XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

CRITÉRIOS E LIMITES PARA AVALIAÇÃO DO INCÔMODO DO RUÍDO EM PARQUES EÓLICOS BRASILEIROS

Jessica L. Moraes (1); Erasmo Felipe Vergara (2)
(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, jessica.lobo@labcon.ufsc.br
(2) Dr. Eng., Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, e.f.vergara@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Conforto Ambiental, Cx Postal 476, Florianópolis–SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 9797

RESUMO
No processo de planejamento e implantação de parques eólicos deve considerar a avaliação do ruído produzido pelos aerogeradores. Em países como Austrália, Estados Unidos e Canadá já são aplicadas recomendações de limites e critérios para avaliar a emissão de ruído de aerogeradores, as quais devem ser adotadas para minimizar os efeitos nos habitantes próximos aos parques. Apesar do Brasil se manter entre os maiores produtores de energia eólica, o país não possui regulamentações para mensurar e classificar esse tipo de fonte ruidosa. Este artigo reúne dados atualizados sobre limites, critérios e recomendações dos níveis de pressão sonora baseadas no incômodo de ruído em parques eólicos localizados em regiões rurais da América do Norte, União Europeia e Oceania com a finalidade contribuir para auxiliar uma possível normativa no Brasil. O método definido para este artigo foi compilar, organizar e analisar o material bibliográfico atualizados destes locais já citados. Foi observado que os descritores de ruído mais adotados nos locais estudados são o L_{Aeq} e o $L_{A90,10\ min}$. A pesquisa também mostrou que a América do Norte, União Europeia e Oceania possuem regulamentações com valores variados dos níveis sonoros máximos recomendados para área rural que variam entre 35 dB(A) e 60 dB(A). Cabe salientar que os parâmetros, descritores e procedimentos de medição devem ser estabelecidos com base em diretrizes normalizadas e estudos mais aprofundados são adequados de acordo com as características de cada localidade onde o parque eólico opera.
Palavras-chave: parques eólicos, ruído de turbinas eólicas, conforto acústico, diretrizes.

ABSTRACT
An important aspect of the wind farm planning process is the analysis of wind turbine noise. Many countries Australia, United States and Canada already have recommendations for noise limits and emissions from wind turbines that must be adopted to minimize the effects of wind turbine noise on the residents. Although Brazil remains among the largest producers of wind energy, the country has no regulations to measure and classify this type of noise source. This paper presents an update on limits, criteria and recommendations of sound pressure levels based on noise disturbance in wind farms located in rural areas of North America, EU and Oceania in order to contribute to a possible regulation in Brazil. The method defined for this paper was to compile, organize and analyze the updated bibliographic material already mentioned. It was observed that the most widely used noise descriptors in Europe, America, and Oceania are L_{Aeq} and $L_{A90,10\ min}$. The research also showed that America, Europe, and Oceania have regulations with varying values of maximum sound levels recommended for rural areas ranging from 35 dB (A) to 60 dB (A). It should be noted that the parameters, descriptors and measurement procedures should be established on the basis of standard guidelines, and further studies are appropriate according to the characteristics of each location where the wind farm operates.
Keywords: wind farms, wind turbine noise, acoustic comfort, guidelines.

1. INTRODUÇÃO

Temas relacionados à degradação do meio ambiente e às mudanças climáticas tem sido frequentemente discutidos por pesquisadores, órgãos públicos, empresas e governos. A questão energética se tornou uma preocupação urgente pois os processos convencionais para obtenção de energia estão entre os que mais geram Gases de Efeito Estufa (GEE) (Pazheri et al., 2014).

A energia eólica é umas das fontes mais promissoras para a mitigação de problemas ambientais para nível nacional e global por possuir um caráter renovável e não lançar poluentes para a atmosfera durante a operação (PINTO et al., 2017). Embora que os parques eólicos apresentem vantagens, Amponsah et al. (2014) ressalvam que a energia eólica, como qualquer outra atividade industrial, também pode causar impactos no ambiente que devem ser considerados e mitigados. Para Fortin et al. (2003), parques eólicos fazem parte dos grandes projetos de infraestrutura que levantam debates sociais a nível global. Fortin et al. (2003) e Nadaï e Labussière (2010) explicam que de uma maneira geral os estudos sobre energia eólica mostraram que existem dificuldades para situá-los, qual grau de aceitabilidade destas tecnologias e que é necessário um compromisso com a comunidade que vive no entorno para obter um êxito nos projetos.

Na Europa, Estados Unidos e Canadá há grande aceitabilidade da sociedade em relação à projetos energéticos e nestes locais, os governos, instituições, empresas, pesquisadores, etc. manifestam a importância de que os fatores sociais possuem nas implementações dos projetos (TOLEDO e FRAGA, 2016). Para a avaliação do desconforto acústico provocado por aerogeradores em parques eólicos, têm sido criadas diretrizes e orientações internacionais para minimização dos efeitos provocados nas pessoas.

