

Qualidade do ar em residências baixa renda de crianças asmáticas

Recebido: 2024-05-27

Aceito: 2025-01-21

Cómo citar este artículo:

Pagel, E. C., Medeiros, L. L., Santos, J. M., Arpini, C. M., Ramos, A. C. & Reis Júnior, N. C. (2025). Qualidade do ar em residências baixa renda de crianças asmáticas. *Revista INVI*, 40(113), 29-84.

<https://doi.org/10.5354/0718-8358.2025.74775>

Projeto ASMAVIX: Entidade financiadora: ArcelorMittal Brasil. Código do projeto: 022266201781.

Érica Coelho PagelUniversidade Vila Velha, Brasil, erica.pagel@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4484-1963>**Lidia Leal Medeiros**Universidade Vila Velha, Brasil, lidia-medeiros99@hotmail.com <https://orcid.org/0009-0001-2976-9089>**Jane Méri Santos**Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, jane.m.santos@ufes.br <https://orcid.org/0000-0003-3933-2849>**Clarisse Maximo Arpini**Universidade Vila Velha, Brasil, clarisse.arpini@uvv.br <https://orcid.org/0000-0001-5814-6393>**Alessandro Coutinho Ramos**Universidade Vila Velha, Brasil, alessandro.ramos@uvv.br <https://orcid.org/0000-0002-4082-0076>**Neyval Costa Reis Júnior**Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, neyval.reis@ufes.br <https://orcid.org/0000-0002-6159-4063>



Qualidade do ar em residências baixa renda de crianças asmáticas

Resumo

Residências construídas sem a orientação profissional adequada, conhecidas como autoconstruções, muitas vezes apresentam inconformidades que podem prejudicar a qualidade do ar interno, contribuindo para o aumento da concentração de contaminantes microbiológicos no ar. O presente trabalho objetivou identificar a relação entre os aspectos construtivos da moradia e a qualidade do ar em um conjunto de residências de crianças asmáticas na cidade de Vitória, Espírito Santo, Brasil. A metodologia incluiu levantamento físicos e fotográficos, identificação visual da presença de mofo nas residências e coleta de fungos aéreos. Os resultados mostraram existência de alta umidade nas moradias e janelas nos dormitórios com área de ventilação e iluminação natural abaixo do mínimo recomendado pela legislação brasileira. A concentração de fungos no ar ultrapassou o limite da OMS em 29 das 56 moradias analisadas. O estudo pretende colaborar no entendimento dos aspectos entre a habitação e a saúde humana reduzindo assim o agravamento de problemas respiratórios e melhorando a qualidade de vida.

Palavras-chave: habitação, qualidade do ar interno, fungos, asma, Vitória (Espírito Santo, Brasil).



Air Quality in Low-Income Households of Asthmatic Children

Abstract

Residences built without adequate professional orientation, known as self-constructions, often present non-conformities that can harm indoor air quality, contributing to an increase in the concentration of microbiological contaminants in the air. The present research aimed to identify the relationship between the constructive aspects of housing and air quality in a group of homes for asthmatic children in the city of Vitória, Espírito Santo, Brazil. The methodology included physical and photographic surveys, visual identification of the presence of mold in homes, and collection of aerial fungi. The results showed the existence of high humidity in the houses and windows in the bedrooms with a ventilation area and natural lighting below the minimum recommended by Brazilian legislation. The concentration of fungi in the air exceeded the World Health Organization limit in 29 of the 56 homes. The study intended to help understand the aspects linking housing and human health, thus reducing the worsening of respiratory problems and improving quality of life.

Keywords: housing, indoor air quality, fungi, asthma, Vitória (Espírito Santo, Brazil).



Calidad del aire en viviendas de bajos ingresos de niños asmáticos

Palabras clave: vivienda, calidad del aire interior, hongos, asma, Vitória (Espírito Santo, Brasil).

Resumen:

Las viviendas construidas sin la supervisión profesional adecuada, conocidas como autoconstrucciones, a menudo presentan deficiencias que pueden afectar la calidad del aire interior, contribuyendo al aumento de la concentración de contaminantes microbiológicos en el aire. Este estudio tuvo como objetivo identificar la relación entre los aspectos constructivos de la vivienda y la calidad del aire en un conjunto de hogares de niños asmáticos en la ciudad de Vitória, Espírito Santo, Brasil. La metodología incluyó sondeos físicos y fotográficos, identificación visual de la presencia de moho en las viviendas y muestreo de hongos en el aire. Los resultados mostraron la existencia de altos niveles de humedad en las viviendas, así como en las ventanas en los dormitorios con áreas de ventilación e iluminación natural por debajo del mínimo recomendado por la legislación brasileña. La concentración de hongos en el aire superó el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 29 de las 56 viviendas analizadas. Este estudio busca contribuir a la comprensión del vínculo entre las condiciones de vivienda y la salud humana, resaltando la necesidad de mejorar los estándares de construcción para mitigar problemas respiratorios y mejorar la calidad de vida.

