



Análise Ambiental Integrada da Qualidade do Ar, Variáveis Meteorológicas e Comunidade de Aves em Área Urbana Subtropical

Integrated Environmental Analysis of Air Quality, Meteorological Variables, and Bird Community in a Subtropical Urban Area

 Brenda Silveira de Souza¹  Lennon Gabriel Ribas Severo²  Daiane Bolzan Berlese³
 Marcelo Pereira de Barros⁴

¹ Mestre em Qualidade Ambiental. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul – Brasil - brendasilveirasouza@hotmail.com

² Doutorando em Qualidade Ambiental. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul – Brasil. lennonribas_lg@hotmail.com

³ Doutora em Bioquímica Toxicológica. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul – Brasil. daianeb@feevale.br

⁴ Doutor em Qualidade Ambiental. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul – Brasil. marcelopb@feevale.br

Authors' notes'

Os autores não têm conflitos de interesse a declarar.

Agência de fomento: Universidade Feevale

A correspondência referente a este artigo deve ser endereçada para Brenda Silveira de Souza

Cite as - American Psychological Association (APA)

Souza, B. S., Severo, L. G. R., Berlese, D. B., & Barros, M. P. (2024). Integrated environmental analysis of air quality, meteorological variables, and bird community in a subtropical urban area. *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-37, e24055. <https://doi.org/10.5585/2024.24055>





Resumo

Objetivo do estudo: realizar uma análise ambiental integrada da qualidade do ar, por meio do monitoramento de poluentes atmosféricos, variáveis meteorológicas e composição da avifauna, no município de Gramado, RS.

Metodologia: O estudo foi realizado em uma área urbana no município de Gramado/RS. O período amostral ocorreu entre novembro/2021 a outubro/2022. Para a coleta do material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) foi utilizado um amostrador dicotômico, sendo realizadas 24 coletas. Os dados meteorológicos foram disponibilizados pela estação do INMET. Para o levantamento da avifauna foram realizadas 12 saídas à campo, utilizando-se o método de caminhamento.

Originalidade/Relevância: O conhecimento produzido por este estudo pode contribuir como subsídio para estratégias e ações voltadas à melhor qualidade de vida, a saúde e educação ambiental.

Principais resultados: Os resultados demonstraram que duas amostras de MP_{2,5} e seis amostras de MP_{2,5-10} ficaram em desconformidade com as diretrizes de qualidade do ar estabelecidos pela OMS. Por meio do modelo de regressão linear verificou-se que 83,9% da variação do MP₁₀ é explicada pelo aumento da temperatura máxima. Ao longo do período de amostragens foram registradas a ocorrência de 45 espécies de aves. As maiores riquezas de espécies ocorreram em setembro/2022 (35) e outubro/2022 (32), onde 37,4% da variação do número de aves pode ser explicado pela precipitação. Para os demais dados não houve relação.

Contribuições: Os resultados poderão ser utilizados para realização de medidas de promoção da saúde ambiental, prevenção e controle dos fatores de riscos relacionados a qualidade do ar.

Palavras-chave: avifauna, poluição atmosférica, qualidade ambiental, saúde ambiental





Integrated Environmental Analysis of Air Quality, Meteorological Variables, and Bird Community in a Subtropical Urban Area

Abstract

Objective of the study: to carry out an integrated environmental analysis of air quality, through the monitoring of atmospheric pollutants, meteorological variables and avifauna composition, in the municipality of Gramado, RS.

Methodology/approach: The study was carried out in an urban area in the city of Gramado/RS. The sampling period occurred between November/2021 and October/2022. For the collection of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) a dichotomous sampler was used, with 24 collections being carried out. Meteorological data were provided by the INMET station. To survey the avifauna, 12 field trips were carried out, using the walking method.

Originality/Relevance: The knowledge produced by this study can contribute as a subsidy for strategies and actions aimed at better quality of life, health and environmental education.

Results: The results showed that two samples of PM_{2.5} and six samples of PM_{2.5-10} did not comply with the air quality guidelines established by the WHO. Using the linear regression model, it was found that 83.9% of the PM₁₀ variation is explained by the increase in maximum temperature. Over the sampling period, the occurrence of 45 bird species was recorded. The highest species richness occurred in September/2022 (35) and October/2022 (32), where 37.4% of the variation in the number of birds can be explained by precipitation. For the other data there was no relationship.

Management contributions: The results can be used to carry out measures to promote environmental health, prevention and control of risk factors related to air quality.

Keywords: avifauna, atmospheric pollution, environmental quality, environmental health

Análisis ambiental integrado de la calidad del aire, variables meteorológicas y comunidad de aves en un área urbana subtropical





Resumen

Objetivo: realizar un análisis ambiental integrado de la calidad del aire, a través del monitoreo de contaminantes atmosféricos, variables meteorológicas y composición de la avifauna, en el municipio de Gramado, RS.

Metodología: El estudio fue realizado en un área urbana de la ciudad de Gramado/RS. El período de muestreo ocurrió entre noviembre/2021 y octubre/2022. Para la colecta de material particulado (PM2.5 y PM10) se utilizó un muestreador dicotómico, realizándose 24 colectas. Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la estación INMET. Para el censo de la avifauna se realizaron 12 salidas de campo, utilizando el método de la caminata.

Originalidad/Relevancia: El conocimiento producido por este estudio puede contribuir como subsidio para estrategias y acciones encaminadas a una mejor calidad de vida, salud y educación ambiental.

Principales resultados: Los resultados mostraron que dos muestras de PM2.5 y seis muestras de PM2.5-10 no cumplieron con los lineamientos de calidad del aire establecidos por la OMS. Mediante el modelo de regresión lineal se encontró que el 83,9% de la variación de PM10 se explica por el aumento de la temperatura máxima. Durante el período de muestreo, se registró la ocurrencia de 45 especies de aves. La mayor riqueza de especies ocurrió en septiembre/2022 (35) y octubre/2022 (32), donde el 37,4% de la variación en el número de aves se explica por la precipitación. Para los demás datos no hubo relación.

Aportes a la gestión: Los resultados pueden ser utilizados para llevar a cabo acciones de promoción de la salud ambiental, prevención y control de factores de riesgo relacionados con la calidad del aire.

Palabras clave: avifauna, contaminación atmosférica, calidad ambiental, salud ambiental

Introdução

Estudos referentes a qualidade do ar e sua associação com a saúde ambiental, não somente no Brasil, mas em âmbito mundial, têm demandado um crescente e necessário





empenho das instâncias governamentais para implementação de ações de controle e prevenção dos riscos ambientais que impactam negativamente a saúde (Fundação Nacional de Saúde [FUNASA], 2020; Dapper *et al*, 2016). O material particulado em níveis acima do permitido podem causar diversos danos à saúde, entre eles cardiovasculares, cerebrovasculares (AVC) e respiratórias, ao penetrar profundamente nos pulmões e entrar na corrente sanguínea, havendo evidências emergentes de que o material particulado afeta outros órgãos e também causa outras doenças (Dapper *et al*. 2016; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], 2023; OPAS, 2022;). Desta forma, é de suma importância que estudos visando o conhecimento e detecção de mudanças nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde sejam realizados, para que desta forma, possam ser criadas medidas preventivas.

Dentro desse contexto, as aves podem ser consideradas um grupo de animais relevantes para avaliar e monitorar as consequências ecológicas de mudança de ambiente (Cable News Network [CNN], 2022). As alterações no ambiente são frequentemente atribuídas a perturbações antropogênicas, por exemplo, poluição, alterações no uso da terra ou fatores de estresses naturais, por exemplo, seca, geada no final da Primavera (Holt & Mille, 2010). Em uma pesquisa descobriu-se que as aves estão desenvolvendo bicos, pernas e orelhas maiores que lhes permitem regular melhor a temperatura corporal à medida que o planeta fica mais quente (Cable News Network [CNN], 2022).

Ainda, o conhecimento acerca da composição da avifauna em determinadas regiões é de grande importância devido ao fato destes animais desempenharem papéis ecológicos decisivos nas comunidades naturais, atuando como polinizadoras, dispersoras de sementes e reguladoras de populações de outros animais, como os insetos (Sick, 1997), conforme Almeida e Almeida (1998) as aves silvestres são reconhecidas como as melhores bioindicadoras dos ecossistemas terrestres, principalmente as de hábitos florestais. Até o momento, para a Região das Hortênsias, não são conhecidos estudos sobre a associação das aves com a qualidade do





ar.