No Reino Unido foi criada em 1997 a ETSU-R (*The Assement and Rating of Noise from Wind Farms*) com atualização em 2013 a qual possui diretrizes específicas e adaptadas à região. Pedersen e Waye (2004, 2007) consideraram que o principal efeito da poluição sonora na saúde humana foi o incômodo ou desconforto acústico produzido por aerogeradores em parques eólicos. Bakker et al. (2011), Nissembaum et al. (2012), Jeffery et al. (2013) e McCunney (2004) observaram que para avaliar o incômodo acústico era necessário o levantamento de dados a partir de simulações ou medições acústicas, mas também era necessário estudar os fatores sócio-acústicos, como perturbação do sono e do descanso, falta de concentração, etc. Tanto Phillips (2011) como Schimidt e Klokker (2014) e Sheperd et al. (2011) afirma que a perturbação do sono foi um dos fatores com maior reclamação para quem mora próximo a parques eólicos, e a avaliação adequada da qualidade do sono era considerar a qualidade subjetiva desta, a latência, duração, eficiência habitual, distúrbios, uso de medicações para dormir e disfunção diurna.

No Brasil, a Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu critérios e procedimentos para o licenciamento de parques eólicos instalados em terra na Resolução nº 462/2014. É uma contribuição de base legal para que investidores do setor de energia elétrica consigam participar com empreendimentos no país. Esta resolução deve ser cumprida para que os empreendimentos eólicos possam fornecer energia e operar no Brasil cumprindo as exigências ambientais estabelecidas relacionadas a impactos ambientais possíveis de serem provocados no local.

Outra documentação relacionada ao tema a nível nacional são as recentemente atualizadas normas NBR 10151 (2019) e NBR 10152 (2017). A NBR 10151 (2019) estabelece técnicas, procedimentos medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas com aplicação de uso geral enquanto que a NBR10152 (2017) estabelece procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos. Embora estas normas estejam atualizadas, não possuem especificações (técnicas, procedimentos e avaliação) relacionadas a fontes de ruído produzido por aerogeradores em parques eólicos.

O Conselho Global de Energia Eólica (*Global Wind Energy Council*-GWEC) divulgou em fevereiro de 2019 dados globais em que o Brasil possui a colocação de quinto lugar em capacidade eólica nova *onshore* instalada (1,939 MW) em 2018. Apesar do Brasil se manter entre os maiores em produção de energia eólica, o país não possui regulamentações de ruído como Estados Unidos, Alemanha e Canadá, por exemplo, que definem limites e critérios.

São escassas, ainda, pesquisas que tenham como foco análise do ruído em pessoas que vivem próximos de aerogeradores no Brasil e tampouco critérios, recomendações e diretrizes específicas de ruídos em parques eólicos no país. O estudo desta pesquisa justifica-se pela documentação nacional existente não ser suficiente e específica para determinar procedimentos de medição e avaliação do conforto acústico do ruído provenientes de aerogeradores em parques eólicos. Sendo assim, é necessário buscar, consultar, comparar critérios e metodologias a nível internacional atualizadas, para auxiliar as autoridades regulamentadoras, pesquisadores e empresas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar e analisar as principais normativas e diretrizes relacionadas a limites de emissão de ruído em parques eólicos da América do Norte, União Europeia e Oceania, a partir da comparação entre de métricas de ruído, limites e valores recomendados, e, por fim, contribuir para uma possível normativa no Brasil.

3. MÉTODO

O método proposto para este trabalho é elaborar uma revisão bibliográfica a partir da compilação, organização e análise de materiais bibliográficos atualizados (normativas, guias, regulamentações, livros, artigos científicos) relacionados a diretrizes de ruído de aerogeradores em parques eólicos. Os dados serão apresentados, comparados e discutidos por meio de tabelas e figuras.

Para a consulta de materiais, levou-se em consideração artigos de periódicos, normativas, guias e regulamentações publicamente acessíveis. Um dos parâmetros considerados foi que os parques eólicos no Brasil se situam na área rural, portanto, optou-se por dados referentes a este tipo de região.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os principais dados levantados sobre critérios e limites de ruído recomendados foram apresentados para os locais: América do Norte, União Europeia e Oceania. Para a análise das documentações, buscou-se por descritores, critérios e limites que foram utilizados com maior frequência. Por fim, a partir das comparações e análises, foi elaborado uma análise sobre a situação atual das legislações no Brasil, e quais as possíveis orientações que poderiam ser aplicadas no país.

4.1. Ruído em parques eólicos

O controle de ruído de aerogeradores está se tornando cada vez mais problemático à medida que as turbinas eólicas se tornaram maiores, por emitirem ruídos individualmente e seus componentes de baixa frequência em seu espectro aumentarem (MØLLER e PEDERSEN, 2011). De acordo com a ISO 9613-1 de 1993, o som de baixa frequência é menos atenuado pela atmosfera do que um som de alta frequência, fazendo que as turbinas eólicas maiores sejam escutadas a uma distância maior.

Uma quantidade significativa do público possui opinião negativa no que se diz respeito às emissões sonoras de aerogeradores por causa das "qualidades irritantes" sentidas, segundo afirma Laratro et. al (2014). Estas qualidades do som irritantes aumentam o incômodo do ruído de turbinas eólicas acima do nível de pressão sonora, em 40 dB(A) (Persson Wayne e Öhrström, 2002).

