

MODELAGEM MATEMÁTICA DA PROPAGAÇÃO DE RUÍDOS PROVENIENTES DE PARQUES EÓLICOS¹

Thiago Negreiros Moura²

Carlos Enrique de M. Jerônimo³

RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de medições preliminares dos atuais níveis de pressão sonora nas áreas de influência de um empreendimento de uma Central de Geração de Energia Eólica (CGE), antes da instalação dos aerogeradores através de uma campanha de consecutivas medições acústicas. Bem como, foram desenvolvidas simulações matemáticas a fim de avaliar o grau de impacto causado por esses empreendimentos. Com base nos resultados é possível afirmar que os impactos relacionados ao ruído provocados pelas usinas eólicas deve ser uma variável de forte interesse e recomendações dentro dos estudos de impactos ambientais associados a esses empreendimentos. Por meio da modelagem matemática foi possível estimar um raio de 1000 m como sendo a zona mínima de perturbações do ruído oriundo dos aerogeradores.

Palavras-Chave: Ruído. Eólica. Propagação.

¹ Trabalho apresentado como requisito a obtenção do título de especialista em Perícia e Gestão Ambiental (UNI-RN)

² Engenheiro Químico. Aluno do curso de Especialização em Perícia e Gestão Ambiental

³ Professor Orientador. Doutor em Engenharia Química.

MATHEMATICAL MODELING THE SPREAD OF NOISE FROM WIND FARMS

ABSTRACT

This work consists of the Development also preliminary measurements of the current sound pressure levels in the areas of influence of an enterprise of a Central Wind Power Generation (CWP), before the installation of wind turbines through a campaign of consecutive acoustic measurements. As well as mathematical simulations were developed to assess the degree of impact of these developments. Based on the results we can say that those related to noise impacts of wind farms must be a variable of interest and strong recommendations in the studies of environmental impacts associated with these developments. Through mathematical modeling was possible to estimate a radius of 1000 m as the minimum zone of disturbance noise coming from the turbines.

Keywords: Noise. Wind. Propagation.

1. INTRODUÇÃO

A busca pelo uso de energias consideradas limpas e renováveis vem sendo um dos mais importantes fatores para a grande proliferação de parques eólicos. A instalação desses complexos preserva os seus locais de funcionamento se comparadas a outros meios de geração de energia elétrica, porém mesmo com baixas proporções, agregados à implantação desses parques, estão os impactos gerados com a instalação dos aerogeradores. Dentre eles a alteração no ambiente sonoro (Reinaldo, 2013).

O som é o efeito de ondas sobre as diversas formas da matéria, já o ruído é um som não desejado. Os aerogeradores instalados para o funcionamento das centrais de geração eólica geram ruídos, que embora não sejam tão significativos, afetam o ambiente sonoro em que se situam e podem ser de duas naturezas: mecânica e aerodinâmica.

Os ruídos mecânicos, conforme são nomeados, dizem respeito às partes mecânicas dos aerogeradores, ou seja, os motores, ventiladores internos entre outros equipamentos que geram ruídos em seu funcionamento, porém com o avanço tecnológico, esses níveis estão sendo reduzidos através do aperfeiçoamento desses equipamentos. Já os ruídos aerodinâmicos são provenientes da movimentação do ar ao redor das pás, bem como da torre em si, e é proporcional ao aumento da velocidade do vento.

De acordo com Saliba (2004), o nível de pressão sonora é o que determina a intensidade do som e representa a relação do logaritmo entre a variação da pressão (P) provocada pela vibração e a pressão que atinge o limiar da audibilidade. Por meio de pesquisas realizadas com pessoas jovens, previamente sem problemas auditivos, foi revelado que o limiar de audibilidade é de $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ou $0,00002 \text{ N/m}^2$. Assim, convencionou-se este valor como sendo 0 (zero) dB, ou seja, o nível de pressão de referência utilizado pelos fabricantes dos medidores de nível de pressão sonora. Quando uma pessoa fica exposta a uma pressão sonora de 200 N/m^2 , ela começa a sentir dor no ouvido, sendo assim, este limite é denominado como limiar da dor, correspondendo a 140 dB. A determinação do nível de pressão sonora é feita através de uma relação logarítmica, conforme a Equação 1.

$$NPS = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

Onde:

P = raiz média quadrática (RMS) das variações dos valores instantâneos da pressão sonora;

P0 = Pressão de referência que corresponde ao limiar da audibilidade (2×10^{-5} N/m²).

