

Técnica Experimental para Mensuração de Ruído Emitido por Sistemas Computacionais em Atenção aos Problemas Socioambientais dos *Data Centers*

Davi Lopes Lemos¹, Naylor Bastiani Perez¹, Leonardo Bidese de Pinho¹

¹Núcleo de Pesquisa em Pecuária de Precisão (NP3) - UNIPAMPA Campus Bagé

{davilemos.aluno, leonardopinho}@unipampa.edu.br, naylor.perez@embrapa.br

Abstract. *The continuous operation of computing systems can cause socio-environmental impacts related to noise, especially in large infrastructures such as data centers. This exploratory bench-scale study proposes and evaluates a technique for estimating the noise emitted by a computing system with multiple active fans and its relationship with cooling parameters. A low-cost microphone was used to estimate the sound level, while internal sensors monitored component temperatures and fan speeds. No relevant correlations were found between the estimated noise and the variables analyzed, indicating the need for improvements and further validation of the technique.*

Resumo. *A operação contínua de sistemas computacionais pode causar impactos socioambientais ligados ao ruído, sobretudo em grandes infraestruturas, como data centers. Este estudo exploratório em bancada propõe e avalia uma técnica para estimar o ruído emitido por um sistema com múltiplas ventoinhas ativas e sua relação com parâmetros de refrigeração. Um microfone de baixo custo foi usado para estimar o nível sonoro, enquanto sensores internos monitoraram as temperaturas dos componentes e as velocidades das ventoinhas. Não foram encontradas correlações relevantes entre o ruído estimado e as variáveis analisadas, indicando a necessidade de aprimorar e validar melhor a técnica.*

1. Introdução

O avanço de técnicas relacionadas à Inteligência Artificial (IA), em especial ao aprendizado profundo, tem despertado interesse e ampliado a procura por esses recursos nos mais diversos setores da sociedade. O funcionamento desses mecanismos depende diretamente da qualidade dos recursos computacionais disponíveis, favorecendo a popularização dos serviços de computação em nuvem, hospedados em grandes estruturas com componentes de alto desempenho, chamadas de *data centers*.

A instalação desses complexos pode gerar impactos socioambientais energéticos, hídricos, relacionados a resíduos e às comunidades, estando entre eles a poluição sonora [Monserrate 2022]. Gour *et al.* relatam que sistemas de refrigeração, exaustores e geradores operam continuamente (24/7), produzindo um zumbido grave, metálico e monótono (referido como *hum* ou *drone* na literatura), com níveis externos de 40 a 59 dB, próximos ou superiores aos 55 dBA recomendados pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA) para proteger a saúde pública [U.S. Environmental Protection Agency 1974, Gour et al. 2026]. Essa exposição persistente atua como estressor ambiental. Em curto prazo, pode causar perturbações do sono, alterações auditivas temporárias e irritação

crônica. Em longo prazo, associa-se a doenças cardiovasculares, como hipertensão, perda auditiva permanente, zumbido, disfunções endócrinas e transtornos mentais relacionados ao estresse. Em crianças, relaciona-se ainda a déficits de atenção, menor compreensão de leitura e prejuízos no desempenho escolar [Gour et al. 2026].

Sob um ponto de vista social, no que tange sua distribuição geográfica, quando não são instalados em áreas rurais, esses centros costumam ocupar parques industriais e logísticos suburbanos, desproporcionalmente próximos a populações de baixa renda e comunidades racializadas, devido ao menor custo de instalação. Essa disparidade espacial transforma essas regiões marginalizadas em “zonas de sacrifício” [Smith 2026, Brodie 2023] e evidencia uma dimensão crítica da justiça ambiental: a imposição desproporcional dos custos ambientais e dos riscos à saúde sobre populações vulneráveis [U.S. Environmental Protection Agency 2021].

Diante disso, são necessários métodos acessíveis para estimar o ruído de sistemas computacionais. Embora a mensuração de outros impactos como a medição do consumo energético e respectiva emissão de carbono esteja consolidada na literatura [Lemos et al. 2025], a estimativa sonora com instrumentos de baixo custo ainda requer avaliação experimental. Este estudo preliminar de bancada avalia, como prova de conceito, uma técnica para estimar o nível sonoro de um sistema computacional com múltiplas ventoinhas e investigar sua relação com parâmetros de refrigeração, como a rotação das ventoinhas e as temperaturas dos componentes. A proposta é explorar o potencial da captura de ruído por microfone para identificar se um sistema opera dentro de uma determinada faixa de ruído. O experimento com um computador comum não busca reproduzir as condições acústicas de um *data center*. Busca, antes, analisar o comportamento da técnica nas condições específicas avaliadas, como etapa inicial para investigações futuras.

