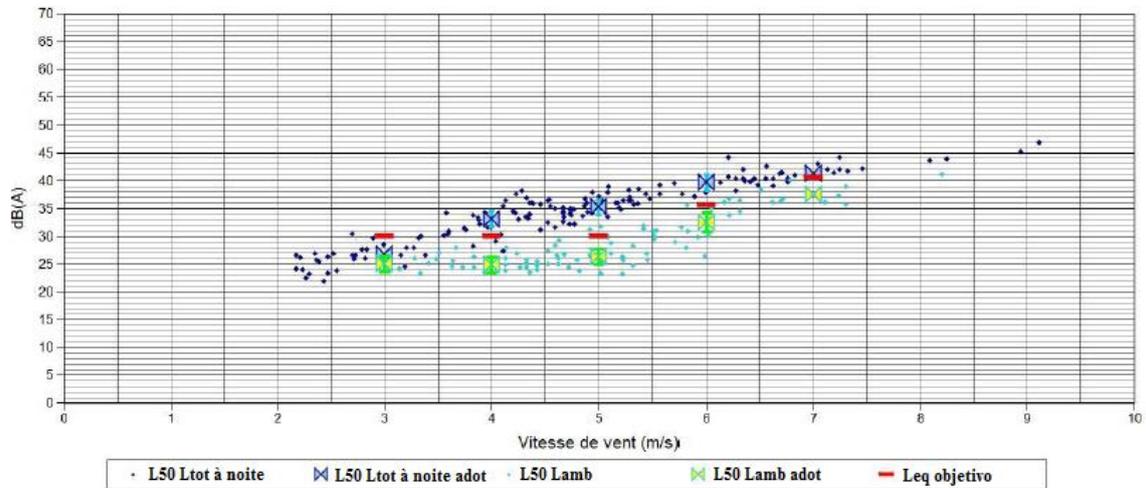


Gráfico 10: Exemplo de curva de dados de medição apresentando emergências superiores aos valores admissíveis. Fonte: Autoria própria.

As emergências sonoras são calculadas através da subtração entre os níveis sonoros globais e ambiente medidos.

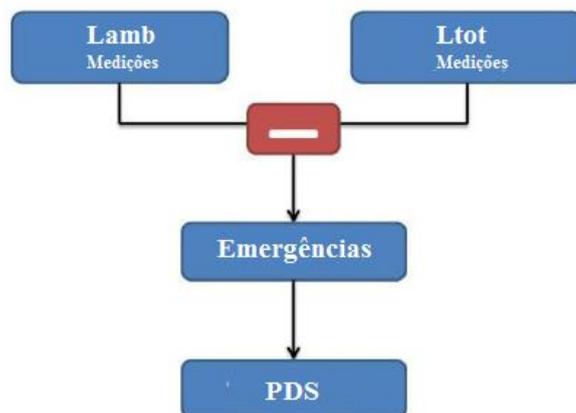


Figura 11: Etapas de um estudo de monitoramento da operação de um parque eólico. Fonte: Autoria própria.

Princípios de solução (PDS)

As alternativas para a garantia da operação do parque em conformidade com as exigências regulamentares baseiam-se no ajuste do modo de funcionamento dos aerogeradores em função das velocidades de vento e do período do dia. Em casos extremos, pode ser recomendado o desligamento da máquina. Os ganhos acústicos para cada modo de funcionamento do aerogerador são fornecidos pelo seu fabricante. Porém, ao mesmo tempo que resultam na redução das emissões sonoras também representam perdas na geração elétrica. No entanto, vale ressaltar que atualmente os fabricantes avançam no desenvolvimento de diferentes modos de funcionamento que proporcionem ganhos acústico mas buscando reduzir as perdas na produção de eletricidade.

Para a escolha destas alternativas ao funcionamento dos aerogeradores é necessário conhecer a contribuição de cada máquina em cada ponto de recepção para todas as velocidades de vento que incidem no local de implantação do parque eólico. Desta maneira, é possível determinar se o aerogerador considerado é ou não audível e, caso positivo, o quanto a sua emergência ultrapassa os valores regulamentares. A partir destas informações, podem ser estabelecidas alternativas para a gestão do ambiente sonoro do parque eólico.

Em seguida, são demonstrados dois exemplos de sistemas de controle de ruído desenvolvidos para a gestão do ambiente sonoro de um parque eólico em operação na França. As duas soluções foram propostas para o período noturno e para os dois setores de vento predominantes no local.

Sistema de Controle de Ruído (1)								
Aerogerador	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s	7m/s	8m/s	9m/s	10m/s
A1			SCR B	SCR B	SCR B			
A2			SCR A	SCR A	SCR A			
A3			DESLIGA	SCR A	SCR A			
A4								
A5								

Tabela 7: Exemplo de Sistema de Controle de Ruído (SCR) desenvolvido para ventos no setor de 20° à 120° durante o período da noite. Fonte: Autoria própria.

Sistema de Controle de Ruído (2)								
Aerogerador	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s	7m/s	8m/s	9m/s	10m/s
A1								
A2								
A3								
A4				SCR A	SCR A	SCR A	SCR A	
A5				SCR C	SCR C			

Tabela 8: Exemplo de Sistema de Controle de Ruído (SCR) desenvolvido para ventos no setor de 120° à 220°. Fonte: Autoria própria.

Os estudos de previsão de impacto acústico utilizam os resultados obtidos pela simulação da propagação sonora de cada aerogerador. Já nos estudos de monitoramento acústico, como os dados obtidos pela medição não representam a contribuição individual de cada máquina no ponto de recepção, devem ser realizadas medições do nível global com apenas um aerogerador em funcionamento. A sua contribuição sonora será o nível de ruído medido durante a sua operação individual subtraído do ruído ambiente. Em seguida, a mesma operação é realizada para cada aerogerador do parque.

Todavia, este procedimento demanda tempo e implica em perdas de produção elétrica para o operador do parque, já que durante o período de medições somente um aerogerador permanece em funcionamento. Para que seja reduzida a necessidade de realização deste tipo de procedimento após o início da operação do parque, a solução é investir, ainda na fase de concepção do projeto, no uso de ferramentas de cálculo confiáveis desenvolvidas especificamente para a previsão das contribuições sonoras de aerogeradores. Os níveis globais previstos pelo cálculo de predição são comparados com o níveis reais medidos no local durante a operação do parque. Se a diferença entre estes resultados for muito grande, o modelo de cálculo é ajustado em função dos dados de medição. Após o ajuste, o programa fornece os valores correspondentes à contribuição sonora de cada aerogerador para tais níveis globais medidos em todos os pontos de recepção.

Nível sonoro máximo à proximidade dos aerogeradores

Outra etapa dos estudos de impacto acústico consiste no diagnóstico dos níveis máximos admissíveis no entorno das máquinas definidos pela regulamentação ICPE. Através dos mesmos softwares de modelagem acústica, podem ser calculadas as contribuições sonoras do aerogerador no interior do perímetro com dimensões

estabelecidas pela lei. O resultado é plotado em forma mapas de ruído com escala sonora definida para a análise dos valores máximos atingidos na área em estudo.

Durante a fase de monitoramento, as análises são realizadas em função dos resultados de níveis sonoros globais medidos no área considerada.

Análise da presença de componentes tonais (ver Apêndice B)

Para a elaboração estudos de previsão, uma simples análise da presença de componentes tonais pode ser feita com base nos dados fornecidos pelo construtor da máquina em bandas de 1/3 de oitava. Na fase de monitoramento, são utilizados os seus resultados medidos no local. Com estes resultados é realizada uma análise gráfica do espectro medido em 1/3 de oitava para a verificar a presença de componentes tonais no ruído proveniente da máquina.

5. ESTUDO DE CASO: PARQUES EÓLICOS CAMPO DOS VENTOS I, III E V

5.1. O projeto

O empreendimento objeto deste Estudo de Caso refere-se a 3 parques eólicos, denominados PARQUE EÓLICO CAMPO DOS VENTOS I, PARQUE EÓLICO CAMPO DOS VENTOS III e PARQUE EÓLICO CAMPO DOS VENTOS V.

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, os três parques eólicos encontram-se em situação de outorga, nesta fase ainda não foi iniciada a execução do projeto. O empreendimento somará uma potência instalada de 82 MW e a garantia física de 40,2 MW médios.

A área dos parques eólicos situa-se no limite dos municípios de Parazinho e João Câmara, no estado do Rio Grande do Norte. O local de implantação dos projetos eólicos está a aproximadamente 89,2 km de Natal.

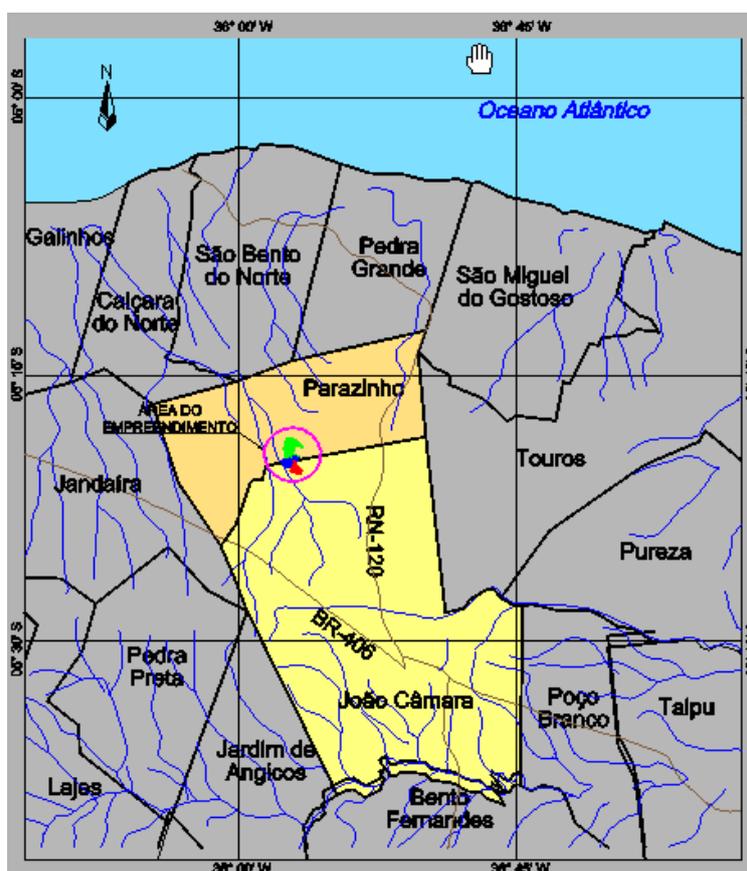


Figura 12: Localização dos Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.

5.2. Licenciamento ambiental

No Brasil, a instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou que possa vir a degradar o meio ambiente tem como obrigação legal o respeito às diretrizes estabelecidas pelos órgãos estaduais de meio ambiente e pelo IBAMA, como partes integrantes do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), para o seu processo de licenciamento ambiental.

As principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental estão expressas na Lei 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97. Além dessas, recentemente foi publicada a Lei Complementar nº 140/2011, que discorre sobre a competência estadual e federal para o licenciamento.

No caso do empreendimento eólico em estudo, nos termos da Lei Complementar Estadual Nº. 272, de 03 de março de 2004, que trata da Política Estadual do Meio Ambiente no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte, cabe ao IDEMA conceder autorizações e licenças ambientais, além de exigir e aprovar estudos relativos à avaliação de impactos ambientais .