Em um estudo realizado na cidade de Pelotas/RS, verificou-se que a crescente urbanização causa efeitos negativos para a avifauna, principalmente em cidades consideradas de médio porte, onde tanto a riqueza, como a abundância de espécies diminuem à medida que a urbanização aumenta (Sacco *et al.*, 2015). Em Uberlândia/MG, um estudo realizado a partir da análise da frequência de micronúcleos das aves, constatou que algumas espécies podem ser utilizadas como bioindicadoras de poluição do ar (Baesse, 2019).

Segundo Sanderfoot e Holloaway (2017), existem evidências consistentes de impactos adversos à saúde das aves, atribuíveis à exposição a poluentes atmosféricos em fase gasosa e particulados, incluindo monóxido de carbono, ozônio, dióxido de enxofre, fumaça e metais pesados, bem como misturas de emissões urbanas e industriais, podendo assim, reduzir a densidade populacional, a diversidade de espécies e a riqueza de espécies em comunidades de aves.

Atividades como combustão em caldeiras, que são fontes fixas e emissões veiculares, que são fontes móveis, promovem uma grande introdução de poluentes atmosféricos no ar (Crispim *et al.*, 2012; Fundação Estadual do Meio Ambiente [FEAM], 2023. A Região das Hortênsias, localizada no estado do Rio Grande do Sul/Brasil, em especial municípios turísticos, como Gramado e Canela, possuem potencial gerador de poluição atmosférica, devido ao grande fluxo de turistas, concentrado em algumas épocas do ano.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi realizar a análise ambiental integrada em área urbana no município de Gramado/RS, por meio do monitoramento ao longo de um ano, da presença de poluentes atmosféricos, sendo eles o MP_{2,5} e MP₁₀, das variáveis meteorológicas, entre elas a precipitação, umidade relativa do ar e temperatura máxima e mínima, e da riqueza e composição da comunidade de aves em área urbana no município de Gramado.

Fundamentação teórica





Bioindicadores ambientais

O monitoramento da poluição do ar por meio das respostas de organismos vivos, como os bioindicadores, pode ser uma abordagem útil para o monitoramento ambiental (Azzazy, 2020). Bioindicadores são seres vivos de natureza diversa, como líquens, vegetais e animais, utilizados para avaliação da qualidade ambiental, podendo ser definidos como, organismos vivos que expressam sintomas particulares ou respostas que indiquem mudanças em alguma influência ambiental, geralmente de forma qualitativa (Hawksworth & Colwell, 1992).

A técnica na qual utilizam-se bioindicadores, pode ocorrer de maneira mais ampla, quando trabalha-se com populações e comunidades em um local e de maneira mais aplicada, trabalhando somente com espécies, sendo que esta metodologia pode ocorrer de duas maneiras - ativa, quando a espécie bioindicadora já existe no local, procedente de uma avaliação dos seres que habitam a área de estudo, e passiva, quando a espécie é cultivada ou criada em ambiente não poluído e exposta à poluição por tempo determinado, expondo-se no ambiente espécies previamente preparadas (A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], 2015).

O objetivo básico da investigação sobre bioindicadores é encontrar espécies que possam detectar de forma fiável perturbações ambientais e demonstrar como essas perturbações afetam outras espécies ou a biodiversidade como um todo (CHOWDHURY *et al*, 2023). A vantagem do uso de bioindicadores como método de avaliação da qualidade ambiental está em seu baixo custo, quando comparado as amostragens físico-químicas, que possuem um alto custo, e de sua ineficiência para detectar mudanças nas condições ambientais naturais dos sistemas, quando esses são submetidos a perturbações de origem difusa, possuindo um caráter analítico instantâneo, sendo considerados insuficientes para caracterizar as respostas do ecossistema à poluição, além disso, os bioindicadores podem ser utilizados para a avaliação cumulativa de eventos ocorridos num determinado período de tempo, resgatando um histórico ambiental não passível de detecção ou medição por outros





métodos (Ottoni, 2009; CETESB, 2021; Chowdhury *et al*, 2023).

Poluentes atmosféricos

A poluição do ar é um dos principais fatores de risco de morbidade e mortalidade global, podendo ser descrita como a presença de materiais nocivos no ar, provocados por fontes antrópicas, em quantidades capazes de produzir efeitos prejudiciais à saúde humana e ao ecossistema, sendo responsável pelo aumento de incidência e óbitos por diversas doenças, como as cardiovasculares, além de contribuir para o aquecimento global e para as consequentes alterações do clima e desequilíbrios ambientais, tornando-se um dos principais problemas do mundo atual (Nevers, 2000; Santos *et al.*, 2021).

A poluição do ar é uma mistura de substâncias perigosas provenientes de fontes naturais e de origem humana e os poluentes atmosféricos podem ser considerados como qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à flora, fauna e a segurança (Brasil, 2018; National Institute of Environmental Health Sciences [NIH], 2023). Contudo, as principais emissões de poluentes atmosféricos são provenientes de atividades humanas, possuindo como principais fontes nos centros urbanos, a circulação de veículos automotivos e as indústrias (Guarnieri & Balmes, 2014; Santos *et al.*, 2021).

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, tornando difícil estabelecer uma classificação. Dessa forma, os poluentes são divididos em duas categorias – Os poluentes primários, aqueles emitidos diretamente de fontes de emissão, como o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NOX), o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), compostos orgânicos voláteis (COV), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e materiais particulados (MP), ainda, esses materiais são transportados, diluídos e modificados física e quimicamente na atmosfera





transformando-se em poluentes secundários, como os foto-oxidantes, como o ozônio (O_3) e os nitratos de peroxiacil (PAN) (CETESB, 2021).

Desta maneira, os poluentes secundários são definidos por formarem-se na atmosfera por meio da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera, sendo responsáveis diretos pelos danos permanentes nos pulmões e doenças respiratórias em humanos (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2020; CETESB, 2021).

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera definirá o nível de qualidade do ar, que determinará o surgimento dos diversos efeitos da poluição do ar sobre os receptores, podendo ser as plantas, os animais, os materiais e a saúde humana (Brasil, 2018). O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, são Material Particulado (MP), Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP_{10}), Partículas Inaláveis Finas ($MP_{2,5}$) e Fumaça (FMC). Sob a denominação geral de Material Particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho (CETESB, 2021; LIU, 2018).

O material particulado atmosférico é uma mistura complexa e heterogênea. A sua distribuição de tamanho físico e composição química mudam no tempo e no espaço e dependem das fontes de emissão, da química atmosférica e das condições meteorológicas (Liu, 2018). A composição química do MP é composta principalmente de nitratos e sulfatos de amônio, elementos metálicos e da crosta terrestre, sais marinhos, material carbonáceo e compostos orgânicos, sendo que o $MP_{2,5}$ é composto por nitrato, sulfato, amônio, carbono e compostos orgânicos, elementos metálicos vestigiais e uma grande concentração de acidez e contém partículas primárias geradas por processos de combustão por indústrias, veículos e partículas secundárias formadas na atmosfera a partir de gases, enquanto a poeira é a principal fonte de PM_{10} (Organização Mundial da Saúde [OMS], 2005; Migliavacca *et al.*, 2012;



Ren *et al.*, 2017).

O potencial causador de problemas à saúde das partículas poluentes atmosféricas está associado de forma direta ao seu tamanho, sendo que quanto menor for a partícula poluidora, maiores serão os danos causados por ela. Desta maneira, podem ser definidos por esta característica, onde as Partículas Totais em Suspensão (PTS) possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 50 µm e as Partículas Inaláveis (MP₁₀) menor ou igual a 2,5 µm. A Fumaça (FMC) por sua vez, associa-se ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão, onde o método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira. A exposição à fumaça pode causar efeitos à saúde e piorar as condições de saúde existentes. (Air Pollution Control District [apcd], 2023; CETESB, 2021; WHO, 2022).

Estima-se que a poluição do ar foi globalmente responsável por cerca de cinco milhões de óbitos em 2017, sendo que aproximadamente 70% deles são decorrentes da poluição do ar ambiental externa (Santos *et al.*, 2021). Desta forma, o Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA] estabeleceu Padrões Nacionais de Qualidade do Ar por meio da Resolução nº 491 de 19/11/2018, para ser utilizado como um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinando o valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica (Brasil, 2018; Fundação Estadual de Proteção Ambiental [FEPAM], 2021).

Aves e a poluição atmosférica

As aves representam um dos grupos de animais vertebrados com maior riqueza de espécies, estando em segundo lugar no Brasil, atrás apenas dos peixes, possuindo um total de 1.971 espécies já registradas (Conselho Brasileiro de Registros Ornitológicos [CBRO], 2021). Porém, 236 táxons estão ameaçados de extinção (Instituto de Ciência e Tecnologia em Biodiversidade [ICMBIO], 2018; Pacheco *et al.*, 2021). Formam um grupo de animais que são





indicadores bem conhecidos de saúde ambiental, por sua fisiologia e comportamento (Liang *et al.*, 2020).