Conforme o explicitado em Saliba (2004), o nível de intensidade sonora, também expresso em dB, é igual a $NIS = \log_{10} (I/I_0)$, onde I é a intensidade sonora de um ponto específico e a quantidade média de energia sonora transmitida através de uma unidade de área perpendicular à direção da propagação do som. O nível de intensidade sonora expresso em dB é igual a:

$$NPS = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

Onde:

I = Potência sonora da fonte em Watts e representa a quantidade de energia acústica produzida por uma fonte sonora por unidade de tempo.

I0 = Potência sonora de referência igual a 10-12 Watts.

O ruído produzido pelo movimento das pás, de origem aerodinâmica, pode ser considerado perturbador em determinadas condições, nomeadamente no período noturno, para usos sensíveis, em particular de habitação, localizados na sua imediata vizinhança (Churro et al, 2004).

O ruído gerado pela operação normal dos aerogeradores depende da sua constituição, mas aumenta com a velocidade do vento. Por outro lado, os aerogeradores são dimensionados para velocidades do vento elevadas pois só então há lugar a produção de energia. Por outro lado, ainda, com elevadas velocidades do vento o ruído ambiente assume níveis sonoros que diferem substancialmente dos valores que subsistem na ausência de vento. A avaliação

acústica da situação correspondente à normal operação de um parque eólico deve ter em consideração todos estes aspectos fundamentais.

A instalação e a exploração de um Parque Eólico são susceptíveis de induzir os impactos no ambiente sonoro da sua área envolvente. Em particular, o ambiente sonoro junto a usos do solo com sensibilidade ao ruído existentes na proximidade do Parque poderá ser potencialmente afectado, nomeadamente se se verificar a existência de linha de vista desimpedida entre ambos. Apesar do ruído devido a um Parque Eólico poder começar na fase de construção, com a instalação das linhas de energia e das torres, não será esta considerada no presente trabalho, por ficar fora do âmbito desta análise (Churro et al, 2004).

A avaliação do ruído gerado pelo normal funcionamento dos aerogeradores que constituem um Parque Eólico terá por base (i) uma caracterização do ambiente sonoro existente na área envolvente do Parque, antes da instalação dos aerogeradores e (ii) uma análise acústica previsional do ruído que será observado nos mesmos locais, durante o pleno funcionamento do empreendimento. Este considerará as características de potência dos diferentes aerogeradores, a sua localização espacial e as características topográficas dos terrenos. Enquanto as potências das máquinas determinam as suas emissões sonoras, a sua localização e a orografia da zona determinarão a propagação acústica e o estabelecimento dos campos sonoros nos receptores eventualmente existentes.

Diante do que foi exposto, este trabalho, como forma de atender às diretrizes gerais para apresentação dos estudos ambientais requisitados no licenciamento ambiental dos parques eólicos, desenvolveu medições preliminares dos atuais níveis de pressão sonora nas áreas de influência do empreendimento CGE, antes da instalação dos aerogeradores através de uma campanha de consecutivas medições acústicas. Vale ressaltar ainda, que é importante que as medições sejam realizadas principalmente em ambientes onde o vento é a única fonte de ruído relevante, visto que, conforme citado anteriormente, sabe-se que o ruído depende da constituição mecânica dos aerogeradores, porém é função também das condições de velocidade do vento. Bem como, foram desenvolvidas simulações matemáticas a fim de avaliar o grau de impacto causado por esses empreendimentos.

Assim, de acordo com a NBR 10.151:2000 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o conforto da comunidade foram efetuadas medições dos níveis de pressão sonora nos locais de influência do empreendimento, bem como na própria área onde será instalado o parque localizado no município de Caiçara do Norte/RN. Os resultados e conclusões obtidos após análises dos níveis aferidos em campo serão apresentados a seguir e, com isso pode-se chegar às considerações finais, ou seja, se os valores obtidos são considerados altos, baixos ou estão dentro dos padrões de normalidade estabelecidos pela Norma Técnica tomada como referência.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como referência para as medições realizadas em campo, utilizou-se a NBR 10.151:2000 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, conforme citado anteriormente. Essa Norma estabelece orientações quanto aos equipamentos de medição, procedimentos de medição e valores orientadores quanto ao Nível de Critério de Avaliação (NCA).