Para a obtenção da Licença Prévia, foi apresentada a documentação legal, o Relatório Ambiental Simplificado (RAS) entre outros documentos. No entanto, o IDEMA estabeleceu como condicionante para a participação do empreendimento no Leilão de Energia de Reserva a elaboração do estudo ambiental complementar (EIA/RIMA), conforme Termo de Referência apresentado pelo órgão ambiental (Fonte: EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V).

- Diretrizes gerais e instruções para elaboração do EIA/RIMA (IDEMA)

Tratando-se das recomendações propostas pelo IDEMA para a elaboração do estudo ambiental complementar dos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V, foram extraídas de seu Termo de Referência as seguintes instruções relativas à avaliação do impacto acústico:

- Apresentar medições preliminares dos níveis atuais de pressão sonora nas áreas de influência direta e indireta, considerando as áreas habitadas e não habitadas;
- Apresentar mapa considerando as estimativas das propagações dos ruídos emitidos pelos aerogeradores;

OBS.: As medições preliminares e o mapa das isolinhas deverão ser apresentados com suas respectivas metodologias e justificativas técnicas.

Figura 13: Recomendações do Termo de Referência elaborado pelo IDEMA para o diagnóstico

dos

nív

eis

son

oro

s

no

am

bie

nte

de

loca

liza

ção

do

proj

eto.

Fon

- g) Concepção do Projeto de drenagem de águas pluviais, incluindo informações sobre o fluxo de escoamento e suas alterações em função da implantação do parque eólico, bem como as soluções técnicas para minimização da interferência no fluxo de escoamento;
- h) Estimativas dos Níveis de ruído dos aerogeradores previstos para serem instalados na área, considerando o atendimento da legislação pertinente, ficha técnica dos equipamentos de geração previstos e levantamento de dados dos níveis de ruídos atuais da área de influência dos empreendimentos. Deverá ser apresentado uma modelagem matemática com as isolinhas de concentração superposta com o mapeamento de uso e ocupação do solo;

Figura 14: Recomendações do Termo de Referência elaborado pelo IDEMA para a caracterização do Complexo Eólico Campo dos Ventos. Fonte: IDEMA.

te: IDEMA.

i. Avaliação do ambiente sonoro

A avaliação de impacto do ruído sobre a vizinhança de parques eólicos deve respeitar os padrões, critérios e diretrizes estabelecidos pela Resolução CONAMA 01/90. Esta resolução define que a avaliação deve ter como base as normas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. No entanto, órgãos públicos estaduais podem estabelecer, sempre de acordo com a Resolução CONAMA, critérios específicos ainda mais restritivos a serem aplicados para cada estado.

A nível federal, a análise de impacto acústico de um projeto de geração eólica baseia-se na norma NBR 10151, relativa à avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Esta norma define o procedimento de medição sonora e os valores critério de avaliação (NCA) - níveis sonoros globais (L_{tot}) - a serem aplicados de acordo com o tipo de zoneamento urbano da área em estudo (sítios e fazendas, residencial, comercial, industrial, etc.) e do período do dia.

No Brasil, a noção de emergência sonora não é utilizada. Os níveis máximos permissíveis são estabelecidos através dos níveis critério de avaliação (NCA), valores estes que consideram o ruído total em ambiente externo para cada tipo de área urbana estudada:

Nível critério de avaliação - dB(A)		
Tipos de área	Período diurno	Período noturno
Área de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 9: Níveis sonoros globais máximos admissíveis no Brasil por tipo de área ocupada.

Fonte: ABNT NBR 10 151.

No caso de avaliações no interior de edificações, os valores de NCA deverão ser corrigidos em -10dB(A) para janelas abertas e -15 dB(A) para janelas fechadas. Caso o valor do ruído de fundo seja superior aos valores da tabela acima para o horário em questão, o NCA assume o valor do ruído de fundo.

Segundo o EIA/RIMA elaborado para o projeto, a nível estadual, a Lei nº 6.621, de 12 de julho de 1994, que dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Estado do Rio Grande do Norte, preconiza que independentemente do ruído de fundo, o nível de som proveniente da fonte poluidora, medida dentro dos limites reais da propriedade, não poderá exceder aos níveis fixados que, tratando-se de zonas residenciais, são de 55 dBA no período diurno e 45 dBA no período noturno.

5.3. Caracterização do projeto

Os parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V possuem o seguinte dimensionamento :

- Parque Eólico Campo dos Ventos I, com 14 turbinas e potência total de 28.0 MW.
- Parque Eólico Campo dos Ventos III, com 14 turbinas, potência total de 28.0 MW.
- Parque Eólico Campo dos Ventos V, com 13 turbinas, potência total de 26.0 MW.

i. Condições meteorológicas no local

O Rio Grande do Norte situa-se na zona de predomínio dos ventos alísios, que possuem como característica a grande constância com acentuada ocorrência de direções sudeste e leste. Com relação à direção dos ventos dominantes na área dos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V, predominam os ventos de direção sudeste conforme demonstra a rosa dos ventos da área do projeto.

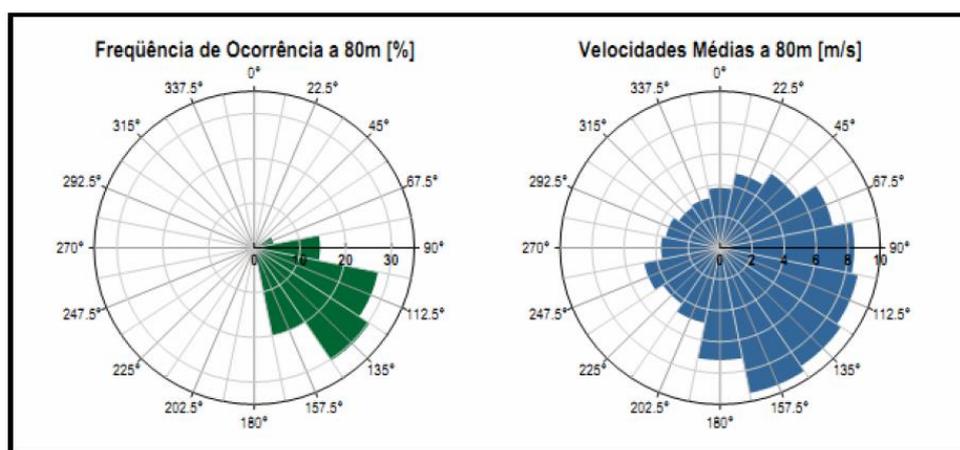


Gráfico 11: Rosa dos ventos da área de implantação dos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V. Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.

As medições anemométricas realizadas pelo empreendedor para o dimensionamento e estruturação dos parques eólicos foram feitas no período de 01/06/2008 a 31/05/2011, através de uma torre instalada a cerca de 4,0km da área dos parques eólicos. Como resultado das medições foi verificada uma velocidade de vento média anual de 9,34 m/s à 108 m do solo.

A seguir, são descritas as médias climatológicas obtidas através da extrapolação de dados da Estação Ceará Mirim (INMET) do período entre os anos de 1961 e 1990.

Médias Climatológicas													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Temperatura [°C]	25,4	25,3	25,1	24,9	24,3	23,5	22,8	22,8	23,3	24	24,6	24,8	24,4
Pressão Atm. [hPa]	984,9	984,6	984,6	984,5	985,6	987,2	987,9	987,9	987,5	986,2	985,4	983,5	985,8

Tabela 10: Médias Climatológicas da área de implantação dos parques eólicos Campo dos

ii. Características do aerogerador

O modelo de aerogerador escolhido para os projetos é o VESTAS V100 -2.0MW. Este modelo é composto por um rotor de três pás com 49,0 metros cada, sendo o seu diâmetro igual a 100,0 metros. As torres são do tipo tubular em concreto, a altura do cubo é de 110,0 metros de altura.

A tabela seguir contém os dados relativos aos níveis de potência sonora da máquinas em função da velocidade do vento fornecidos pelo fabricante da máquina.

Nível de Potência Acústica do Aerogerador V100-2.0 MW, Mode 0	
Altura do cubo = 110m	
LwA @ 3 m/s (10 m above ground) [dBA]	94
Wind speed at hh [m/sec]	4.4
LwA @ 4 m/s (10 m above ground) [dBA]	96.8
Wind speed at hh [m/sec]	5.9
LwA @ 5 m/s (10 m above ground) [dBA]	101.1
Wind speed at hh [m/sec]	7.3
LwA @ 6 m/s (10 m above ground) [dBA]	104.5
Wind speed at hh [m/sec]	8.8
LwA @ 7 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	10.3
LwA @ 8 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	11.7
LwA @ 9 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	13.2
LwA @ 10 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	14.7
LwA @ 11 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	16.1
LwA @ 12 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	17.6
LwA @ 13 m/s (10 m above ground) [dBA]	105
Wind speed at hh [m/sec]	19.1

Tabela 11: Níveis de potência sonora dos aerogeradores dos parques eólicos em função das velocidades do vento. Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V..

iii. Área de influência

O estudo de impacto ambiental (EIA/RIMA) define as áreas de influência dos parques

eólicos da seguinte maneira :

- a Área de Influência Indireta (All) é representada pelo município de João Câmara, as comunidades de Queimadas, Assentamento Brinco de Ouro, Assentamento Modelo I e Modelo II, Assentamento Baixa do Novilho e Localidade de São Geraldo. Destaca-se também na All o município de Parazinho com as seguintes comunidades: distrito de Pereiros, Localidade de São Luis, Fazenda Três Irmãos, Fazenda Bom Jesus e Fazenda Granvier.
- a Área de Influência Direta (AID) compreende a área de intervenção do empreendimento, levando-se em consideração as fazendas onde se localiza o empreendimento. Destaca-se que das onze propriedades onde os parques eólicos estão localizados, apenas seis delas possuem residentes ou exibem alguma forma de uso e ocupação do solo, sendo elas: Fazendas Diamantina, Sabonete, Palestina, São Vicente e Nova Descoberta.

As residências do Assentamento Baixa do Novilho e da comunidade de São Geraldo, que são as mais próximas da área do Parque Eólico Campo dos Ventos I, se encontram a aproximadamente 170,0 e 150,0 metros, respectivamente, dos aerogeradores projetados.

Para o Parque Eólico Campo dos Ventos III, as residências mais próximas ficam na sede da Fazenda São Vicente, a mais de 400,0 metros de distância dos aerogeradores projetados.

A sede da Fazenda Nova Descoberta e a comunidade de São Luís são as mais próximas dos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos V, estando a mais de 260,0m e 500,0m de distância respectivamente.

5.4. Estimativa da contribuição sonora dos aerogeradores

Conforme recomendado pelo Termo de Referência elaborado pelo IDEMA para a realização do EIA/RIMA dos parques eólicos Campo dos Ventos I,III e V, esta seção apresenta as estimativas das contribuições sonoras dos aerogeradores durante a operação do parque calculadas através de um software de modelagem matemática. Os resultados serão apresentados em forma de mapa do local com a delimitação das

zonas residenciais sobreposto com as isolinhas de níveis sonoros previstos. Em seguida, foi elaborada uma tabela comparativa entre os resultados em alguns dos pontos críticos da vizinhança e os níveis critério de avaliação estabelecidos em lei.

i. Modelagem da propagação sonora

A primeira etapa consiste na modelagem numérica da topografia do terreno e determinação das condições iniciais para o cálculo. Posteriormente, a simulação numérica da propagação sonora é lançada e os resultados disponibilizados através de um mapa de ruído em toda a área de influência do projeto. Vale lembrar que o mapeamento das contribuições sonoras das máquinas é realizado de acordo com o período do dia, para cada direção e velocidade do vento.

