17ª edição

LASE

Ruído Ambiental em Complexos Eólicos



Roteiro do minicurso

Módulo 1 · Contexto e fundamentos da acústica

Módulo 2 · Normas e critérios de avaliação

Módulo 3 · Percepção, desafios e gestão integrada

Módulo 4 · Caracterização do ruído: estudo de caso

Módulo 5 · Mitigação na prática

Módulo 6 · Desafios da implementação e espaço aberto para discussões



Apresentações

Jarbas Amaro

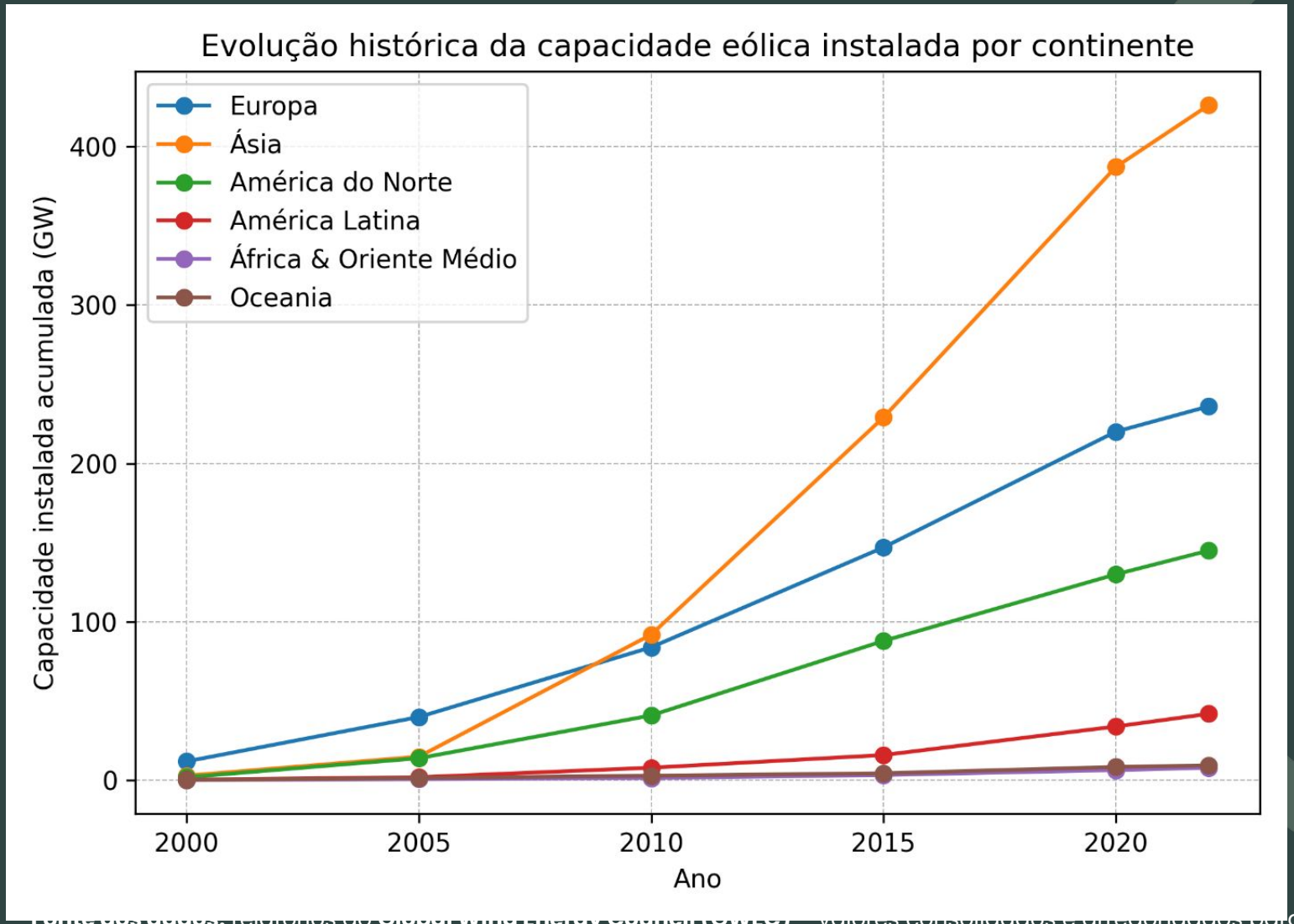


É Gerente de Sustentabilidade na Auren Energia, com mais de **20 anos** de experiência na área, formado em **Química e Gestão Ambiental** com pós-graduações em Engenharia de **Processos e Saúde e Segurança do Trabalho**, além de MBA pela FGV. é **mestre em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável**, com pesquisa dedicada à **mitigação de ruído ambiental** em complexos eólicos no Instituto de Pesquisas Ecológicas (ESCAS-IPE) em parceria com a UFMG.

Módulo 1

Contexto e fundamentos da acústica

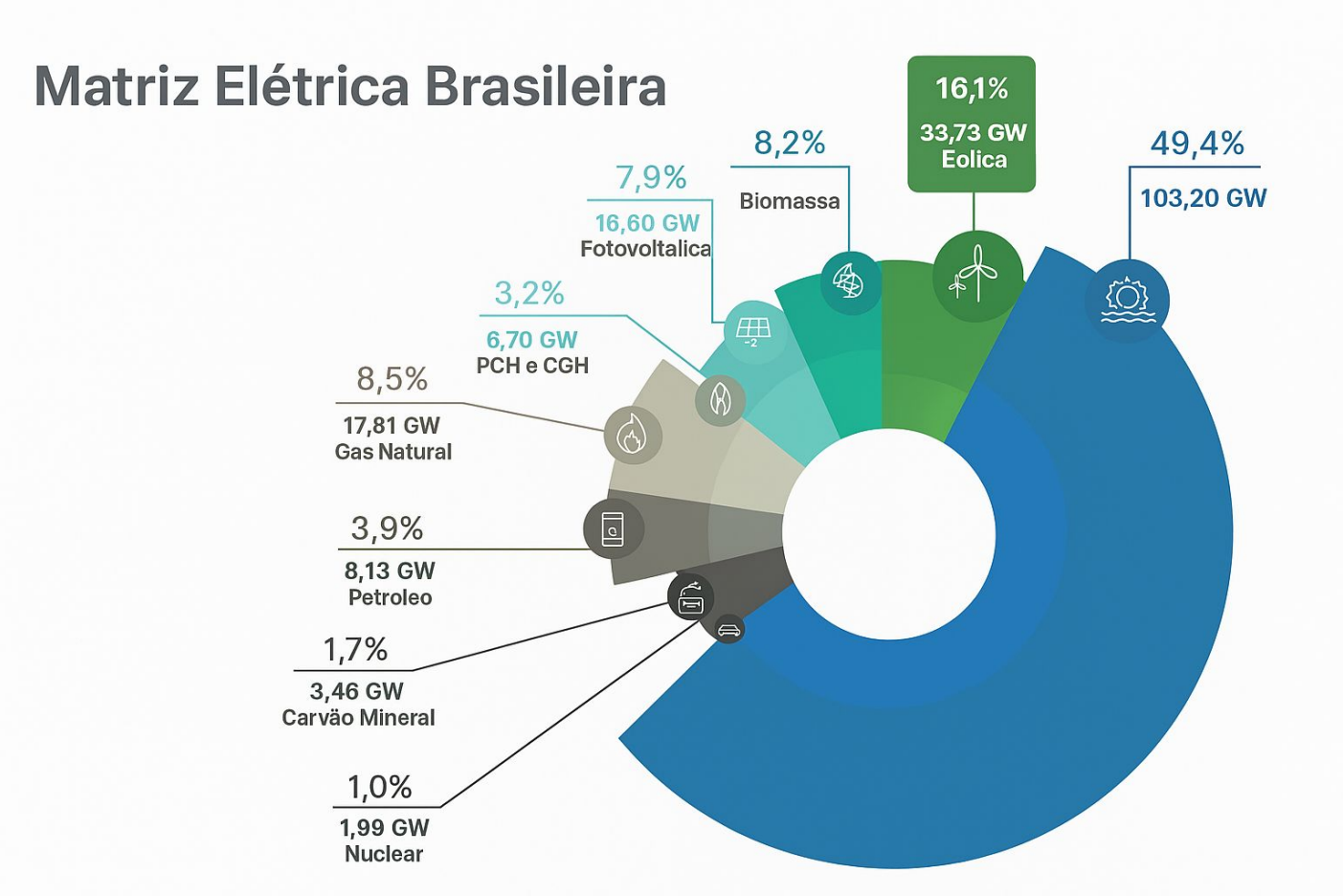
Contexto | Evolução histórica da capacidade eólica



Evolução histórica da capacidade eólica instalada por continente, evidenciando a **liderança inicial da Europa** e a posterior **ascensão da Ásia** como principal polo de expansão da energia eólica em escala global. Observa-se ainda o **crescimento consistente da América do Norte e a expansão recente da América Latina**.

Fonte dos dados: relatórios do **Global Wind Energy Council (GWEC)** — valores consolidados e arredondados para fins acadêmicos (2000–2022).

Contexto | Evolução histórica da capacidade eólica



Em 2024, o Brasil encerrou o ano com 33,7 GW de potência instalada, distribuídos em 1.103 usinas, representando 16,1% da matriz elétrica nacional (Abeeolica, 2024).

O que é ruído ambiental



Compreender o **RUÍDO AMBIENTAL** em parques eólicos vai além da medição objetiva em decibel (dB)

Envolve integrar variáveis técnicas:

Físicas	Sociais	Ecológicas	Psicoacústicas

Considerando fatores como

- Condições meteorológicas
- Ecológicas
- Distâncias
- Padrões de ocupação territorial

E, sobretudo, a percepção humana

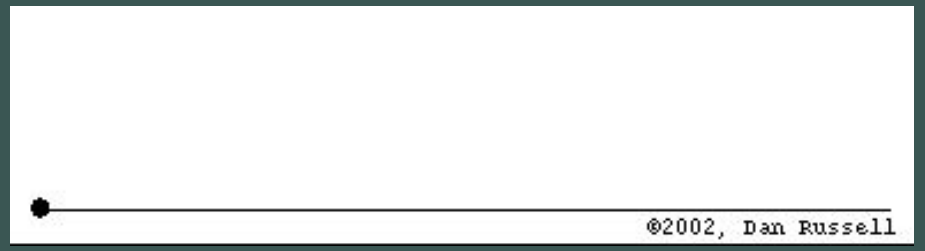
Não se limita à intensidade sonora, mas abrange:

- Significado e Contexto
- Vulnerabilidade socioambiental
- Modelo Construtivo das Residências

Fonte: Hansen et al., 2017.