Para esclarecimento dos níveis permitidos pelas autoridades, é apresentada uma Tabela com os valores em dB(A). A Tabela 1 apresenta os limites para os períodos diurno e noturno, valendo salientar que o período noturno não deve começar depois das 22 horas e não deve ter fim antes das 7 h do dia seguinte, exceto para os casos onde o dia seguinte é domingo ou feriado, que o término do período noturno é prolongado até às 9 horas.

Tabela 1. Nível de Critério de Avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Áreamista, 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

Fonte: NBR 10151:2000 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o conforto da comunidade.

Quanto às especificações do equipamento utilizado para medição do nível de pressão sonora (decibelímetro digital), pode-se dizer que é da marca Minipa, de modelo MSL – I325, com número de série MS1325002318. Foi utilizado ainda um aparelho GPS para determinação das coordenadas geográficas dos pontos exatos onde foram feitas as aferições.

Ainda, nos pontos onde foram executadas as medições dos níveis de ruído, foram feitas anotações para uma breve descrição do tipo de área na qual estava sendo realizada a aferição, uma vez que o NCA para ambientes externos é definido com base nesse aspecto.

Com relação à metodologia de execução das medições, pode-se dizer que esta foi feita tomando-se como base o estabelecido na NBR 10151:2000. Os pontos foram obtidos no dia 23 de março de 2014, no período matutino ao vespertino.

Para cada ponto foram realizadas 10 medições de níveis, com intervalos de 10 segundos entre um e outro. Ao final de tudo, foi feita uma média aritmética desses pontos para obtenção do valor numérico que será posteriormente apresentado no presente relatório.

Vale ressaltar que essas aferições foram realizadas ao nível de ruído ambiente (Lra), definido pela NBR 10151 como sendo o nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

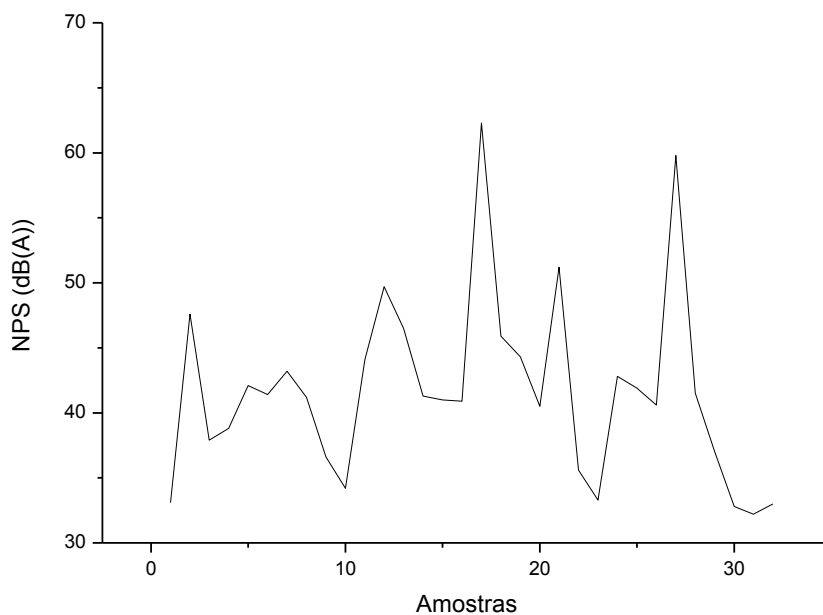
De posse de todos os dados, foi construída a Tabela 2 com os pontos e seus respectivos valores obtidos em decibéis, além das coordenadas em UTM Datum: WGS 84 e a descrição das áreas onde foram medidos os níveis de pressão sonora, conforme o estabelecido na NBR 10151:2000. Os pontos que estiverem com a sigla AID fazem referência à área de Influência Direta e Área de Influência Indireta do empreendimento, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados coletados em campo para o background da área, apenas 04 dos pontos medidos obtiveram valor pouco acima do estabelecido pela NBR 10151 que é de 40 dB para o período diurno. Porém, é necessário levar em consideração que as medições foram realizadas em áreas onde o nível de ruído ambiente era influenciado pela vegetação seca, em decorrência do clima local. Diante disso, pode-se afirmar que tal fato contribuiu para a elevação do nível de ruído ambiente em alguns dos pontos analisados.

