

Impactos Ambientais em Parques Eólicos

Sombreamento e Ruídos

Eduardo Wagner e Bruna Oliveira

Eng. Civil/Analista Ambiental
Diretoria de Licenciamento Ambiental

Eng. Ambiental MSc. Eng. Civil
Coordenadora de Projetos

IBAMA

Maron Ambiental



Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



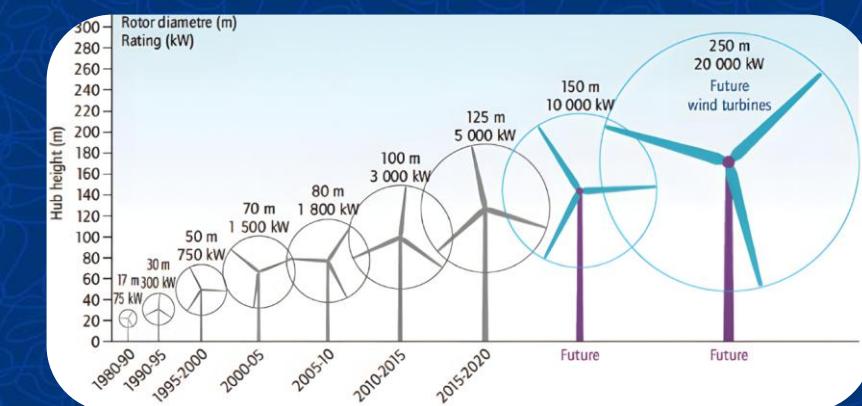
- O Brasil possui mais de 34 GW instalados mais 55 GW outorgados, em eólicas onshore.
- Crescimento dos parques eólicos e dimensões de turbinas: hoje >150 m de diâmetro e >120 m de altura.
- Denúncias recorrentes sobre impactos provenientes de ruídos e sombreamento.
- Expansão exige gestão de impactos socioambientais em assentamentos humanos.



Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



- Resolução Conama 462/2014
- “Para os empreendimentos cujo limite do parque esteja posicionado a menos de 400m de distância de residências isoladas ou comunidades apresentar este estudo de forma a caracterizar os índices de ruídos e o efeito estroboscópio visando o conforto acústico e a preservação da saúde da comunidade.”
- O ganho em potência e em fator de capacidade vem acompanhado da necessidade de novos critérios de distanciamento já que os impactos passaram a ser percebidos em maiores distâncias.





RUÍDOS

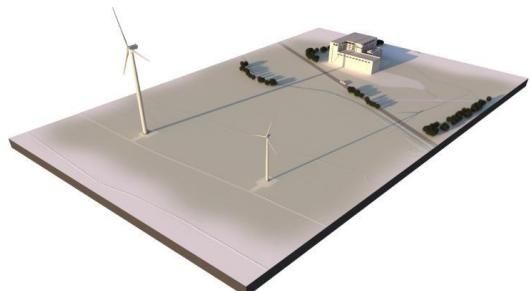
Ruído mecânico: O ruído mecânico é gerado pelo funcionamento do gerador elétrico, da caixa de multiplicação (quando presente), dos rolamentos e de outros componentes internos do aerogerador.

Ruído aerodinâmico: O ruído aerodinâmico das pás dos aerogeradores é causado pela interação do ar com suas superfícies em movimento, especialmente nas pontas, onde a velocidade é maior e há maior geração de turbulência.

SOMBREAMENTO

Sombreamento ou Shadowflicker: ocorre quando o sol passa por trás das pás do aerogerador em movimento, projetando uma sombra intermitente diretamente em pessoas e ou residências próximas ao aerogerador.

Comum quando o sol está próximo ao horizonte.





RUÍDOS

Ruído específico: parcela do som total que pode ser identificada e que está associada a uma determinada fonte

Ruído total: som existente em uma dada situação e em um dado instante, resultante da contribuição de todas as fontes sonoras

Ruído residual: som remanescente do som total em uma dada posição e em uma dada situação quando são suprimidos os sons específicos em consideração