O cálculo da propagação de ruído deste projeto foi feito através do software AcousPROPA, desenvolvido pela empresa francesa Groupe Gamba Acoustique especificamente para o tratamento das particularidades de propagação sonora em ambientes de parques eólicos. Para isso, o modelo considera a influência das condições meteorológicas, os "efeitos do solo" e a topografia do local.

De acordo com as informações relativas ao projeto, foram escolhidas as seguintes condições iniciais:

Condições meteorológicas	
Direção do vento	135° - SE
Temperatura	23°C
Umidade	98,5 kPa
Cobertura atmosférica	céu limpo
Rugosidade do solo	0,1 m

Tabela 12: Condições meteorológicas adotadas para o cálculo de previsão da propagação sonora. Fonte: A autoria própria.



Figura 15: Vista do setor norte da área do Parque Eólico Campo dos Ventos I. *Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.*

Parâmetros de influência na absorção sonora								
Frequência	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Coef. de abs. atmosférica (dB/100m)	0,1	0,1	0,1	0,3	0,55	1,3	3,3	6
Coef. de abs. do solo (dB)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabela 13: Coeficientes de absorção sonora adotados para o cálculo de previsão da propagação sonora do ruído de aerogeradores. *Fonte: Autoria própria.*

A temperatura adotada como parâmetro inicial tem valor mais baixo que a média anual pois considera-se que o período da noite é normalmente mais frio que o período diurno. O coeficiente de rugosidade foi escolhido a partir de uma análise da documentação fotográfica do local, onde constatou-se que a área de implantação dos parques é composta basicamente por terras agricultáveis com a ocorrência de certos aglomerados de vegetação mais alta.

O cálculo foi efetuado considerando o solo plano, já que o desnível máximo entre as fontes de ruído e os pontos de recepção é de 10 m de altura.

ii. Resultados do cálculo

Os resultados do cálculo em alguns dos pontos vizinhos mais impactados pelo projeto são apresentados na tabela a seguir. Estes valores foram comparados com os níveis sonoros globais máximos estabelecidos na regulamentação em vigor no estado do Rio

Nível de Pressão Sonora na Vizinhança		
Contribuições sonoras dos aerogeradores V100 – noite, vento SE à 8 m/s		
Pontos de recepção	NPS regulamentar	Lp [dB(A)]
1) Fazenda Nova Descoberta	35	49
2) Localidade de São Geraldo	45	46
3) Fazenda Bom Jesus	35	36
4) Fazenda São Vicente	35	43
5) Fazenda Diamantina	35	41
6) Assentamento Modelo	45	29
7) Assentamento do Baixo Novilho	45	46

Tabela 14: Resultados do cálculo das contribuições sonoras dos aerogeradores em residências vizinhas aos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V. *Fonte:*

Autoria própria.

Gran
de do
Norte

Observa-se que para as condições adotadas no cálculo, noite com influência de vento sudeste à 8m/s, apenas as residências do Assentamento Modelo tem o seu ambiente sonoro em conformidade regulamentar.

É importante ressaltar que para a confirmação desta hipótese nos pontos relativos à fazendas, deve ser prevista a realização de medições do ruído ambiente no local. Segundo a norma ABNT NBR 10 151, caso os valores de ruído ambiente sejam superiores aos níveis sonoros máximos estabelecidos para cada tipo de área ocupada, deve ser adotado como nível critério de avaliação (NCA) aquele correspondente ao nível de ruído já existente.

Para uma análise completa da exposição sonora da vizinhança ao empreendimento, recomenda-se a simulação de diferentes cenários que considerem os períodos do dia, todas direções do setor de ventos dominantes na área de projeto e todas as velocidades de vento de operação dos parques eólicos.

Os resultados do cálculo são apresentados no mapa de ruído abaixo.

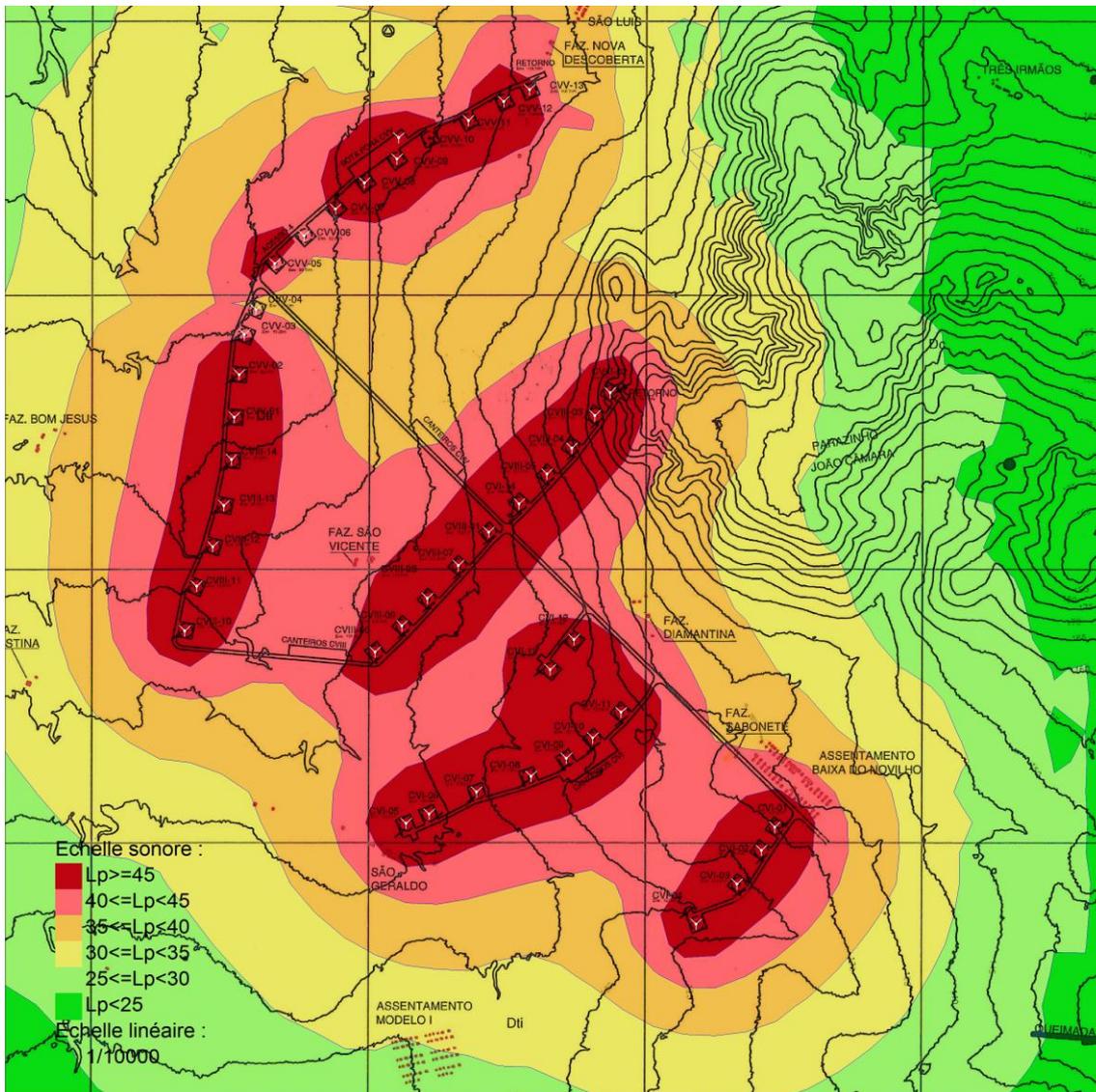


Figura 16: Mapa das contribuições sonoras dos aerogeradores dos parques eólicos Campo dos Ventos I, III e V durante o período da noite sob vento a 8 m/s e direção SSE. Fonte: Autoria própria.

5.5. Análise do EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I,III e V

Nesta seção será realizada uma análise comentada do EIA/RIMA elaborado para a participação do empreendimento no Leilão de Energia de Reserva. A documentação utilizada como base foi obtida no sítio internet do órgão ambiental do estado do Rio Grande do Norte.

i. Diagnóstico Ambiental

A caracterização dos níveis de ruído na área dos parques eólicos Campo dos Ventos I,III e V e na sua vizinhança foi feita através de medições sonoras em 9 pontos diferentes. As medições seguiram as normas técnicas da CETESB, L11.032 e L11.033, elaboradas para determinação dos níveis de ruídos em ambientes internos e externos. Entre as recomendações da norma, as medições devem ser executadas de acordo com algumas condições, entre elas:

- Altura do microfone: 1,20 - 1,50 m (do piso);
- Certificar-se de que o medidor de nível de som (MNS) esteja calibrado de acordo com as recomendações do fabricante;
- A cada intervalo de 10 segundos fazer a leitura do nível de som até completar no mínimo 30 leituras num período mínimo de 05 minutos. Se durante as leituras o nível de ruído for alterado por ruído transitório de alguma fonte passageira desprezar o valor correspondente e fazer nova leitura; e,
- Distância mínima de paredes: 1,0 m.

Figura 17: Recomendações da norma técnica CETESB para a realização de medições sonoras.

Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.

Para cada ponto, no intervalo mínimo de 10 segundos entre as medições, foi realizada a leitura do nível de som até completar uma série de 30 leituras. Os resultados são apresentados na tabela a seguir.

Resultados Medições Sonoras	
Ruído ambiente	
Localidade	Lp [dB(A)]
1) Sede de Pereiros	52,4
2) Sede de Pereiros	61,95
3) Fazenda Palestina	57
4) Fazenda Diamantina	59,1
5) Assentamento do Baixo Novilho	56,5
6) Fazenda São Vicente	57,6
7) Localidade de São Geraldo	56,49
8) Margem da estrada Queimadas – Pereiros	45,51
9) Fazenda Nova Descoberta	59,23

Tabela 15: Resultados das medições de ruído ambiente na vizinhança dos parques eólicos.

Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.

Segundo consta no estudo, as condições ambientais nos pontos de medição tiveram forte influência nos resultados finais obtidos. Entre os níveis sonoros registrados, foram identificadas fontes de ruído provenientes da passagem de veículos, de rajadas de vento de intensidade moderada a forte, do balanço dos galhos da vegetação, da fauna e de pessoas conversando.

A figura abaixo, retirada da documentação fotográfica anexa ao EIA/RIMA, demonstra o momento de realização da medição para caracterização do ruído ambiente em um dos pontos selecionados.



Figura 18: Medição para caracterização de ruído ambiente antes da implantação dos parques eólicos.

Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.