O Gráfico da Figura 1, a seguir, apresenta os pontos de medição de nível de pressão sonora, nas Áreas Diretamente Afetada, de Influência Direta e Indireta da Central. O referido mapa contempla todas as medições realizadas em campo, bem como os respectivos valores (em dB) obtidos com essas aferições.

Figura 1. Resultados das medições dos níveis de pressão sonora.



Os resultados para os valores do LAeq são apresentados na Tabela 2, onde se observa o efeito já alterado das áreas sem a presença dos aerogeradores.

Tabela 2. Resultados das medições dos níveis de pressão sonora.

Pontos	LAeq
H1	43,97
H2	55,40
H3	42,65
H4	43,20

A análise estatística das 40 amostras analisadas é apresentada na Tabela 3, que demonstra os baixos níveis de erros associados a tais medições.

Tabela 3. Resultados das medições dos níveis de pressão sonora.

Média	41,6
Erro padrão	1,3
Mediana	41,3
Desvio padrão	7,1
Variância da amostra	50,2
Curtose	1,9
Assimetria	1,2
Intervalo	30,1
Mínimo	32,2
Máximo	62,3
Soma	1334,3
Contagem	32
Maior(1)	62,3
Menor(1)	32,2
Nível de confiança (95,0%)	2,6

Para o cálculo das sobreposições os efeitos foram necessários a conversão dos parâmetros medidos de NPS para os níveis de pressão sonora, para isso utilizou-se das equações (2) e (3), conforme segue.

$$NPS = 20 \log P + 94 \quad (2)$$

$$P = 10^{\frac{NPS-94}{20}} \quad (3)$$

Considerando o cenário da instalação de um parque eólico fez-se o dimensionamento teórico dos níveis de ruído propagados individualmente e a sua atenuação com a distância, para isso utilizou-se da equação (4):

$$L_R = L_s - K \log R \quad (4)$$

Onde L_R é o valor de ruído na distância R , L_s o nível de ruído emitido pela fonte e R a distância radial ao ponto de emissão do ruído. E o valor de K mais usual é igual a 20, entretanto, esse parâmetro será ajustado para o presente cenário para aferição do melhor ajuste matemático, conforme recomendações de Reinaldo (2013). Para o caso de um aerogerador relatos de Pinho (2008) afirmam que os níveis médios de emissão para um equipamento de 5 MW é de aproximadamente 120 dB, extrapolados para 125 dB, conforme sugestões de Reinaldo (2013).

As Figuras a seguir fazem referências às informações supracitadas, no que diz respeito à estimativa de propagação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores na área da Central Eólica em estudo, tendo-se os raios afetados pelo empreendimento e a estimativa dos impactos ambientais associados.