As aves apresentam características morfológicas diferenciadas, como o corpo coberto por uma plumagem composta pelas penas e a presença dos sacos aéreos no seu sistema respiratório (Sschachner *et al.*, 2014; Bianchi *et al.*, 2016). Com um sistema respiratório único, as aves, são especialmente suscetíveis à poluição, por esta razão, são um táxon útil para monitorar a contaminação dos ecossistemas, e especialmente a poluição atmosférica (Liang *et al.*, 2020).

Desta forma, as aves são consideradas bioindicadoras eficientes, também por suas características comportamentais, dieta diversificada e utilização de diversas camadas de vegetação, inclusive em ambientes contaminados, ainda diferentes espécies, podem ser úteis devido à sua capacidade de bioacumulação (Baesse *et al.*, 2019; Hurtado *et al.*, 2020). Em aves, os metais pesados podem ser bioacumulados no sangue, penas, fígado, rins, ossos e ovos, prejudicando a reprodução e a saúde destes animais, no sistema nervoso podem causar atraso no desenvolvimento embrionário e alterações morfológicas, também afetando os sistemas cardiovascular, respiratório, digestório, tegumentar e sensorial, além de estar relacionado com maiores índices de mortalidade (Hurtado *et al.*, 2020; Goutner, 2001).

Segundo Dutta (2017), a poluição atmosférica compromete a qualidade de vida das aves, uma vez que estes animais possuem capilares pulmonares estreitos e taxas de respiração mais altas, passando uma quantidade considerável de tempo ao ar livre. Portanto, são altamente vulneráveis às partículas atmosféricas.

A partir de uma revisão da literatura, Sanderfoot & Holloway (2017), analisam as evidências consistentes dos impactos adversos à saúde das aves atribuíveis à exposição a poluentes atmosféricos em fase gasosa e particulados, incluindo monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de enxofre (SO₂), fumaça e metais pesados, bem como misturas de emissões urbanas e industriais. Segundo os autores, as respostas das aves à poluição do ar



incluem dificuldade respiratória, maior esforço de desintoxicação, níveis elevados de estresse, imunossupressão, mudanças comportamentais e sucesso reprodutivo prejudicado. Esta exposição à poluição do ar pode, além disso, reduzir a densidade populacional, a diversidade de espécies e a riqueza de espécies em comunidades de aves.

Baesse *et al.*, (2019), constataram que, a poluição atmosférica, sobretudo os poluentes gerados pela urbanização e o tráfego de veículos, podem afetar a saúde das aves, utilizando como metodologia a análise de micronúcleos destes animais. Esta técnica é capaz de avaliar a sensibilidade de organismos a agentes contaminantes, a partir de uma técnica citológica usada para acessar o DNA, sendo um biomarcador de danos ao DNA.

Ainda, um estudo nos Estado Unidos (Liang *et al.*, 2020), elaborou um banco de dados mensal, realizado a partir do monitoramento das mudanças na poluição do ar e da abundância de aves de uma mesma região, acompanhando também mudanças contemporâneas nos elementos climáticos, incluindo temperatura e precipitação. Desta forma, estimaram o efeito do ozônio (O₃) e do material particulado fino (PM_{2,5}) na abundância relativa das aves em uma única regressão, onde suas estimativas indicaram que as melhorias na qualidade do ar nas últimas 4 décadas detiveram o declínio nas populações de aves, evitando a perda de 1,5 bilhão de aves, aproximadamente 20% do total atual. Esses resultados destacam que, além de proteger a saúde humana, os regulamentos de poluição do ar têm co-benefícios de conservação anteriormente não reconhecidos e não quantificados.

Metodologia

Área de estudo

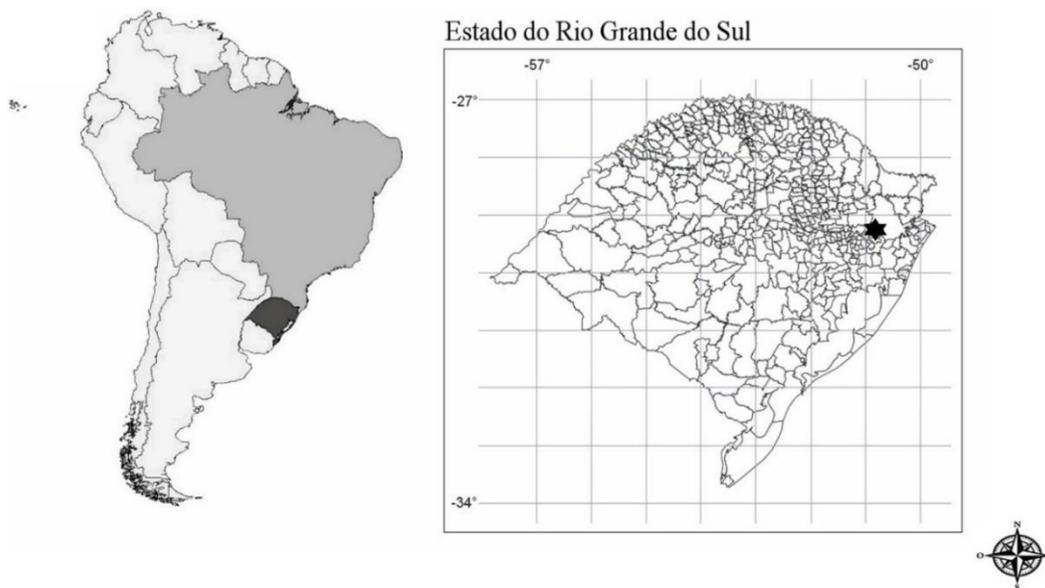
O trabalho foi realizado no município de Gramado/RS (figura 1), pertencente a Região das Hortênsias, a qual é composta por cinco municípios, Gramado, Canela, Nova Petrópolis, São Francisco de Paula (que também integra a região dos Campos de Cima da Serra) e Picada Café. Gramado possui aproximadamente 36.555 habitantes e uma área territorial de 239,338 km², possuindo como principal atividade econômica o turismo (Instituto Brasileiro de Geografia



e Estatística [IBGE], 2018).

Figura 1

Mapa situando o município de Gramado/RS

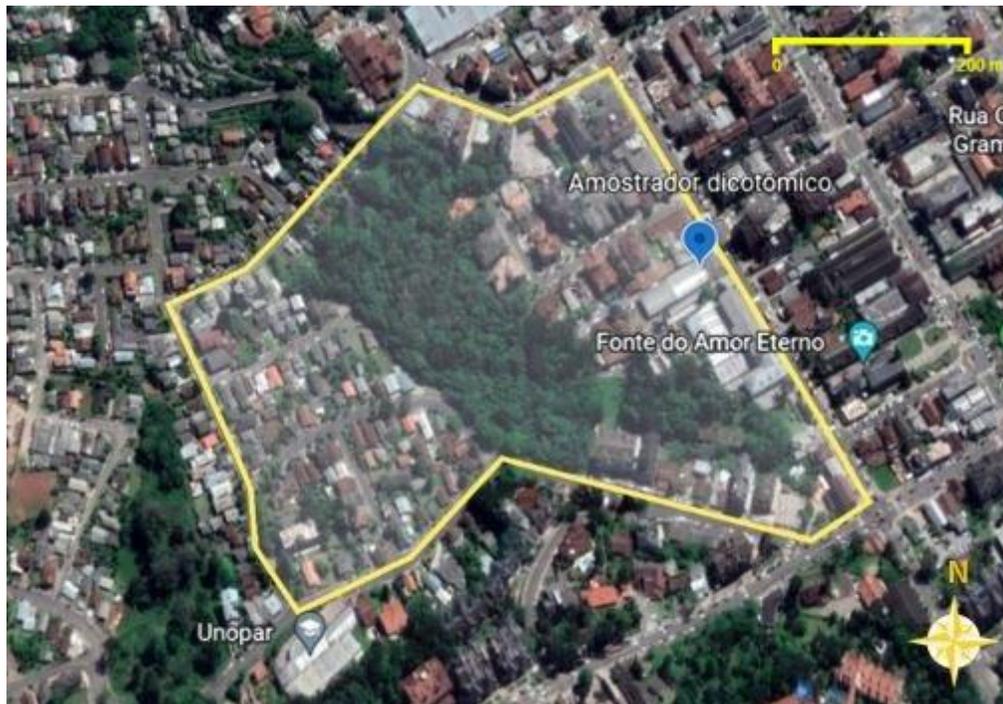


Fonte: O autor (2022).

