



INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

NOTA TÉCNICA Nº 5/2025/CENEF/CGTEF/DILIC

PROCESSO Nº 02001.009092/2024-94

INTERESSADO: DIRETORIA DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL (DILIC)

1. ASSUNTO

Distanciamento de torres eólicas de assentamentos humanos a ser proposto na revisão da Resolução CONAMA 462/2014 - Documento SEI (20791405).

2. REFERÊNCIAS

IEC 61400-11:2012 - Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques (International Electrotechnical Commission)

McKenna, R., Pfenninger, S., Heinrichs, H., Schmidt, J., Staffell, I., Bauer, C., Gruber, K., Hahmann, A. N., Jansen, M., Klingler, M., Landwehr, N., Larsén, X. G., Lilliestam, J., Pickering, B., Robinius, M., Tröndle, T., Turkovska, O., Wehrle, S., Weinand, J. M., & Wohland, J. (2022). High-resolution large-scale onshore wind energy assessments: A review of potential definitions, methodologies and future research needs. *Renewable Energy*, 182, 659-684. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.027>

Dalla Longa, F., Kober, T., Badger, J., Volker, P., Hoyer-Klick, C., Hidalgo, I., Medarac, H., Nijs, W., Politis, S., Tarvydas, D. and Zucker, A. (2018). Wind potentials for EU and neighbouring countries: Input datasets for the JRC-EU-TIMES Model, EUR 29083 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-77811-7. <https://dx.doi.org/10.2760/041705>.

Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010) - Wind Energy Explained: Theory, Design and Application (2nd ed.).

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

ABNT NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral

IFC - World Bank Group. 2007. General EHS Guidelines: Environmental Noise Management. <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2000/general-environmental-health-and-safety-guidelines>

3. INTRODUÇÃO

O distanciamento de torres eólicas de assentamentos humanos é um tema de grande relevância na regulamentação de parques eólicos onshore. Nos países europeus, os critérios de afastamento variam amplamente, sendo definidos com base em normas de emissão de ruído, impactos visuais e outros fatores ambientais. Esta nota técnica apresenta um panorama dessas regulamentações e discute a importância da avaliação do ruído como um critério central para a definição do distanciamento ideal.

4. CARACTERIZAÇÃO DE UM AEROGERADOR

Um aerogerador onshore é uma turbina eólica projetada para operar em terra, onde a energia eólica é capturada por pás (hélices) conectadas a um rotor. O rotor é acoplado a um gerador, que converte a energia mecânica em energia elétrica. A turbina é montada sobre uma torre elevada, que posiciona as pás em alturas onde os ventos são mais consistentes e fortes. A energia gerada é transmitida para a rede elétrica por meio de cabos subterrâneos ou aéreos.