O que é o som? Como é gerado?

Ondas mecânicas que se propagam pelo ar em razão de pequenas alterações provocadas na pressão atmosférica – ondas sonoras (20 Hz – 20 kHz).





Som:
vibrações do ar audíveis

Ruído:
som que incomoda - sensação sonora desagradável

▼ Variação menor que 3 dB:
Dificilmente é notada pelo ouvido humano.

▲ Variação de 5 dB:
Um acréscimo de 5 dB é percebida como uma alteração moderada no volume sonoro.

▲ ▲ Variação de 10 dB:
Um acréscimo de 10 dB é percebida como uma duplicação do volume sonoro.

Como o som é medido?

Do ponto de vista físico, som e ruído correspondem ao mesmo fenômeno: flutuações da pressão atmosférica em torno de um valor médio.

O som provoca **pequenas variações de pressão no ar**, chamadas de **pressão sonora**, medidas em **Pascal (Pa)**.
Como esses valores são muito pequenos, usa-se como referência o valor **20 µPa**, que representa o som mais fraco que o ser humano consegue ouvir.

Para facilitar a comparação dos sons e se aproximar da forma como o ouvido percebe o som, essa pressão é convertida para a escala de **decibéis (dB)**, que é **logarítmica**:

$$L_p = 20\log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

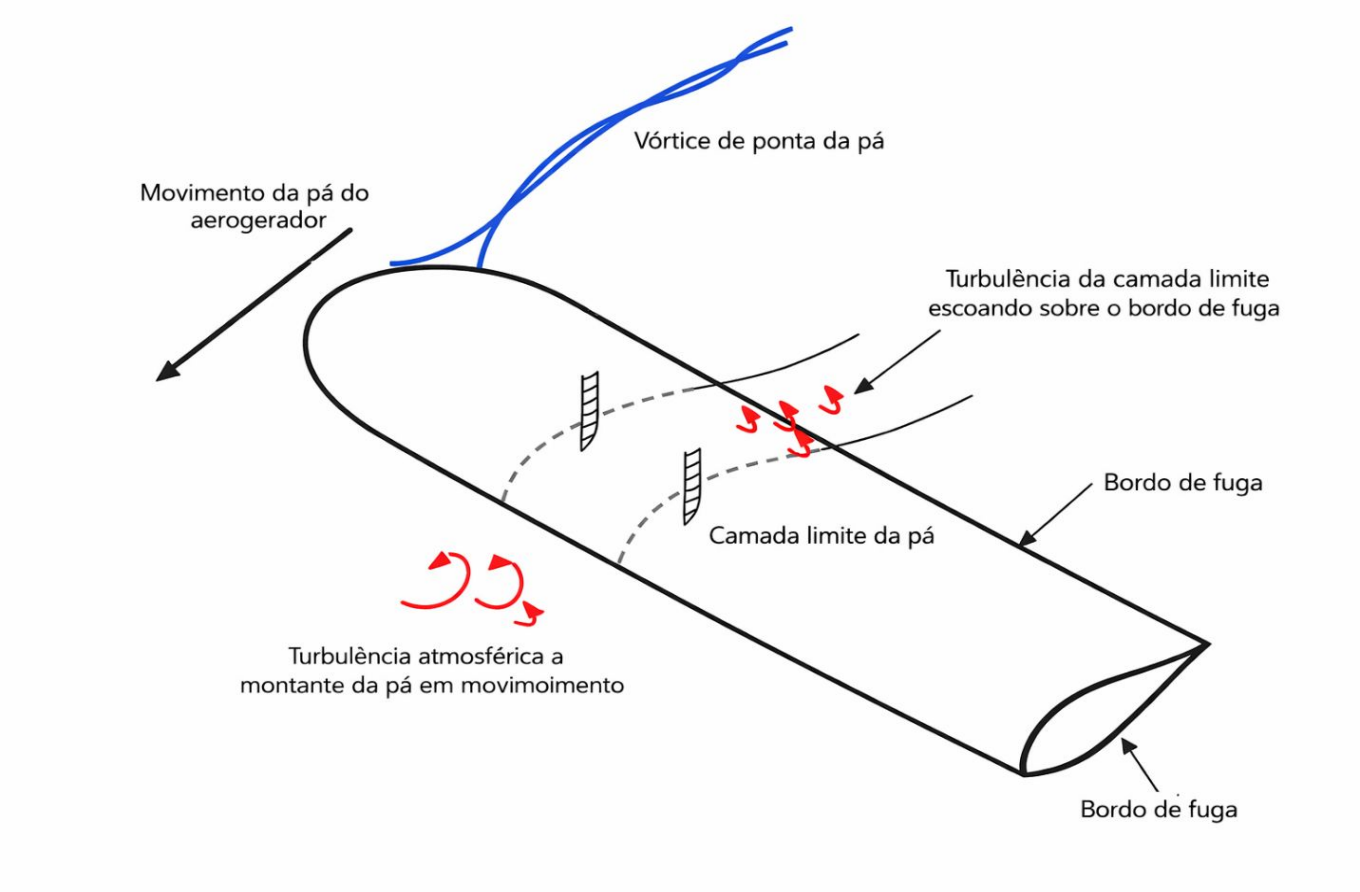
Essa conversão é necessária porque **a energia do som cresce muito rápido**, sendo proporcional ao **quadrado da pressão sonora**:

$$E \propto p^2$$

Assim, o decibel permite representar sons fracos e fortes de forma simples e compreensível.

Mecanismos físicos de geração do ruído em parques eólicos

Fundamentos de dinâmica dos fluidos e aeroacústica



Fonte: Adaptado de (Hansen et al., 2017), (Doolan et al., 2012; Hansen et al., 2017)

A geração de ruído em parques eólicos está fundamentalmente associado a Dinâmica dos Fluidos e à sua conversão em ondas acústicas, processo estudado no campo da aeroacústica. **O ruído aerodinâmico é a principal fonte de emissão sonora**, superando as contribuições de origem mecânica.

Conceitos - Acústica ambiental

Som Residual
É o nível de pressão sonora existente em um determinado local e momento, na ausência da fonte sonora específica que se deseja avaliar, composto por todas as outras fontes sonoras que não são o objeto principal da avaliação.

Som específico
É um componente identificável, mensurável e distinto dentro do conjunto de sons gerais. Ele se destaca por ter uma fonte reconhecível e características acústicas próprias, como som do aerogerador.

Som Total
Som existente em uma dada situação e em um dado instante, resultante da contribuição de todas as fontes sonoras.



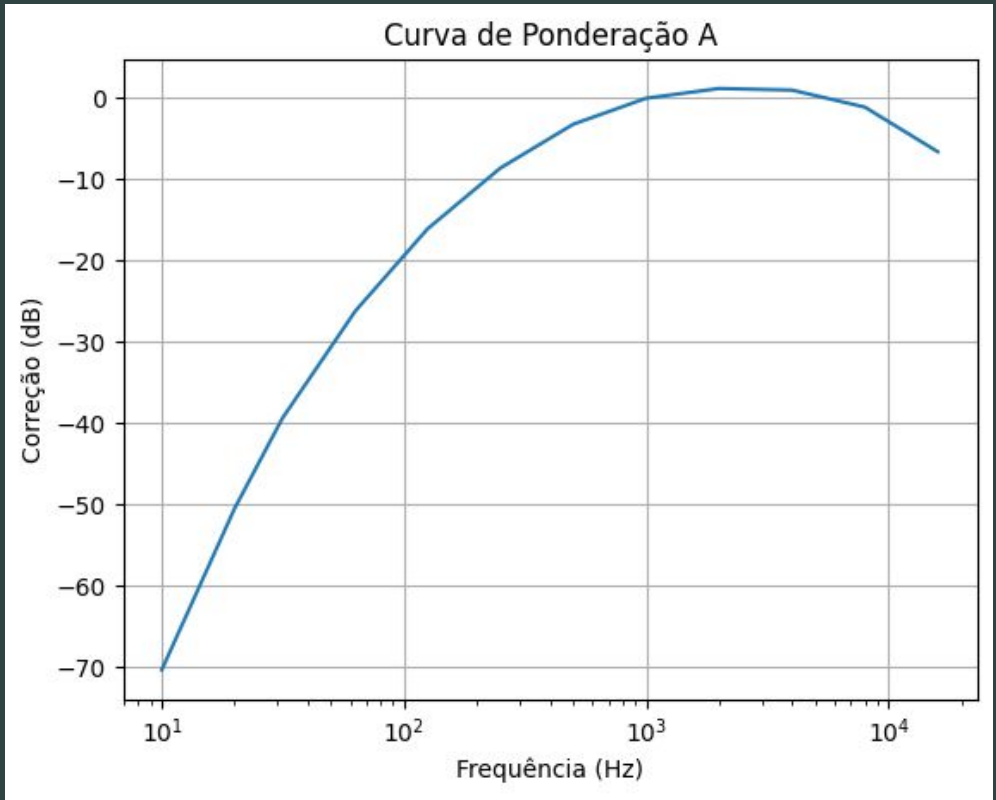
Nível Sonoro
É a representação adimensional de uma grandeza sonora (ou outras) em escala logarítmica, expressa em decibel (dB)

Pressão sonora ponderada em A (dB)
A pressão sonora ponderada em A (dB) é uma forma de medição de som que simula a percepção do ouvido humano.

Fonte: ABNT NBR 10.151/2019 e ABNT NBR 16313/2025

Conceitos – Acústica ambiental

A percepção do som pelo ouvido humano varia significativamente em função da frequência. Para representar essa característica fisiológica, utilizam-se curvas de ponderação em frequência, aplicadas aos níveis de pressão sonora medidos.