O local de coleta dos poluentes atmosféricos, onde está instalado o amostrador dicotômico, está inserido em uma área central do município, com intenso fluxo de veículos e proximidade com as atividades que estimulam o turismo, como hotéis e restaurantes. O ponto, localizado nas coordenadas 29°22'44.67" Sul e 50°52'32.65" Oeste, podem ser observados na figura 2.

Figura 2

O polígono de área delimitado pela linha amarela, representa a área de monitoramento de avifauna. O marcador azul indica a localização do amostrador dicotômico (29°22'44.67" Sul e 50°52'32.65" Oeste)



Fonte: Adaptado Google Earth (2023).

Para a determinação da composição (riqueza) e estrutura da comunidade de aves, foi selecionada uma área próxima ao amostrador dicotômico. Essa área, conforme representado na Figura 2, teve seu perímetro (marcado em amarelo), percorrido durante as amostragens. A área delimitada pelo perímetro apresenta 14,5 ha, e caracteriza-se por apresentar em seu interior um fragmento florestal, circundado pela matriz urbana, remanescente da ocupação desordenada no município, no local ocorrem, acentuados declives e aclives, e um pequeno corpo hídrico. A matriz urbana mais próxima, possui grande circulação de pedestres e veículos automotores, além de restaurantes, hotéis e lavanderias, localizados a 100 metros do amostrador, onde ocorrem processos de combustão de caldeiras, ou seja, introduzindo na atmosfera, partículas por meio de fontes fixas.



Monitoramento e análise do material particulado

Os monitoramentos ocorreram durante 12 meses, com início em novembro de 2021 estendendo-se até outubro de 2022. Os filtros do amostrador dicotômico, ficaram expostos no equipamento de coleta por 24 horas em cada mês. Dessa forma, foram realizadas 24 coletas, das quais, 12 corresponderam ao $MP_{2,5}$ e outras 12 ao $MP_{2,5-10}$. Os filtros foram armazenados em dessecador por 24 horas e pesados antes e após as coletas de amostras para obter a massa PM e armazenados a 05 °C, envolvidos com folha de alumínio, segundo Ceratti, 2021, para evitar a degradação dos PAHs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos). Assim, a diferença entre as massas iniciais e finais são referentes ao material depositado no filtro. A pesagem dos filtros ocorreu por meio de uma balança analítica. Para a coleta do material particulado utilizou-se um analisador dicotômico, conforme figura 3, o qual realiza a separação inercial das partículas finas e grossas por meio de impactador virtual. Ao entrar no impactador, o fluxo da amostra é dividido em dois sistemas de fluxos separados e a amostra de ar é fracionada, geralmente a uma taxa de fluxo de 16,7 L/min, devido à aceleração que ocorre nas partículas. Assim, as partículas de $MP_{2,5-10}$ são direcionadas diretamente para a primeira câmara de deposição, sendo depositadas em um filtro de membrana, enquanto as partículas de $MP_{2,5}$, seguem por meio de um tubo que canaliza o fluxo e são coletadas separadamente em outra membrana (Costa *et al.*, 2018).

Figura 3



Amostrador dicotômico localizado no município de Gramado/RS (29°22'44.67" Sul e 50°52'32.65" Oeste)



Fonte: O autor, 2022.

Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos para as análises no presente estudo foram obtidos por meio da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia [INMET] localizada no município de Canela, uma vez que é a estação fornecedora dos dados para a Região das Hortênsias, além de sua proximidade com o ponto selecionado, abrangendo desta forma, toda a área estudada. A estação identificada como Canela A-879, código OMM 86990, está localizada a 831 metros de altitude, com as coordenadas latitude -29.368788° e longitude -50.827231. Os parâmetros utilizados são fornecidos das 11h00 às 20h00 e são: temperatura, umidade relativa do ar e precipitação.

Levantamento da avifauna

Para as amostragens em campo foi aplicado o método de “caminhamento” descrito por



Filgueiras *et al.* (1994), adaptado para a observação de aves, onde em um percurso, as espécies são registradas por meio de visualizações e vocalizações. As campanhas amostrais foram realizadas ao longo de um período de 12 meses, ocorrendo uma vez por mês, próximo à área onde está instalado o amostrador de qualidade do ar, nos períodos da manhã e tarde, das 7h às 10h e das 18h às 21h, podendo-se assim identificar espécies em horários diferentes. A caminhada realizou-se de forma aleatória pelo local selecionado (figura 1), percorrendo em torno de 3km por amostragem.

As espécies foram identificadas com auxílio de um binóculo Bushnell 10x50 e um gravador de voz (Samsung A11). Imagens foram capturadas com câmera NIKON COOLPIX P510 – lente 4.3-180mm, para serem identificadas posteriormente. Guias de identificação como os de Gabriel Rocha (2015) e Narosky & Yzurieta (2003) foram utilizados para auxiliar nas identificações. A classificação taxonômica das aves está de acordo com o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos [CBRO], (2021). De acordo com as planilhas de campo, foi elaborada uma lista taxonômica, acompanhada do registro mensal de ocorrência (presença ou ausência) de cada espécie.

Análises estatísticas

Para análise integrada da presença de poluentes atmosféricos foi utilizada a estatística descritiva, por meio da média, mediana, mínima e máxima. Para os dados meteorológicos utilizou-se também a estatística descritiva, média e desvio padrão da média. Para o levantamento da avifauna foi analisado a ocorrência mensal das espécies presentes no local, sua presença ou ausência. Neste estudo passamos a considerar o modelo de regressão linear múltipla, que foi “estimado” por meio do método Stepwise, pelo software SPSS 26.0.

Resultados e discussão

Material particulado grosso e fino

A Tabela 1 apresenta as concentrações de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$, média, mediana, máxima e mínima obtidas para o ponto de coleta. Os resultados demonstraram que duas amostras de





MP_{2,5} e seis amostras de MP_{2,5-10} ficaram em desconformidade com as diretrizes de qualidade do ar estabelecidos pela OMS. Quando em comparação com as diretrizes do CONAMA 491/2018, uma amostra de MP_{2,5} e quatro amostras de MP_{2,5-10} ficaram em desconformidade.

Tabela 1

Média, mediana, máximo, mínimo e concentrações encontrados para MP_{2,5} ($\mu\text{g m}^{-3}$) e MP_{2,5-10} ($\mu\text{g m}^{-3}$) em Gramado no período de novembro/2021 a outubro/2022

Parâmetro	MP _{2,5}	MP _{2,5-10}	
OMS	15	45	
CONAMA 491/2018	60	120	
	Período	Gramado	
	Nov/21	5,17	61,81(*)
	Dez/21	102,50(*) (#)	145,85(*) (#)
	Jan/22	1,39	112,50(*)
	Fev/22	12,51	163,90(*) (#)
	Mar/22	12,19	150,01(*) (#)
	Abr/22	21,31(*)	120,84(*) (#)
	Mai/22	11,5	5,25
	Jun/22	6,92	2,67
	Jul/22	6,5	6,75
	Ago/22	7,92	2,67
	Set/22	0,42	0,92
	Out/22	6,42	4,92
	Média	16,23	64,84
	Mediano	7,42	34,28
	Máximo	102,5	163,9
	Mínimo	0,42	0,92
	Número de Amostras	12	12

Legenda: (*) valores acima do OMS; (#) valores acima do CONAMA 491/2018. *Fonte:* O autor, 2023.

As concentrações mais elevadas para MP_{2,5} ocorreram em dezembro de 2021 (102,50



$\mu\text{g m}^{-3}$) e abril de 2022 ($21,31 \mu\text{g m}^{-3}$) e apresentaram concentrações em desacordo com os padrões de qualidade do ar referenciados pelas diretrizes da OMS ($15 \mu\text{g m}^{-3}$), meses onde ocorrem dois eventos importantes na cidade e que atraem um grande número de turistas, sendo eles o “Natal Luz” e a Páscoa, uma vez que a cidade é conhecida pela fabricação de chocolates. Embora a legislação brasileira (CONAMA 491/2018) estabeleça condições menos restritivas, as diretrizes globais da qualidade do ar da OMS foram atualizadas em 2021, estabelecendo estes novos padrões baseados em evidências a respeito dos efeitos da poluição do ar para a saúde (Who, 2021).