Figura 2. Curva de propagação de ruído para Aerogerador

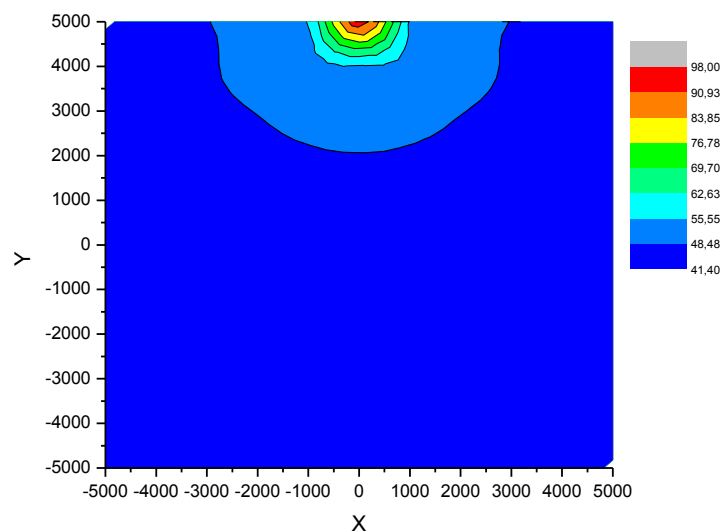


Figura 3. Curva de propagação de ruído para Aerogerador

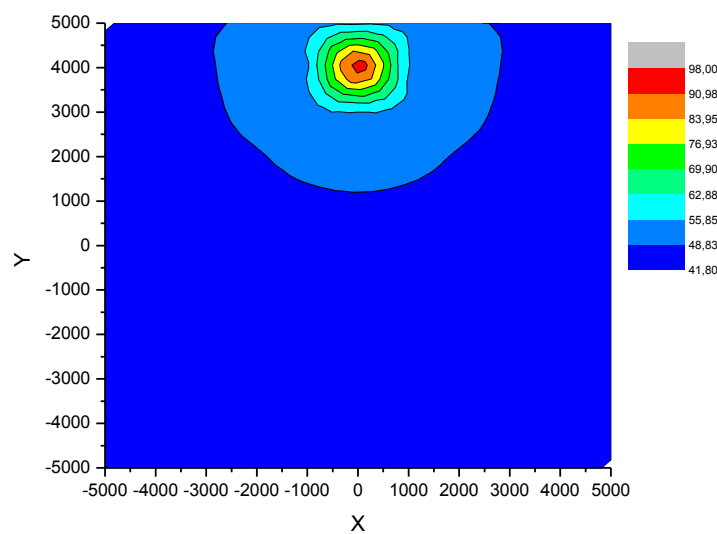


Figura 4. Curva de propagação de ruído para Aerogerador

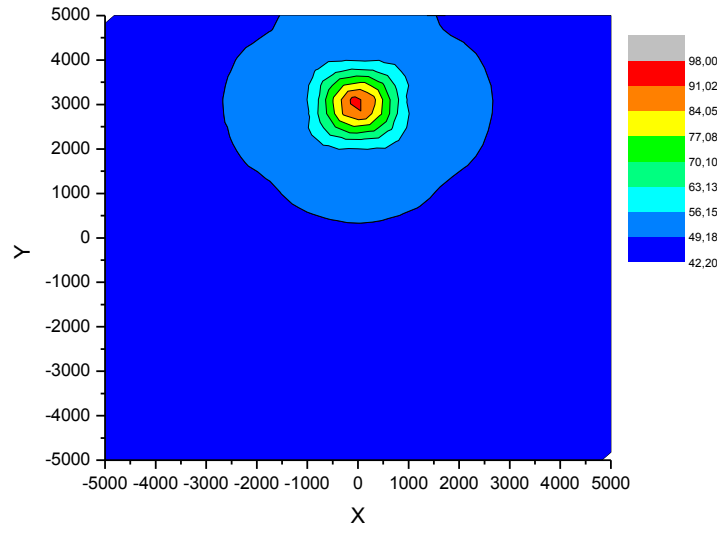


Figura 5. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