A **ponderação A**, resultando no nível de pressão sonora L_A [dB(A)], simula a sensibilidade do ouvido humano. Essa curva atenua de forma significativa as baixas frequências e, em menor grau, as altas frequências, enfatizando a faixa entre aproximadamente 1 kHz e 5 kHz, onde a audição humana é mais sensível. Por essa razão, a ponderação A é amplamente adotada em normas técnicas e legislações ambientais para a avaliação de incômodo sonoro, incluindo a análise do ruído de aerogeradores.

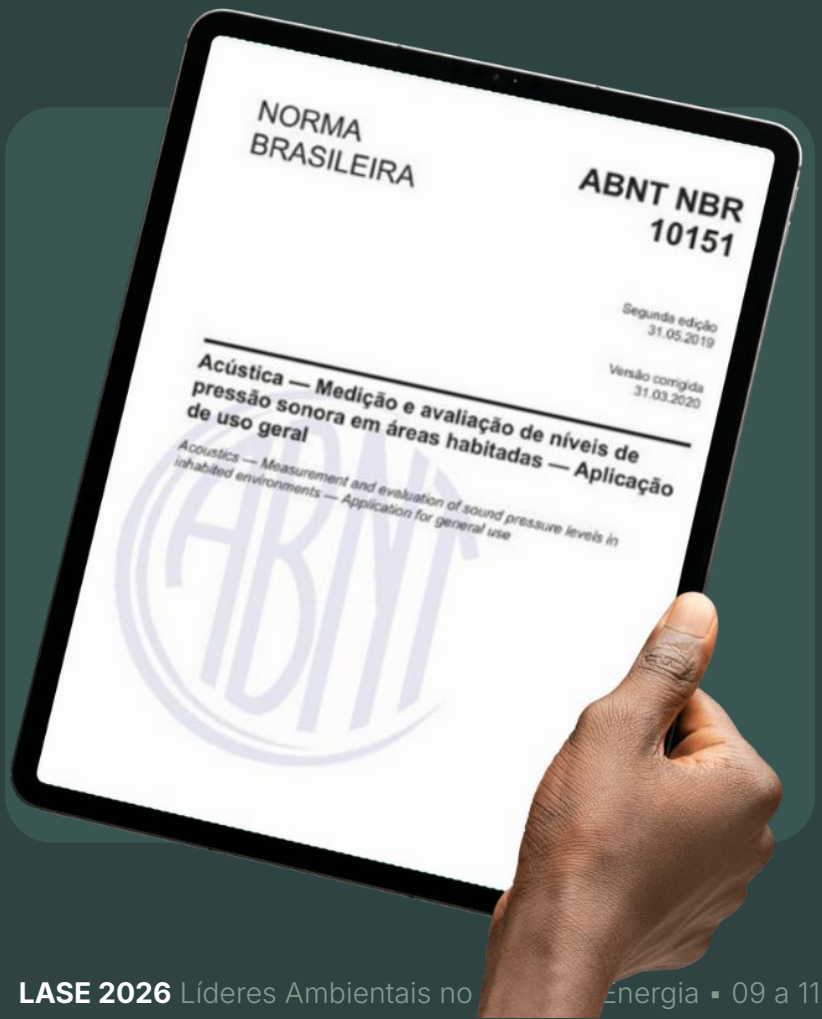
Fonte: ISO 226, 2003; IEC 61672-1, 2013; ABNT, 2019

Módulo 2

Normas e critérios de avaliação

ABNT NBR 10.151 – Pressão sonora em áreas habitadas

A NBR ABNT 10.151 é uma norma técnica brasileira que estabelece os procedimentos para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade.



A norma estabelece critérios para avaliação do ruído em diferentes tipos de áreas, levando em consideração fatores como:

- Tipo de som (contínuo, intermitente e impulsivo)
- Características espectrais
- Horário de ocorrência
- Nível de som residual

A NBR 10.151 é utilizada para:

- Avaliar o impacto do ruído em áreas habitadas
- Estabelecer medidas de controle de ruído
- Verificar o cumprimento de limites de ruído estabelecidos por lei
- Realizar estudos de adequação acústica

CONAMA nº 1/90

Critérios e padrões para a emissão de ruídos

A Resolução CONAMA nº 1/90, publicada em 8 de março de 1990, estabelece critérios e padrões para a emissão de ruídos de diversas atividades.

Principais pontos da Resolução CONAMA nº 1/90:

- **Padrões de emissão de ruídos:** Define que a emissão de ruídos de atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas deve seguir os padrões, critérios e diretrizes estabelecidos na norma ABNT NBR 10.151.



ABNT NBR 10151:2019 | Limites ambientais

Tipos de áreas habitadas	RL_{Aeq} limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Diurno	Noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospital ou de escolas	50	45
Área mista predominante residencial	55	50
Área mista com predominância de atividade comerciais e/ou administrativas	60	55
Áreas mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Base legal: CONAMA nº 1/90

Torna a NBR 10.151 o padrão obrigatório para o ruído de atividades

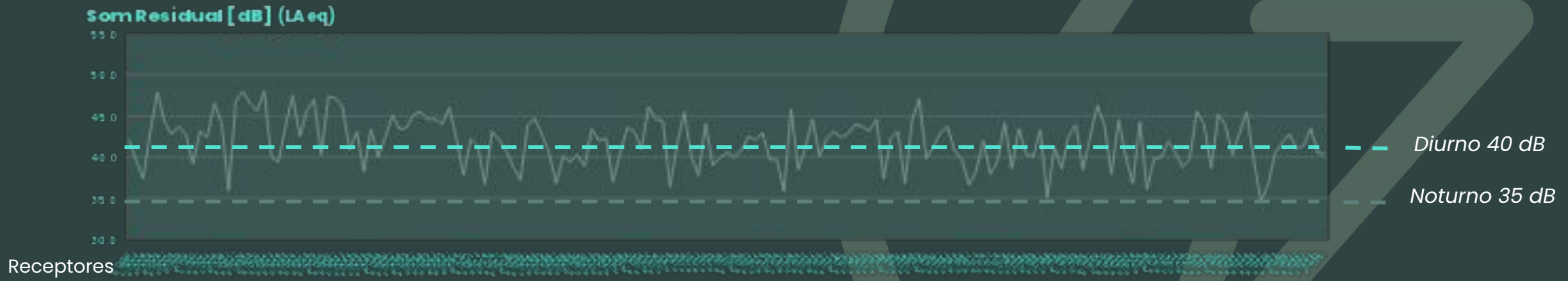
Em conformidade com a ABNT NBR 10.151:2019 (versão corrigida 2020), os limites de referência dos níveis de pressão sonora adotados, RL_{Aeq}

Para o período diurno (entre 07:01h e 22:00h) e no período noturno (entre 22:01h e 7:00h).

L_{Aeq} é a abreviação para Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente Ponderado em A.

Som Residual – Importância

As medições foram conduzidas sob condições de vento com velocidade acima das médias anuais (7,4 m/s). Todos os aerogeradores foram desligados em distâncias de até 1 km do ponto de medição.



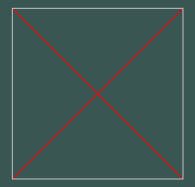
O nível de som residual medido variou de **34,6 dB a 48,0 dB** com uma média aritmética de **41,9 dB**

66% dos pontos monitorados registraram o nível de som residual acima de **40 dB**

100% Acima **35 dB**

LAeq é a abreviação para Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente Ponderado em A. (complexo Eólico Santa Brígida)

Som Residual – Importância



$\Delta L \leq 3$ dB

Diferença entre som total e som residual (ABNT NBR 10.151:2019)

- **Fonte não identificável:** não é possível determinar a contribuição da fonte no som total
- **Aerogeradores não predominantes:** nesse caso, o som dos aerogeradores não domina o som total
- **Limiar reconhecido:** literatura e normas internacionais adotam 3 dB como mínimo confiável
- **Incerteza elevada:** abaixo de 3 dB, a medição não permite atribuir o nível à fonte

Infrassom em aerogeradores modernos

Som abaixo de 20 Hz, que o ouvido humano não percebe, é tema recorrente nas discussões de impactos eólico

O que é

Onda sonora com frequência **abaixo de 20 Hz**, o limite inferior da audição humana

Como se avalia

A NBR 10.151 não traz método para baixa frequência. A referência é a **DIN 45.680**[1]

LCeq - LAeq ≤ 20 dB: sem característica de infrassom

O que a evidência diz

Em 10 casas a 88–500 m do parque: **10 a 18 dB, abaixo de 20**[2,3]

NASA: o infrassom vinha de **modelos antigos**, com rotor atrás da torre[4]

Conclusão: aerogeradores modernos não apresentam característica de infrassom. O foco da gestão é o ruído audível.

[1] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 45680: Measurement and evaluation of low-frequency environmental noise. Berlin, 1997.
[2] SOUZA FILHO, J. .; VECCI, M. A.; UEZU, A.; CELESTINO, L. F. Infrassom e ruído de baixa frequência em parques eólicos. XXXI Encontro da Sobrac, 2026.
[3] SOUZA FILHO, J. A. Ruído ambiental no setor eólico: caracterização e mitigação. Dissertação (Mestrado Profissional), ESCAS/IPÊ, Nazaré Paulista, 2026.
[4] OLD, I. What goes around comes around: acoustical research on the NASA turbines in today's infrasound debate. Noise News International, INCE, set. 2026.