O som de baixa frequência com essas qualidades citadas terá, portanto, um efeito maior em uma área mais ampla do que as fontes de ruído de alta frequência. Grande parte das regulamentações no mundo determinaram a minimização do problema do desconforto dessas qualidades já mencionadas, estipulando o acréscimo de 5 dB ao nível de ruído para fazer a compensação (EPA *South Australia*, 2009; NSW Departamento de Planejamento e Infraestrutura - NSW DPI, 2011).

4.1.1. Métricas de ruído em parques eólicos

Para a formulação de políticas a nível local, nacional e internacional, são utilizadas métricas de ruídos de aerogeradores, onde nelas são determinados limites de emissão de ruídos em áreas rurais, residenciais e industriais. Os valores variam de acordo com o país e jurisdições e adaptados de acordo com estudos do local.

Entre as métricas encontradas nas documentações internacionais, encontrou-se que o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{Aeq}) é o descritor utilizado para a avaliação de sons contínuos e intermitentes de sons impulsivos e obtido a partir da média logarítmica ponderada no tempo de resultados integrados em intervalos de tempo parciais. O nível de pressão sonora (NPS) ponderado em A, então o L_{eq} será em dBA, denominado L_{Aeq}.

O L_{eq} é uma grandeza utilizada por diversas normas e legislações relativas a legislações de ruído inclusive para a avaliação do ruído das turbinas eólicas (BOWDLER E LEVENTHALL, 2011). Este descritor também é utilizado nas normativas da Austrália (AS 2009, QLD 2016, NSW 2011 e WA 2004) e na Nova Zelândia (VIC NSZ 6808:2010).

O NPS equivalente dia-noite ou L_{DN} é uma grandeza desenvolvida pela EPA (*Environmental Protection Agency*, USA) que permite a avaliação do ruído em comunidades provenientes de todas as fontes, sua medida é similar ao L_{eq} para um período de vinte e quatro horas, mas durante o período noturno há a penalização de 10 dB. A justificativa de penalização de 10 dB, segundo a NBR 10.152 (2017) se deve ao fato

de que, durante a noite é considerado o período de repouso da maior parte das pessoas, assim o ruído é julgado mais perturbador durante a noite do que no período diurno. O L_{DN} para o ruído na comunidade pode ser calculado a partir do L_{eq} obtidos a cada hora do dia.

Para mapeamento de ruído, a Diretiva de Ruído Ambiental (END, Europa) na *Directive 2002/49/EC* recomenda dois indicadores, L_{den} e L_n. Onde, L_d é o NPS equivalente ponderado em A do período diurno (7 h às 19 h, durante um ano); L_e é o NPS equivalente ponderado em A do período vespertino (19 h às 23 h, durante um ano); L_n é o NPS equivalente ponderado em A do período noturno (23 h às 7 h, durante um ano).

Os níveis estatísticos ou níveis de excedência são níveis sonoros que representam a porcentagem de um tempo de um determinado nível sonoro excedido durante o período de medição, é um critério mais usual e significativo obtido pelo histograma (Bowdler e Leventhall, 2011; ETSU-R-97, 2013). O histograma é uma forma de apresentar estatisticamente os níveis sonoros que ocorreram em um certo intervalo de tempo. Os níveis estatísticos mais usuais são o L_{90}, L_{50} e L_{10}. Bowdler e Leventhall (2011) e ETSU-R-97 (2013) definem o L_{90} como uma medida de nível residual, onde seu nível sonoro foi excedido 90% do tempo de medição, este mede a condição mais característica do ruído medido, é frequentemente utilizado para avaliar o ruído de fundo, enquanto que o L_{10} é uma medida de níveis de ruído de pico (intrusivos) que ocorreram no tempo de medição, seu nível sonoro foi excedido 10% do tempo de medição, é nesta medida em que se encontram os níveis de pico mais significativos. O L_{50} é uma medida de nível de ruído mediano (não necessariamente igual ao do ruído médio), onde seu nível sonoro foi excedido 50% do tempo de medição.

A diferença entre o L_{10} e L_{90} é o indicador de variabilidade do ruído durante o período de medição. O $L_{A90,10min}$ é o padrão adotado no Reino Unido (ETSU-R-97, 2013) e na Nova Zelândia (NZS 6808:2010), e este descritor é o nível de ruído excedido em 90% do tempo em um período de 10 minutos que comparado ao $L_{Aeq,T}$, possui cerca de 1,5 a 2,5 dB a menos.

4.1.2. Normas de avaliação de ruído ambiental

Cada país, por intermédio de seus órgãos normatizadores e agências reguladoras, estabelece métodos de quantificação e avaliação de impacto de ruído proporciona às pessoas. Tais métodos tentam modelar as características complexas da audição e da psicologia humana em relação ao ruído de aerogeradores.

As normas técnicas internacionais de energia eólica impostas atualmente contêm definições de requisitos de segurança, técnicas de medição, procedimentos de teste de equipamentos elaboradas pela IEC (*International Eletrotechnical Commission*). A IEC 61400-11: Sistemas de Aerogeradores – Parte 11: Técnica de Medição de Ruído Acústico é a norma internacional mantida como padrão a ser seguido. Nesta normativa são definidos a qualidade, o tipo e a calibração dos instrumentos de medição que se utilizam para medição da velocidade do som e do vento, locais e tipos de medições que devem ser realizadas e como reduzir os dados na medição e elaborar relatórios. Esta norma já foi atualizada para sua terceira edição em 2012, e possui uma nova emenda (Emenda 1), adicionada em 2018, introduzindo novos princípios para procedimentos de redução de dados. Porém, não estabelece níveis aceitáveis de ruído na comunidade.