Introdução

A arquitetura residencial possui influência direta na qualidade da moradia que deve proporcionar ao seu usuário. Além de atender suas necessidades psicofisiológicas, a habitação deve proporcionar dignidade, conforto, funcionalidade e segurança. O ser humano, de modo geral, passa cerca de 80% a 90% da sua vida em espaços internos e inalando por dia aproximadamente 10 m³ de ar (Godish *et al.*, 2014). O isolamento social decretado pela Organização Mundial da Saúde, no início do ano de 2020 devido a pandemia do COVID-19, ocasionada pelo vírus Sars-Cov-2 (Bueno *et al.*, 2021), fez com que grande parte da população mundial adaptasse suas rotinas dentro de suas próprias casas, elevando este tempo de permanência, e tornando este recinto multifuncional, com funções tanto para trabalho, estudo, como para descanso e lazer, o que também reforçou a importância da residência no contexto da saúde dos seus moradores.

A poluição do ar de interiores é resultado da poluição do ar no exterior que infiltra para dentro da edificação, pelas suas aberturas e frestas, somadas a poluição do ar gerada por fontes internas a esta (Santos *et al.*, 2011; Tofful *et al.*, 2021). Os contaminantes podem ser de origem física, química e/ou biológica, podendo-se citar como algumas fontes de poluição do ar em ambientes residenciais: cocção (Akteruzzaman *et al.*, 2023; Begum *et al.*, 2009; Cortés & Ridley, 2013), tintas, colas e resinas em materiais de acabamento (Uhde & Salthammer, 2007), mofo e bolores na edificação (Du *et al.*, 2021; Fisk *et al.*, 2007; Qiao *et al.*, 2024), dentre outros.

Os efeitos adversos associados à poluição do ar incluem doenças respiratórias e cardiovasculares, bem como risco de câncer em ambientes específicos. Asma e rinite, por exemplo, são doenças inflamatórias que são desencadeadas, dentre outros fatores, pela exposição a poluentes presentes no ambiente interno (Boechat, 2009).

Residências construídas sem a orientação profissional adequada, conhecidas como autoconstruções, muitas vezes apresentam inconformidades que prejudicam o conforto térmico, ergonômico, lumínico, acústico e também, a qualidade do ar. Na maioria das cidades brasileiras, aproximadamente 85% das obras não utilizam serviços especializados devido a necessidade de produzir sua própria moradia. Assim, o proprietário incorre em diversos erros técnicos e, na maior parte dos casos, infringe a legislação vigente (Killian, 2023). Essas irregularidades podem afetar as trocas de ar entre o meio externo e o interno, bem como a entrada de sol e iluminação natural na residência, tornando-a, muitas vezes, insalubre e propícia a proliferação de micro-organismos, tais como fungos e bactérias, que podem agravar o quadro de doenças alérgicas respiratórias dos seus moradores (Cox *et al.*, 2022).

Alguns estudos mostraram que a concentração de fungos em ambientes internos está diretamente ligada ao seu entorno, porém a quantidade encontrada dentro dos ambientes é muitas vezes mais elevada do que as amostras colhidas externamente (Kalogerakis *et al.*, 2005). Segundo a legislação brasileira —Resolução nº09 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária de 2003—, nas edificações de uso público coletivo o valor

máximo recomendável de fungos no ar é 750 UFC/m³ (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2003), por outro lado, a Organização Mundial da Saúde (OMS), estabelece um valor mais restritivo igual a 500 UFC/m³ (Hänninen, 2007) para ambientes internos.

A concentração de fungos no interior das residências é influenciada por diversos fatores, como: atividades exercidas pelos moradores, quantidade de moradores, método de limpeza (Pagel *et al.*, 2017), materiais utilizados na execução da edificação (Hyvärinen *et al.*, 2002; Qiao *et al.*, 2024), renovação ineficiente do ar, falta de luz natural, umidade elevada (Goudarzi & Reshadatian, 2024) dentre outros. Pagel *et al.* (2017) em seu trabalho sobre a avaliação dos materiais construtivos e as atividades humanas na qualidade do ar de interiores, afirma que só a presença humana já aumenta a concentração de fungos no ambiente, provavelmente carregados para dentro das edificações pela pele e roupas das pessoas. Os autores também pontuam que materiais construtivos mais porosos, como a madeira, e materiais que permitam a absorção e o acúmulo de poeira são excelentes substratos para o crescimento fúngico (Pagel *et al.*, 2017). O aparecimento de mofo e bolores pode ser um forte indicativo da presença microbiológica fúngica em concentrações significativas acima dos valores recomendados (Sahakian *et al.*, 2008). Huang *et al.*, (2023) em seu estudo sobre os efeitos das características do ambiente residencial no agravamento de alergias em crianças de idade pré-escolar em Taipei, Taiwan, mostraram que, contaminantes microbiológicos, tais como fungos, afetaram mais significativamente as doenças alérgicas em comparação a outros poluentes. Os autores também pontuam a importância de um ambiente doméstico saudável como prevenção do aumento da poluição do ar interior, especialmente a microbiológica.