Análise do Infrassom | Resultados Práticos

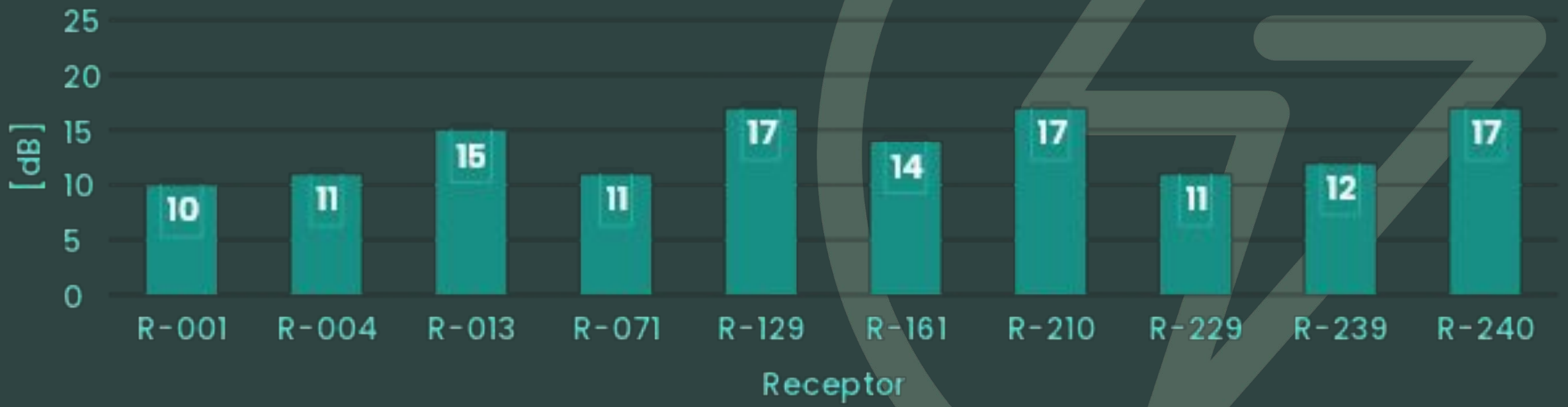


Figura – Diferença LCeq–LAeq por receptor, com linha de referência de 20 dB (DIN 45680:1997).

Fonte: Adaptado de Relatório Técnico RT-41/25. (2025).

Módulo 3

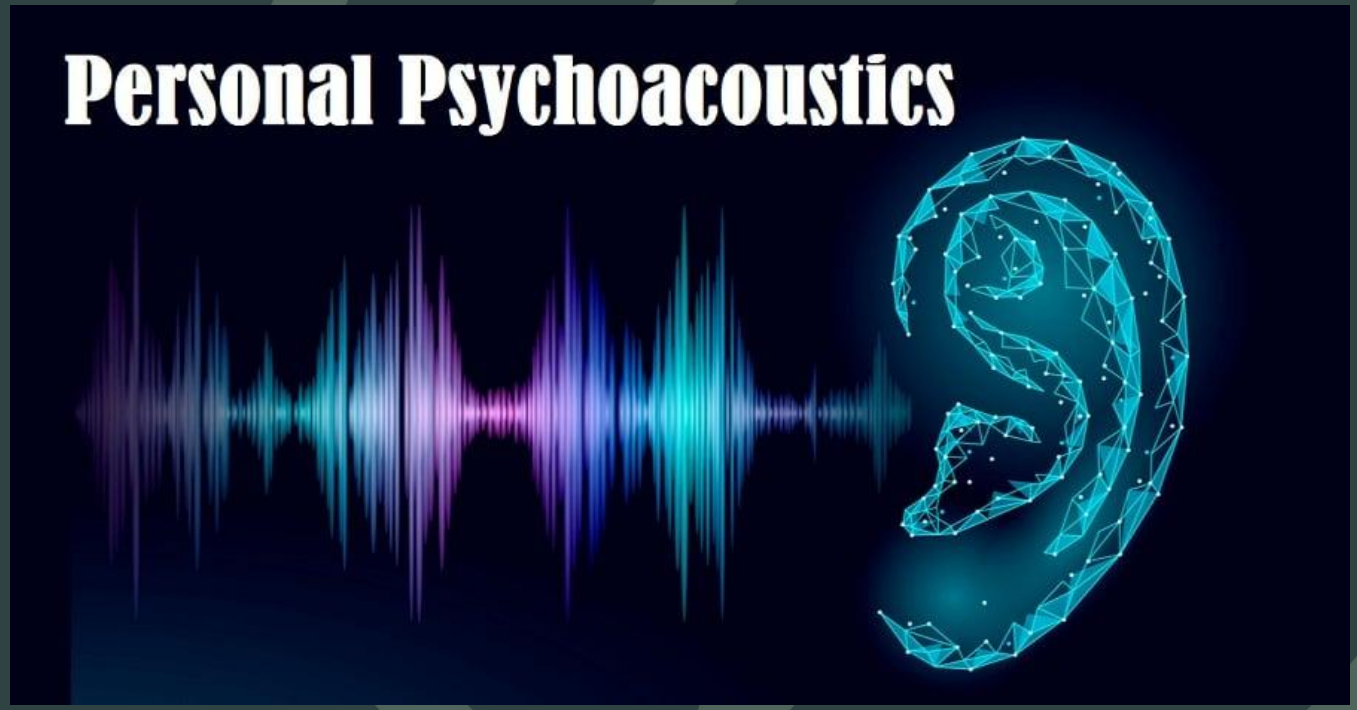
Percepção, desafios e gestão integrada

Importância da percepção sonora

Aspectos psicossociais e psicoacústicos do ruído

O incômodo causado pelo ruído vai além dos critérios físicos: depende também da percepção individual e coletiva.

Por que importa: entender esses fatores é indispensável para analisar o impacto sonoro e buscar soluções.[1]



Fatores subjetivos que influenciam o incômodo

- **Sensibilidade pessoal**
- **Confiança no empreendimento**
- **Relação histórico-social**
- **Condições culturais**

[1] Fonte: Schroeder, Berlin et al., 1999

Os desafios

Fatores regulatórios, técnicos e sociais que elevam a complexidade da gestão

Lacuna normativa

NBR 10151 é genérica, sem critérios para eólicas

Paisagem sonora

Ruído residual interfere na medição do parque

Aspectos técnicos

Execução da caracterização sonora e coleta em campo

Critério de distância

Impacto não se define por raio fixo

Percepção e confiança

Percepção do impacto depende da gestão social

Definir plano de ação

Gestão do ruído ambiental exige plano integrado

Conhecer para decidir

Qualidade dos dados e paisagem sonora exigem caracterização sonora antes de decidir

1 O lugar

Que som já existe ali?

Medir o som residual e a paisagem sonora antes de atribuir qualquer ruído ao parque

2 A fonte

Quanto o parque emite de fato?

Medir a emissão no próprio parque, por faixa de vento, além do catálogo

3 O modelo

Quanto chega a cada casa?

Simular a propagação e conferir o resultado com medições em campo

Com dados medidos, cada casa recebe a gestão certa: monitorar, mitigar ou realocar.

Raio fixo x zoneamento

O critério de distância dá lugar à decisão pelo nível sonoro que chega a cada casa

Raio fixo
mede a distância

- Supõe que o som cai igual em todas as direções
- Ignora relevo, vento, vegetação e turbinas
- Não confere nada em campo
- Trata igual todas as distancias dentro do raio
- Pode gerar realocações desnecessárias, sem base técnica socioambiental

Zoneamento variável
mede o som

- Calcula o nível em cada casa com o modelo calibrado
- Usa um limiar técnico: norma + margem de incerteza e de percepção de impacto
- Confere o modelo com medições em campo
- Decide casa a casa: mitigar e monitorar, ou realocar

Método: a distância é uma das variáveis. Quem define a gestão de cada casa é o nível sonoro que chega até ela e a percepção de impacto.

Compreender para gerir

Nenhuma dimensão, considerada isoladamente, explica o impacto do ruído ambiental

A fonte	O território	As pessoas
• Emissão real, por faixa de vento • Propagação modelada e validada em campo	• Paisagem sonora e som residual • Vegetação nativa, clima e vento • Modelo construtivo das residências	• Sensibilidade individual e saúde • Histórico de relação com o empreendimento • Histórico social

A compreensão do ruído requer uma abordagem sistêmica, em que fatores físicos, ambientais, territoriais e sociais determinam a exposição e a forma como ela é percebida.

Roadmap do ruído ambiental em complexos eólicos

1. Fatores de Geração de Ruído ambiental:

- Tipo de máquina;
- Tipo de pá;
- Variações do Ângulos de ataque;
- Frequência de rotação;
- Aerodinâmica (serrilhados, pontas, aerofólios)
- Efeito de esteira e fluxo do vento;
- Estol;
- Frequências sonoras;
- Potência sonora;
- Infrassom.



2. Fatores Ambientais:

- Topografia e vegetação;
- Clima; (vento, umidade, temperatura, pressão)
- Uso e ocupação do solo;
- Dinâmica da paisagem;
- Pressão sonora. (total, especifico, residual)

3. Fatores Humanos:

- Dinâmica social;
- Histórico com o empreendimento; (favorável, neutro, contrário)
- Fatores de saúde;
- Percepção individual; (incluindo irritabilidade)
- Histórico com o território;
- Tipo de moradia (modelo construtivo)

Resultados

Análise Integrada socioambiental

Plano de Ação → Implementação → Avaliação → Resultados

Fonte: SOUZA FILHO, J. A. Ruído ambiental no setor eólico: caracterização e mitigação. Dissertação (Mestrado Profissional), ESCAS/IPÊ, Nazaré Paulista, 2026.

Módulo 4

Caracterização do ruído: estudo de caso

Contexto

25 abril 2024



VIEX

Objetivo

- Estudar a propagação sonora utilizado **simulações numéricas computacionais** envolvendo todos os aerogeradores do Complexo simultaneamente.

- Apresentar os resultados em forma de **Mapas Sonoros** e **receptores pontuais** no entorno dos Aerogeradores.

- Os **descritores sonoros** obtidos nas simulações computacionais são analisados para **caracterizar os impactos gerados no entorno**, bem como para avaliar medidas de **controle e/ou mitigação** e fundamentar programas de monitoramento para o empreendimento.