SOMBREAMENTO

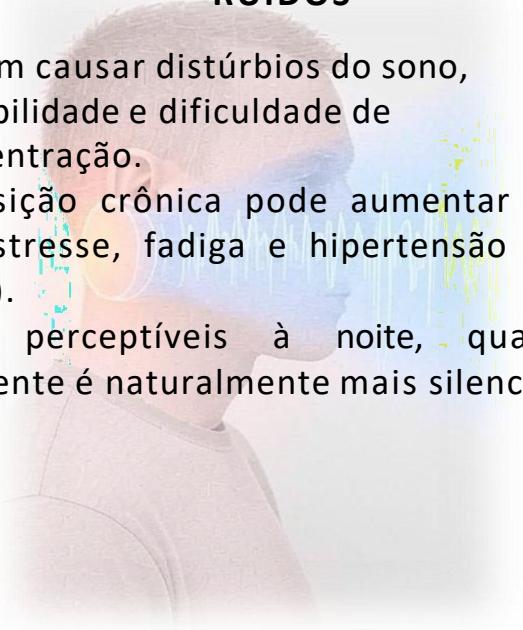
Sombreamento anual: tempo total de ocorrência do sombreamento ao longo de todo o ano, em um ponto receptor, expresso em horas/ano

Sombreamento diário: tempo máximo de ocorrência de sombreamento em um único dia em um determinado receptor, expresso em minutos/dia



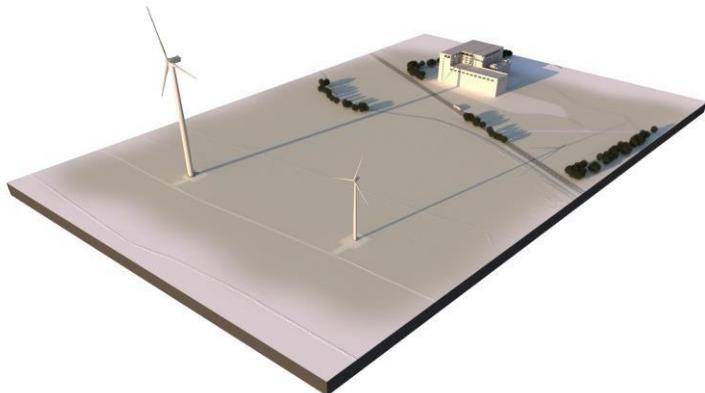
IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA – RUÍDOS

- Podem causar distúrbios do sono, irritabilidade e dificuldade de concentração.
- Exposição crônica pode aumentar riscos de estresse, fadiga e hipertensão (OMS, 2018).
- Mais perceptíveis à noite, quando o ambiente é naturalmente mais silencioso.



IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA - SOMBREAMENTO

- O efeito de sombra intermitente pode provocar desconforto visual e irritação.
- Em pessoas sensíveis, pode desencadear dores de cabeça, ansiedade ou mal-estar.





CRITÉRIOS DE RUÍDOS E DISTÂNCIAMENTO MÍNIMOS

- Os critérios adotados pelo IFC – International Finance Corporation e pelas Diretrizes Ambientais, de Saúde e Segurança da Environmental, Health, and Safety Guidelines – EHS, não definem um limite absoluto de ruído, mas adotam como referência que o incremento de ruído gerado pelo empreendimento não deve ultrapassar 3 dB em relação ao nível de ruído de fundo existente na área (background noise), especialmente em zonas residenciais.
- IFC/EHS adota para o Sombreamento, a recomendação europeia, onde mais de 30 horas/ano ou 30 minutos/dia de exposição contínua são considerados limiares de desconforto relevante e devem ser tratados.
- 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 para áreas de residências rurais que não ultrapassem 40dB para período diurno e 35 para noturno.
- Não há uma norma brasileira ou internacional única que defina a distância mínima entre aerogeradores e edificações habitadas. A IFC/EHS recomenda a aplicação de critérios baseados em risco, especialmente associados a ruído e shadow flicker.



CRITÉRIOS DE RUÍDOS E DISTÂNCIAMENTO MÍNIMOS

Muitos países europeus adotam distâncias mínimas entre 400 m e 1.000 m (Dalla Longa, F. et All), dependendo da densidade populacional e porte das turbinas. (Média de 780 Metros)