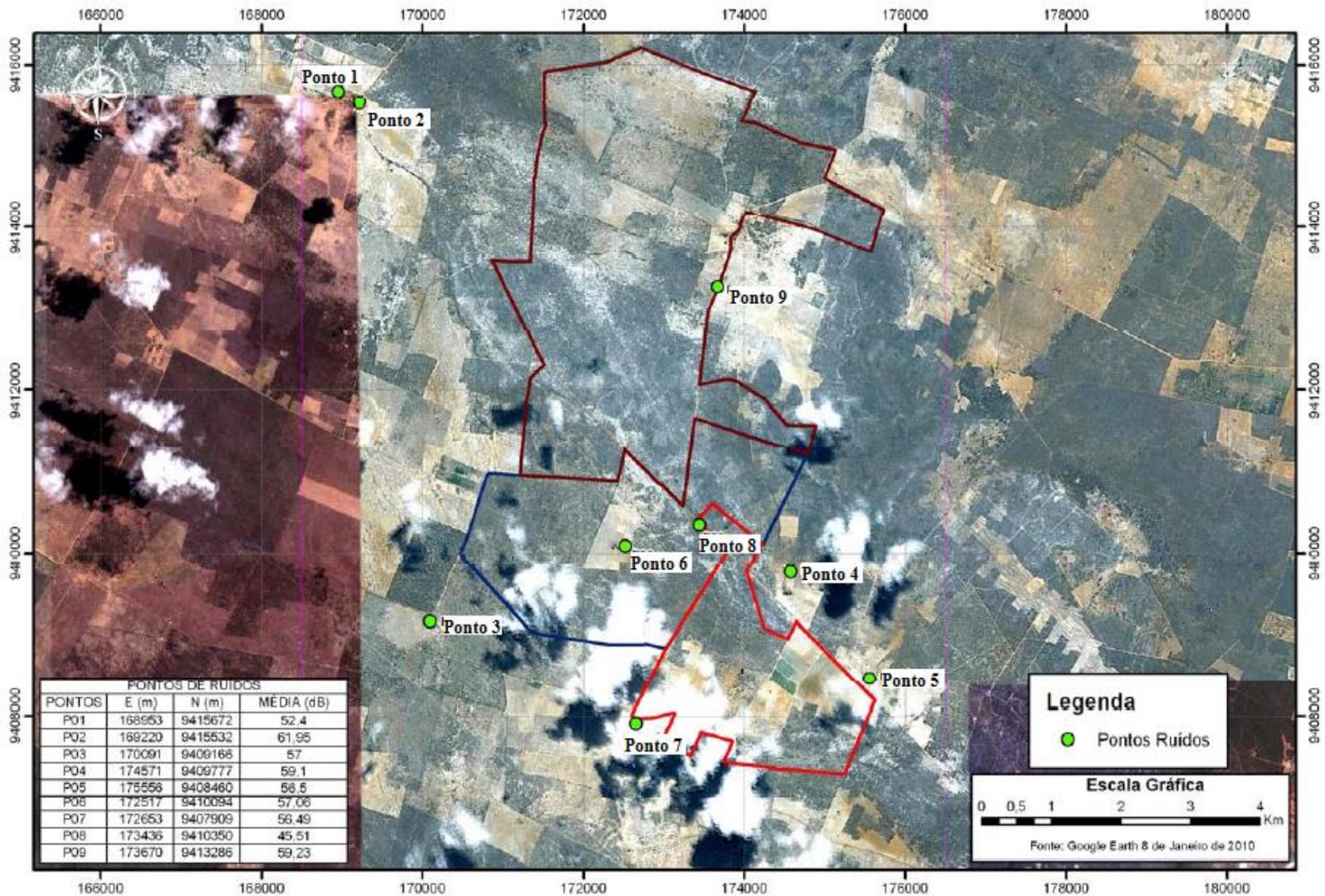


Figura 19: Pontos de medição de ruído ambiente para diagnóstico ambiental do EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.

Fonte: EIA/RIMA Parques Eólicos Campos dos Ventos I, III e V.

Comentários

O capítulo Diagnóstico Ambiental apresenta a caracterização do ambiente sonoro na área de influência do projeto antes instalação do empreendimento. Para isto, são realizadas medições de ruído ambiente em 9 pontos diferentes na proximidade de setores habitados. Tais medições seguiram as recomendações descritas pelas normas técnicas CETESB referentes a medições sonoras em ambiente externo e interno.

Através de uma análise mais detalhada da norma e de suas recomendações, verifica-se que as medições em ambientes externos devem ser realizadas evitando-se a interferência de outras fontes de ruído (ocasionais). No caso de medições em presença de vento, deve ainda ser utilizado um protetor de vento no microfone e, sempre que possível, medir a velocidade do vento no mesmo instante com o uso de um anemômetro calibrado.

No entanto, durante as medições realizadas foram detectadas emissões de ruído ocasionais (conversas entre pessoas, ruídos provenientes de animais domésticos, etc.) que não devem ser consideradas na caracterização do ruído ambiente do local em estudo. Além disso, segundo descreve o documento, as medições tiveram duração de 5 minutos em cada ponto. O tempo de amostragem escolhido é insuficiente para que seja estabelecida uma relação entre os valores de ruído ambiente e todo o intervalo de velocidade de ventos que movimentarão as máquinas do parque durante a sua fase de operação.

Deve-se ainda ressaltar a importância da adoção de critérios particulares no caso de medições sonoras em ambientes propícios à geração eólica, feitas normalmente na presença de ventos de intensidade moderada a forte. Para que sejam evitadas possíveis interferências nos níveis sonoros medidos, recomenda-se que os microfones utilizados estejam abrigados do vento. A figura retirada da documentação fotográfica anexa ao EIA/RIMA demonstra que o procedimento escolhido para a caracterização sonora não considerou tais critérios fundamentais.

No fim deste capítulo, o estudo calcula uma média para o nível de ruído ambiente, igual a 53,13dB(A), em toda a área de influência dos parques eólicos. Todavia, para a avaliação do impacto da atividade deste tipo de empreendimento, devem ser conhecidos os níveis sonoros globais (soma logarítmica das contribuições sonoras dos

aerogeradores com o ruído ambiente) em cada um dos pontos de recepção escolhidos. Isso porque os níveis sonoros podem variar significativamente em diferentes pontos de uma mesma vizinhança devido à presença de vegetação mais densa, proximidade com rodovias, etc. Em resumo, o cálculo de um valor médio de ruído ambiente não se aplica para este tipo de avaliação e a informação correspondente ao nível sonoro medido em cada ponto deve ser preservada.

ii. Identificação e análise dos impactos ambientais

- Fase de Operação

Para o prognóstico do impacto acústico no EIA/RIMA durante a fase de operação dos parques eólicos foram consideradas as seguintes premissas retiradas do documento:

- Nas turbinas modernas, como a utilizada nos projetos em questão, o nível de ruído tem sido reduzido.
- Os grandes aerogeradores modernos são muito silenciosos.
- Nunca uma paisagem está em silêncio absoluto. Por exemplo, as aves e as atividades humanas emitem sons.
- Segundo estudos realizados em aerogeradores pela Danish Wind Industry Association (<http://www.windpower.org/en/market.htm>, acesso em novembro de 2011) observou-se que a 43,0 metros de distância de um aerogerador emitindo 100 dB(A) geralmente ter-se-á um nível de som de 55-60 dB(A), correspondente a uma secadora de roupa; a 172,0 metros ter-se-á 44 dB(A), que corresponde ao som que se tem em uma tranquila sala de estar, e a uma distância de 260,0m ter-se-á aproximadamente 40 dB(A).

Figura 20: Premissas consideradas no EIA/RIMA para a avaliação do impacto acústico durante a fase de operação dos parques eólicos. Fonte: EIA/RIMA Campo dos Ventos I, III e V.

As figuras 21,22 e 23 apresentam os mapas de localização dos parques eólicos com as isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores. Os mapas foram desenvolvidos com base em estudos publicados pela *Danish Wind Industry Association*.

Considerando os dados obtidos a partir da *Danish Wind Industry Association* e através da análise de projetos similares realizados nos Estados do Rio Grande do Norte e do

Ceará, o estudo de impacto ambiental prevê que os níveis de ruídos emitidos pelas turbinas estarão dentro da faixa aceitável pela legislação aplicável.

Este impacto foi considerado no EIA/RIMA como negativo, de pequena magnitude, importância moderada, de longa duração, reversível, direto, permanente, de escala local, não cumulativo e não sinérgico.

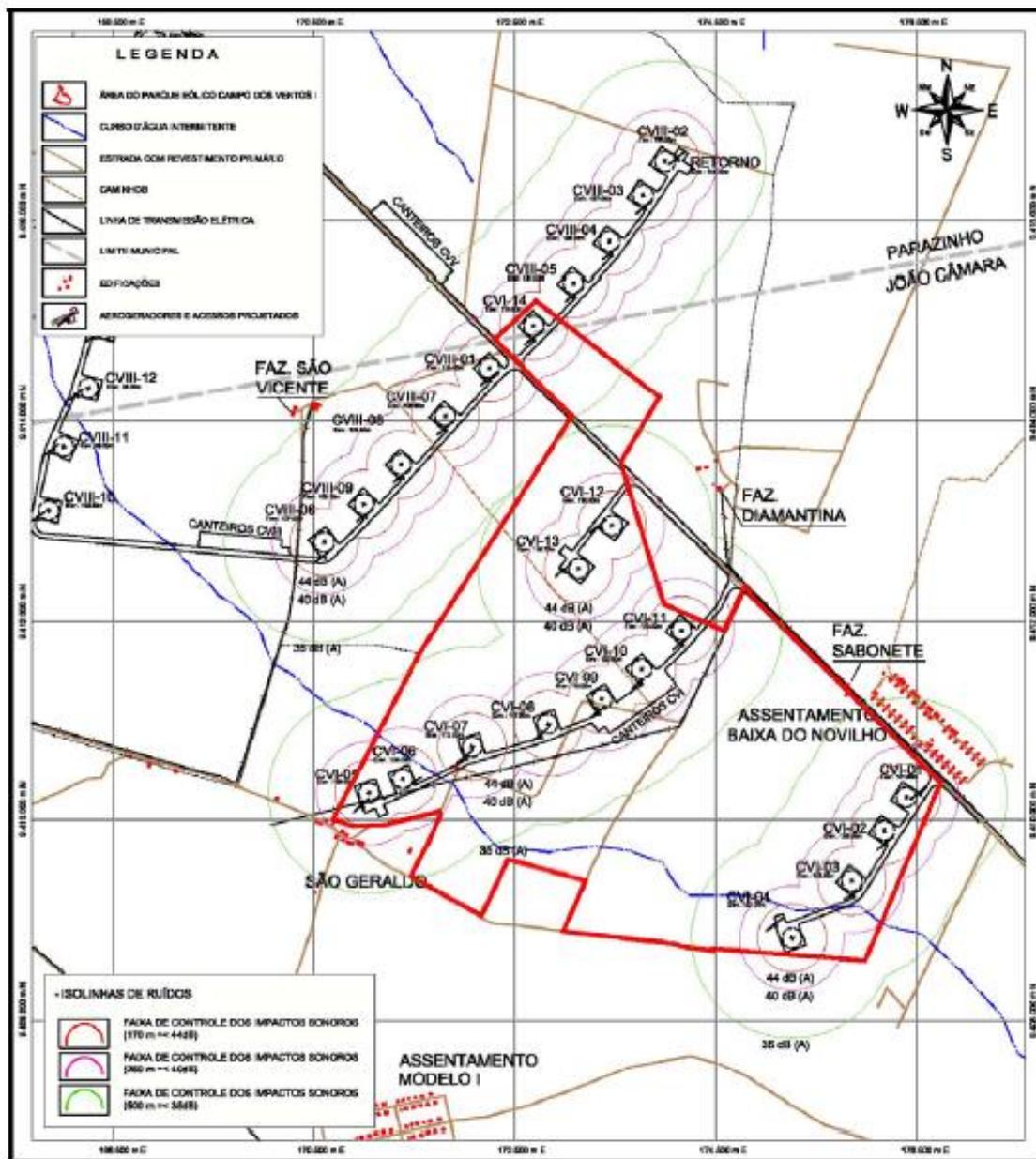


Figura 21: Mapa de isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos I.