Com relação ao $\text{MP}_{2,5-10}$, as seis amostras registradas entre os meses de novembro de 2021 a abril de 2022, apresentaram concentrações em desacordo com os valores considerados seguros para a saúde pública pela OMS ($45 \mu\text{g m}^{-3}$). Ainda, quatro amostras obtiveram valores acima do recomendado pelo CONAMA 491/2018 ($120 \mu\text{g m}^{-3}$), sendo os meses de dezembro de 2021, fevereiro, março e abril de 2022.

A poluição do ar contribuiu substancialmente para a carga global de doenças em 2015, que aumentou nos últimos 25 anos, devido ao envelhecimento da população, mudanças nas taxas de doenças não transmissíveis e aumento da poluição do ar em países de baixa e média renda (Cohen *et al.*, 2017). Os riscos à saúde, associados as partículas de diâmetro igual ou menor que 10 e 2,5 micra (μm), MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ respectivamente, são de particular relevância para a saúde pública, tanto as partículas de $\text{MP}_{2,5}$ quanto as de MP_{10} são capazes de penetrar profundamente nos pulmões, mas as $\text{MP}_{2,5}$ podem entrar até mesmo na corrente sanguínea, resultando principalmente em impactos cardiovasculares e respiratórios e também afetando outros órgãos (Organização Pan-Americana da Saúde [OPAS], 2021).

O $\text{MP}_{2,5}$ foi o quinto fator de risco de mortalidade em 2015, sua exposição causou 4,2 milhões de mortes e 103,1 milhões de anos de vida ajustados por incapacidade, representando 7,6% do total de mortes globais, sendo que, as mortes atribuíveis à $\text{MP}_{2,5}$ aumentaram de 3,5 milhões em 1990 para 4,2 milhões em 2015 (Cohen *et al.*, 2017).





Em um estudo realizado no Recife/PE, verificou-se que a redução dos níveis de poluentes atmosféricos para os novos limites da OMS conseguiria reduzir no município, aproximadamente 136,5 mortes no caso da mortalidade total entre as pessoas com mais de 30 anos, 78 mortes no caso de mortalidade cardiovascular (relacionada à redução de $MP_{2,5}$) e 30,9 óbitos devido ao total causas não externas (relacionadas à redução de MP_{10}), além de reduzir 84 internações por problemas respiratórios ou cardiovasculares, sendo que esses benefícios representam 15,2 ganho de um mês na expectativa de vida da população, e um ganho de quase US\$ 160 milhões para o município (Leão *et al.*, 2022).

Quase 80% das mortes relacionadas a $MP_{2,5}$ no mundo poderiam ser evitadas se os níveis atuais de poluição do ar fossem reduzidos aos valores propostos na diretriz atualizada, de acordo com uma análise rápida de cenário realizada pela OMS, sendo que o maior benefício seria observado em países com concentrações elevadas de partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) e grandes populações (OMS, 2021).

Levantamento da avifauna

Ao longo do período de amostragens foram realizadas 12 campanhas de observação, totalizando 36 horas de esforço amostral, neste período foi possível registrar a ocorrência de 45 espécies de aves, pertencentes a nove ordens e 23 famílias, a lista taxonômica e os registros encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2





Lista taxonômica, acompanhada do registro mensal de ocorrência das espécies de aves registradas no período de novembro/2021 a outubro/2022 no município de Gramado/RS

Ordem/Família	Espécie	Nome comum	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Pelecaniformes														
Threskiornithidae	<i>Phimosus infuscatus</i>	tapicuru			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Theristicus caudatus</i>	curicaca	X	X	X		X	X	X			X	X	X
Cathartiformes														
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	urubu	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Charadriiformes														
Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	quero-quero	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Columbiformes														
Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	rolinha					X	X					X	X
	<i>Columba livia</i>	pombo-doméstico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Zenaida auriculata</i>	avoante			X	X	X				X	X	X	X
Cuculiformes														
Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	anú-preto					X	X					X	
Apodiformes														
Trochilidae	<i>Eupetomena macroura</i>	beija-flor-tesoura										X	X	X
	<i>Chlorostilbon lucidus</i>	besourinho-de-bico-vermelho		X					X				X	
	<i>Hylocharis chrysura</i>	beija-flor-dourado	X		X	X							X	X
	<i>Amazilia versicolor</i>	beija-flor-de-banda-branca	X	X		X	X	X	X			X		X
Falconiformes														
Falconidae	<i>Caracara plancus</i>	carcará				X								
	<i>Milvago chimachima</i>	carrapateiro	X											
Picidae	<i>Colaptes campestris</i>	pica-pau-do-campo								X				X
Psittaciformes														
Psittacidae	<i>Myiopsitta monachus</i>	caturrita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Passeriformes														
Furnariidae	<i>Furnarius rufus</i>	joão-de-barro									X	X	X	X
	<i>Cranioleuca obsoleta</i>	arredio-oliváceo										X		
Rhynchocyclidae	<i>Phylloscartes ventralis</i>	borboletinha-do-mato										X	X	X
Tyrannidae	<i>Elaenia mesoleuca</i>	tuque											X	
	<i>Elaenia parvirostris</i>	tuque-pium					X				X		X	
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	bem-te-vi									X	X	X	X
	<i>Myiodynastes maculatus</i>	bem-te-vi-rajado		X					X					
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	suiriri	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Tyrannus savana</i>	tesourinha	X	X	X	X	X					X	X	X
Vireonidae	<i>Vireo chivi</i>	juruviana												X
Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	andorinha-pequena-de-casa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Troglodytidae	<i>Troglodytes musculus</i>	corruíra					X					X	X	X
Turdidae	<i>Turdus rufiventris</i>	sabiá-laranjeira	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mimidae	<i>Mimus saturninus</i>	sabia do campo	X		X	X	X			X	X	X	X	X
Passerellidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	tico-tico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Parulidae	<i>Setophaga pitiayumi</i>	mariquita			X	X	X	X				X	X	X





	<i>Myiothlypis leucoblephara</i>	pula-pula-assobiador	X	X	X						X	X	X
Icteridae	<i>Cacicus haemorrhous</i>	guaxe	X	X					X				
Thraupidae	<i>Rauenia bonariensis</i>	sanhaço-papa-laranja										X	
	<i>Paroaria coronata</i>	cardeal							X				
	<i>Tangara sayaca</i>	sanhaço-cinzento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Sicalis flaveola</i>	canário-da-terra	X	X	X	X						X	X
	<i>Tachyphonus coronatus</i>	tie preto	X	X			X					X	X
	<i>Tersina viridis</i>	sai-andorinha											X
	<i>Coereba flaveola</i>	cambacica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Sporophila caerulescens</i>	coleirinho										X	X
	<i>Microspingus cabanisi</i>	quete-do-sul											X
Fringillidae	<i>Spinus magellanicus</i>	pintassilgo											X
Passeridae	<i>Passer domesticus</i>	pardal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Total	45	21	19	20	21	23	18	18	15	16	28	35

Fonte: O autor, 2023.

O total de espécies (45) registradas para o município de Gramado corresponde a 6,39% das espécies de aves ocorrentes no Rio Grande do Sul, quando comparado ao trabalho de Franz *et al.*, 2018, que registra 704 espécies para o estado. Apenas um estudo foi realizado no município de Gramado sobre o levantamento da avifauna, em dois parques localizados na área urbana da cidade, onde após 72 horas de observação, foram registradas 84 espécies de aves, representando 11,9% da avifauna registrada para o Rio Grande do Sul (Joner & Barros, 2019).

Existem inúmeros fatores que podem influenciar os resultados em um trabalho de observação de aves, como por exemplo, o tempo de esforço amostral, experiência do pesquisador e o equipamento utilizado, porém, nesta pesquisa, o local de estudo tem grande relevância para a riqueza de espécies registradas até o momento, uma vez que a área escolhida, encontra-se em meio a um centro urbano, que acolhe um grande número de turistas diariamente. Segundo Teixeira & Barros (2015), em um levantamento de avifauna realizado no Campus II da Universidade Feevale (área totalmente urbanizada), foram registradas 36 espécies de aves, pertencentes a 26 famílias, em um total de 86 horas de observações.

Ainda verificamos que o aumento das espécies de aves ocorreu gradativamente a partir do mês que antecede a primavera, época de reprodução destes animais, neste período o



estado recebe espécies migratórias, como a *Tyrannus savana*.

Tomazelli *et al.* (2021) afirmam que as aves silvestres têm maior potencial para serem utilizadas como bioindicadores ambientais na área de pesquisa com toxicidade, e sugere focar em uma ou poucas espécies cujos hábitos ecológicos e fisiológicos sejam bem conhecidos.