A ANSI S12.9-4 de 2005 não especifica níveis máximos permitidos admissíveis com ponderação A, porém esta norma considera que o nível máximo permitido especificado nos regulamentos deve ter a redução de 5 dB caso o ruído for impulsivo e adição de 5 dB caso o ruído possua tons identificáveis. É considerado que o som é de baixa frequência se o nível com ponderação C exceder o nível com ponderação A em 10 dB.

Outras regulamentações ambientais de ruído como a BS75445-3/1991, AS1055.2/1997 e ASTM E1686-10/2010 não recomendam limites de ruído aceitáveis e apenas oferecem orientações vagas.

4.2. Critérios de ruído

Grande parte das regulamentações e portarias governamentais são baseadas em diretrizes disponíveis atualmente onde as foram elaboradas. Na maioria dos países onde as regulamentações de ruído definem seus limites, estes variam de país a país, e no mesmo país, os critérios podem variar de acordo com a condições de planejamento dos órgãos locais.

Geralmente os critérios sugeridos são distintos para o dia e para a noite e podem variar de acordo com o entorno em que o parque eólico é inserido. Hansen, Doolan e Hansen (2017) afirmam que cada país deve ser cauteloso e que o governo local deve confiar em seus próprios regulamentos para especificar níveis de ruído e quaisquer penalidades para compensação do caráter irritante do ruído.

4.2.1. América do Norte

Estados Unidos e Canadá se destacam pelo crescimento da geração de energia eólica, mas também pela presença de regulamentações e limites para áreas rurais, residenciais e residenciais próximas a indústrias. Nas Tabelas 1 e 2 apresentam uma seleção métricas de ruído e dos limites para o ambiente rural nos Estados Unidos e Canadá. O descritor que se destaca por ocorrer em maior frequência nos Estados Unidos e Canadá é

o L_{Aeq}, para áreas rurais com valores entre 35 dB(A) e 60 dB(A) tanto durante o período diurno como noturno (Figura 1).

Tabela 1 – Limites de emissão de ruído (LAeq) do ruído de aerogeradores em parques eólicos nos Estados Unidos.

País	**Região**	**Estado**	**Cidade**	**Rural**	
				Limites	
				Dia	**Noite**
Estados Unidos	Oeste	Califórnia	Fairfield	(a)	45
	Oeste	Califórnia	Morro Bay	(a)	45
	Oeste	Califórnia	Riverside	60	60
	Oeste	Califórnia	San Bernadino	(a)	45
	Oeste	Califórnia	San Francisco	55	50
	Oeste	Califórnia	San Joaquin	(a)	45
	Oeste	Califórnia	Santa Cruz	(a)	40
	Oeste	Califórnia	Solano	44	44
	Oeste	Colorado	(b)	50	50
	Oeste	Colorado	Arapahoe	55	50
	Oeste	Nevada	Lyon	55	55
	Oeste	Washington	(b)	60	50
	Leste	Michigan	(b)	55	55
	Leste	Minesota	(b)	50	50
	Leste	Minesota	Lincoln	50	50
	Leste	North Carolina	(b)	55	55
	Leste	North Carolina	Carteret	35	35
	Leste	Wisconsin	Shawano	50	45

(a) Não existe limite para nível de ruído emitido no período diurno

(b) Não há especificação de cidade.

Fonte: Hansen, Doolan, Hansen (2017), adaptado pela a autora.

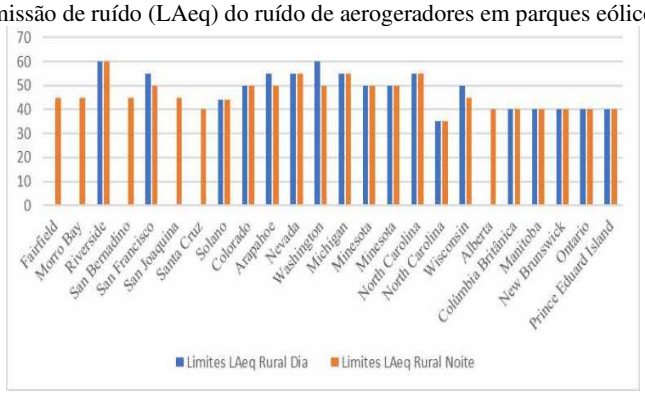
Tabela 2 – Limites de emissão de ruído (LAeq) do ruído de aerogeradores em parques eólicos no Canadá.

País	**Estado**	**Rural**	
		Limites	
		Dia	**Noite**
Canadá	Alberta	(c)	40
	Colúmbia Britânica	40	40
	Manitoba	40	40
	New Brunswick	40	40
	Ontario	40	40
	Prince Eduard Island	40	40

(c) Não existe limite para nível de ruído emitido no período diurno.

Fonte: Hansen, Doolan, Hansen (2017), adaptado pela a autora.