Fonte: EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.

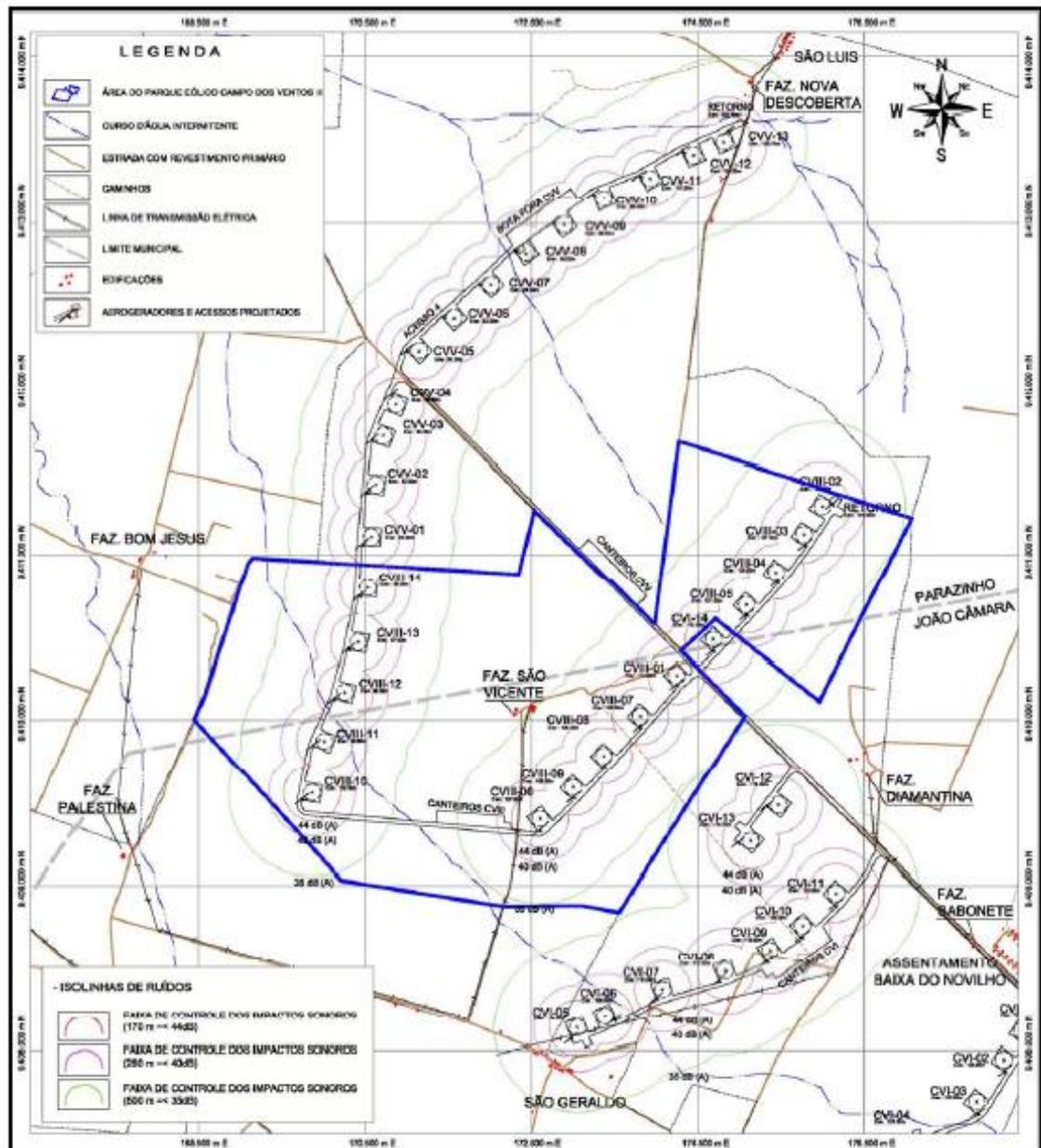


Figura 22: Mapa de isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos III.

Fonte: EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.

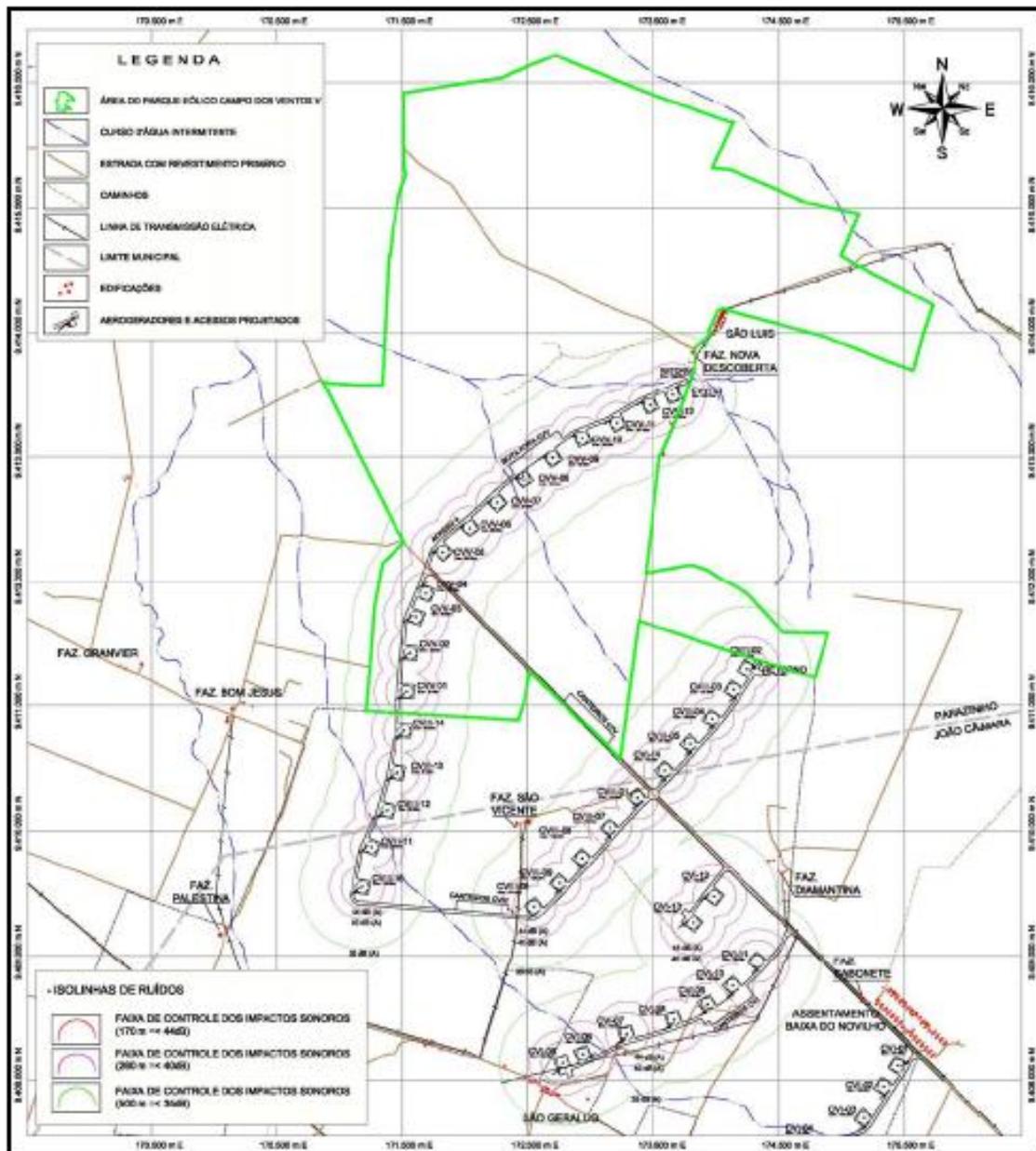


Figura 23: Mapa de isolinhas de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores do Parque Eólico Campo dos Ventos V.

Fonte: EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.

Comentários

Em uma segunda etapa, descrita pelo capítulo Identificação e Análise dos Impactos Ambientais, o estudo apresenta a estimativa das contribuições sonoras dos aerogeradores durante a fase de operação dos parques eólicos. Como base para esta previsão foram utilizados resultados de estudos realizados pela *Danish Wind Industry Association*, que fixam níveis sonoros em função da distância entre a fonte de ruído e o receptor, considerando a potência sonora da fonte igual a 100 dB(A).

Conforme citado nas seções anteriores deste trabalho, os níveis sonoros na vizinhança de parques eólicos não dependem apenas da emissão das fontes de ruído, mas variam em função das condições climáticas e topográficas do meio de propagação e dos níveis sonoros já existentes no local antes da instalação do novo empreendimento. Por isso, a avaliação do impacto acústico de parques eólicos deve ser realizada caso a caso, ou seja, considerando as particularidades específicas de cada território de implantação.

Estimativas baseadas em dados secundários que determinam valores fixos para os níveis sonoros em função da distância entre fonte e receptor, considerando uma mesma fonte de ruído, desprezam a importância da influência do meio de propagação e o ambiente sonoro já existente na avaliação do impacto previsto sobre a vizinhança do projeto.

iii. Proposição de medidas mitigadoras dos impactos ambientais e planos de controle e monitoramento ambiental.

O trecho retirado do capítulo que trata das propostas para a mitigação do impacto acústico sobre a população vizinha ao projeto durante a sua fase de operação é apresentado a seguir:

➤ Fazer regulagem e manutenção das turbinas para evitar emissão abusiva de ruídos ou acidentes, bem como manter a continuidade do processo produtivo. **Componente ambiental afetado: meio antrópico; caráter: preventivo; prazo de permanência: longo; responsabilidade: empreendedor e empreiteiras.**

Figura 24: Proposta para mitigação do impacto acústico durante a fase de operação do projeto.

Fonte: EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V.

O capítulo seguinte enfatiza a importância da implementação de um Programa de Monitoramento do Nível de Ruído na vizinhança do empreendimento durante a sua fase de operação. Segundo as recomendações do estudo, deverão ser realizadas campanhas de medições sonoras regularmente e relatórios com os resultados obtidos devem ser entregues semestralmente ao órgão ambiental competente.

Comentários

Faltam informações complementares sobre procedimentos existentes e possíveis soluções a serem aplicadas para gestão da operação do parque visando a redução de suas contribuições sonoras sobre a vizinhança. Atualmente, os fabricantes de turbinas propõem programas de ajuste no funcionamento dos aerogeradores que proporcionam ao operador do parque eólico reduzir a potência sonora das máquinas no caso do aparecimento de condições climáticas extremas, ou seja, aquelas que possam representar risco de impacto acústico sobre a população. Os ganhos acústicos são fornecidos pelo fabricante acompanhados pelas respectivas curvas de produtividade elétrica de cada modo de funcionamento.