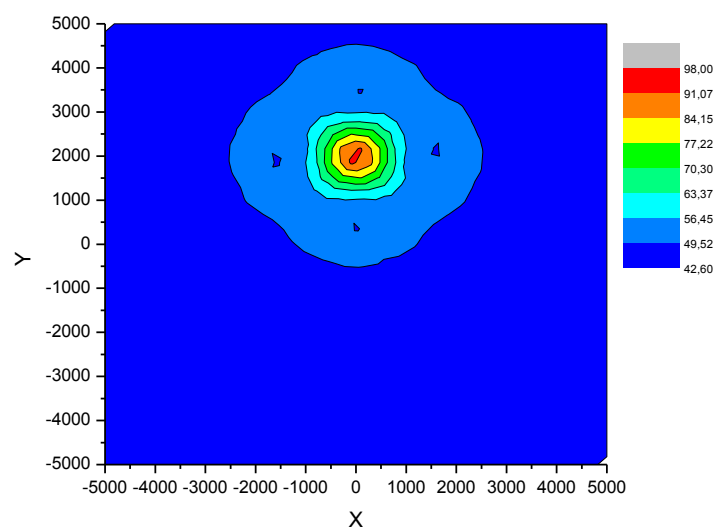


Figura 6. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

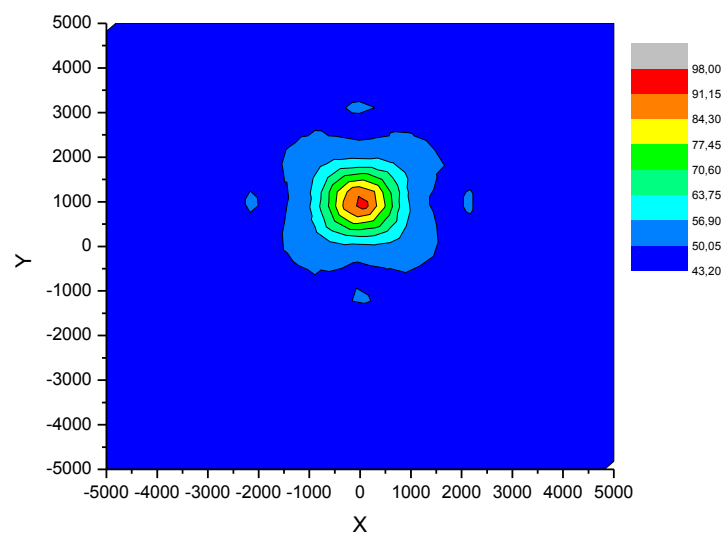


Figura 7. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

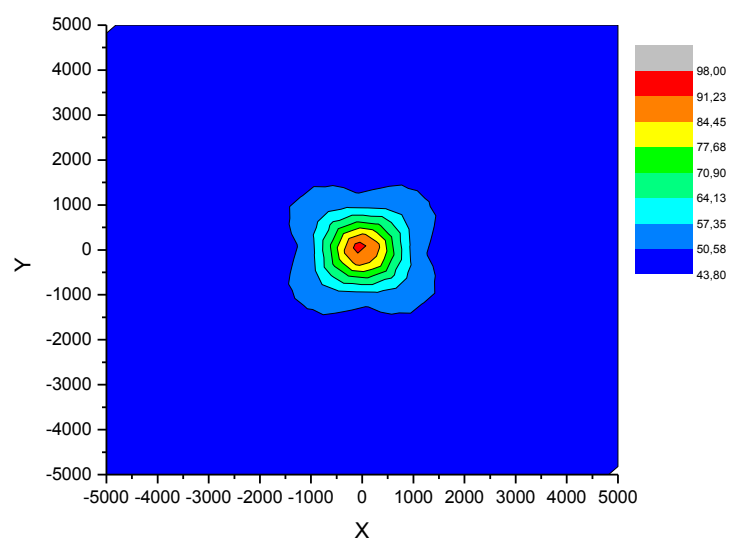


Figura 8. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

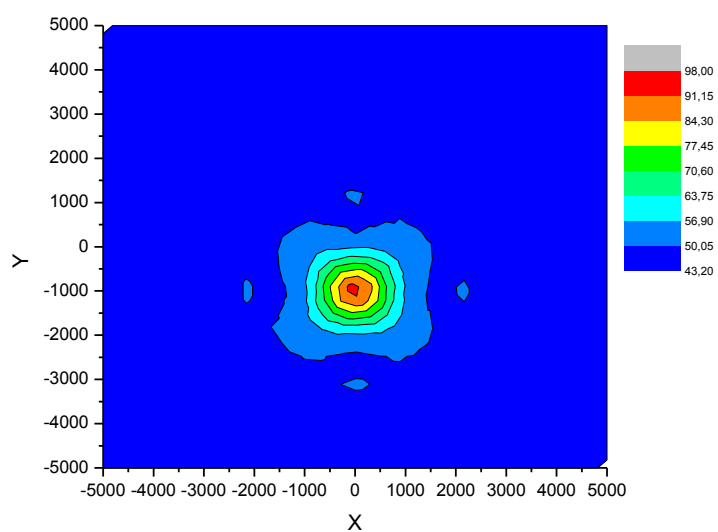