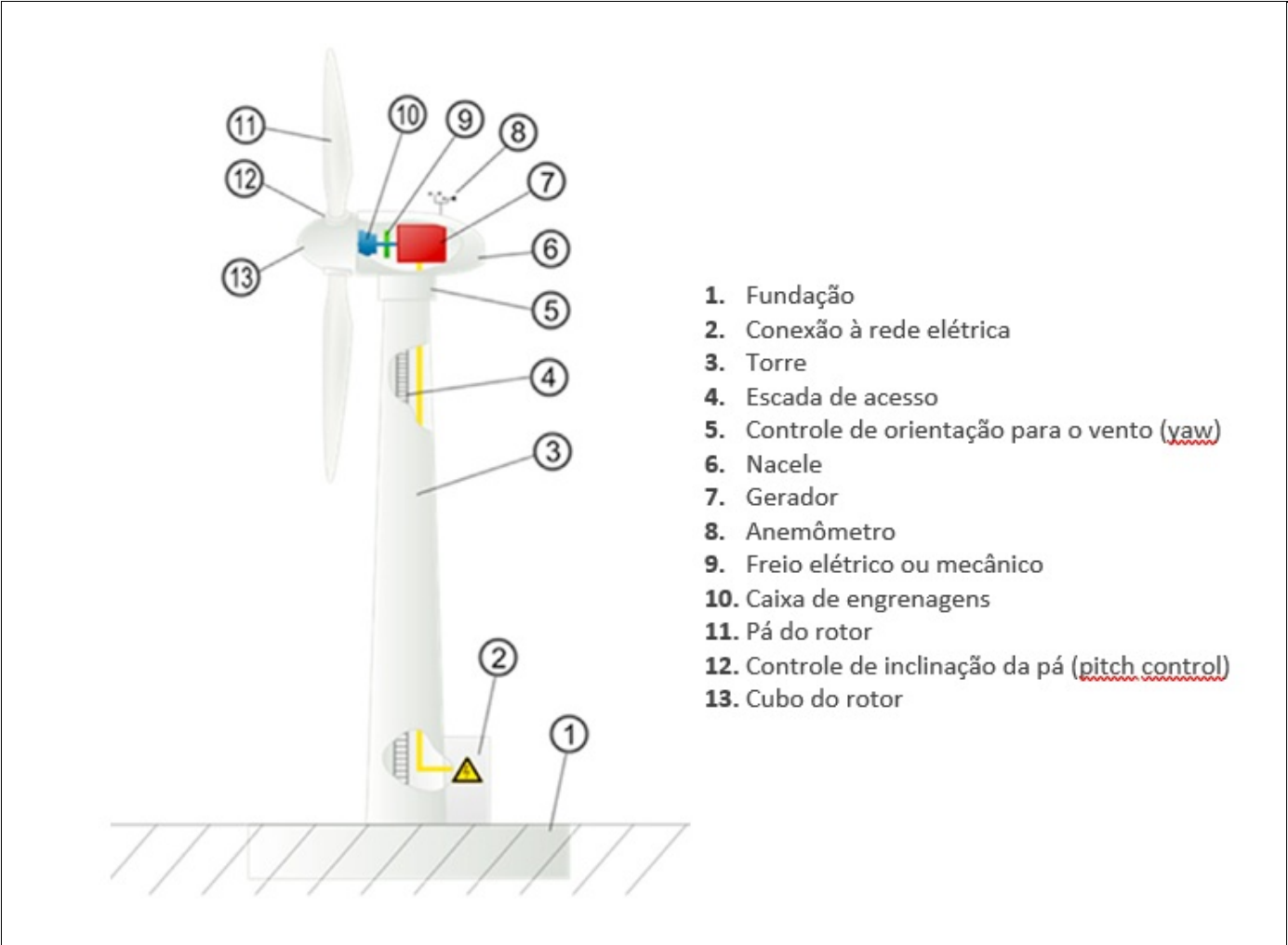


Fig. 1. Turbina Eólica de Eixo Horizontal (HAWT) com design de três pás e descrição dos componentes. Fonte: McKenna *et al.*, 2022.

Tabela 1: Dados técnicos de modelos de aerogeradores onshore.

Fabricante	Modelo da Turbina	Potência (MW)	Altura da Torre (m)	Diâmetro do Rotor (m)	Tamanho das Pás (m)
GE Renewable Energy	GE 3.6-137	3,6	85 - 110	137	67,0
Suzlon	S144-3.6 MW	3,6	90 - 120	144	70,0
Vestas	V150-4.2	4,2	105 - 166	150	73,7
Enercon	E-138 EP3	4,2	99 - 160	138	67,0
Nordex	N149/4.0-4.5	4,0 - 4,5	105 - 164	149	73,0
Envision	EN-156/4.5	4,5	100 - 140	156	76,0
Siemens Gamesa	SG 5.8-170	5,8	115 - 155	170	83,5
Goldwind	GW 6.0-164	6,0	100 - 140	164	80,0
Senvion	6.2M152	6,2	115 - 159	152	74,5
MingYang	MySE 6.25-172	6,25	100 - 150	172	84,0
WEG	AGW 172 / 7.X	6,0 - 7,0	112 - 134	172	84,0

Os parques eólicos, embora sejam uma fonte de energia renovável e sustentável, podem gerar impactos ambientais e sociais sobre as populações que vivem próximas a essas instalações. Esses impactos podem ser tanto positivos quanto negativos, dependendo de fatores como a localização, o planejamento do projeto e as medidas de mitigação adotadas. Os parques eólicos podem gerar impactos

negativos significativos para as populações que vivem próximas a essas instalações. O ruído emitido pelas turbinas, proveniente do movimento das pás e dos componentes mecânicos, pode causar incômodo, distúrbios do sono e estresse, especialmente em áreas residenciais. Além disso, o impacto visual das torres eólicas, que são estruturas altas e visíveis a longas distâncias, pode alterar a paisagem natural e ser percebido como uma intrusão visual, afetando o valor estético da região. Outro problema é o efeito de cintilação, estrobo ou *shadowflicker*, onde o movimento das pás cria sombras intermitentes em residências próximas, principalmente durante o nascer e o pôr do sol, causando desconforto visual e, em alguns casos, problemas de saúde, como dores de cabeça e irritação.