Figura 1 – Limites de emissão de ruído (LAeq) do ruído de aerogeradores em parques eólicos na América do Norte.



Fonte: Autora.

Em Manitoba e New Brunswick, no Canadá, o L_{Aeq} permissível em áreas rurais e residenciais variam em função da velocidade do vento a 10 metros de altura (Tabela 3). A variação de limites de acordo com a velocidade de vento é um método de avaliação interessante, já que países como Canadá, no qual abrange uma área extensa e suas regiões com potencial eólico distintos.

Tabela 3 – Níveis de ruído permitidos em LAeq em estados canadenses.

Estado	Área	Velocidade do vento a 10m de altura (m/s)							
		4	5	6	7	8	9	10	11
Manitoba	Rural e Residencial	40	40	40	43	45	49	51	53
New Brunswick	Rural e residencial	40	40	40	43	45	49	51	53

Fonte: Hansen, Doolan, Hansen (2017), adaptado pela a autora.

No México, a Norma 151 de 2006 foi criada para avaliar os impactos ambientais dos parques eólicos, porém, foi revogada em 2012. Desta maneira coube ao governo definir parâmetros gerais da política eólica deixando para as autoridades locais definirem procedimentos, escolha de normas e instrumentos que fossem pertinentes para avaliar o impacto dos parques eólicos nos ecossistemas em suas regiões. É uma prática comum em muitos países. Entretanto, Toledo e Fraga (2015) criticam este modelo, já que no México surgiram conflitos com a população local de Oaxaca e Yucatán.

4.2.2. União Europeia

Recentemente foi divulgado orientações de ruído ambiental da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018) para a Europa, onde evidenciam que o ruído é um dos principais riscos ambientais para a saúde física e mental e para o bem-estar no continente. Lançado oficialmente em outubro de 2018, o documento indica os níveis de ruído que geram impactos significativos na saúde das pessoas e recomenda ações para reduzir a exposição ao ruído.

Esta versão contém a inclusão de ruído de aerogeradores por meio de uma revisão sistemática adotando uma abordagem padronizada para avaliar as evidências. Foi definindo a relação entre a exposição de ruído e parques eólicos, foi evidenciado que existem danos adversos à saúde por exposição ao ruído de médio a longo prazo.

A exposição média ao ruído de aerogeradores proposto pela OMS (2018) deve corresponder abaixo de 45 dB para o descritor L_{den}, considerando que acima deste valor já está associado a efeitos adversos a saúde. Em relação ao L_{dn} e L_{Aeq}, não há nenhuma recomendação a exposição noturna ao ruído de turbinas eólicas, pois foi observado como um valor baixo para permitir uma recomendação. Também não é especificado tipologias de áreas habitadas, como áreas rurais, industriais, por exemplo.

Voltada aos tomadores de decisão e especialistas técnicos, as diretrizes da OMS (2018) visam apoiar a legislação e a formulação de políticas a nível local, nacional e internacional. Apesar das orientações se concentrarem na Europa e focarem em critérios orientados a Diretiva de Ruído Ambiental da União Europeia, podem ter relevância global, pois as evidências que sustentam as diretrizes foram baseadas em pesquisas na América, Ásia e Austrália.

Na tabela 4, está reunido limites para áreas rurais na União Europeia. Entre as métricas de ruído listadas na Tabela 3, a medida que se destaca por ocorrer em maior frequência na Europa L_{Aeq}, para áreas rurais com valores entre 35 dB(A) e 50 dB(A) durante o período diurno e 35 dB(A) e 47 dB(A) para noturno.

Tabela 4 – Métricas de ruído e limites na União Europeia.

País	**Cidade**	**Métrica de Ruído**	**Limites**
			Rural

			Dia	Noite
Alemanha	(d)	LAeq	50	35
Bélgica	Flanders	LAeq	48	43
Bélgica	Wallonia	LAeq	45	45
Dinamarca	(d)	LAeq	42-44	42-44
França	(d)	LAeq	35	35
Holanda	(d)	Lden	47	47
Holanda	(d)	Lnight	41	41
Irlanda	(d)	LAeq	40	40
Itália	(d)	LAeq	50	40
Noruega	(d)	Lden	45	45
Reino Unido	(d)	LA90, 10 min	35-40	43
Suécia	(d)	Laeq em 8m/s	35	35
Suíça	(d)	LAeq	50	40

(d) Não há especificação para cidade.

Fonte: Hansen, Doolan, Hansen (2017), adaptado pela a autora

Em vários países na Europa, há uma penalidade de 5dB que deve ser aplicada quando for identificado sons tonais, para garantir o bem-estar. Na Alemanha é adicionado 3 dB ou 6 dB, de acordo com o som identificado. Porém, na Noruega, França e Holanda não se aplica nenhuma penalidade tonal.

Na Suécia, segundo a Environmental Protection Agency (EPA) do país, recomenda-se valores de referência para medições de velocidade do vento, alegando que segundo estudos realizados, as medições devem ser com velocidade de vento de 8 m/s a 10 m de altura, e estes dados estão normatizados para o uso do modelo computacional sugerido para cálculos do incômodo do ruído de aerogeradores.