2. Material e Métodos

Os experimentos foram realizados em um computador com sistema GNU/Linux, equipado com processador AMD Ryzen 3 2200G de 4 núcleos e 4 *threads*, frequência de até 3,7 GHz e 16 GB de memória DDR4. Como unidade de processamento gráfico (GPU) dedicada, a máquina possui uma NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti com 4 GB de memória. A placa-mãe ASUS PRIME A320M-K/BR possui controlador ITE IT8655E, acessado pelo módulo `it87`, que permite ler as rotações das ventoinhas. O sistema de refrigeração conta com uma ventoinha no processador, quatro no gabinete e uma na GPU (Figura 1). Durante todos os ensaios, o gabinete permaneceu fechado. O ruído foi captado por um microfone condensador omnidirecional MTG-020, conectado ao computador e posicionado a cerca de 15 cm da saída de ar traseira (Figura 2).



Figura 1. Disposição interna dos componentes.



Figura 2. Disposição do microfone.

A medição do ruído foi realizada por um programa desenvolvido em Python. A biblioteca SoundDevice capturou o áudio do microfone em canal único, com taxa de amostragem de 44,1 kHz e duração de 0,5 segundo por medição. Essa janela foi definida empiricamente e mantida em todas as coletas, sem comparação com outras durações. Após a captura, os dados foram processados com NumPy para calcular a raiz do valor quadrático médio (RMS) do sinal, conforme a Equação 1. Nela, x_i representa cada amostra e N , o número total de amostras [Erbe et al. 2022].

O nível de pressão sonora (SPL) relaciona logarithmicamente a pressão sonora RMS à pressão de referência (Equação 2). Nessa equação, p_{rms} é a pressão eficaz e p_0 corresponde a 20 μ Pa para medições no ar [Erbe et al. 2022]. Como o RMS do programa representa a amplitude do sinal captado, e não a pressão em pascal, realizou-se uma calibração experimental com o aplicativo “SPL Meter: dB & Sound Meter” (KTW Apps), instalado em um smartphone Android Xiaomi Redmi Note 8 e posicionado ao lado do microfone MTG-020. A medição ocorreu em cômodo residencial sem isolamento acústico nem avaliação independente do ruído de fundo. O microfone foi usado sem proteção contra o fluxo de ar da exaustão, cuja interferência não foi avaliada. Embora limitado, o aplicativo se mostrou uma alternativa aceitável para estimar o nível sonoro em celulares Android [Khan et al. 2025]. Nessa condição, o aplicativo indicou 41,1 dB SPL e o programa registrou RMS de 0,08846898. Esses valores estabeleceram a relação da Equação 3. Como foi usado um único ponto de referência, não foi possível verificar a linearidade nem quantificar a incerteza. Assim, os valores são estimativas nas condições do experimento, não medições acústicas de precisão.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1) \quad L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_0} \right) \quad (2) \quad dB_{SPL} = 41,1 + 20 \log_{10} \left(\frac{RMS}{0,08846898} \right) \quad (3)$$

Scripts Bash automatizaram as cargas, o monitoramento e a captação sonora. A CPU foi estressada pelo *stress-ng* [King 2013], usando todos os núcleos. A GPU executou o *N-Body* [NVIDIA Corporation a] com 512.000 corpos. As cargas simultâneas duraram dez minutos, com intervalo de 60 segundos entre execuções. Das 11 execuções, descartou-se a primeira, de estabilização, restando dez válidas. Como CPU e GPU operaram juntas para simular uso simultâneo, não foi possível isolar a contribuição de cada componente ao ruído.

Registraram-se níveis de ruído, temperaturas, rotações das ventoinhas e horários. CPU e GPU permaneceram com utilização de 100% durante as cargas simultâneas. Os dados foram obtidos com *lm-sensors* [lm-sensors] e *nvidia-smi* [NVIDIA Corporation b]. Como as ferramentas não forneceram a rotação da ventoinha da GPU em RPM e o fabricante não informa sua rotação máxima, registrou-se seu percentual de controle. As relações do ruído com temperatura e velocidade foram avaliadas pelo coeficiente de Pearson, que indica intensidade e direção da relação linear, além de ajustes logarítmicos e regressões.

3. Resultados e discussões

Nos dez ensaios, o ruído médio foi $41,41 \pm 0,59$ dB. As temperaturas médias foram $62,69 \pm 2,56$ °C na CPU e $42,53 \pm 4,52$ °C na GPU. As ventoinhas do gabinete ficaram próximas de 1080 RPM. A ventoinha da CPU operou, em média, a aproximadamente

1775 RPM (sendo que seu máximo seria de 2666 RPM). A ventoinha da GPU apresentou controle médio de 50,04%. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia para o período indicam temperatura externa próxima de 16 °C. Embora não se tenha medido a temperatura interna do cômodo, a condição externa pode ter influenciado o ambiente do ensaio, o comportamento térmico dos componentes e o acionamento das ventoinhas.