5. DISTANCIAMENTO MÍNIMO PRATICADO NOS PAÍSES EUROPEUS

Os países europeus adotam diferentes abordagens para definir o distanciamento mínimo entre turbinas eólicas e residências. Algumas regulamentações estabelecem distâncias fixas, enquanto outras utilizam critérios baseados na altura da turbina, no raio do aerogerador ou nos níveis máximos permitidos de ruído. A Tabela 2 apresenta um resumo das distâncias adotadas em diversos países:

Tabela 2: Distâncias Mínimas de Afastamento de Turbinas Eólicas Onshore por País e Região. Adaptado de Dalla Longa et al., 2018.

País	Região	Distância Mínima
Albânia	Todas	500 m
Áustria	Niederösterreich	1200 m
	Oberösterreich	800 m
	Steiermark	1000 m
	Burgenland	1000 m
	Vorarlberg, Tyrol, Salzburg, Carinthia, Viena	Não permitido
Bélgica	Flandres	600 m
	Valônia	400 m
	Bruxelas	Não permitido
Bósnia e Herzegovina	Todas	500 m
Bulgária	Todas	500 m
Croácia	Todas	500 m
Chipre	Todas	850 m
República Tcheca	Todas	500 m
Dinamarca	Todas	600 m
Estônia	Todas	1000 m
Finlândia	Todas	1000 m
França	Todas	500 m
	Baden-Württemberg	1000-1250 m
	Bayern	1000 m
	Brandenburg, Berlin, Hessen, Niedersachsen	300-1000 m
	Hamburg	500-800 m
	Mecklenburg-Vorpommern	200-1000 m
	Nordrhein-Westfalen	400-700 m
	Rheinland-Pfalz	400-1000 m
	Saarland	750-1000 m
	Sachsen	1000 m
	Sachsen-Anhalt	400-1000 m
	Schleswig-Holstein	750-800 m
	Thüringen	700-1000 m
Grécia	Todas	500 m
Hungria	Todas	1000 m
Islândia	Todas	500 m
Irlanda	Todas	500 m
Itália	Todas	750 m

País	Região	Distância Mínima
Kosovo	Todas	500 m
Letônia	Todas	500 m
Lituânia	Todas	500 m
Luxemburgo	Todas	500 m
Malta	Todas	500 m
Montenegro	Todas	500 m
Países Baixos	Todas	400 m
Noruega	Todas	500 m
Polônia	Todas	1250 m (10x altura total)
Portugal	Todas	500 m (com base em regulação de ruído)
Romênia	Todas	500 m
Sérvia	Todas	500 m
Eslováquia	Todas	500 m
Eslovênia	Todas	500 m
Espanha	Todas	500-1000 m
Suécia	Áreas urbanas	1000 m
	Casas isoladas	500 m
Suíça	Todas	500 m
Reino Unido	Inglaterra	700-800 m
	País de Gales	500 m
	Irlanda do Norte	500 m
	Escócia	2000 m

A distância média dos aerogeradores para as residências, com base nas regulamentações da tabela de distâncias acima praticadas pelos países europeus para eólicas onshore, é de aproximadamente 780 metros. Dalla Longa *et al.* (2018) calculam ser necessário um distanciamento mínimo de 700 m para que os ruídos gerados por um aerogerador de grande porte, com emissão estimada de 109 dB, decaiam para 40 dB, limite diurno de pressão sonora definido pela NBR 10151:2016 para residências em áreas rurais.

6. RUÍDOS PROVENIENTES DE AEROGERADORES

A influência do ruído gerado pelas turbinas eólicas é um dos principais fatores considerados na definição dos afastamentos mínimos. Pode-se dividir os ruídos de uma aerogerador provenientes de duas fontes distintas:

Ruído Mecânico (Gerador e Componentes Internos)

O ruído mecânico é gerado pelo funcionamento do gerador elétrico, da caixa de multiplicação (quando presente), dos rolamentos e de outros componentes internos do aerogerador. Esse tipo de ruído resulta principalmente de vibrações estruturais que se propagam pela torre e podem ser transmitidas ao solo e ao ar. A maioria dos aerogeradores modernos utiliza isolamento acústico e amortecedores de vibração para minimizar esse ruído.