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



CRITÉRIOS DE RUÍDOS E DISTÂNCIAMENTO MÍNIMOS

- A definição mais adequada de distanciamento é aquela baseada em modelagem matemática, que considera a propagação do ruído e do sombreamento em função do relevo, da vegetação, das residências e do regime de ventos, ajustando os afastamentos mínimos de cada aerogerador às condições específicas de cada parque eólico.
- A modelagem matemática da locação dos aerogeradores permite definir os afastamentos de forma ajustada às características de cada equipamento e às condições locais de propagação sonora e luminosa, assegurando que não haja impacto significativo sobre as residências próximas e garantindo o equilíbrio entre a expansão da energia eólica e o bem-estar das comunidades.
- Porém, com a necessidade de se fixar regramento em material técnico (Revisão Res. Conama 462/2014), sugerimos a adoção de distanciamento mínimo com o fator multiplicador de 5 vezes o diâmetro do rotor, em relação a residências e grupamentos humanos, em caso de não realização de modelagem que defina especificamente para cada aerogerador sua distância mínima possível.
- Tal fator implicaria em distâncias entre 685 m e 860 m, considerados os aerogeradores hoje disponíveis no mercado.

“O distanciamento adequado proporciona mitigação para ruídos e efeito de sombreamento”

Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do nível de pressão sonora nos receptores relacionados ao **ruído específico**, considerando a modelagem de emissão sonora dos aerogeradores.

	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)
Ventos Fracos	001	26	31
	002	32	35
	003	34	30
	004	38	40

Velocidade do vento [m/s]	Nível de potência sonora [dB]
2.5	99.1
3.0	99.1
3.5	99.1
4.0	99.1
4.5	99.1
5.0	101.0
5.5	103.1
6.0	105.0
6.5	106.7
7.0	108.3
7.5	109.8
8.0	111.0
Velocidade > 8	
111.0	

	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)
Ventos Fortes	001	35	36
	002	38	42
	003	42	35
	004	45	46

- Matriz da variação da velocidade do vento médio do Projeto a 120m de altura [m/s]

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
00:00 - 01:00	12.43	12.45	10.92	10.04	9.33	8.87	9.06	10.18	11.18	12.58	12.83	12.98
01:00 - 02:00	11.88	11.96	10.41	9.80	9.04	8.77	8.81	10.02	10.94	12.25	12.69	12.76
02:00 - 03:00	11.47	10.93	9.67	9.32	8.73	8.47	8.51	9.82	10.67	11.58	12.24	12.65
03:00 - 04:00	11.03	10.15	9.11	8.99	8.46	8.17	8.42	9.57	10.41	11.08	11.64	12.36
04:00 - 05:00	10.41	9.84	8.55	8.67	8.07	8.13	8.26	9.31	10.13	10.55	11.47	11.96
05:00 - 06:00	9.50	9.25	8.15	8.32	7.85	8.22	8.26	9.25	9.77	9.98	10.94	11.49
06:00 - 07:00	8.64	8.60	7.64	7.86	7.45	7.92	8.11	9.05	9.40	9.09	9.86	10.42
07:00 - 08:00	7.78	7.67	6.90	7.14	7.11	7.48	7.88	8.53	8.80	8.36	8.51	9.17
08:00 - 09:00	6.96	6.75	6.39	6.50	6.87	7.48	7.92	8.35	8.27	7.64	7.42	7.96
09:00 - 10:00	6.07	5.77	5.77	5.97	6.63	7.38	7.77	7.96	7.56	6.80	6.46	6.70
10:00 - 11:00	5.51	5.13	5.32	5.43	6.35	7.26	7.33	7.58	7.01	6.22	5.79	5.86
11:00 - 12:00	5.25	4.80	5.08	5.25	6.21	7.15	7.15	7.33	6.58	6.00	5.48	5.45
12:00 - 13:00	5.28	4.72	5.07	5.23	6.14	7.03	7.02	7.15	6.45	5.76	5.34	5.38
13:00 - 14:00	5.32	4.83	5.10	5.29	6.14	7.10	7.09	7.17	6.50	5.81	5.30	5.46
14:00 - 15:00	5.52	5.20	5.27	5.59	6.43	7.25	7.19	7.26	6.68	5.99	5.68	5.55
15:00 - 16:00	5.96	5.48	5.77	5.94	6.57	7.41	7.45	7.51	6.99	6.22	5.93	5.79
16:00 - 17:00	6.28	5.82	6.41	6.44	6.82	7.54	7.69	7.74	7.37	6.76	6.45	6.14
17:00 - 18:00	7.07	6.51	7.13	7.12	7.37	8.11	8.24	8.32	8.17	7.61	7.32	6.80
18:00 - 19:00	8.49	7.82	8.04	8.24	8.53	9.05	9.15	9.54	9.74	9.40	9.05	8.42
19:00 - 20:00	10.21	9.58	9.15	9.30	9.33	9.66	9.68	10.56	11.09	10.99	10.70	10.18
20:00 - 21:00	11.65	10.90	10.17	10.01	9.63	9.74	9.95	11.05	11.46	11.81	11.70	11.46
21:00 - 22:00	12.14	11.89	10.58	10.27	9.74	9.59	10.00	11.02	11.42	12.38	12.33	12.20
22:00 - 23:00	12.51	12.32	10.89	10.35	9.83	9.40	9.79	10.73	11.54	12.69	12.83	12.59
23:00 - 24:00	12.69	12.55	10.96	10.25	9.57	9.06	9.39	10.45	11.43	12.88	12.83	13.06
Mensal	8.75	8.37	7.85	7.80	7.84	8.18	8.34	8.98	9.15	9.18	9.20	9.29