Segundo Gonçalves *et al.* (2022), os distúrbios ambientais, como a poluição atmosférica, provocam perturbações nas comunidades e podem levar à extinção de algumas espécies de aves ou ainda, gerar efeitos mutagênicos, como Anomalias Nucleares Eritrocitárias [ANE], nos indivíduos que permanecem nos ambientes. No estudo destes autores, observou-se em relação ao teste experimental, que os canários do ambiente urbano apresentaram maiores quantidades de ANE's, demonstrando que, a má qualidade do ar parece ser um fator favorável ao surgimento de ANE's em aves, sendo possível o uso desse biomarcador em estudos de biomonitoramento.

Ainda, em um estudo utilizando 12.921 patos reprodutores, reduziu-se seu contato com poluentes atmosféricos, entre eles o material particulado fino (MP_{2,5}), material particulado grosso (MP₁₀) e particulado total em suspensão (PTS), verificando que, a redução do MP_{2,5} foi um dos parâmetros ambientais importantes que afetaram o desempenho produtivo e reprodutivo das aves (Han *et al.*, 2022).

Segundo Liang *et al.* (2020), existem evidências em larga escala de que a poluição do ar está associada ao declínio na abundância de aves, e que um regulamento de poluição do ar que limita as emissões poluentes, como o ozônio, trará benefícios substanciais para a conservação das aves e para a proteção da saúde humana.

Dados meteorológicos

A Tabela 3 apresenta os dados sobre as variáveis meteorológicas, aferidas pelos parâmetros: precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar (média), obtidas por meio do banco de dados do INMET, do município de Canela/RS no período de novembro de 2021 a outubro de 2022. Sendo os valores expressos em média.

Tabela 3

Apresentação de média referente as variáveis meteorológicas de novembro/2021 a outubro/2022 para o município de Gramado/RS

Média variáveis	Precipitação total (mm)	Temperatura média (C°)	Umidade relativa do ar (%)
Nov/21	5,12	17,33	78,02
Dez/21	1,93	20,28	72,95
Jan/22	9,4	24,74	63,4
Fev/22	1,9	23,16	65,86
Mar/22	2,8	22,27	73,2
Abr/22	0	18,95	80,04
Mai/22	6,34	10,72	85,85
Jun/22	12,99	9,96	87,6
Jul/22	172,6	14,55	79,72
Ago/22	327,2	11,59	82,58
Set/22	170	12,38	81,8
Out/22	182,4	14,07	84,32

Fonte: O autor, 2023.

As variáveis de temperatura para o período de estudo registradas por meio da estação do INMET, demonstraram que o maior valor médio mensal registrado para a temperatura foi no mês de janeiro de 2021 (24,73°C), já o menor valor mensal registrado foi no mês de junho de 2022 (9,96°C).

Os níveis de precipitação ao longo dos oito primeiros meses foram escassos, uma vez que a menor concentração média ocorreu no mês de abril de 2021, onde não foi registrado

acúmulo de chuva. Segundo Castelhana e Mendonça (2019), ao analisar a relação entre os níveis de chuva e os valores de poluição, percebe-se que, o MP demonstra particular relevância, pois este poluente mostrou-se com seus mais altos níveis ao longo dos dias em que não houve registros de chuvas, como no presente estudo, cujos níveis de concentração do MP_{2,5-10}, estiveram acima do padrão estabelecidos pela OMS nos seis primeiros meses de monitoramento. A precipitação auxilia na “limpeza” da atmosfera, deixando-a com menor concentração de poluentes que podem colaborar com os problemas do aparelho respiratório (Moraes *et al.*, 2019; Who, 2021).

A umidade relativa do ar obteve o maior valor médio no mês de junho de 2022, com 87,60%. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) valores de umidade relativa entre 30% e 50% são níveis ideais para a saúde humana, porém, os valores acima de 65% podem contribuir para o aumento de alergias, asma e doenças respiratórias do trato superior e os valores abaixo de 20% representam estados de alerta e emergência. A umidade relativa do ar e a precipitação são fatores climáticos chaves na determinação dos valores de poluição, todavia, tal fato depende do poluente analisado (Castelhana & Mendonça, 2019).

Análise da correlação dos dados

O Quadro 1 apresenta o modelo de regressão linear relacionando os dados referentes ao levantamento da avifauna e a precipitação ao longo dos meses de novembro de 2021 a outubro de 2022 para o município de Gramado/RS.

Quadro 1

Apresentação do modelo de regressão referente ao levantamento da avifauna e precipitação de novembro/2021 a novembro/2022 para o município de Gramado/RS

Coeficientes ^a		Coeficientes não padronizados	Coeficientes padronizados				Estatísticas de colinearidade	
Modelo		B	Erro	Beta	t	Sig.	Tolerância	VIF
	(Constante)	19,5	2		10,6	<,001		
	Precipitação	0,03	0	0,61	2,45	0,03	1	1

Resumo do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,612 ^a	,374	,312	5,23

Legenda: a. Variável Dependente: AVES. Fonte: O autor, 2023.

De acordo com o modelo de regressão linear, 37,4% da variação do número de aves é explicado pela precipitação. Desta forma, nos meses em que houve níveis mais altos de precipitação, registrou-se um maior número de aves. A correlação positiva entre a riqueza de aves e a precipitação, pode ser explicada de várias maneiras: aves urbanas podem se agregar em momentos mais chuvosos, para manterem-se aquecidas, aumentar o efeito de grupo, evitando predação de felinos urbanos, e também pelo aumento de disponibilidade alimentar. O efeito da chuva ocorre diretamente sobre a vegetação, estimulando o crescimento e aumentando a disponibilidade de folhas, flores, frutos, sementes e, indiretamente, a fauna de invertebrados associada, aumentando a disponibilidade de recursos para a sobrevivência e reprodução das aves (Eduardo, 2022). Além disso, o sucesso reprodutivo das aves pode ser prejudicado devido ao frio e a seca, em condições extremas que podem ocorrer devido às mudanças climáticas (Crick, 2004).

Segundo Illán *et al* (2014), A precipitação e a temperatura do inverno preveem mudanças de abundância em escala de longo prazo nas aves, sendo um grande desafio prever as respostas da biodiversidade às mudanças climáticas. A chuva é muito importante para os táxons tropicais, moldando os padrões geográficos e temporais da biodiversidade em grandes

porções do globo, sendo necessário novas pesquisas para compreender esta relação, uma vez que, a precipitação está mudando nas latitudes tropicais de forma mais rápida e menos previsível do que a temperatura (Boyle et al., 2020).

O Quadro 2 apresenta o modelo de regressão linear relacionando os dados referentes ao MP₁₀ e a temperatura máxima ao longo dos meses de novembro de 2021 a outubro de 2022 para o município de Gramado/RS.

Tabela 2

Apresentação do modelo de regressão referente aos resultados do MP10 e a temperatura máxima de novembro/2021 a novembro/2022 para o município de Gramado/RS

Coeficientes ^a		Coeficientes não padronizados	Coeficientes padronizados				Estatísticas de colinearidade	
Modelo			B	Erro	Beta	t	Sig.	Tolerância
	(Constante)	138,95	29,47		-4,72	<,001		
	Precipitação	11,76	1,63	,916	7,209	<,001	1,00	1,00

Resumo do modelo

Modelo	R	R quadrado	R quadrado ajustado	Erro padrão da estimativa
1	,916 ^a	,839	,822	28,79

Fonte: O autor, 2023.

O modelo de regressão linear verificou que 83,9% da variação do MP₁₀ é explicada pelo aumento da temperatura máxima. Desta forma, quanto maior a temperatura máxima, maior a concentração de MP₁₀.

A concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas e alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas. Fenômeno que ocorre geralmente quando as noites são frias e a temperatura tende a se elevar rapidamente durante o dia, provocando alteração no resfriamento natural do ar (CETESB, 2023), características presentes no município de estudo.



Segundo Lee *et al*, (2019), pode haver excesso de riscos positivos e significativos de morte devido ao sinergismo entre alta temperatura e poluição do ar na população para todos os poluentes, para esta análise foram usadas para estimar a interação aditiva entre alta temperatura e poluição do ar a regressão de séries temporais Quasi-Poisson e a meta-análise. Em um estudo realizado na Índia, foi observado associações consistentemente mais fortes entre poluentes atmosféricos e mortalidade em altas temperaturas do que em temperaturas médias. Essas diferenças foram estatisticamente significativas para as associações entre PM₁₀ e mortalidade não acidental e entre todos os poluentes estudados e mortalidade respiratória (Qin et al, 2016).