6. ANÁLISE CRÍTICA DA REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA DE PARQUES EÓLICOS

6.1. Análise crítica e boas práticas em nível internacional

A análise das diferentes exigências internacionais relativas ao controle dos níveis sonoros na vizinhança de parques eólicos demonstra que os países regulamentam o valores máximos de ruído admissíveis basicamente de duas maneiras:

- através da análise dos níveis sonoros absolutos das contribuições sonoras de aerogeradores ou de um nível sonoro global (soma logarítmica entre o ruído ambiente e o ruído das máquinas);
- valores utilizados relacionam-se ao entendimento do ambiente sonoro existente (emergências sonoras).

A primeira opção, através da adoção de valores máximos baseados em níveis absolutos para a contribuição das máquinas ou globais na área de influência do parque, pode ser considerada como um tratamento simplificado para a problemática acústica. Na maioria dos casos, este tipo de abordagem propõe a adoção de níveis máximos na vizinhança do parque de acordo com o tipo de área impactada (residência isolada, zona rural, zona urbana, etc.). São critérios que garantem o respeito às recomendações gerais da Organização Mundial da Saúde (OMS), mas não são suficientes quando deseja-se adaptar as contribuições sonoras do parque eólico ao ruído ambiente já existente no local. Em inúmeras situações, normalmente para velocidades de vento médias, entre 6 e 9 m/s na altura da nacela, o ruído ambiente na vizinhança do projeto é baixo e o valor do ruído autorizado para o funcionamento do parque pode significar uma considerável diferença entre o ruído ambiente e aquele emitido pelos aerogeradores. Nesse caso, a fonte de ruído será audível para a população vizinha, ou seja, o impacto decorrente de sua operação não será evitado.

Já o segundo tipo de abordagem, baseado em valores máximos para a emergência sonora, propõe a atenuação do impacto acústico dos aerogeradores em função de uma situação pré existente e a gestão desse impacto de acordo com a variabilidade dos ambientes sonoros. Desta maneira, é possível limitar a diferença entre o ruído das máquinas e o ruído ambiente, facilitando a inserção do ruído proveniente da operação de parques eólicos no ambiente sonoro de sua área de implantação. Vale lembrar que

a inserção de uma fonte de ruído desconhecida em um ambiente sonoro pré existente é motivo suficiente para o questionamento da população impactada e que o incômodo ocasionado por esta nova fonte está diretamente relacionado à sua audibilidade. Nesse sentido, regulamentações que estabelecem critérios baseados na limitação das emergências sonoras são recomendadas para a gestão do que chamamos de "desconforto acústico" ou, simplesmente, o impacto acústico .

As últimas experiências vividas em alguns dos países líderes na Europa (Alemanha, Suíça e Bélgica) demonstram as limitações da escolha de uma regulamentação baseada em níveis sonoros globais quanto à aceitação da população. Como exemplo, podemos citar um caso ocorrido na Bélgica, em 2013, que tem sua regulamentação baseada em um valor limite para os níveis sonoros globais no entorno de um parque em igual a 43 dB (A). Uma recente decisão jurídica decretou o fim das atividades de um parque eólico em atividade do país, alvo de mais de 3000 denúncias, em razão do incômodo sentido pela população vizinha. O parque localizava-se a uma distância entre 400 m e 500 m das residências mais próximas e contava com uma potência instalada de 20 MW. Segundo o engenheiro de projetos de uma empresa belga dedicada ao desenvolvimento eólico em países como Bélgica, França e Marrocos, o desmonte de um parque eólico equivale a uma perda de aproximadamente R\$ 3 milhões/MW. O próprio engenheiro afirma que, entre os seus projetos, o maior alvo de crítica da população quanto ao desconforto acústico é um parque eólico situado a uma distância acima de 1000 m da vizinhança mais próxima.

6.2. Análise crítica da regulamentação brasileira

A regulamentação brasileira relativa à avaliação do impacto acústico de parques eólicos baseia-se na adoção de valores máximos para os níveis sonoros globais de acordo com o tipo de ocupação da área em estudo.

Conforme explicado na seção anterior, a adoção de níveis sonoros globais como parâmetro para avaliação do impacto acústico atribuído a empreendimentos de geração eólica é insuficiente se o objetivo é evitar as consequências negativas desta atividade na saúde e qualidade de vida da população vizinha ao parque.

Sabemos que o impacto da exposição ao ruído de aerogeradores é medido pelo grau de desconforto sentido pela população após a instalação das máquinas. No entanto,

esta percepção não depende apenas da intensidade do ruído total em sua vizinhança, mas relaciona-se com o grau de audibilidade desta nova fonte. Por isso, é evidente que a adoção de critérios regulamentares que considerem a emergência das contribuições sonoras dos aerogeradores em relação ruído ambiente, que pode ser diferente em cada ponto da área em estudo, é a escolha que melhor responde às particularidades da avaliação do impacto acústico de parques eólicos.

Dada a regulamentação em vigor no país e conhecendo a problemática específica de parques eólicos descrita anteriormente, cabe ainda ressaltar a ausência de critérios que levem em consideração a variável mais relevante em estudos acústicos de parques eólicos : o vento.

Sabemos que as velocidades dos ventos que incidem sobre o parque eólico tem influência tanto nos níveis sonoros emitidos pela fonte quanto no ruído ambiente em cada ponto da área em estudo. Sendo assim, os resultados das medições sonoras para caracterização do ruído ambiente devem estar correlacionados com as velocidades de vento medidas no mesmo instante. É importante que esta caracterização contemple os valores de ruído ambiente para todo o intervalo de velocidades de vento que movimentarão o parque.

Após uma análise de estudos de impacto ambiental já realizados para parques eólicos licenciados no Brasil, foi possível avaliar que os resultados das medições de ruído ambiente, realizadas para o diagnóstico ambiental inicial da área do projeto, não apresentam correlação com os registros de velocidade dos ventos. Além disso, o tempo adotado para realização das medições não garante a cobertura de todo o intervalo de velocidades que atuarão durante a operação do parque e, assim, não é possível que estes valores sejam correlacionados aos níveis medidos em cada ponto de recepção.

No Brasil, na grande maioria dos casos, os estudos de impacto ambiental baseiam-se em dados secundários para a previsão das contribuições sonoras das turbinas. No entanto, sabemos que as condições ambientais variam de um local a outro e, por isso, também são diferentes as condições iniciais que definem a trajetória de propagação das ondas sonoras emitidas pelos aerogeradores. O uso de dados secundários, que determinam valores fixos de níveis sonoros em função da distância, é insuficiente para a avaliação do impacto acústico de um parque eólico. Nesse sentido, é de extrema

importância que o estudo de previsão das contribuições sonoras dos aerogeradores seja realizado "caso a caso".

6.3. Sugestões e propostas para implantação no Brasil

Entre as possibilidades de gestão do ruído gerado pelo funcionamento de aerogeradores, podemos citar:

- a determinação de uma distância mínima entre os aerogeradores e as residências vizinhas ao parque eólico;
- o avanço tecnológico para construção das máquinas mais silenciosas;
- a aplicação de ferramentas para a previsão do impacto acústico durante a operação do parque eólico e o incentivo à escolha de alternativas eficazes para sua mitigação através da adaptação do funcionamento das máquinas em função dos períodos do dia, configurações do terreno e das condições meteorológicas atuando na área de influência do empreendimento.

Tratando-se do desenvolvimento tecnológico para concepção de máquinas mais silenciosas, os fabricantes de turbinas eólicas vem obtendo resultados positivos em seus novos modelos. O ruído mecânico de aerogeradores foi reduzido com o uso de silenciadores e abafadores na nacela. Além disso, inovações na concepção dos multiplicadores também vem possibilitando melhorias do ponto de vista acústico. O ruído aerodinâmico vem sendo reduzido graças ao maior cuidado no projeto das pás. Porém, mesmo que existam algumas pesquisas para a concepção de pás mais silenciosas, o foco do projeto de desenho das pás continua sendo essencialmente o aumento da produção de energia.

No que diz respeito à adoção de distâncias mínimas entre máquinas e a população, um estudo realizado recentemente para a avaliação da proximidade entre os aerogeradores e vizinhança de parques eólicos em operação no Brasil detectou a ausência de critérios no país que considerem esta possibilidade de gestão do impacto acústico. Este estudo consistiu na análise das distâncias entre os aerogeradores em operação e as residências mais próximas medidas com ferramentas do programa Google Earth ®. As coordenadas de localização dos parques em operação no Brasil foram obtidas no Banco de Informações sobre Geração (BIG) da ANEEL.

De acordo com a regulamentação brasileira relativa à avaliação de ruído em áreas habitadas e as características de propagação do som em ambientes de geração eólica, podemos chamar de “zona de risco acústico” a superfície correspondente à circunferência de raio igual a 1000 m no entorno do aerogerador mais crítico de um parque. O gráfico a seguir apresenta o resultado do estudo, em que 70% dos empreendimentos listados, que somam 1891 MW de potência instalada, encontram-se em zona de risco acústico.

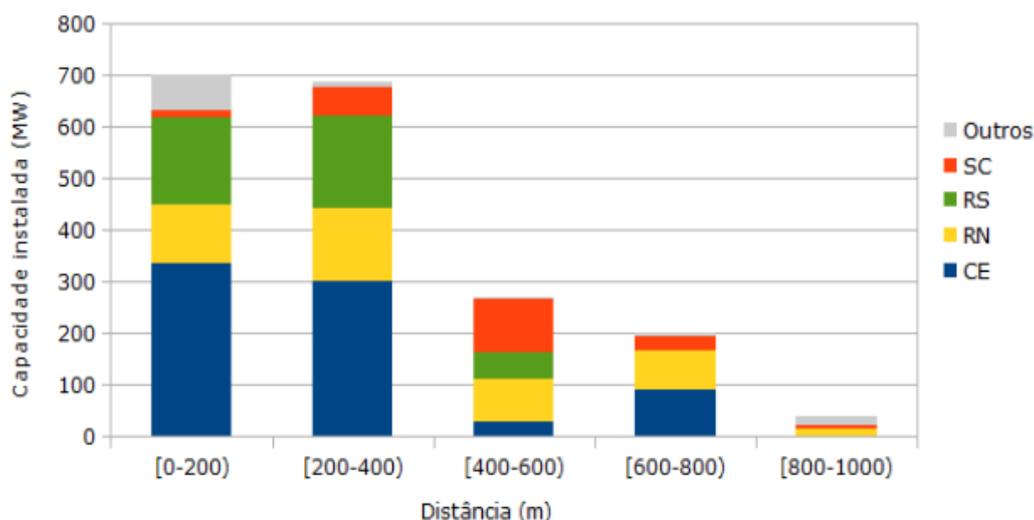


Figura 25: Distância mínima entre parques eólicos e edificações vizinhas. Fonte: Autoria própria com base em dados ANEEL (2014).

Portanto, esta é uma das alternativas a serem ainda aplicadas no Brasil para a redução do impacto acústico causado por tais empreendimentos. No entanto, a simples determinação de distâncias mínimas para a implantação de parques eólicos deve estar em equilíbrio com as consequências negativas que esta escolha acarreta ao desenvolvimento deste setor de geração elétrica no país. Por isso, a solução mais pertinente a ser recomendada é realização de um estudo de impacto acústico bem fundamentado, considerando as particularidades de cada projeto, que servirá como base para a elaboração dos planos de gestão do parque eólico durante a sua operação. Atualmente, existem alternativas para a avaliação preliminar do impacto de um projeto, como por exemplo o uso de ferramentas para simulação da propagação sonora em ambientes eólicos. Os resultados do cálculo de previsão, quando aplicados a estudos coerentes com a realidade do projeto, possibilitam a análise do grau de impacto sobre toda a área de influência do empreendimento, residências próximas e

afastadas, e a comparação com os valores sonoros máximos legais antes da instalação do parque eólico.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando as expectativas de crescimento do setor eólico brasileiro para os próximos anos, este projeto teve como objetivo avaliar o cenário atual brasileiro no que diz respeito aos procedimentos aplicados para a gestão do ambiente sonoro de parques eólicos tendo em vista o potencial impacto acústico na vizinhança de tais empreendimentos.