ISO 9613 - ACÚSTICA — Atenuação do som durante a propagação ao ar livre

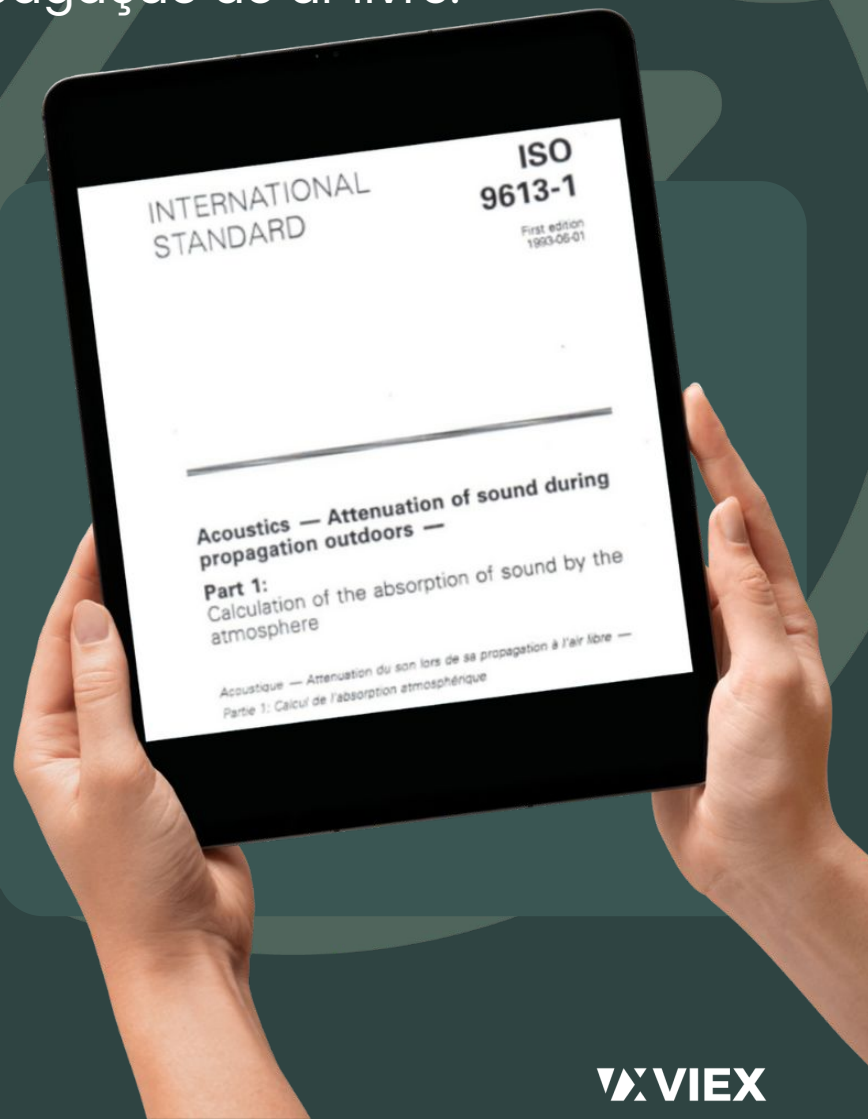
A norma ABNT NBR ISO 9613 é uma norma internacional que estabelece o método de engenharia para calcular a atenuação do som durante sua propagação ao ar livre.

ISO 9613-1:

Foca no cálculo da **absorção sonora** pela atmosfera, considerando variáveis como frequência, **temperatura** e **umidade**.

ISO 9613-2:

Apresenta um método geral de cálculo que incorpora os principais mecanismos de atenuação do **som ao ar livre**, como a **divergência geométrica** (espalhamento do som com a distância), o **efeito** do **solo** (absorção e reflexão), **barreiras acústicas** (difração) e **condições meteorológicas** (vento e gradientes de temperatura).



Em resumo, a ISO 9613 fornece uma metodologia para simular e prever o impacto acústico de fontes de ruído em ambientes externos, auxiliando no planejamento e controle da poluição sonora.

Metodologia – Caracterização do ruído ambiental

O **modelo utilizado** na simulação é constituído de uma representação espacial do ambiente, juntamente com as propriedades acústicas das fontes de emissão de som nele inseridos.

A **representação espacial do ambiente** é composta pelas dimensões físicas das edificações existentes, da topografia local, da temperatura do ar, da direção predominante dos ventos, dos tipos de cobertura do solo, dentre outros itens.

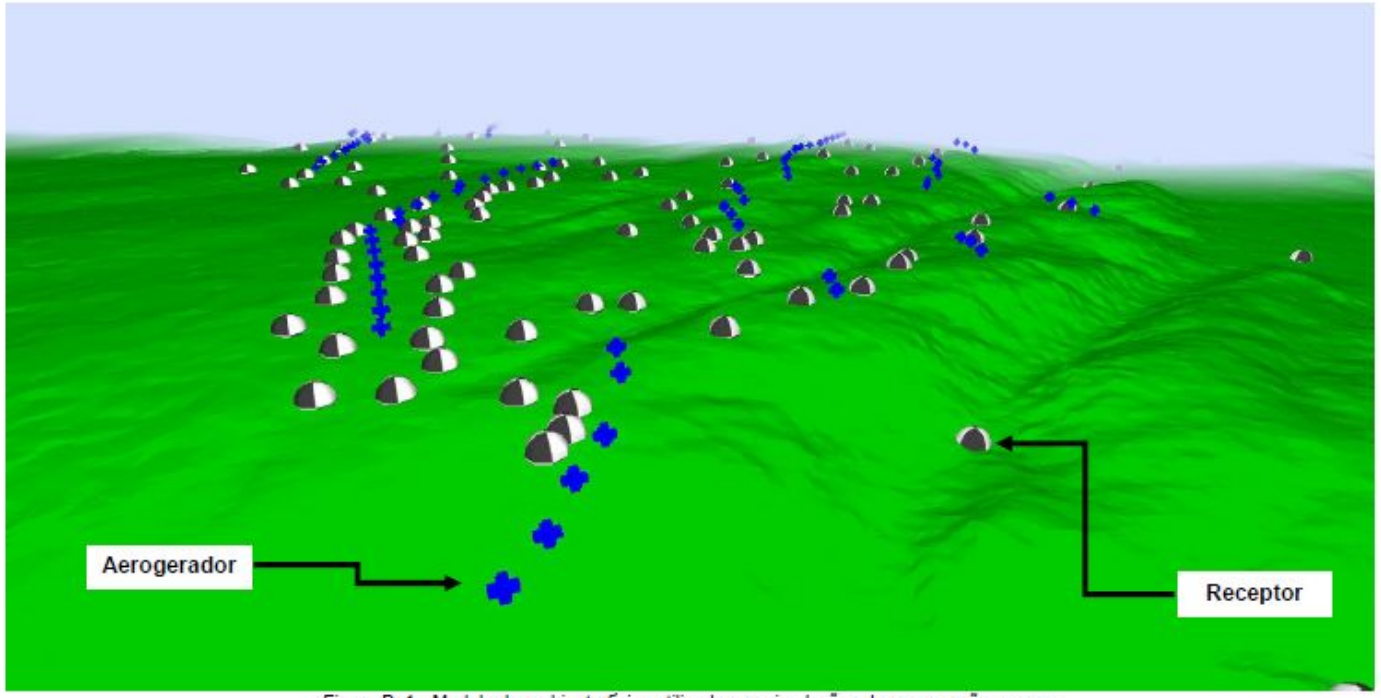
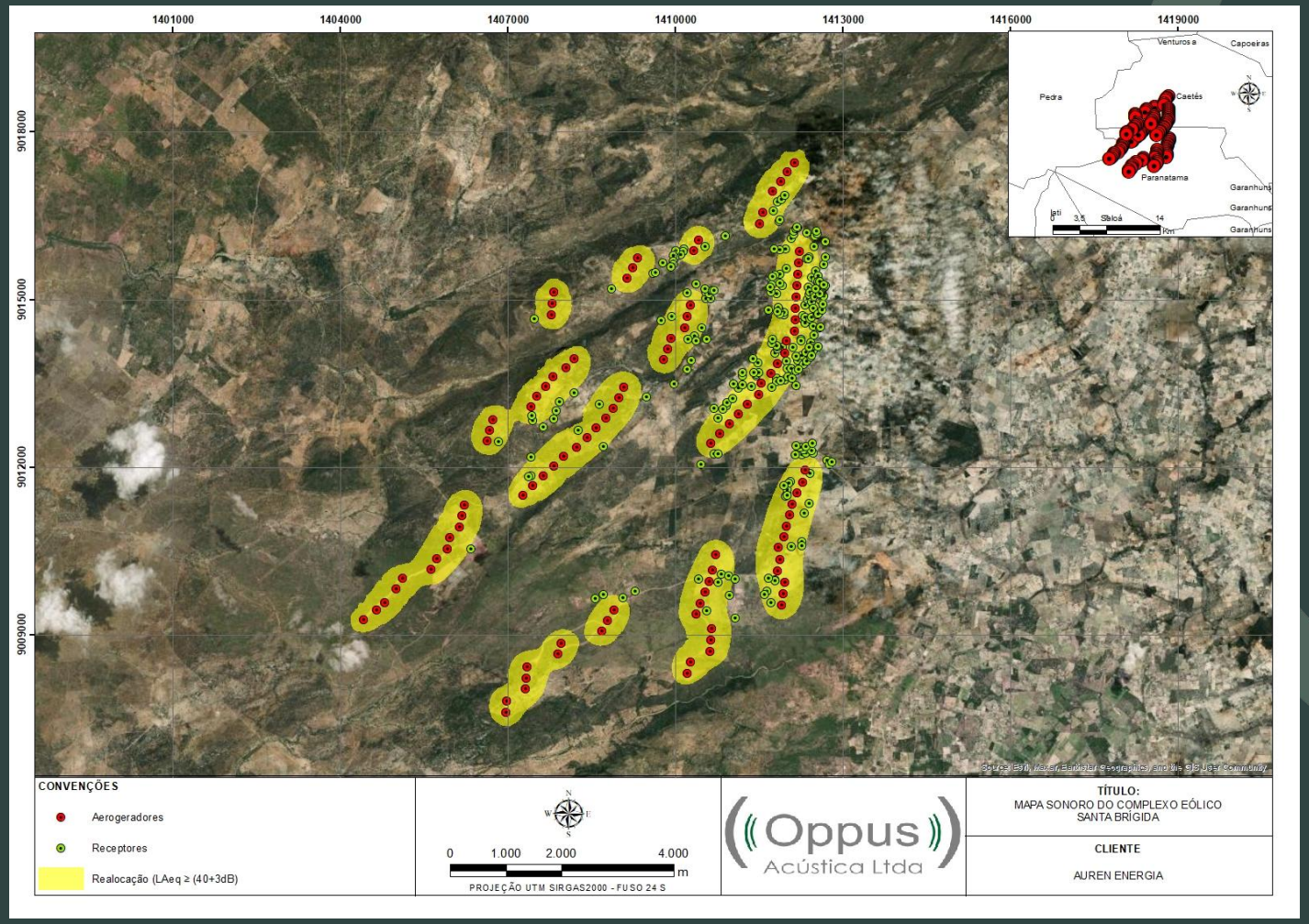


Figura B. 1 - Modelo do ambiente físico utilizado nas simulações de propagação sonora.