O L_{den} e L_{dn} também são descritores importantes. Na Noruega assim como a Holanda, são países de referência em pesquisa sobre o assunto de ruído provenientes de aerogeradores, utiliza-se o L_{den}. Na Holanda além do L_{den}, utiliza-se também o descritor L_{dn}.

Os períodos de medição na Europa estão entre 7 e 17 horas (diurno), 17 até 22h (entardecer) e 22 a 7 horas (noite). Algumas exceções são: Reino Unido (onde o período noturno começa às 23h), Itália (o período diurno engloba de 7h às 21h) e Holanda (onde o período do entardecer está entre 19h e 23h).

4.2.3 Oceania

Na Oceania, mais especificamente na Austrália e Nova Zelândia, há a preocupação em investigar os efeitos do ruído proveniente de parques eólicos que causam nas pessoas, e em decorrência desta preocupação, foram elaborados planos de ação referentes à parques eólicos, incluindo limites de emissão de ruído. Na tabela 4, verifica-se a existência de duas métricas para medição ($L_{A90,\ 10\ min}$ e L_{Aeq}). O descritor L_{Aeq} novamente apresenta-se entre os mais utilizados.

Para áreas rurais, o L_{Aeq}, são apresentados valores entre 35 dB(A) e 37 dB(A) durante o período diurno e 35 dB(A) para o noturno. Para áreas rurais, o $L_{A90,\ 10\ min}$, são apresentados valores de 40 dB(A) durante o período diurno e 35 e 40 dB(A) para o noturno.

Tabela 5 – Métricas de ruído e limites na Oceania.

País	Normativa	Métrica de Ruído	Limites	
			Rural	
			Dia	Noite
Austrália	SA (2009)	LA90, 10 min	40	40
	VIC (2010)	LA90, 10 min	40	40

	QLD (2016)	LAeq	37	35
	NSW (2011)	LAeq	35	35
	WA (2004)	LAeq	35	35
Nova Zelândia	NZS 6808 (2010)	LA90, 10 min	40	35

Fonte: Hansen, Doolan, Hansen (2017) adaptado pela autora.

No sul da Austrália SA (2009) e VIC (2010), há uma distinção entre área residencial rural e área industrial rural. Segundo estudos realizados nos locais, foi encontrado que os agricultores são suscetíveis a 5 dB(A) a mais comparado à área residencial rural. Desta forma, estas duas normativas determinam o limite de emissão de ruído de 40 dB, para o dia e noite. Isto demonstra que no país há uma preocupação com o bem-estar da população em relação a emissão de ruído proveniente de aerogeradores.

Assim como ocorre no Canadá (Manitoba e New Brunswick), o L_{Aeq} permissível em áreas rurais varia em função da velocidade do vento a 10 metros de altura (Tabela 5).

Tabela 6 – Métricas de ruído e limites na Oceania.

Estado	Área	Velocidade do vento a 10m de altura (m/s)							
		4	5	6	7	8	9	10	11
Ontário	Rural	40	40	40	43	45	49	51	-
Ontário	Residencial	45	45	45	45	45	49	52	-

Fonte: Hansen, Doolan, Hansen (2017) adaptado pela autora.

4.2.4. Legislações Brasileiras

No Brasil, a Resolução nº 001 de 09/03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) estabelece padrões para emissão de ruídos no território brasileiro. É uma resolução a nível federal que visa limitar a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas no interesse da saúde e do sossego público. As normas reguladoras emitidas a partir da data desta resolução nº 001 do Conama devem seguir conjuntamente com a resolução.

No Brasil, a NBR 10151 (2019) possui três procedimentos e novas especificações de procedimentos e avaliação de ruído. O método simplificado é utilizado para medição do NPS global em ambientes internos e externos às edificações com o objetivo de identificar e caracterizar sons contínuos ou intermitentes utilizando o descritor $L_{Aeq, T}$.

O segundo é o método detalhado, onde, além de ser utilizado para medição do NPS global, é utilizado para a medição espectral em ambientes internos ou externos nas edificações. Este método identifica e caracteriza sons contínuos, intermitentes, impulsivos e tonais. O descritor $L_{Aeq, T}$ é utilizado para sons contínuos e intermitentes. Para o som impulsivo, é obtido a partir da subtração aritmética o L_{AFmax} e o $L_{Aeq, T}$, e, por fim, o som tonal, que resulta quando o NPS contínuo equivalente na banda 1/3 de oitava exceder os NPS contínuos equivalentes de ambas as bandas de 1/3 de oitava adjacentes.

O terceiro é o método de monitoramento de longa duração. Este procedimento é utilizado para ser aplicado em períodos de período completo com a finalidade de planejamento urbano e monitoramento por 24 h. Para medição do período diurno é utilizado os descritores L_{Ad} L_{An} ou o descritor L_{Adn}. É recomendado pela norma a gravação de áudio para a identificação, durante a análise de dados, de sons específicos, intrusivos que se destacarem do som residual e no som tonal.

A norma NBR 10151 (2019) e NBR 10152 (2017), em 2017, apesar das recentes atualizações, como já foi dito anteriormente, no Brasil é ausente de métodos e critérios específicos para efeitos do ruído de aerogeradores em parques eólicos em comunidades.