Ruído Aerodinâmico (Pás do Rotor)

O ruído aerodinâmico das pás e o ruído mecânico do gerador tendem a diminuir com a distância devido ao efeito da dispersão sonora. Em condições normais, a atenuação ocorre de acordo com a lei da inversão quadrática, onde a intensidade do som diminui em aproximadamente 6 dB a cada duplicação da distância.

Por que o Ruído das Pás é Mais Alto?

a) **Velocidade da extremidade das pás:** As pontas das pás podem atingir velocidades superiores a 300 km/h, criando intensas perturbações no ar ao seu redor, o que provoca incremento de ruído. Quando uma pá de turbina eólica gira, cada ponto ao longo da pá descreve um movimento circular em torno do eixo do rotor (hub). A

velocidade tangencial (ou velocidade linear) de um ponto na pá depende da sua distância em relação ao centro de rotação (hub). Quanto maior a distância do hub (ou seja, quanto mais próxima da ponta da pá), maior será a velocidade tangencial. Isso ocorre porque a velocidade tangencial é diretamente proporcional ao raio. Portanto, a ponta da pá, que está mais distante do hub, percorre uma circunferência maior no mesmo período de tempo, resultando em uma velocidade tangencial muito maior. Com o aumento progressivo da potência e do tamanho dos aerogeradores ao longo do tempo, as emissões sonoras decorrentes da movimentação das pás de maiores dimensões igualmente aumentou.

b) **Separação do fluxo de ar:** À medida que o ar passa pelas pás, podem ocorrer turbulências e desprendimentos de fluxo, que geram sons característicos, como assobios ou ruídos pulsantes.

c) **Efeito Doppler:** Para um observador no solo, a variação de velocidade e posição da pá ao longo do giro pode gerar flutuações na frequência percebida do ruído

De acordo com a ABNT NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral, são considerados aceitáveis os níveis de pressão sonora do som específico que não ultrapassem os respectivos valores apresentados na Tabela 3. Há que se observar que os parques eólicos são tipicamente instalados em áreas com ventos naturalmente intensos, o que faz com que, mesmo antes de sua instalação, o ruído ambiente (ou de fundo) já exceda os limites definidos nesta Norma. Por este motivo, conforme diretrizes de boas práticas do Banco Mundial (IFC, 2007), alguns países adotam 3 dB como limite de incremento aceitável ao ruído ambiente, medido no receptor mais próximo.

Tabela 3: Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período. NBR 10151:2019.

Tipos de áreas habitadas	RLAeq Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Medidas de Mitigação dos Ruídos: Para minimizar o impacto do ruído, várias estratégias podem ser adotadas:

a) **Projeto das Pás:** Pás com designs aerodinâmicos avançados podem reduzir o ruído aerodinâmico.

b) **Distância de Segurança:** Manter uma distância mínima entre as turbinas e as áreas residenciais.

c) **Barreiras Acústicas:** Em alguns casos, barreiras naturais ou artificiais podem ser usadas para bloquear ou reduzir o ruído.

d) **Isolamento do Gerador:** pode ser minimizado por isolamento e tecnologias avançadas nos componentes internos.

e) **Monitoramento e Regulamentação:** Medições de ruído e regulamentações locais ajudam a garantir que os níveis de ruído estejam dentro dos limites aceitáveis. A experiência praticada demonstra que a partir do estabelecimento de níveis de ruídos aceitáveis e distanciamentos, as empresas passaram a efetivamente cumprir a regra.

7. DEFINIÇÃO DE DISTÂNCIAS A SEREM PRATICADAS

Embora distâncias fixas sejam práticas para fins regulatórios e de execução por determinação da norma a ser praticada pelo ente licenciador, a variação nas dimensões dos aerogeradores e, conseqüentemente, dos níveis de ruídos e sombras por eles produzidos, não faz com que sejam a melhor escolha neste caso. A abordagem mais adequada é aquela que define os afastamentos mínimos dos aerogeradores com base em modelagem do comportamento do ruído e das sombras em campo para cada parque eólico. Isso permite ajustar os limites de distância de acordo com as características do aerogerador, condições específicas de relevo, padrões de vento e propagação sonora e luminosa, garantindo um equilíbrio entre a expansão da energia eólica e o bem-estar das comunidades locais.