As fontes emissoras de som, representadas pelas suas potências sonoras (níveis e espectros), suas geometrias, dimensões físicas e posicionamentos exatos no modelo computacional.

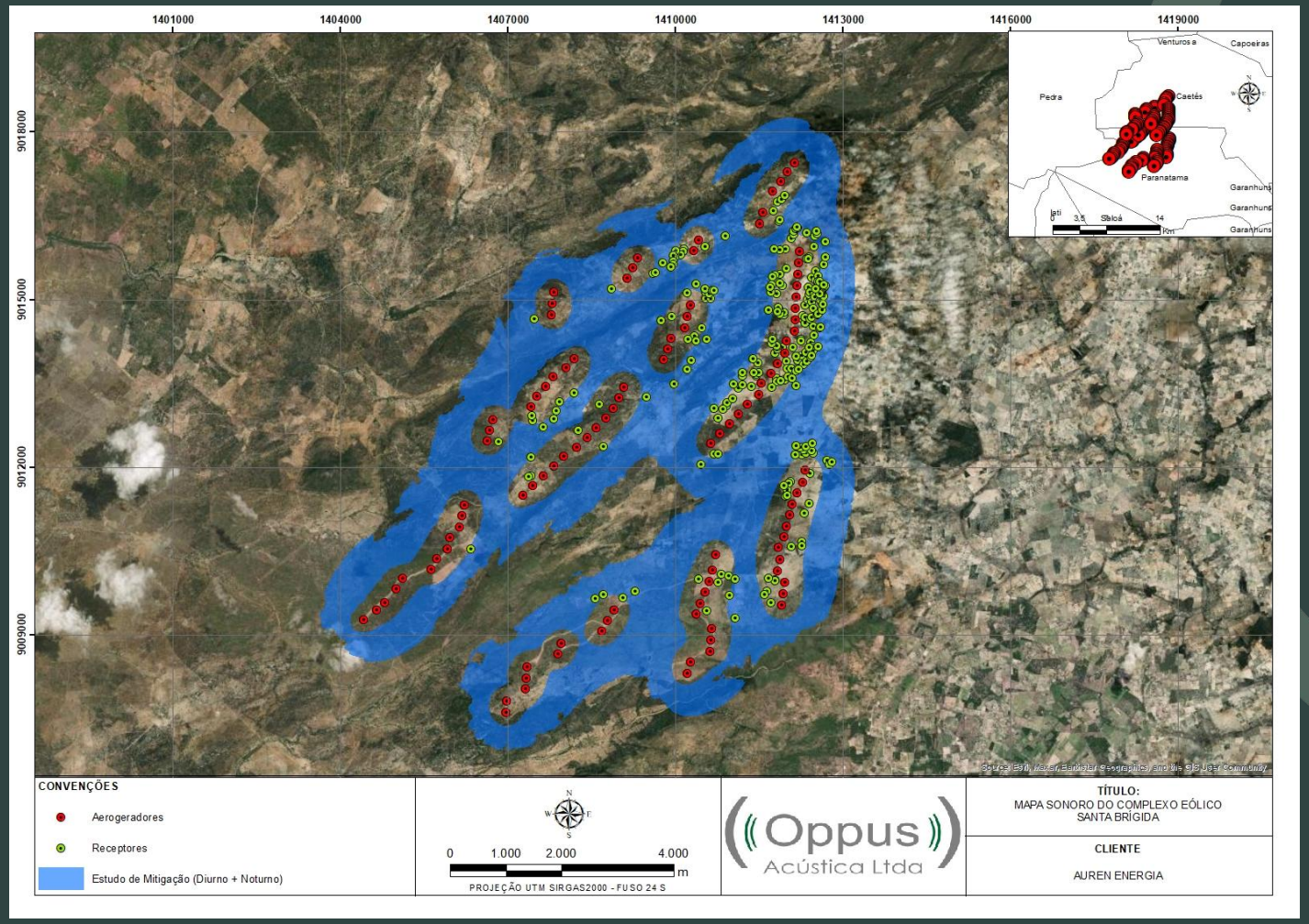
As potências das fontes foram determinadas através de **medições de potências sonoras**, no empreendimento.

Mapa de Caracterização Ruído Ambiental – Proposta de Realocação Assistida



Estimativa de incerteza caracterização do ruído ambiental U = ± 5 dB, calculada com base no WG-AEN (European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise).

Mapa Caracterização Ruído Ambiental – Área de Estudo Mitigação



Estimativa de incerteza caracterização do ruído ambiental U = ± 5 dB, calculada com base no WG-AEN (*European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise*).



Validação do estudo

O estudo de caracterização do ruído ambiental foi conduzido em conformidade com os procedimentos estabelecidos na norma **ISO 9613**, resultando na elaboração de **mapas de propagação** da potência sonora emitida pelos aerogeradores na área de influência do Complexo Eólico Santa Brígida.

Validação de Resultados: **97%**

Dos resultados medidos *in loco* estão dentro da incerteza do estudo de caracterização do ruído.

169 pontos avaliados: Estimativa de incerteza caracterização do ruído ambiental U = ± 5 dB, calculada com base no WG-AEN (*European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise*). *Position Paper. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*. 2007.

Módulo 5

Mitigação na prática

Como mitigar

Antes de realocar, é possível mitigar em **três frentes: na fonte, no caminho e na casa**

Na fonte

Manutenção adequada e tecnologias de pá, como serrilhas no bordo de fuga

+4,0 a +7,1 dB da potência de catálogo para a real[1]

No caminho

Conservar e restaurar a vegetação nativa entre o parque e as casas

−0,77 dB a cada +0,1 de NDVI[2]

Na casa

Forro, manta acústica e esquadrias com vedação, solução de baixa complexidade

+16 e +19 dB no isolamento da fachada



Casa 124 · antes 6 dB



Casa 124 · depois 22 dB



Casa 233 · antes 6 dB



Casa 233 · depois 25 dB

Na casa, na prática

Isolamento da fachada passou de **6 dB para 22–25 dB**

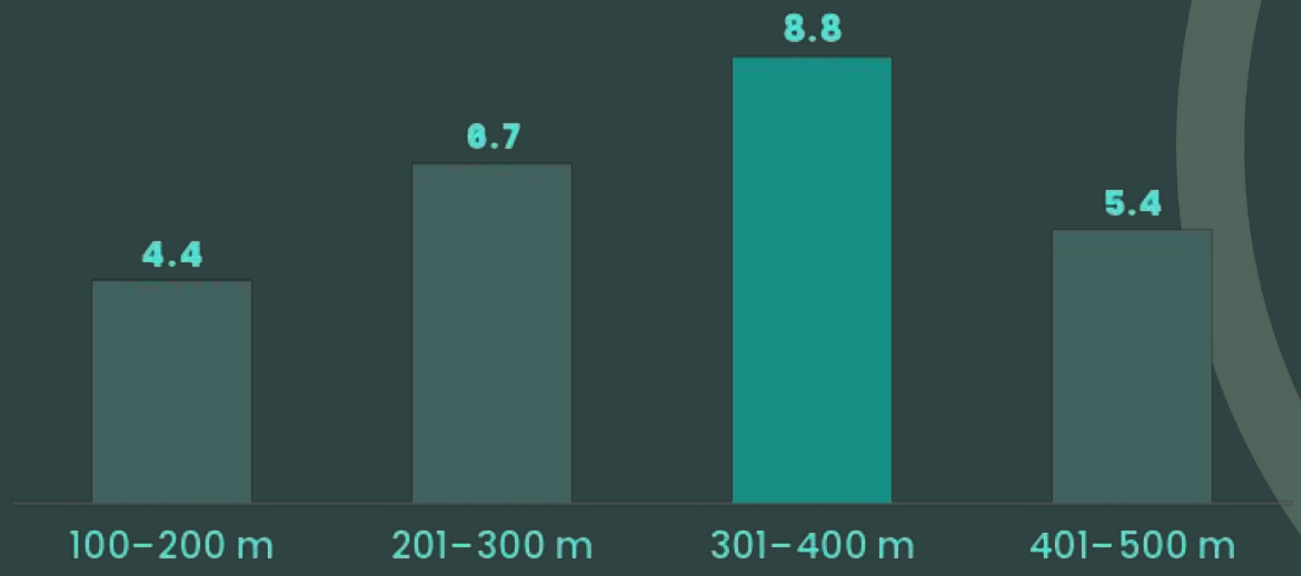
Após a reforma, os moradores **deixaram de perceber o incômodo, reduz a percepção de impacto.**

[1] SOUZA FILHO, J. A. Ruído ambiental no setor eólico: caracterização e mitigação. Dissertação (Mestrado Profissional), ESCAS/IPÊ, Nazaré Paulista, 2026.
[2] SOUZA FILHO, J. A. Effect of vegetation cover on wind turbine noise propagation in the Caatinga biome, Brazil. Inter-Noise 2026, Adelaide, 2026.

Vegetação nativa reduz o ruído que chega às casas

Uma camada natural que **complementa** a mitigação de ruído[1]

Redução projetada com vegetação plena, por distância à torre, dB(A)



-0,77 dB a cada +0,1 de NDVI
Efeito medido em 225 casas, já descontados distância e vento

até -8,8 dB entre 301 e 400 m
Faixa em que a vegetação mais atenua o som do parque

Medida Complementar
Somar atenuação às demais medidas e ainda conserva/ restaura a Caatinga

Conservar e restaurar a Caatinga no entorno das casas: solução baseada na natureza para o ruído

NDVI: índice de densidade da vegetação medido por satélite (Sentinel-2). Projeções teóricas, lineares na faixa de NDVI observada (0,20–0,78); estação chuvosa.
[1] SOUZA FILHO, J.; VECCI, M.; UEZU, A.; CELESTINO, L. Effect of vegetation cover on wind turbine noise propagation in the Caatinga biome, Brazil. Inter-Noise 2026.