No país, foi publicado o Panorama do Potencial Eólico no Brasil (2003), no qual contém informações sobre velocidade média anual do vento e energia eólica médias a altura de 50 m acima da superfície para cinco condições topográficas distintas (zona costeira, campo aberto, mata, morro e montanha).

A documentação divulgou dados de Feitosa (2003), onde o autor analisou as regiões considerando o potencial eólico e classificou em quatro classes de energias. Alguns estados brasileiros possuem Atlas eólico, como o Rio Grande do Sul (valores de medições de vento a 50, 70 e 100 m), Bahia (medições a 50 e 70 m), por exemplo. Estas informações fornecidas sobre os regimes de vento do Brasil poderiam ser agregadas se baseando com as normativas de Manitoba e New Brunswick, Canadá.

5. CONCLUSÕES

A partir dos dados bibliográficos levantados e analisados foi possível apresentar informações da América do Norte, União Europeia e Oceania. Nota-se que nas tabelas e figura apresentados que os critérios são distintos de região para região, realçando a importância determinar valores com limiares e métricas de ruído específicos de acordo com a localização dos parques eólicos. As métricas de ruídos mais adotadas nas documentações encontradas foram L_{Aeq}. Este descritor está presente em todos os continentes apresentados e na Oceania utilizam-se também os níveis L_{Aeq} e $L_{90,\ 10min}$.

O L_{dn} e L_{den} foram descritores que apresentaram menos frequência nas tabelas apresentadas, porém, também são importantes, para medição e caracterização do ruído. Países como Holanda e Noruega adotam estas métricas, e são referência em geração de energia eólica, e mais recentemente a OMS (2018) recomendou o valor abaixo de 45 dB para o L_{den} como aceitável para exposição de ruído de aerogeradores.

O que pode destacar é que Estados Unidos e Canadá que já incluíram medições e limitações de ruídos provenientes aerogeradores em parques eólicos em suas normativas. A América do Norte apontou valores do L_{Aeq} diários em área rural maiores comparados aos dos outros continentes, se mantendo entre 35 dB(A) e 60 dB(A). Esta disparidade de valores ocorre, pois, estes países possuem uma vasta área, e seus regimes de vento variam de região para região, necessitando de estudos específicos para adequar os critérios, portanto, os valores são adequados com estado ou província.

Os limites diurnos na União Europeia alcançam no máximo 50 dB(A) e na Oceania, 37 dB(A). Os limites noturnos na Europa alcançam no máximo 47 dB(A) e na Oceania 35 dB(A). Desta forma, estas diferenças de valores nas normativas entre a América do Norte e os outros continentes sejam porque possivelmente os Estados Unidos e Canadá possuem regulamentações mais específicas para cada região, no intuito de adequar a valores que minimizem os efeitos nocivos podem causar nas pessoas decorrentes a exposição do ruído de aerogeradores.

Foi verificado que a normativa NBR 10151 (2019), embora possua atualização nos métodos de medição e limites de ruído, não possui nenhuma menção a ruídos de aerogeradores em parques eólicos. Uma possível adequação de valores para o Brasil relacionadas a emissão de ruído em parques eólicos em áreas rurais é a utilização do descritor $L_{Aeq,}$ por já existir esta métrica em sua normativa.

Com base nas regulamentações, a sugestão seria utilizar o $L_{Aeq,}$ de emissão de ruído de aerogeradores diurno abaixo de 45 dB(A) e noturno abaixo de 47 dB(A). Vale ressaltar que ainda são necessários mais estudos comparativos.

Cabe salientar que Canadá e Austrália utilizaram valores ajustados de acordo com a velocidade do vento medida a 10 metros de altura. Esta particularidade poderia ser adotada no Brasil também, pois o país possui um vasto território, e suas regiões apresentam regimes de vento distintos e existe a possibilidade de compilar estes dados por estado ou região.

A autora deste trabalho está desenvolvendo uma revisão sistemática integrativa de literatura de estudos sobre conforto acústico de ruído de aerogeradores em parques eólicos. A Compilação, classificação, organização e análise do material bibliográfico estarão relacionados ao conforto acústico em residências instaladas em parques eólicos levando em consideração o incômodo acústico e o dano à saúde das pessoas provocado pelas turbinas eólicas. As sugestões de critérios de avaliação do ruído de aerogeradores em parques eólicos construídos serão partir de uma avaliação multi, inter e transdisciplinar utilizando procedimentos sistemáticos da metodologia de pesquisa científica utilizando um protocolo baseado no estudo de Okoli e Schabram (2010), onde os autores reuniram técnicas de diversos autores e apresentaram diretrizes para uma revisão sistemática de literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Segunda edição Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. NBR 10.152: Níveis de pressão sonora em ambientes internos das edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AMPONSAH, N.; TROLDBORG, M.; KINGTON, B.; AALDERS, I.; HOUGH, R. L. **Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of life cycle considerations**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 39, p. 461-475, 2014. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.087

BAKKER, R.H., PEDERSEN, E., VAN DEN BERG, G.P., Lok, S.W., Bourna, J. **Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress**. Science of the Total Environment 2012:425;42-51.