- Matriz da variação da emissão de ruído do Projeto [dB]

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
00:00 - 01:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
01:00 - 02:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
02:00 - 03:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
03:00 - 04:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
04:00 - 05:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
05:00 - 06:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
06:00 - 07:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
07:00 - 08:00	110.50	110.24	107.98	108.73	108.66	109.76	110.72	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
08:00 - 09:00	108.17	107.52	106.34	106.70	108.79	109.74	110.82	111.00	111.00	111.00	109.57	110.91
09:00 - 10:00	105.26	104.17	104.16	104.88	107.13	109.47	110.48	110.92	109.95	107.68	106.57	107.36
10:00 - 11:00	103.14	101.56	102.36	102.80	106.21	109.11	109.31	110.01	108.33	105.78	104.24	104.50
11:00 - 12:00	102.03	100.20	101.31	102.06	105.72	108.76	108.77	109.32	106.95	104.98	103.03	102.89
12:00 - 13:00	102.15	99.93	101.28	101.95	105.50	108.39	108.36	108.77	106.55	104.11	102.42	102.62
13:00 - 14:00	102.35	100.32	101.40	102.22	105.49	108.61	108.57	108.83	106.70	104.52	102.26	102.91
14:00 - 15:00	103.19	101.83	102.14	104.37	106.48	109.08	108.88	109.12	107.27	104.96	103.80	103.29
15:00 - 16:00	104.84	103.03	104.15	104.78	106.93	109.54	109.67	109.82	108.28	105.75	104.74	104.22
16:00 - 17:00	105.97	104.35	106.40	106.51	107.72	109.11	110.40	110.40	109.44	107.53	106.65	105.49
17:00 - 18:00	108.51	106.74	108.70	108.66	109.44	111.00	111.00	111.00	111.00	110.88	109.29	107.67
18:00 - 19:00	111.00	110.60	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
19:00 - 20:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
20:00 - 21:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
21:00 - 22:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
22:00 - 23:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
23:00 - 24:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
Mensal	111.00	111.00	110.66	110.55	110.64	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00

Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos

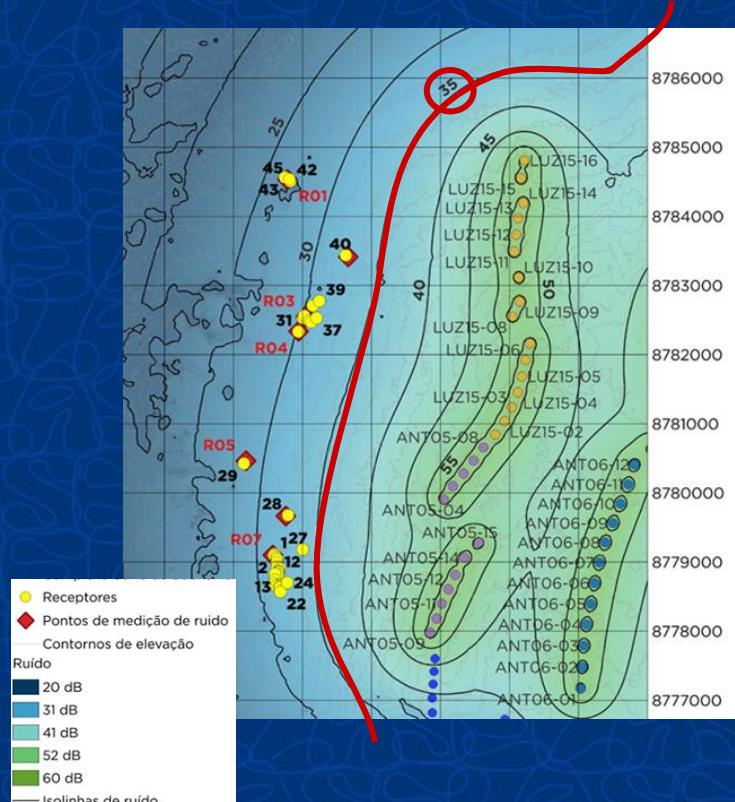


ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do **incremento** do nível de pressão sonora gerado pelo empreendimento.

Ventos Fracos	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)	Ruído total (dB)	Acréscimo (dB)
	001	26	31	32	1
	002	32	35	37	2
	003	34	30	35	5
	004	38	40	42	2

Ventos Fortes	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)	Ruído total (dB)	Acréscimo (dB)
	001	35	36	39	3
	002	38	42	43	1
	003	42	35	41	8
	004	45	46	49	3



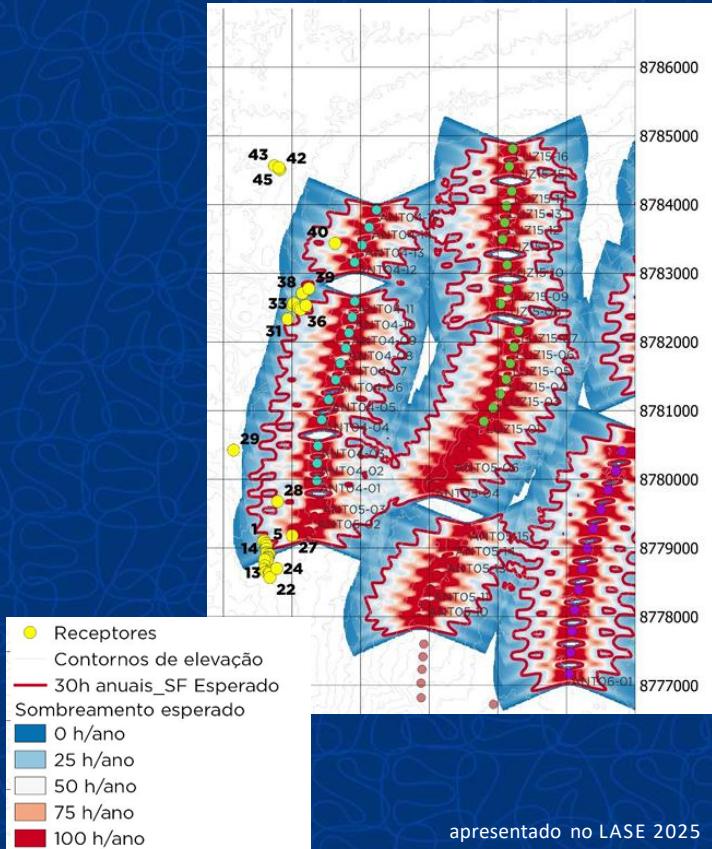
Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do **total anual** de horas de **sombreamento intermitente** em cada receptor.
- Alguns fatores afetam a existência do sombreamento:
 - Nos momentos em que o aerogerador não está orientado perpendicularmente ao vetor sol-rotor, há redução tanto na área quanto na duração do sombreamento;
 - O tempo nublado reduz a incidência solar e consequentemente a intensidade do sombreamento.