Figura 9. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

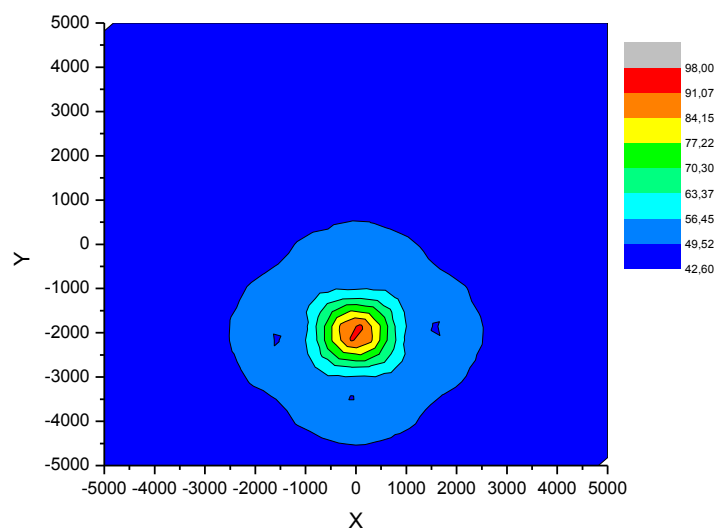


Figura 10. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

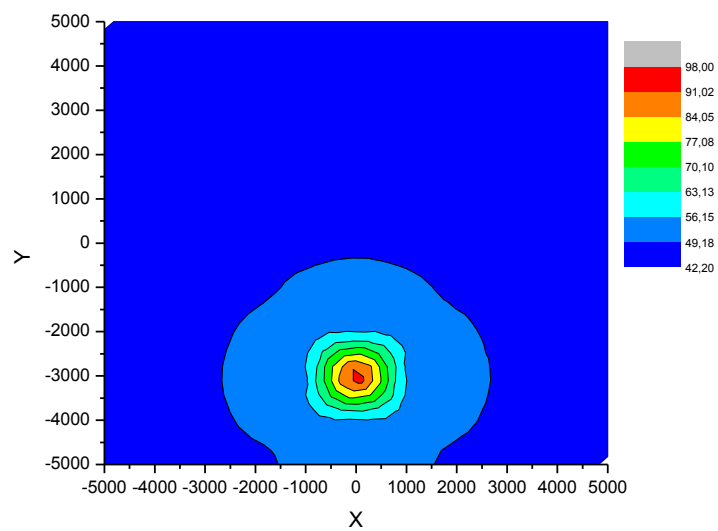


Figura 11. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.

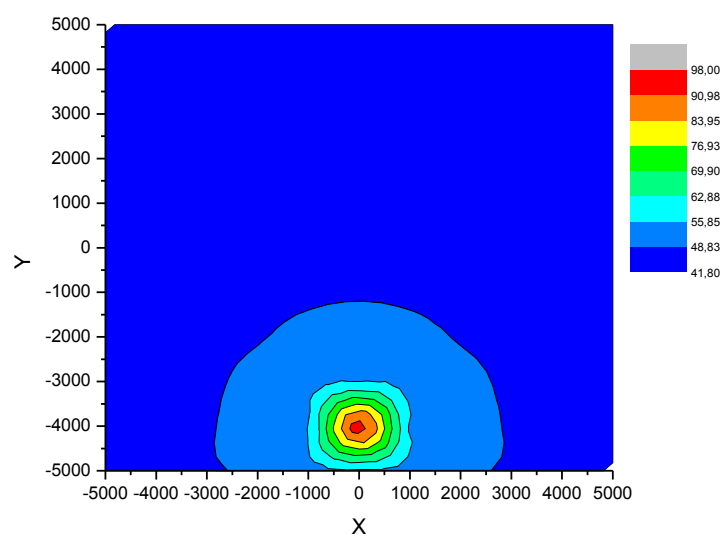
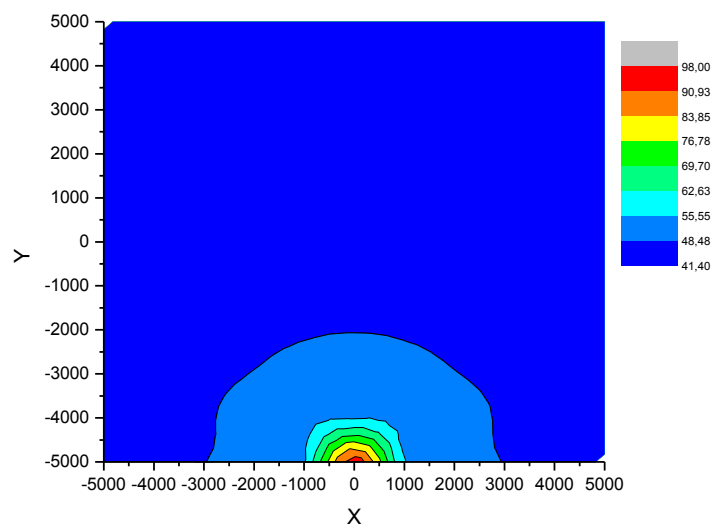