Esta avaliação foi feita com base em uma revisão dos critérios regulamentares de diferentes países que atuam nesse mercado e, mais especificamente, na metodologia aplicada atualmente na França para a mitigação deste impacto. Como estudo de caso, foi escolhido o projeto brasileiro Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V, ainda em fase de outorga.

O estudo consistiu no mapeamento das contribuições sonoras dos aerogeradores através de softwares desenvolvidos especificamente para o cálculo da propagação sonora em ambientes eólicos. Os resultados da modelagem foram comparados aos valores máximos estabelecidos pela regulamentação em vigor no país e, já que os valores estimados foram superiores aos admissíveis, alterações locais do projeto ou planos operacionais devem ser implementados para a mitigação do impacto acústico na sua vizinhança.

No entanto, o EIA/RIMA Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III e V, exigido pelo IDEMA como condicionante para a participação do empreendimento no Leilão de Energia de Reserva, trata o impacto como de pequena magnitude e afirma a conformidade legal do empreendimento.

Estudos de impacto ambiental são ferramentas disponibilizadas ao empreendedor para a antecipação das consequências socioambientais de um projeto e, caso necessário, incluem alternativas para a mitigação dos seus impactos que devem ser consideradas ainda na sua fase de concepção. Os resultados do estudo determinam as decisões a serem tomadas e, por isso, a sua elaboração deve exigir conhecimento técnico e cautela ao considerar as particularidades de cada projeto.

Nesse sentido, considerando a particularidade de cada projeto no que diz respeito à propagação de ruídos, é evidente a falta de critérios na metodologia aplicada no Brasil para a avaliação do impacto acústico de parques eólicos. Começando pelo diagnóstico das distâncias mínimas entre aerogeradores e residências nos parques em operação, o Brasil apresenta uma média de 350m contra os atuais 700m franceses. Outro ponto

a ser abordado relaciona-se aos resultados obtidos em estudos de impacto. Neles, são utilizados dados secundários para estimativa da contribuição sonora dos aerogeradores na vizinhança do parque. No entanto, sabemos que a propagação do som varia em função das condições ambientais na área de implantação do parque, daí a importância de um estudo específico para cada caso. Por último, as alternativas propostas para redução do ruído aerodinâmico, principal fonte sonora em aerogeradores, limitam-se ao incentivo à concepção de pás mais silenciosas. Todavia, atualmente, as máquinas podem ser programadas para o controle de suas emissões sonoras através de ajustes na rotação de suas pás em função do aparecimento de condições climáticas críticas.

Conclui-se então que o aprimoramento da metodologia aplicada no país para a avaliação e mitigação do impacto acústico de parques eólicos depende, em um primeiro momento, do incentivo à capacitação técnica conjunta daqueles responsáveis pela fase de concepção do projeto, bem como dos agentes que avaliam a viabilidade legal de sua operação.

Em um segundo momento, uma revisão regulamentar é desejável. Conforme explicado anteriormente, é importante que os critérios estabelecidos para a avaliação de um impacto ambiental confirmem sua ausência quando respeitados. A adoção de critérios baseados em valores máximos para as emergências sonoras, que é o grau de audibilidade de uma fonte sonora, são recomendados para a gestão do impacto acústico de parques eólicos.

Ao longo do trabalho foram apresentadas experiências recentes vividas em países Europeus, que sofreram com um grande movimento da população contra o desenvolvimento do setor eólico chegando até mesmo à decisão judicial de desmonte de parques inteiros. Assim, o incentivo à capacitação de profissionais na busca por alternativas para a adaptação de projetos às exigências sociais é de grande importância para que o mercado europeu permaneça sustentando promissoras taxas de crescimento ao ano.

Enfim, a geração eólica surge como alternativa para a reestruturação da matriz energética brasileira, impulsionada pelo grande potencial natural do país e uma cadeia de suprimentos cada vez mais sólida, mas vale ressaltar a importância da adoção de estratégias para o seu desenvolvimento que garantam segurança no investimento. Portanto, o planejamento com decisões fundamentadas em avaliações criteriosas e a escolha de alternativas coerentes são essenciais para o próspero crescimento do setor eólico brasileiro.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade*. Rio de Janeiro, 2000.

AcousPROPA, versão 37.4: Software para modelagem da propagação sonora em ambientes externos e internos. [S.l.]: Groupe Gamba, 1993-2014.

AFSSET. Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail. *Impacts Sanitaires du Bruit Généré par les Éoliennes*. 2008. Disponível em: <Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail>. Acesso em: 03/08/2014.

AZEVEDO, A. C. S.; FILHO, W. P. B. "Impactos Ambientais em Usinas Eólicas". *Congresso Sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural*. Itajubá, Minas Gerais, Brasil, 15-17 de maio de 2013. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/ag-267.pdf>>. Acesso em: 03/08/2014.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Expansão de Energia/Ministério de Minas e Energia*. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/menu/pde2022.html>>. Acesso em: 03/08/2014.

FRANÇA, A. L. F., *Relatório técnico do Grupo de Trabalho sobre licenciamento ambiental de empreendimento de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica*. Câmara Técnica de Controle Ambiental, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/B1E176E5/RelTec_GovRio_AndreFrancia.pdf>. Acesso em: 03/08/2014.

GWEC. Global Wind Energy Council. *Global Wind Report - Anual Market Update*. 2014. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf>. Acesso em: 03/08/2014.

HOBSON, JA. 1989. *Sleep*. New York: Scientific American Library.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente - RN. *Estudo de Impacto Ambiental Parques Eólicos Campo dos Ventos I, III, e V*. Ceará, 2012. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/>. Acesso em: 30/08/2014.

GIPE, P., 2007. **Le Grand Livre de l'Éolien**. Éditions Eyrolles, Paris, 2007 - 512 p.

MELO, E. "A inserção das fontes de energia renováveis no processo de desenvolvimento da matriz energética do país: A participação da Energia Eólica". Associação Brasileira de Energia Eólica, ABEEólica. Disponível em: <file:///C:/Users/usuario/Desktop/Anuario-Brasileiros.pdf>. Acesso em: 30/08/2014.

BARRIÈRE, N. e DEFRANCE, J., *La Forêt : "Un écran anti-bruit météorologique"*

Primeira parte: Une nouvelle méthode de calcul de la propagation du bruit de trafic en forêt. *Acústica e Técnicas* n°23, páginas 41-48. Outubro 2000.

APÊNDICE A - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

AcousPropa: Software desenvolvido pelo grupo francês GAMBIA Acoustique para o cálculo da propagação sonora no interior ou exterior de edificações. No caso de parques eólicos, foi desenvolvido um módulo específico para cálculos de propagação sonora em ambiente externo a grandes distâncias.

Decibel (dB): é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou intensidade) em relação a um nível de referência especificado ou implícito. Ele é definido pela fórmula: $X_{dB} = 10 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$.

dB(A): decibel ponderado segundo a curva de ponderação "A". Esta curva atribui um maior peso relativo ao nível sonoro em função da frequência.

L_{Aeq}: nível sonoro equivalente ponderado em "A" durante um período de tempo determinado.

L₅₀: índice estatístico que indica o nível sonoro medido ou ultrapassado em 50% do tempo de medição. Podemos aplicar diferentes índices estatísticos em função da porcentagem, os mais utilizados são: L₅, L₁₀, L₅₀, L₉₀, L₉₅

Níveis de ruído: representa a intensidade do ruído medido a certa distância de uma fonte. Consideramos normalmente dois tipos de ruído:

- Ruído total ou global (L_{tot}): Ruído total em um dado ambiente durante um período determinado. Ele é composto de um ruído particular objeto do estudo (ruído dos aerogeradores, por exemplo) e o ruído emitido por todas as outras fontes próximas ou distantes do local analisado.
- Ruído ambiente (L_{amb}): ruído existente no local sem considerar o ruído particular objeto do estudo.

Contribuição sonora dos aerogeradores (L_{aero}): representa a diferença logarítmica entre L_{tot} e L_{amb}.

$$L_{aero} = 10 \cdot \log\left(10^{\frac{L_{tot}}{10}} - 10^{\frac{L_{amb}}{10}}\right)$$

Emergência sonora: diferença aritmética entre os níveis de ruído total (L_{tot}) e ambiente (L_{amb}).

Rugosidade: grandeza em metros que exprime a irregularidade de um local na superfície terrestre devido a influência da topografia do terreno, vegetação e construções. Esta rugosidade causa perturbações no fluxo do vento na camada limite atmosférica. Portanto, ela é um dos parâmetros que determinam a variação da velocidade do vento de acordo com a altura de sua trajetória em relação ao solo.

Potência acústica: É energia acústica total emitida por uma fonte por unidade de tempo. Em dB(A), é basicamente o nível de ruído na emissão. A partir deste valor é possível calcular o nível de pressão a uma determinada distância da fonte (considerando a atenuação sonora devido à trajetória de propagação).

Presença de componentes tonais: Ver Apêndice B.

APÊNDICE B - PRESENÇA DE COMPONENTES TONAIS

A presença de componentes tonais pode ser verificada através da avaliação da emergência sonora de uma banda de frequência em relação às suas bandas adjacentes no espectro não ponderado do ruído ambiente em bandas de 1/3 de oitava entre 50 Hz e 8000 Hz, medidos normalmente em um ponto no exterior de uma residência vizinha.

A regulamentação francesa considera a existência de componentes tonais se o valor da diferença entre a banda de frequência estudada e as quatro bandas mais próximas (duas à esquerda e duas à direita) atingem ou ultrapassam os seguintes valores em função das frequências:

*Esta análise será realizada para uma duração mínima de 10s.

Frequencia central em 1/3 de oitava	de 50 à 315 Hz	de 400 à 8000 Hz
Emergência máxima	10 dB	5 dB

Tabela 16: Exigências regulamentares francesas para a avaliação da presença de componentes tonais

A figura a seguir ilustra a aplicação de tais critérios.