Entretanto, após discussões internas entre técnicos que realizam licenciamento ambiental de projetos eólicos, chegou-se ao consenso que o ideal seria sugerir uma distância fixa dependente do tamanho do rotor ou altura total do aerogerador. Nesta abordagem, o distanciamento é definido com base em um multiplicador aplicado sobre uma destas variáveis, as quais são proporcionais ao nível de ruídos e sombras produzidos por diferentes tipos de equipamentos. Optou-se utilizar o diâmetro do rotor como variável, pois este é fixo conforme o modelo do aerogerador, ao contrário da altura da torre, que depende das características do terreno e ventos disponíveis, conforme Tabela 1, além do ruído produzido estar diretamente relacionado ao incremento de potência, que necessita do aumento do tamanho das pás, conforme descrito no item 6.

Assim sugere-se a adoção da aplicação de distanciamento mínimo de 5 (cinco) vezes o Diâmetro do Aerogerador. Tal fator implicaria em distâncias entre 685 m e 860 m, considerados os aerogeradores hoje em uso (Tabela 1), em sintonia com a distância recomendada por Dalla Longa *et al.* (2018) para atenuação do ruído a nível aceitável.

Com base na discussão desta Nota Técnica, sugere-se também a adição da possibilidade de se reduzir (ou aumentar) as distâncias a serem praticadas, desde que seja realizada modelagem da propagação dos ruídos e efeitos de sombra do parque eólico sobre as residências próximas, com base em dados e características da área de instalação dos aerogeradores, que demonstrem que os efeitos dos ruídos e sombreamento estejam dentro dos níveis aceitáveis pela literatura. Neste caso, propõe-se, preventivamente, um limite mínimo de distanciamento de 500 m, o qual não pode ser reduzido em qualquer circunstância, dado o conhecimento existente sobre os impactos de ruídos e sombras e eventuais distorções em modelagens que acarretem em imprecisão dos resultados.

Assim se propõe para redação do texto:

Art. 8. O órgão licenciador, nas análises do licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, deverá observar, na avaliação de impacto ambiental, dentre outros pontos, os seguintes:

(...)

II – distanciamento mínimo de 5 (cinco) vezes o diâmetro do rotor, entre uma unidade aerogeradora e a residência mais próxima;

a) Estas distâncias poderão ser reduzidas, até um limite mínimo de 500 m, ou aumentadas, mediante a realização de modelagem da propagação dos ruídos e das sombras provenientes do parque eólico sobre as residências próximas, com base em dados e características dos equipamentos e da área de instalação do mesmo, que demonstrem que os efeitos dos ruídos e sombreamento estejam dentro dos níveis aceitáveis pela literatura e normas vigentes.

8. CONCLUSÃO

A definição do distanciamento mínimo das turbinas eólicas aos assentamentos residenciais varia significativamente entre os países europeus, refletindo diferentes abordagens regulatórias e critérios ambientais. O ruído e o efeito estrobo são fatores essenciais nesse processo, e a

sua atenuação com a distância deve ser levada em consideração de forma cientificamente embasada. A adoção de medida de distanciamento mínimo determinada pelo diâmetro do aerogerador multiplicada por um fator fixo permite estimar uma distância mínima aceitável e proporcional aos impactos causados por aerogeradores de diferentes tipos e dimensões, promovendo níveis de conforto visual e de ruído para os assentamentos próximos e representando uma solução mais eficiente e equilibrada para regulamentação da energia eólica onshore focando na prevenção de impactos da saúde humana. Considerando, entretanto, as particularidades de cada equipamento e a variabilidade de condições físicas de cada região, que podem resultar em diferentes efeitos de ruídos e sombras, é necessário que se permita adequar localmente o distanciamento mínimo entre os aerogeradores e habitações de uso contínuo, reduzindo ou aumentando-o, a partir de modelagem matemática embasada em características locais e dos equipamentos previstos para o parque eólico.



Documento assinado eletronicamente por **EDUARDO WAGNER DA SILVA, Coordenador**, em 28/02/2025, às 14:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MOZART DA SILVA LAUXEN, Analista Ambiental**, em 28/02/2025, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ibama.gov.br/autenticidade>, informando o código verificador **22601533** e o código CRC **9F2BB17D**.