Figura 12. Curva de propagação de ruído para Aerogerador.



Os níveis dos backgrounds são atendidos, com base nas simulações em cerca de 1000 m da área da instalação do aerogerador, devendo essa ser o mínimo para critério de aceitabilidade da locação destes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados é possível afirmar que os impactos relacionados ao ruído provocados pelas usinas eólicas deve ser uma variável de forte interesse e recomendações dentro dos estudos de impactos ambientais associados a esses empreendimentos.

Por meio da modelagem matemática foi possível estimar um raio de 1000 m como sendo a zona mínima de perturbações do ruído oriundo dos aerogeradores.

A metodologia aplicada consistiu de um mecanismo de fácil uso e predição adequada aos cenários futuros, constituindo uma ferramenta para apoio na análise dos danos ambientais causados pelas usinas eólicas.

A preocupação ambiental com o segmento eólico deve ser potencializada visto o grande incremento na atividade, sobretudo, no nordeste brasileiro.

5. REFERÊNCIAS

- CHURRO, D. et al. Parques Eólicos - Estudo dos Impactes no Ambiente Sonoro I - Influência no Ruído Local. paper ID: 184 /p.1. 2004.
- MAIA, Paulo Alves. Estimativa de exposições não contínuas a ruído: Desenvolvimento de um método e validação na construção civil. Campinas: 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/CTN/teses_conteudo.asp?retorno=137>. Acesso em: 06 set. 2006.
- MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1304, (2007).
- MELO, G. M. Um Estudo da Viabilidade de Pequenos Aerogeradores na Produção de Energia Elétrica. Programa de Pós-Graduação – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para serviços de saúde. Ministério da Saúde do Brasil, Representação no Brasil da OPS/OMS. Brasília: Ministério da Saúde, 2001.
- PALMA, D. C. Quando o Ruído Atinge a Audição. Monografia de Especialização. Porto Alegre, 1999.
- PINHO, A. M. Gestão de Projectos de Parques Eólicos Contributos para a melhoria do processo. Dissertação de Mestrado. Lisboa, 2008.
- PINTO, Antonio Luiz de Toledo (ed.). Segurança e Medicina do Trabalho. 7a ed. São Paulo: Saraiva, 2011.
- PORTAL ABS disponível em: <http://portal.abs.org.br/estudos/conceitos-gerais-sobre-seguranca-no-trabalho.htm> Acesso em: 20. Ago. 2012.
- REINALDO, G. P. B. Atenuação natural dos níveis de ruído oriundos de aerogeradores de energia elétrica. Revista Tecnologia & Informação. Editora UNP. Ano 1, N.1. 2013.

RIO, Rodrigo Pires do; PIRES, Licínia. Ergonomia: fundamentos da prática ergonômica. 3a edição. São Paulo: LTr, 2001.

SALIBA, T. M. Curso Básico de Segurança e Higiene Ocupacional. 4. ed. São Paulo: LTR, 2011.

SALIBA, Tuffi Messias. Curso Básico de Segurança e higiene Ocupacional – São Paulo, SP: Ed. LTr, 2004. 453 p. ISBN 85-361-0516-X.