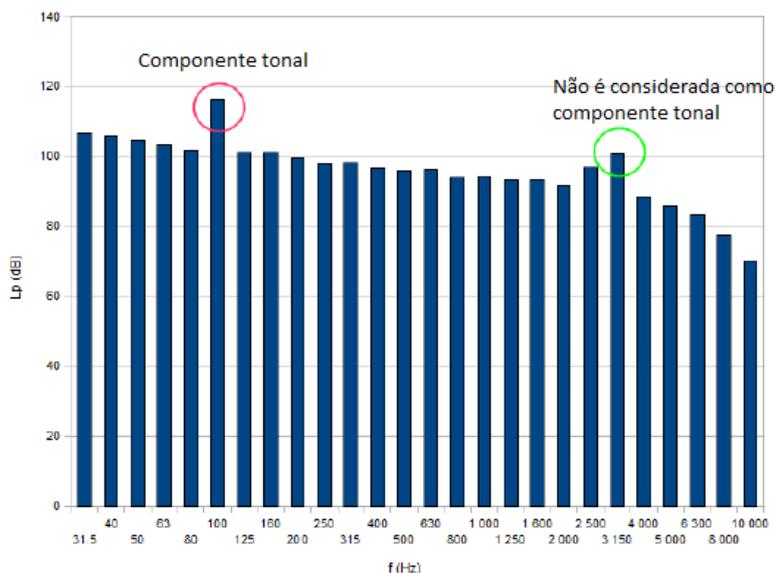


Gráfico 12: Verificação da presença de componentes tonais

A verificação da presença de componentes tonais deve ser realizada para todas as velocidades de vento que atuarão no parque. Os dados fornecidos pelo fabricante das máquinas mostram que a forma do espectro não varia de acordo com as velocidades de vento. Todos os valores em 1/3 de oitava aumentam da mesma maneira com a velocidade do vento e o espectro de frequências do aerogerador continua o mesmo.

APÊNDICE C - PADRONIZAÇÃO DOS VENTOS SEGUNDO O PROJETO DA NORMA FRANCESA PR NFS 31-114

O projeto da norma francesa PR NFS 31-114 propõe uma metodologia para a padronização à 10 m de altura de uma medição de velocidade de vento realizada a qualquer altura, baseada na norma IEC 61400-11, para ser utilizada em estudos de caracterização sonora.

Padronização dos ventos

Considerando uma certa velocidade de vento na altura da nacele, uma velocidade padrão corresponde àquela calculada a 10 m acima de um solo com uma rugosidade de referência igual a 0,05 m. Assim, é possível desconsiderar as condições aéreas particulares de cada local e converter todas as medições de velocidade de vento realizadas em diferentes alturas e terrenos para um valor padrão. Sendo assim, a velocidade de vento padrão é fornecida pela seguinte fórmula:

$$V_{padr\tilde{a}o} = V(h) \cdot \frac{\ln\left(\frac{H_{ref}}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_o}\right)} \quad (1)$$

onde,

- Z_o : coeficiente de rugosidade padrão igual a 0,05 m;
- H : altura da medição, neste caso igual à altura da nacele (m);
- H_{ref} : altura de referência (10m);
- $V(h)$: velocidade medida na altura da nacele.

Nos casos em que as medições sejam realizadas em uma altura diferente da altura da nacele, a obtenção deste valor padrão dependerá dos valores de altura da nacele e coeficiente de rugosidade do terreno em condições de medição. O valor padrão é determinado através da fórmula definida pela norma IEC 61400-11 que é demonstrada abaixo.

$$V_{padr\tilde{a}o} = V(h) \cdot \frac{\ln\left(\frac{H_{ref}}{z_o}\right) - \ln\left(\frac{H}{z}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_o}\right) - \ln\left(\frac{h}{z}\right)} \quad (2)$$

onde,

Z_0 : coeficiente de rugosidade padrão igual a 0,05 m;

Z : coeficiente de rugosidade do local em estudo (m), calculada conforme Apêndice D;

H : altura da nacele (m);

H_{ref} : altura de referência (10m);

h : altura da medição do anemômetro;

$V(h)$: velocidade medida na altura da nacele.

APÊNDICE D - COEFICIENTE DE RUGOSIDADE E GRADIENTE DE VENTO

Variação vertical da velocidade do vento

A velocidade do vento varia em função da altitude, isso porque na altura da superfície terrestre ele sofre variações causadas pela turbulência que se produz devido à presença de obstáculos como montanhas, colinas, árvores, etc. Estas barreiras deixam de existir à medida que a altitude aumenta até o momento em que o fluxo de ar não encontra mais obstáculos. Conseqüentemente, a velocidade do vento será maior com o aumento da altitude devido à redução do fenômeno de turbulência. Esta variação da velocidade do vento em função da altitude é representada por seu gradiente vertical. O gradiente vertical pode ser calculado de duas maneiras, utilizando-se uma lei de potência ou logarítmica.

$$\text{Lei de potência: } \frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha$$

$$\text{Lei logarítmica: } \frac{V}{V_0} = \frac{\ln\left(\frac{H}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_0}{Z_0}\right)}$$

onde,

V_0 : velocidade do vento;

V : velocidade do vento em H ;

H_0 : altura inicial em relação ao solo;

H : nova altura em relação ao solo;

Z : coeficiente de rugosidade ;

α : coeficiente do gradiente vertical de velocidade do vento.

Coeficiente de rugosidade

Teoricamente, o coeficiente de rugosidade (medido em metros) de um terreno representa a variação da altura dos obstáculos presentes no local, como por exemplo arbustos, muros (geralmente entre 0 e 1 m de altura). Na prática, a rugosidade não é constante em um mesmo terreno e depende da variação vertical da velocidade do vento. Ela varia de acordo com os gradientes de vento que são ao mesmo tempo influenciados pelas diferentes condições meteorológicas (temperatura, umidade, etc.).

Generalizando a fórmula (1) (cf. Apêndice C), obtemos uma fórmula que nos permite "deslocar" uma velocidade medida a uma altura H_1 a uma altura H_2 :

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\ln\left(\frac{H_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_1}{z_0}\right)} \quad (3)$$

Além disso, invertendo a equação (1) (cf. Apêndice C), é possível calcular o coeficiente de rugosidade de um terreno a partir de medições de vento a duas alturas diferentes e conhecidas. Vale ressaltar que este valor é calculado para um dado intervalo de tempo, que depende da frequência com que são realizadas as medições de vento.

Assim:

$$z = \frac{\exp(V_2 \cdot \ln(H_1) - V_1 \cdot \ln(H_2))}{V_2 - V_1}$$

onde,

V_1 e V_2 : velocidades de vento medidas, respectivamente, nas alturas H_1 e H_2 ($H_1 < H_2$).

Conclui-se então que o coeficiente de rugosidade e o gradiente de vento relacionam-se entre si. Porém, mesmo que a geografia do local tenha influência no valor de rugosidade e, com isso, nos gradientes de vento, a recíproca é em parte verdadeira.

A figura abaixo demonstra a variação dos gradientes de vento de acordo com os valores de rugosidade.

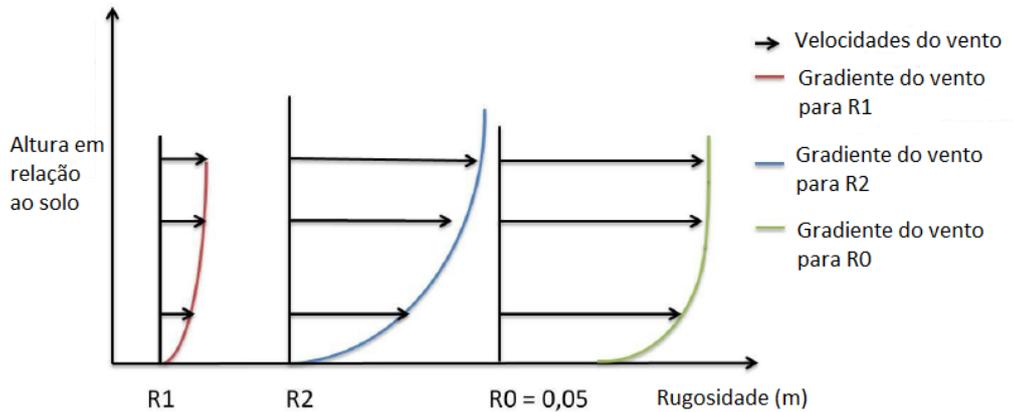


Gráfico 13: Variação dos gradientes de vento de acordo com os coeficientes de rugosidade.

Assim, no caso de estudos em parques eólicos, para uma mesma velocidade à altura da nacela, a medição à 10 m varia de acordo com a rugosidade adotada para "descer" a velocidade do vento. A figura descreve esta situação.

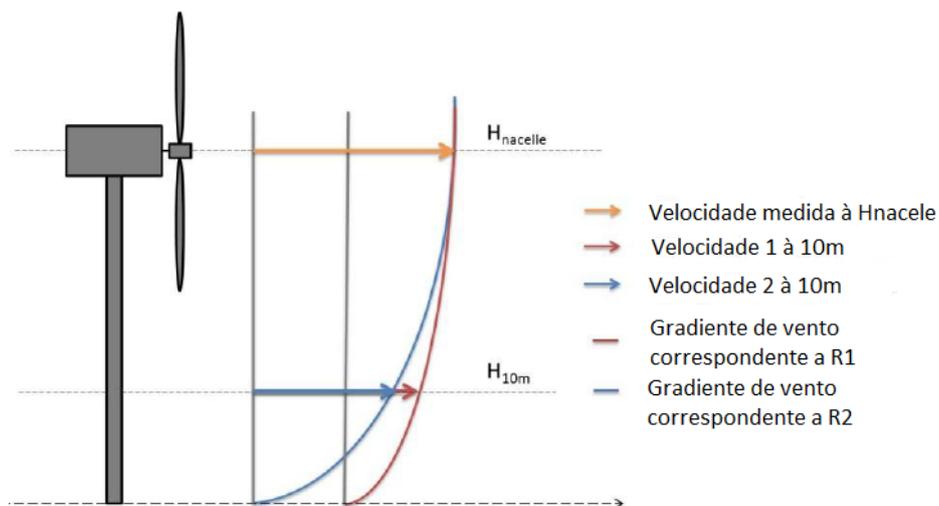


Gráfico 14: Diferença entre as velocidades deslocadas à altura de 10 m segundo o coeficiente de rugosidade utilizado.

É possível verificar que de acordo com o coeficiente de rugosidade R1 ou R2 do terreno, a velocidade a 10 m não será a mesma. Por isso, a fim de uniformizar os estudos e as medições a 10 m, foi definido um coeficiente de rugosidade $R_0=0,05$ m.

A figura a seguir demonstra o procedimento de padronização dos ventos em 3 etapas:

1) Medição de uma velocidade de vento através de uma estação meteorológica localizada à 10 m.

2) Deslocamento da velocidade medida utilizando a equação (1) até a altura da nacele segundo o gradiente de vento correspondente (curva azul), associado à rugosidade do local. Será obtida a velocidade de vento na altura da nacele do aerogerador.

3) Padronização da velocidade à 10 m do solo com uma rugosidade de 0,05 m através do gradiente de vento correspondente (curva verde).

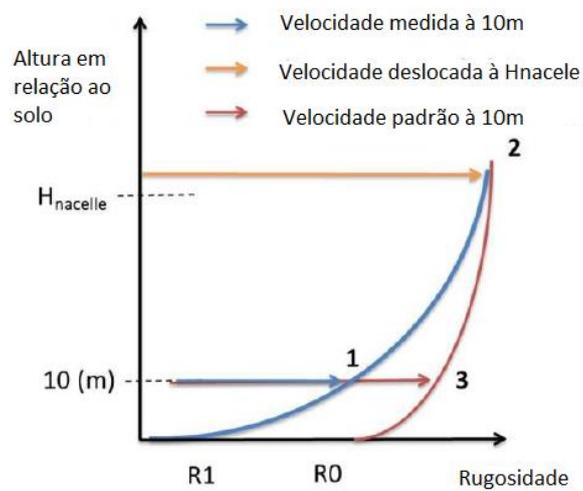


Gráfico 15: Etapas para a padronização do vento.