Receptor	Sombreamento anual (h/ano)
001	126
002	28
003	76



apresentado no LASE 2025



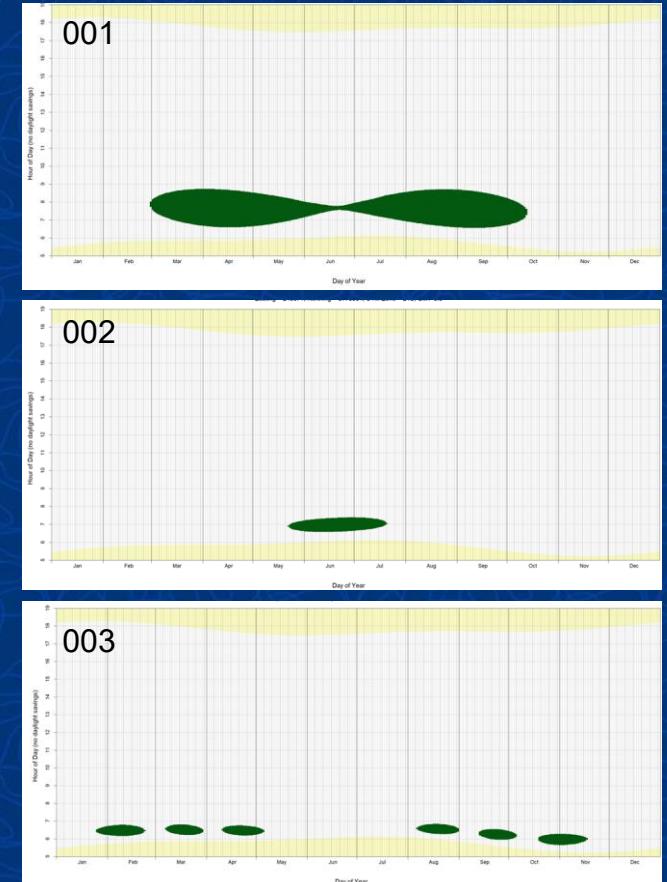
Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos

ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do total máximo de exposição ao **sombreamento intermitente** em um único dia em cada receptor.

Receptor	Sombreamento anual (h/ano)	Sombreamento diário (min/dia)
001	126	111
002	28	48
003	76	29

Mês	Cobertura média de nuvens	Período de céu limpo
Janeiro	66.93%	33.07%
Fevereiro	69.94%	30.06%
Marco	70.05%	29.95%
Abril	65.84%	34.16%
Maio	65.10%	34.90%
Junho	55.76%	44.24%
Julho	46.17%	53.83%
Agosto	42.81%	57.19%
Setembro	32.94%	67.06%
Outubro	42.67%	57.33%
Novembro	60.96%	39.04%
Dezembro	66.34%	33.66%





MEDIDAS DE MITIGAÇÃO - RUÍDOS

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

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

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

Monitoramento e Regulamentação: Medições de ruído e regulamentações locais ajudam a garantir que os níveis de ruído estejam dentro dos limites aceitáveis.

Distanciamento adequado com base em modelagem: Em condições normais, a atenuação do ruído ocorre de acordo com a lei da inversão quadrática, onde a intensidade do som diminui em aproximadamente 6 dB a cada duplicação da distância entre emissor e receptor.

MEDIDAS DE MITIGAÇÃO - SOMBREAMENTO

Software de controle das turbinas: Modelos de turbinas modernos possuem sensores que permitem interromper temporariamente o funcionamento quando a sombra atinge áreas sensíveis.

Planejamento e modelagem da localização das turbinas: Modelar com dados de relevo, residências e intensidade dos ventos contribuem para a melhor adequação da locação dos aerogeradores.

Barreiras naturais ou artificiais: Árvores, vegetação densa ou estruturas físicas podem bloquear a projeção da sombra intermitente.

Distanciamento adequado: Garantir um afastamento superior a 1 km das áreas residenciais reduz significativamente os impactos do efeito estrobo.



Fontes:

- 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 largescale 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., Polis, 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 N° 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-safetyguidelines](https://www.ifc.org/en/insights-reports/2000/general-environmental-health-and-safetyguidelines)
- Nota Técnica nº 5/2025/Cenef/CGTef/Dilic – (SEI nº 22601533) - Distanciamento de torres eólicas de assentamentos humanos a ser proposto na revisão da Resolução CONAMA 462/2014 - Documento SEI ([20791405](#)).

OBRIGADO.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E DA MUDANÇA DO CLIMA – MMA

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA - Diretoria de Licenciamento Ambiental

Eduardo Wagner

Eng. Civil Analista Ambiental

Coordenador de Licenciamento Ambiental de Geração Energia por Fontes Renováveis e Térmicas - COERT/CGTEF/DILIC/IBAMA
e-Mail: coert.sede@ibama.gov.br

Tel.: (61)-3316-1750



MARON AMBIENTAL

Bruna Oliveira

Eng. Ambiental MSc. Eng. Civil
Coordenador de Projetos

e-Mail: bruna@maronconsultoria.com.br
Tel.: (84) 99650-9725