Conclusões

Os resultados deste estudo foram significativos, uma vez que os objetivos foram alcançados. Pode-se verificar a existência de correlação entre a comunidade de aves e a precipitação, uma vez que o período de chuvas é fundamental para a reprodução destes animais. Ainda, verificou-se a correlação entre os poluentes atmosféricos e as variáveis meteorológicas, por meio da temperatura máxima e os níveis de MP10, concluindo-se que, nos meses mais quentes concentra-se um maior número destes poluentes devido a inversão térmica. Sugere-se em um próximo estudo, monitorar a temperatura durante as 24h horas do mesmo dia em que os demais dados forem levantados.

Apesar de não ocorrer a correlação entre a comunidade de aves e as concentrações de poluentes atmosféricos durante o período de estudo, de acordo com a literatura, as aves são bioindicadores da qualidade do ar e logo, são afetadas por seus poluentes. Desta forma, sugere-se estender o período de monitoramento ou focar em uma ou duas espécies de aves.

Este estudo contribui para o planejamento regional ao apresentar por meio desta análise ambiental integrada as consequências da principal atividade econômica do município estudado. Ainda, o conhecimento produzido por este trabalho pode contribuir como subsídio para novos estudos sobre o tema, assim como para a elaboração de





estratégias relacionadas a saúde pública e ao meio ambiente, uma vez que avaliamos a situação do ambiente natural e urbano, principalmente em relação a qualidade do ar, onde os níveis de poluentes estiveram acima dos estabelecidos pela OMS em vários meses, não só para a comunidade de aves, mas para toda a população do município e para os milhares de turistas que o frequentam anualmente.

Ainda, este estudo contribui para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, baseando-se no Objetivo onze, “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” e Objetivo treze “Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”.

Sobre as limitações para a realização deste estudo, houve a falta de dados sobre o tráfego de veículos, onde a empresa responsável pela entrada de veículos no município não mantém atualizado, nem se propôs a fornecer para esta pesquisa.

Sugere-se ainda, novas pesquisas sobre o tema, podendo realizar uma análise focando em uma ou duas espécies chave de aves, realizar o estudo em uma área urbana e rural para comparação dos resultados, podendo também aumentar o tempo amostral de observação de aves, assim como realizar a análise dos impactos da poluição do ar na morfologia das espécies por meio da captura dos animais.

Referências

Air Pollution Control District [apcd]. (2023). Santa Barbara Country. About Smoke and Health.

Recuperado em <https://www.ourair.org/about-smoke-and-health/>

Almeida, A. F. & Almeida, A. (1998) Monitoramento de fauna e de seus habitats em áreas florestadas. Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP. São Paulo.12(31), 85-92. Recuperado de <https://www.ipef.br/publicacoes/tecnica/nr31/cap8.pdf>

Azzazy, M. F. (2020). Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt.

Plos One. Recuperado de





<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226315>

Baesse, C. Q., Tolentino, V. C. M., Morelli, S. & Melo, C. (2019) Effect of urbanization on the micronucleus frequency in birds from forest fragments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Elsevier. 171, 631-637. Recuperado de

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.026>

Banco de Saúde. CID 10 - Classificação internacional de doenças e problemas relacionados à saúde, (2014). Recuperado de <http://cid10.bancodesaude.com.br/cid-10/capitulos>

Bianchi, P., Silvestre, T., Junior, J. R. K., Poscai, A. N., Leandro, R. M. & Gonzalez, P. O. (2016) Relações Topográficas dos Sacos Aéreos de Codornas (*Coturnix coturnix*). *Ciência Animal Brasileira*. Goiânia. 17(2), 279-284. Recuperado de

<https://doi.org/10.1590/1089-6891v17i231635>

Boyle, W. A., Shogren, E. H. & Brawn, J. D. (2020, 18 de julho). Hygric Niches for Tropical Endotherms. *Trends Ecol Evol*. 35(10), 938-952. Recuperado em

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.06.011>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2011. 1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Relatório final, Brasília: MMA, 114.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). CONAMA 491 de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. 2018. Recuperado de

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>

Cable News Network [CNN]. (2022). Por conta das mudanças climáticas, pássaros estão cada vez menores. Fevereiro. Recuperado em <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/por-conta-das-mudancas-climaticas-passaros-estao-cada-vez-menores/>

Castelhano, F. J. & Mendonça, F. A. (2019). Poluição do ar e clima: perspectivas futuras para o aglomerado urbano de Curitiba, Paraná. *GeoNordeste*. São Cristóvão. 3, 6-24.

Recuperado de <https://doi.org/10.33360/RGN.2318-2695.2019.i3.p.06-24>





Chandra, S., Kulshrestha. M. J., Singh, Singh, R. & Singh, N. (2016). Chemical Characteristics

of trace metals in PM10 and their concentrated weighted trajectory analysis at Central

Delhi, India. *Journal of Environmental Science*. 55,184-196. Recuperado de

<https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.06.028>

Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J. & Estep, K. (2017, 13 de

maio) Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to

ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study

2015. *Lancet*. ed. 10082, 389,1907-1918. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/S0140->

[6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)

Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos [CBO]. (2021) Lista das Aves do Brasil.

Recuperado de <http://www.cbro.org.br/listas/>

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2021). O uso de bioindicadores vegetais no

controle da poluição atmosférica. Recuperado de

<https://cetesb.sp.gov.br/solo/bioindicadores/>

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015) Evolução da concentração de níquel,

cádmio, arsênio e chumbo no material particulado na atmosfera de São Paulo (Estação

Cerqueira César). Recuperado de <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015) Biomonitoramento da vegetação na

região de Cubatão: fluoreto, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel. Recuperado de

https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/veg_web_24-04/

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2023) Poluentes. Recuperado em

<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/#:~:text=Sob%20a%20denomina%C3%A7%C3%A3o%20>

[geral%20de,causa%20de%20seu%20pequeno%20tamanho](https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/#:~:text=Sob%20a%20denomina%C3%A7%C3%A3o%20geral%20de,causa%20de%20seu%20pequeno%20tamanho)

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Resolução nº

491, de 19 de novembro de 2018. Brasília, DF.





- Costa, G. Integrated Evaluation of Quantitative Factors Related to the Environmental Quality Scenario. Springer International Publishing, 2018. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_122-1
- Crick, H. Q. P. (2004, 23 de setembro). The impact of climate change on birds. *British Ornithologists' Union*. Ibis. 146. p. 48-56. Recuperado em <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00327>
- Crispim, B. A., Vaini, J. O., Grisolia, A. B., Teixeira, T. Z., Mussury, R. M. & Seno, L. O. (2012, março) Biomonitoring the genotoxic effects of pollutants on *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt in Dourados. *Environmental Science and Pollution Research*. v. 19, p. 718-723. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0612-3>
- Dapper, S.C. Spohr, C. Zanini, R.R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. (2016). *Metrópole e Saúde*, 30-86. Recuperado em <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>
- Dutta, H. (2017, 4 de setembro) Insights into the impacts of four current environmental problems on flying birds. *Energy, Ecology and Environment* v. 2. p. 329–349. 2017. Recuperado em <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0075-6>
- Filgueiras, T. S., Guala, G. F., Nogueira, P. E. (1994) Caminhamento: um método expedito para levantamentos florísticos qualitativos. *Cadernos de Geociências*. cap.12. p. 39-43.
- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. (2021). Qualidade Ambiental. Legislação Ambiental. Recuperado em http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/legislacao_ar.asp
- Fundação Nacional da Saúde. (2020) Saúde Ambiental para Redução dos Riscos à Saúde Humana. Recuperado em <http://www.funasa.gov.br/saude-ambiental-para-reducao-dos-riscos-a-saude-humana>
- Fundação Estadual do Meio Ambiente [FEAM]. (2023). Recuperado em <http://www.feam.br/qualidade-do-ar/emissao-de-fontes-fixas>