VIEX

Proposta de Plano de Ação – Mitigação Ruído

Proposta de soluções individualizadas para 100 % das famílias na área de influência direta do complexo eólico.

Realocação Assistida:

Ação: Realocação familiar assistida, com suporte social

Estudo de Mitigação:

Ação: Estudo individual, para implementação de tecnologias de tratamento acústico em moradias e entornos

Processo de realocação assistida

De acordo com o Padrão de Desempenho 5 do IFC *(International Finance Corporation)* e a Política Operacional 4.12 do Banco Mundial, ações de reassentamento e realocação só devem ser realizadas na ausência de qualquer outra alternativa viável.

3 Suporte Avançado	Suporte Completo, financeiro, jurídico, imobiliário e social.	Famílias com **baixa autonomia**, baixa capacidade de negociar sua indenização, dificuldades de compreensão dos parâmetros e documentos legais e **dificuldades gestão financeira**.
2 Suporte Intermediário	Monitoramento completo, Financeiro, Jurídico, Imobiliário e Social.	Famílias com **média autonomia**, tem capacidade de negociar sua indenização, porém podem ter **dificuldades com parâmetros** e documentos legais, podem ter dificuldade na gestão financeira no pós mudança e na aplicação financeira na nova residência.
1 Suporte Básico	Monitoramento completo social.	Famílias com **maior autonomia**, tem capacidade de negociar sua indenização e aquisição / construção da nova moradia. **Compreendem bem o contrato,** limitações e conseguem organizar com facilidade a mudança para nova residência e serviços necessários.

Processo de mitigação

Para alcançar o conforto acústico, o processo de mitigação de ruído é abrangente e personalizado. Ele envolve as seguintes etapas:

01

Análise Detalhada do Ruído:

Realizamos uma avaliação aprofundada das características do ruído presente na residência.

02

Implementação de Tecnologias de Atenuação Acústica:

Com base na análise, implementamos soluções acústicas internas e externas.

03

Características Arquitetônicas:

O trabalho é feito com o máximo respeito à estética e ao *design* original da casa.

04

Avaliação Estrutural e Reformas Complementares:

Para um resultado completo e seguro, também consideramos a avaliação estrutural da residência e, quando necessário, realizamos reformas estruturais, elevação do telhado, implementação de banheiros, ajustes nas estruturas hidráulicas e elétricas.



Nosso objetivo é proporcionar um ambiente tranquilo e confortável, sem comprometer as características e a funcionalidade do lar.

Programa de Mitigação – Ruído Ambiental *Case* VdP e VAII

Para alcançar o conforto acústico, o processo de mitigação de ruído é abrangente e personalizado.

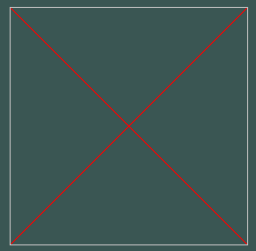
Contexto: O programa de mitigação de ruído foi **implementado proativamente**, após uma análise detalhada do ruído ambiental e um relacionamento social efetivo com a comunidade.

Objetivo: Atender às demandas da comunidade e **reduzir a percepção de impacto do ruído**, que é intensificada pelo modelo construtivo das residências, mesmo em conformidade com a Norma ABNT NBR 10.151.

- **Distância:** As residências estão localizadas a mais de 250 metros dos aerogeradores;
- **Monitoramento Contínuo:** Todas as casas dentro da área 400 metros dos aerogeradores são monitoradas continuamente;
- **Monitoramento de Reclamações:** Todos os reclamantes, independentemente da distância, têm suas casas monitoradas para a elaboração de laudos.



+ 50 Casas Mitigadas



Pesquisa com 100 % de Satisfação na mitigação do ruído

Programa de Mitigação de Ruído | Implementação

Casa 124
Distância: 345m

Pré reforma



Atenuação = 6 dB

Pós reforma



Atenuação = 22 dB

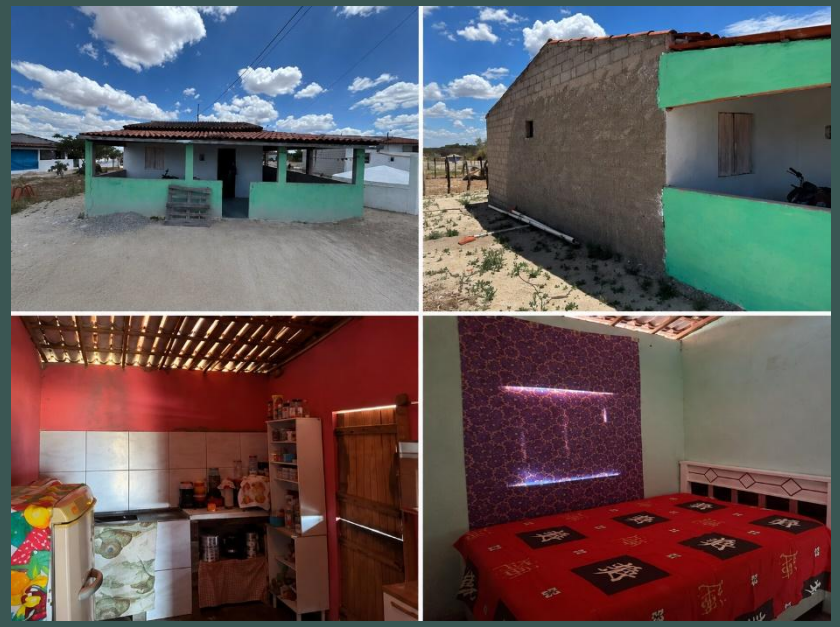
Pesquisa pré-reforma: Identificado **incômodo sonoro ao longo do dia**, sem impacto no sono dos ocupantes.

Pós-reforma: Observou-se a **eliminação da percepção de incômodo sonoro**, inclusive **sem interferência no sono**.

Programa de Mitigação de Ruído | Implementação

Casa 233
Distância: 449m

Pré reforma



Atenuação = 6 dB

Pós reforma

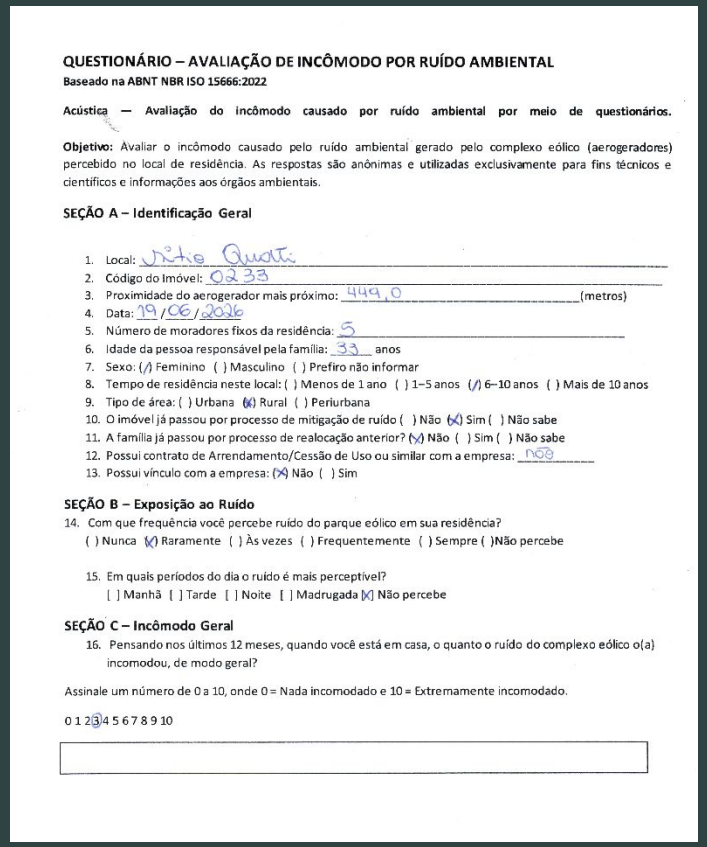


Atenuação = 25 dB

Pesquisa Pré-reforma: Identificado **incômodo sonoro de nível intermediário ao longo do dia**, com **impacto no sono dos ocupantes**.

Pós-reforma: Eliminação da **percepção de incômodo sonoro**, bem como **ausência de impacto no sono**.

Processo de Mitigação – Exemplos e Resultados



QUESTIONÁRIO – AVALIAÇÃO DE INCÔMODO POR RUÍDO AMBIENTAL
Baseado na ABNT NBR ISO 15666:2022

Acústica — Avaliação do incômodo causado por ruído ambiental por meio de questionários.

Objetivo: Avaliar o incômodo causado pelo ruído ambiental gerado pelo complexo eólico (aerogeradores) percebido no local de residência. As respostas são anônimas e utilizadas exclusivamente para fins técnicos e científicos e informações aos órgãos ambientais.