A Figura 3 apresenta a evolução temporal do percentual de operação da ventoinha da CPU e do nível de ruído. Observa-se que, apesar das variações no percentual de operação, o nível de ruído permanece em uma faixa relativamente estreita. A relação entre o percentual de operação da ventoinha e a temperatura da CPU é apresentada na Figura 4, na qual se observa que as variações de temperatura são acompanhadas por alterações na velocidade da ventoinha, conforme esperado.

Comportamento semelhante pode ser observado na relação entre o percentual de controle da ventoinha da GPU e o nível de ruído, apresentada na Figura 5. Embora o percentual de controle da ventoinha apresente variações ao longo do tempo, o nível de ruído permanece em uma faixa relativamente estreita. A relação entre o percentual de controle da ventoinha e a temperatura da GPU é apresentada na Figura 6, evidenciando também a variação do controle da ventoinha de acordo com as condições térmicas da GPU.

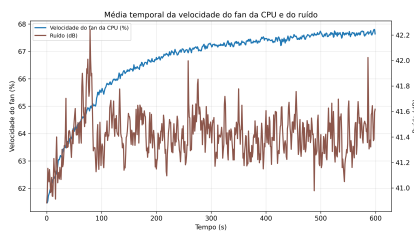


Figura 3. Velocidade da ventoinha da CPU e nível de ruído.

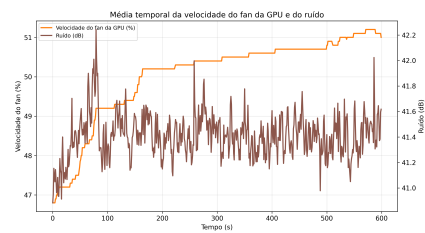


Figura 5. Velocidade da ventoinha da GPU e nível de ruído.

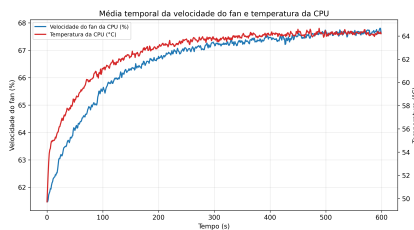


Figura 4. Velocidade da ventoinha e temperatura da CPU.

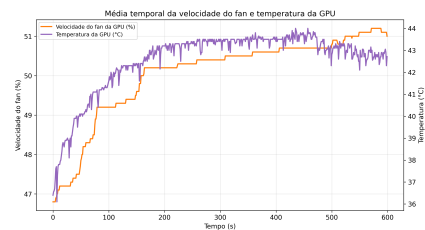


Figura 6. Velocidade da ventoinha e temperatura da GPU.

A pequena variação do ruído deve ser entendida à luz das características do sistema e da escala logarítmica dos decibéis. Diferenças numéricas em dB não são variações proporcionais da grandeza física. As ventoinhas variaram apenas nas condições deste ensaio. A estimativa também pode ter sido afetada pela sensibilidade do microfone, pelo ruído ambiente, pelo fluxo da exaustão e por outros componentes. Como a calibração usou um único ponto, não foi possível quantificar a incerteza. Portanto, não é possível determinar se as pequenas diferenças observadas correspondem a variações acústicas efetivas ou a limitações do método.

Os coeficientes de Pearson (Tabela 1) tiveram baixa magnitude. A maior

associação foi entre a temperatura da GPU e o ruído ($r = 0,134$), seguida pelo controle da ventoinha da GPU ($r = 0,132$). A ventoinha e a temperatura da CPU apresentaram $r = 0,025$ e $r = 0,023$, respectivamente. Ajustes logarítmicos entre ruído e rotações também não revelaram associações expressivas. Os resultados são exploratórios e devem ser interpretados considerando as limitações da medição e a possível dependência temporal das observações. Eles não permitem descartar relações não lineares.

Tabela 1. Correlação entre as variáveis monitoradas e o nível de ruído.

Variável	Pearson
Ventoinha da CPU (RPM)	0,025
Ventoinha da GPU (%)	0,132
Ventoinha do gabinete (RPM)	-0,069
Temperatura da CPU (°C)	0,023
Temperatura da GPU (°C)	0,134

As regressões também tiveram baixo poder explicativo. O maior R^2 foi o da temperatura da GPU (0,018), seguido pelo controle da ventoinha da GPU (0,017). O modelo múltiplo com temperaturas e velocidades obteve $R^2 = 0,0186$. Portanto, nas condições avaliadas, não há associação forte entre ruído, rotações e temperaturas. Essas variáveis explicam apenas pequena parcela da variação observada.