- Franz, I., Agne, C. E., Bencke, G. A., Bugoni, L & Dias, R. A. (2018, 5 de abril). Four decades after Belton: a review of records and evidences on the avifauna of Rio Grande do Sul, Brazil. Porto Alegre. *Iheringia, Série Zoologia* 108: e2018005. Recuperado em <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2018005>
- Gonçalves, V. F., Melo, C. & Giaretta, K. G. F.. (2022, 10 de fevereiro) Anomalias nucleares eritrocitárias como ferramentas de biomonitoramento por aves no cerrado. 84f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Biodiversidade) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Recuperado em <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2022.5306>
- Goutner, V., Papagiannis, I. & Kalfakakou, V. (2001, 21 de fevereiro). Lead and cadmium in eggs of colonially nesting waterbirds of different position in the food chain of Greek wetlands of international importance. *The Science of the Total Environment*, v. 267. ed.1-3. p.169-176. Recuperado em [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00808-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00808-1)
- Guarnieri, M. & Balmes, J. (2014, 3 de maio) Outdoor air pollution and asthma. *Asthma*. v. 383. p. 1581-1592. Recuperado em [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)
- Han, T., Wang, T., Wang, Z., Xiao, T., Wang, M., Zhang, Y, Zhang, J. & Liu, D. (2022, 2 de maio) Evaluation of gaseous and solid waste in fermentation bedding system and its impact on animal performance: A study of breeder ducks in winter. *Sci Total Environ*. v. 25. p. 836:155672. 2022. Recuperado em <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155672>
- Hawksworth, D. L. & Colwell, R. R. (1992, dezembro). Microbial Diversity 21: biodiversidade entre microrganismos e sua relevância. *Biodivers Conserv*. v. 1. p. 221–226. Recuperado em <https://doi.org/10.1007/BF00693760>
- Holt, E. A. & Miller, S. W. (2010) Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge* 3(10):8.
- Illán, J. G., Thomas, C. D., Jones, J. A., Wong, W. K., Shirley, S. M. & Betts, M. G. (2014, 26 de maio). Precipitation and winter temperature predict long-term range-scale abundance



- changes in Western North American birds. *Primary Research Article*. v. 20, p. 3351-3364. Recuperado em <https://doi.org/10.1111/gcb.12642>
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2018) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Volume III. Aves. ed. 1. Brasília. DF.
- Jardim, W. S., Cardoso, K. M. & Jesus, C. P. (2021, 7 de abril) Caracterização e utilização de três espécies da arborização urbana no biomonitoramento de material particulado. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. v. 9. n. 2. p. 23-32. Recuperado em <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/733/294>
- Joner, J. & Barros. M. P. (2019) Levantamento de Avifauna de parques urbanos no município de Gramado, RS. Trabalho de Conclusão de Curso – Ciências Biológicas, Bacharel. Universidade Feevale.
- Kaffe, M., Martins, S. M. A. & Vargas, V. M. F. (2012) Biomonitoramento da qualidade do ar com uso de líquens na cidade de Porto Alegre, RS, Brasil. *FEPAM em Revista*. v. 6. n. 2. p. 4-12. Recuperado em <http://hdl.handle.net/10183/30187>
- Leão, M.L.P., Zhang, L. & da Silva Júnior, F.M.R. (2022, 23 de julho). Effect of particulate matter (PM2.5 and PM10) on health indicators: climate change scenarios in a Brazilian metropolis. *Environ Geochem Health*. Recuperado em <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01331-8>
- Lee, W., Choi, H.M., Kim, D., Honda, Y., Guo, Y. L. L. & Kim, H. (2019, novembro). Synergic effect between high temperature and air pollution on mortality in Northeast Asia. *Environ Res*. 178:108735. Recuperado em <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108735>
- Liang, Y., Rudik, I., Zou, E. Y. & Kling, C. L. (2020, 24 de novembro) Conservation cobenefits from air pollution regulation: Evidence from birds. *PNAS*. v. 117. p. 30900–30906. Recuperado em <https://doi.org/10.1073/pnas.2013568117>
- Liu, Z. Wenkang, G. Yangchun, Y. Bo, H. Jinyuan, X. Yang, S. ... Yuesi, W. (2018). Characteristics of PM2.5 mass concentrations and chemical species in urban and



- background areas of China: emerging results from the CARE-China network. *Articles*. V.18, 8849–8871. Recuperado em <https://doi.org/10.5194/acp-18-8849-2018>
- Migliavacca, D. M., Teixeira, E. C. & Rodriguez, M. T. R. (2012) Composição química da precipitação úmida da região metropolitana de Porto Alegre, Brasil, 2005-2007. *Química Nova*, v. 35, n. 6, p. 1075- 1083. Recuperado em <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000600002>
- Ministério do Meio Ambiente. (2011) Poluentes Atmosféricos. Recuperado em <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>
- Moraes, S. L., Almendra, R., Santana, P. & Galvani, E. (2019). Variáveis meteorológicas e poluição do ar e sua associação com internações respiratórias em crianças: estudo de caso em São Paulo, Brasil. *Cad. Saúde Pública*. v. 35(7). Recuperado em <https://doi.org/10.1590/0102-311X00101418>
- National Institute of Environmental Health Sciences [NIH]. (2023). Recuperado em <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution/index.cfm>
- Nevers, N. (2000). *Air pollution control engineering*. 2ª edição: Boston: Massachusetts.
- Organização Mundial da Saúde. World Health Organization. *Air Quality Guidelines*. 2005. Recuperado em https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
- Organização Mundial da Saúde. World Health Organization. *Air Quality Guidelines*. 2021. Recuperado em https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
- Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS. 2021. Recuperado em <https://www.paho.org/pt/brasil>
- Otoni, B. M. P. (2009). Avaliação da qualidade da água do rio Piranhas-Açu/RN utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. p. 93. Recuperado em <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12485>





- Pacheco, J. F., Annotated checklist on the birds of Brasil by the Brazilian Ornithological Records Committee – second edition. *Ornithology Research*. v. 29. p. 94-105. 2021.
- Quin, R. X., Xiao, C., Zhu, Y., Li, J., Yang, J., Gu, S. ... Woodward, A. (2017, janeiro). The interactive effects between high temperature and air pollution on mortality: A time-series analysis in Hefei, China. *Sci Total Environ*. 1;575:1530-1537. Recuperado em <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.033>
- Ren, L., Yang, W. & Bai, Z. (2017, 25 de novembro). Characteristics of Major Air Pollutants in China. In: Dong, GH. (eds) *Ambient Air Pollution and Health Impact in China. Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer, Singapore. v. 1017. Recuperado em https://doi.org/10.1007/978-981-10-5657-4_2
- Sacco, A.G., Rui, A. M., Bergman, F. B., Muller, S. C. & Hartz, S. M. (2015, 30 de setembro) Perda de diversidade taxonômica e funcional de aves em área urbana no sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, Porto Alegre. v. 105. p. 276-287. Recuperado em <https://doi.org/10.1590/1678-476620151053276287>
- Sanderfoot, O. V. & Holloway, T. (2017, 11 de agosto). Tracey. Air pollution impacts on avian species via inhalation exposure and associated outcomes. *Environmental Research Letters*. v. 12. n. 8. Recuperado em <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8051>
- Santos, U. P., Arbex, M. A., Braga, A. L. F., Mizunitani, R. F., Cançado, J. E. D. ... ChaTkin, J. M. (2021) Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. *J Bras Pneumol*. São Paulo. 47(1). p. 1-13. Recuperado em <https://dx.doi.org/10.36416/1806-3756/e20200267>
- Schachner, E. R., Cieri, R. L., Butler, J. P. & Farmer, C. G. (2014, 11 de dezembro). Unidirectional pulmonary airflow patterns in the savannah monitor lizard. *Nature*. v. 506. p. 367-370. Recuperado em <https://doi.org/10.1038/nature12871>
- Sick, H. (1997.)Ornitologia Brasileira. Ed. Nova Fronteira, Rio de Janeiro. V. 20. p. 113, 912.





- Sperling, M. (2006, 15 de setembro) Flame and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry in Environmental Analysis. Encyclopedia of Analytical Chemistry. *Environment: Water and Waste*. Recuperado em <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a0805>
- Teixeira, J.B. & Barro, M. P. (2014, janeiro) Avifauna do Campus II da Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil. *Revista Conhecimento Online* – a. 6. v. 1, p. 15. Recuperado em <https://doi.org/10.25112/rco.v1i0.206>
- Tomazelli, J., Rodrigues, G. Z., Franco, D., Souza, M. S., Burghausen, J. H., Panizzon, J..., Gehlen, G. (2021, 7 de outubro) Potential use of distinct biomarkers (trace metals, micronuclei, and nuclear abnormalities) in a heterogeneous sample of birds in southern Brazil. *Environ Sci Pollut Res Int*. v. 29(10). p. 14791-14805. Recuperado em <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16657-6>
- United States Environmental Protection Agency. (2014). Positive Matrix Factorization - PMF. 5.0: fundamentals and user guide. Office of Research and Development, Washington. Recuperado de www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/pmf_5.0_user_guide.pdf
- World Health Organization [WHO]. (2021) guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Geneva: World Health Organization.
- World Health Organization [WHO]. (2021). Ambient (outdoor) air pollution. Recuperado em [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health?gclid=EAlalQobChMI8c_fu9GBgQMVCG6RCh30qwdnEAAYASAAEgKhVPD_BwE](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health?gclid=EAlalQobChMI8c_fu9GBgQMVCG6RCh30qwdnEAAYASAAEgKhVPD_BwE)