SEÇÃO A – Identificação Geral

1. Local: Sítio Quati
2. Código do Imóvel: 0233
3. Proximidade do aerogerador mais próximo: 449,0 (metros)
4. Data: 19 / 06 / 2026
5. Número de moradores fixos da residência: 5
6. Idade da pessoa responsável pela família: 33 anos
7. Sexo: (/) Feminino ( ) Masculino ( ) Prefiro não informar
8. Tempo de residência neste local: ( ) Menos de 1 ano ( ) 1–5 anos (/) 6–10 anos ( ) Mais de 10 anos
9. Tipo de área: ( ) Urbana (X) Rural ( ) Periurbana
10. O imóvel já passou por processo de mitigação de ruído ( ) Não (X) Sim ( ) Não sabe
11. A família já passou por processo de realocação anterior? (X) Não ( ) Sim ( ) Não sabe
12. Possui contrato de Arrendamento/Cessão de Uso ou similar com a empresa: não
13. Possui vínculo com a empresa: (X) Não ( ) Sim

SEÇÃO B – Exposição ao Ruído

14. Com que frequência você percebe ruído do parque eólico em sua residência?
( ) Nunca (X) Raramente ( ) Às vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre ( )Não percebe

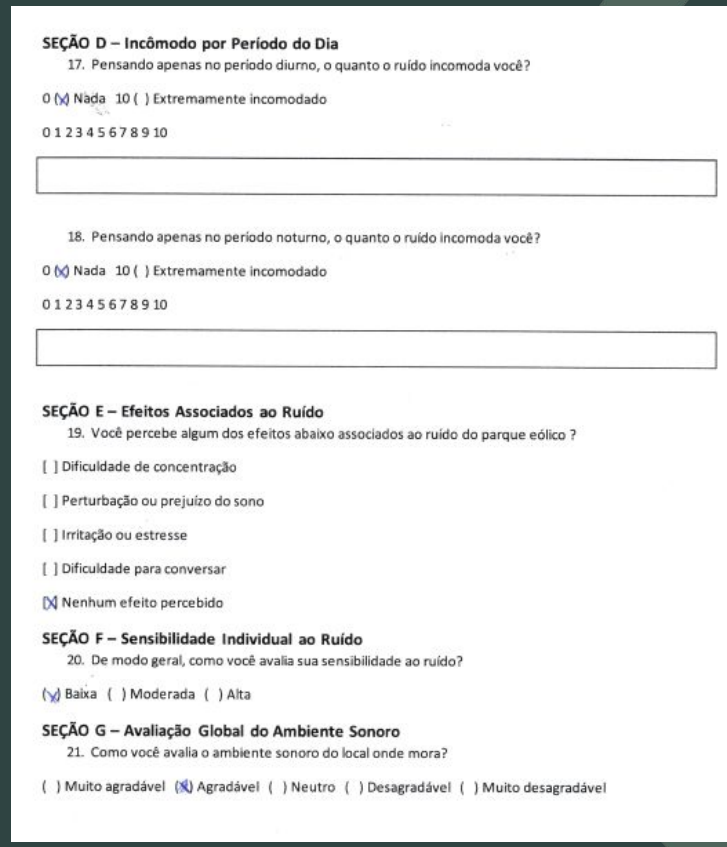
15. Em quais períodos do dia o ruído é mais perceptível?
[ ] Manhã [ ] Tarde [ ] Noite [ ] Madrugada [X] Não percebe

SEÇÃO C – Incômodo Geral

16. Pensando nos últimos 12 meses, quando você está em casa, o quanto o ruído do complexo eólico o(a) incomodou, de modo geral?

Assinale um número de 0 a 10, onde 0 = Nada incomodado e 10 = Extremamente incomodado.

0 1 2 (3) 4 5 6 7 8 9 10



SEÇÃO D – Incômodo por Período do Dia

17. Pensando apenas no período diurno, o quanto o ruído incomoda você?

0 (X) Nada 10 ( ) Extremamente incomodado

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

18. Pensando apenas no período noturno, o quanto o ruído incomoda você?

0 (X) Nada 10 ( ) Extremamente incomodado

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

SEÇÃO E – Efeitos Associados ao Ruído

19. Você percebe algum dos efeitos abaixo associados ao ruído do parque eólico ?

[ ] Dificuldade de concentração

[ ] Perturbação ou prejuízo do sono

[ ] Irritação ou estresse

[ ] Dificuldade para conversar

[X] Nenhum efeito percebido

SEÇÃO F – Sensibilidade Individual ao Ruído

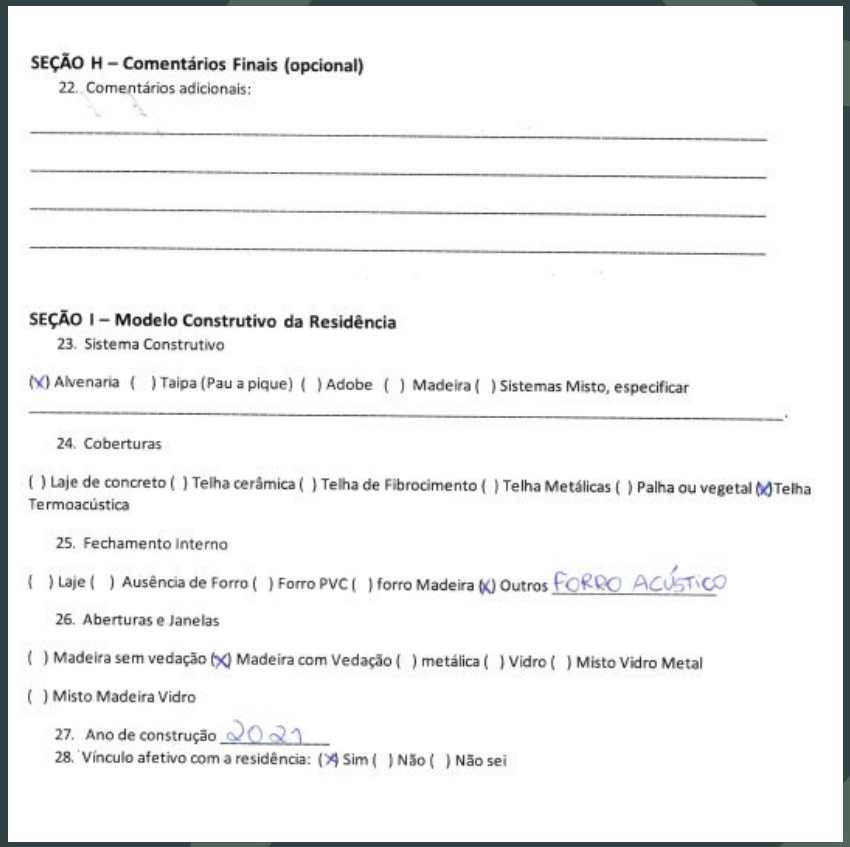
20. De modo geral, como você avalia sua sensibilidade ao ruído?

(X) Baixa ( ) Moderada ( ) Alta

SEÇÃO G – Avaliação Global do Ambiente Sonoro

21. Como você avalia o ambiente sonoro do local onde mora?

( ) Muito agradável (X) Agradável ( ) Neutro ( ) Desagradável ( ) Muito desagradável



SEÇÃO H – Comentários Finais (opcional)

22. Comentários adicionais:

SEÇÃO I – Modelo Construtivo da Residência

23. Sistema Construtivo

(X) Alvenaria ( ) Taipa (Pau a pique) ( ) Adobe ( ) Madeira ( ) Sistemas Misto, especificar

24. Coberturas

( ) Laje de concreto ( ) Telha cerâmica ( ) Telha de Fibrocimento ( ) Telha Metálicas ( ) Palha ou vegetal (X) Telha Termoacústica

25. Fechamento Interno

( ) Laje ( ) Ausência de Forro ( ) Forro PVC ( ) forro Madeira (X) Outros FORRO ACÚSTICO

26. Aberturas e Janelas

( ) Madeira sem vedação (X) Madeira com Vedação ( ) metálica ( ) Vidro ( ) Misto Vidro Metal

( ) Misto Madeira Vidro

27. Ano de construção 2021

28. Vínculo afetivo com a residência: (X) Sim ( ) Não ( ) Não sei

ISO/TS 15666 – Avaliação do Incômodo Sonoro por Pesquisas Sociais e Socioacústicas

Especificação técnica internacional (ISO/TC 43/SC 1) que padroniza como medir o incômodo (*annoyance*) causado pelo ruído junto às comunidades expostas, por meio de pesquisas sociais.

Processo de Mitigação – Materiais

Tecnologias de atenuação acústicas



Isolamento acústico com aplicação matérias com alta absorção sonora.
A estrutura fibrosa da lã de PET permite uma alta absorção de ondas sonoras em diversas frequências médias e altas, reduzindo a reverberação e o nível geral de ruído.



Instalação ou adequação de **janelas** e **portas** com **isolamento acústico**, e para mitigação do efeito **estroboscópico**.

Aplicação de **forro com gesso** e **revestimentos** de paredes, que atenua o **som externo**, além de ser um bom **isolante térmico**.

Implantação de **barreiras arbóreas** nativas no entorno das residências.

Módulo 6

Desafios da implementação

Desafios

Apresentar um plano robusto de mitigação de ruído ambiental para o Complexos Eólicos envolve uma série de desafios que precisam ser cuidadosamente abordados para garantir a eficácia das ações e a aceitação da comunidade.

1 Caracterização do Ruído

- Dados confiáveis e estruturados
- Modelo de propagação de ruído
- Validação dos resultados com medições *in loco*

2 Definições de Ações

- Construção do plano de ações
- Conformidade normativa
- Realocação ou mitigação
- Viabilidade técnica e econômica
- Definição de múltiplas soluções conjugadas
- Engajamento das partes interessadas

Desafios

Apresentar um plano robusto de mitigação de ruído ambiental para o Complexos Eólicos envolve uma série desafios que precisam ser cuidadosamente abordados para garantir a eficácia das ações e a aceitação da comunidade.

3 Execução do Plano

A fase de implementação é onde a teoria encontra a prática, e os desafios são significativos:

- **Realocações**
- **Implementação de medidas mitigadoras**

4 Acompanhamento Contínuo

A mitigação do ruído ambiental não é um evento único, mas um processo contínuo no território. Os desafios de longo prazo incluem:

- **Monitoramento regular**
- **Adaptação às mudanças**
- **Diálogo com a comunidade**

Desafios

5 Entendimento da percepção do ruído

Alinhar Percepções Individuais com Regras Técnicas, Ambientais e Sociais, este é um dos maiores e mais complexo desafio.

Entendimento que o ruído não é apenas um fenômeno físico, mas também psicológico. Fatores como a irritabilidade, o histórico de relacionamento com o empreendimento e a sensibilidade individual influenciam a percepção.

Comunicação transparente:
Comunicar de forma clara e compreensível os resultados das medições e simulações, as ações tomadas e o porquê de cada decisão, traduzindo termos técnicos para a linguagem da comunidade.



Mediação de conflitos:
Desenvolver mecanismos eficazes para mediar conflitos e lidar com reclamações, buscando soluções que considerem tanto os aspectos técnicos quanto as preocupações humanas.

Construção de confiança:
Construir e manter a confiança da comunidade. Isso exige honestidade, transparência e um compromisso genuíno em mitigar os impactos, mesmo que não seja possível atender a todas as expectativas individuais.

Obrigado!

Espaço aberto para discussões, dúvidas e sugestões.
Ruído ambiental em complexos eólicos: caracterizar, compreender e gerir.

Jarbas Amaro
Conecte-se no LinkedIn
linkedin.com/in/jarbas-amaro-17916629

jarbas.souza@aurenenergia.com.br