4. Considerações finais

Os resultados obtidos permitiram caracterizar o nível de ruído estimado de um sistema computacional com múltiplas ventoinhas ativas e analisar sua relação com as condições de operação da refrigeração. Os coeficientes de correlação e os modelos de regressão não indicaram associações expressivas entre as variáveis monitoradas e o nível sonoro nas condições avaliadas. A temperatura ambiente relativamente baixa limitou as temperaturas dos componentes e, consequentemente, as velocidades das ventoinhas. Assim, os resultados abrangem uma faixa operacional restrita, o que limita sua generalização para condições térmicas mais elevadas. Embora não tenham sido observadas associações expressivas, os resultados não permitem descartar relações não lineares nem determinar a contribuição individual de cada componente, devido à operação simultânea das cargas e às limitações da estimativa acústica. A técnica ainda requer validação diante das limitações da calibração, da influência do ruído ambiente e de outras fontes sonoras do sistema, bem como da pequena variação acústica observada.

Além dos aspectos técnicos, a mensuração do ruído pode contribuir para estudos sobre os impactos socioambientais associados à operação de sistemas computacionais e para o desenvolvimento de práticas de computação sustentável. Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar a técnica com instrumentos acústicos calibrados, verificar sua linearidade e quantificar a incerteza das estimativas. Também se pretende investigar a influência do posicionamento do microfone, do ruído de fundo e do fluxo de ar da exaustão. Pretende-se ainda realizar testes com cargas isoladas de CPU e GPU, forçar diferentes velocidades das ventoinhas, variar a utilização do disco rígido (HD), avaliar a dependência temporal das observações e ampliar a quantidade e a diversidade dos equipamentos analisados. Em uma etapa posterior, a técnica será adaptada para análise de um rack de servidores representativo de *data centers*, a fim de investigar sua aplicação nesse contexto

e sua contribuição para avaliar impactos socioambientais, incluindo aspectos de saúde comunitária e justiça ambiental.

Agradecimentos

Apoio da CAPES – Código de Financiamento 001 ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCAP) e contribuição da Engenharia de Computação no NP3.

Referências

- Brodie, P. (2023). Data Infrastructure Studies on an Unequal Planet. *Big Data & Society*, 10(1):20539517231182402.
- Erbe, C., Duncan, A., Hawkins, L., Terhune, J. M., and Thomas, J. A. (2022). *Introduction to Acoustic Terminology and Signal Processing*, pages 111–152. Springer International Publishing, Cham.
- Gour, N., Ortiz, L., and Maibach, E. (2026). Health Implications of the Rapid Rise of Data Centers in Virginia: An Exploratory Assessment. *Frontiers in Climate*, 8.
- Khan, H., Findlay, C., Stevenson, R.-A., and Singh, T. (2025). Evaluating the Accuracy of Android Applications in Monitoring Environmental Noise Levels. *Cureus*, 17(3):e81471.
- King, C. I. (2013). stress-ng: A System Stress Testing Utility. <https://github.com/ColinIanKing/stress-ng>. Acesso em: 18 set. 2026.
- Lemos, D., Perez, N., and Pinho, L. (2025). Zero-Carbon Cloud: Mensuração do Consumo Energético Associado à Virtualização de Solução Baseada em Redes Neurais Recorrentes LSTM. In *Anais da XXII Escola Regional de Redes de Computadores*, pages 74–80, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- lm-sensors. lm-sensors. <https://github.com/lm-sensors/lm-sensors>. Acesso em: 18 set. 2026.
- Monserate, S. G. (2022). The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage. *MIT Case Studies in Social and Ethical Responsibilities of Computing*, (Winter 2022). <https://mit-serc.pubpub.org/pub/the-cloud-is-material>.
- NVIDIA Corporation. CUDA Samples: nbody - CUDA N-Body Simulation. <https://github.com/NVIDIA/cuda-samples>. Acesso em: 18 set. 2026.
- NVIDIA Corporation. NVIDIA System Management Interface (nvidia-smi). <https://docs.nvidia.com/deploy/nvidia-smi/>. Acesso em: 18 set. 2026.
- Smith, F. (2026). The Health Divide: The AI Data Center Boom Will Harm the Health of Communities That Can Least Afford It. *USC Center for Health Journalism*. Acesso em: 09 set. 2026.
- U.S. Environmental Protection Agency (1974). Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety. Technical Report EPA 550/9-74-004, Office of Noise Abatement and Control, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (2021). Learn About Environmental Justice. Acesso em: 12 out. 2026.