BOWDLER, Dick; LEVENTHALL, Geoff. **Wind Turbine Noise**. Multi-Science Publishing Co. Ltda. United Kingdrom. 2011

EPA South Australia, 2009. Wind farms environmental noise guidelines. EPA South Australia, Adelaide, Australia.

ETSU 2013 **ETSU-R-97: Assessment and rating of noise from wind farms**. Technical report, UK Department of Trade and Industry, Energy Technology Support Unit.

FEITOSA, E. A. N. et al. **Panorama do potencial eólico no Brasil**. Brasília: ANEEL, 2003. 68 p.

FORTIN, Marie-José, FORURNIS, Yann; BEAUDRY**, Raymond.Acceptabilité sociale, énergies et territoires: De quelques exigences fortes pour l'action publique. Mémoire soumis à la Commission sur les enjeux énergétiques**. 2013. http://www.uqar.ca/files/developpementterritorial/fortin_fournis_beaudry_uqar.pdf. Acesso em 8 julho 2018.

HANSEN, Colin, H. DOOLAN, Con J. HANSEN, Kristy L. **Wind Farm Noise: Measurement, Assessment and Control**. First Edition. JohnWiley & Sons Ltd. Published 2017 by JohnWiley & Sons Ltd. 2017

ISO 1996 1971 **Acoustics: Assessment of noise with respect to community response**. International Organization for Standardization

JEFFERY, R.D., KROGH, C., HORNER, B. **Adverse health effects of industrial wind turbines**, Canadian Family Physician 2013:59(5);473-75.

LARATRO, Alex; ARJOMANDI, Maziar; KELSO, Richard; CAZZOLATO, Benjamin. **A discussion of wind turbine interaction and stall contributions to wind farm noise**. JOURNAL OF WIND ENGINEERING AND INDUSTRIAL AERODYNAMICS. Volume: 127. Páginas: 1-10.. Publicado: APR 2014

MCCUNNEY, R.J., MUNDT, K.A., COLBY, W.D., DOBIE, R., KALISKJ, K., BLAIS, M. **Wind turbines and health: a critical review of the scientific literature**. Journal of Occupational and Environmental Medicine 2014:56(11);108-30.

MØLLER, H., PEDERSEN, C.S., 2011. **Low-frequency noise from large wind turbines**. 2011. J. Acoust. Soc. Am. 129, 3727–3744.

CAMARGO, O. A. A.. **Atlas do Potencial eólico da Bahia**. Companhia de Eletricidade e Estado da Bahia, Salvador/BA, 2002.

_____. **Atlas do Potencial eólico do Rio Grande do Sul**. Secretaria de Energia, Minas e Comunicações, Porto Alegre/RS, 2002.

PERSSON, K. Waye, ÖHRSTRÖM, E., 2002. **Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of wind turbine noise**. J. Sound Vib. 250, 65–73.

NADAÏ, Alain et Olivier Labussière. **Acceptabilité sociale et planification territoriale, éléments de réflexion à partir de l'éolien et du stockage du CO2. 2010**. Ha-Duong, Minh, Naceur Chaabane (eds.), Le captage et le stockage du C02: enjeux.

NISSEMBAUM, M.A., ARAMINI, J.J., Ha, C.D. **Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health**. Noise & Health 2012:14(60);237-43

NSW Department of Planning & Infrastructure (NSW DPI), 2011. **NSW planning guidelines: Wind farms**. NSW DPI, Sydney, Australia.

NZS 6808 2010 **Acoustics – wind farm noise**. Standards New Zealand.

OKOLI, C., SCHABRAM, K. **A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research.** *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 10(26). (2010). http://sprouts.aisnet.org/10-26.

OMS Organização Mundial da Saúde, 2018. **Environmental Noise Guidelines for the European Region**. DK-2100 Copenhagen O, Denmark.

PAZHERI, F. R.; OTHMAN, M. F.; MALIK, N. H. **A review on global renewable electricity scenario**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 31, p. 835-845, 2014. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.020

PEDERSEN, E. e WAYE, K.P. **Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose-response relationship**. J Acous Soc Am 2004:116(6);3460-70.

PEDERSEN, E., WAYE, K.P. **Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments**. Occup Environ Med 2007:64;480-6.

PERSSON, K. Waye, ÖHRSTRÖM, E., 2002. **Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of wind turbine noise**. J. Sound Vib. 250, 65–73.

PINTO, Iracema Chipponelli Pinto; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno**. O Mercado Brasileiro da Energia Eólica, Impactos Sociais e Ambientais**. Ambiente e Água. Ambiente e Água, v. 12, p. 1082-1100, 2017.

SCHIMDT, J. H.; KLOKKER, M**. Health effects related to wind turbine noise exposure: a systematic review**. Plos One, v. 9, n. 12, 2014.

SHEPERD, D., MCBRIDE, D., WELCH, D., DIRKS, K.N., HILL, E.M. **Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life**. Noise Health. v. 13, pp. 333-339, 2011.

TOLEDO, Ezequiel Zarate e FRAGA, Julia. **La política eólica mexicana: Controversias sociales y ambientales debido a su implantación territorial. Estudios de caso en Oaxaca y Yucatán. Trace (Méx. DF)**.2016, n.69, pp.65-95. ISSN 2007-2392.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo auxílio financeiro na concessão da bolsa de mestrado.