O número de unidades formadoras de colônias revela-se maior quando as portas e janelas estão fechadas, mostrando a forte influência de prováveis fontes internas provindas em sua maior parte de atividades humanas e materiais de construção (Kalogerakis *et al.*, 2005). Fontes como a presença de plantas, animais de estimação, restos de comida, assim como as atividades dos ocupantes do ambiente tais como, conversar, espirrar, tossir, caminhar, podem favorecer o aumento de contaminantes microbiológicos. A presença de humanos é considerada o maior parâmetro de elevação na contagem de bioaerosóis em edificações (Salonen *et al.*, 2007). O uso de diferentes tipos de sistemas de ventilação bem como a eficiência destes sistemas, influencia na dispersão aérea de fungos sendo, em geral, encontrados menores níveis de concentração em edifícios naturalmente ventilados do que em edifícios selados (Harrison *et al.*, 1992).

Em 2023 a Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, atualizou em sua página oficial da internet que a asma é um dos problemas de saúde respiratória mais recorrentes no Brasil e atinge cerca de 10% da população (Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, 2023). Os principais sintomas da asma são dificuldade de respirar, chiado, aperto no peito e respiração curta e rápida que pioram à noite e nas primeiras horas da manhã ou em resposta à prática de exercícios físicos, à exposição a alérgenos ou à poluição ambiental (Ministerio da Saúde, 2010). Além dos fatores genéticos, a exposição aos fungos, ácaros, baratas, poeira, infecções virais e variações climáticas podem agravar ou desencadear crises de asma. Crianças são consideradas mais sensíveis ou vulneráveis, pois possuem o sistema fisiológico ainda em formação e o volume de ar respirado é maior que em adultos (Bundy *et al.*, 2009). A maioria das mortes que ocorrem pela doença

está relacionada com a falta de tratamento adequado e em países pobres e em desenvolvimento (Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, 2023). Em 2021, o Sistema Único de Saúde — SUS registrou 1,3 milhão de atendimentos a pacientes com asma na Atenção Primária à Saúde, número corresponde a um aumento de 18% no em relação aos atendimentos do ano anterior, 2020, e a incidência varia de 19,8% a 24,9% entre as regiões do país (Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, 2023).

No Brasil, para avaliação da qualidade do ar interior, são consideradas as concentrações de fungos, dióxido de carbono - CO₂, aerodispersóides, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar, tendo como parâmetro a Resolução nº09 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2003), que estabelece padrões para avaliar a qualidade desses ambientes. Os fungos são caracterizados como organismos heterotróficos, eucarióticos, podendo ser multicelulares ou unicelulares, pertencentes ao reino fungi dentro da microbiologia. Segundo Kalogerakis *et al.* (2005), a concentração dos fungos em locais fechados está ligada diretamente ao entorno, porém a quantidade encontrada é geralmente maior se comparado ao ambiente externo, isso evidencia que, uma vez que o fungo infiltra a edificação, ele pode encontrar condições ideais para seu crescimento e proliferação.

Apesar de haver padrões quantitativos de fungos, a caracterização desse material microbiológico é de extrema importância para a avaliação da qualidade do ar do ambiente interno. Os microorganismos possuem grande variação a depender das condições variáveis de cada localidade (Fu *et al.*, 2022). Portanto, o crescimento de fungos e a dispersão de esporos no ar dependem de uma infinidade de fatores ambientais (por exemplo, temperatura, umidade relativa, velocidade do ar) e fatores físicos (tamanho de partícula, densidade, forma, componente), bem como o comportamento do ocupante, da construção e do clima local.

Fan *et al.*, (2021) conduziram uma medição em residências em doze diferentes regiões na China. Os autores relataram a influência das diferentes variações das estações quentes e frias entre as diferentes cidades na concentração fúngica. A temperatura e a umidade são conhecidas como fatores-chave que influenciam a liberação, transmissão e distribuição de fungos nos ambientes (Ramachandran *et al.*, 2005). Dadas essas características altamente dinâmicas, as concentrações medidas de fungos em ambientes fechados variam significativamente entre os ambientes (Cabral, 2010).

Turki *et al.*, (2020) examinando os perfis de alérgenos em 653 pacientes com rinite e 521 pacientes com asma no Iraque, com base em uma pesquisa transversal, encontrou que os fungos eram os maiores potenciais sensibilizantes alérgenos dentre oito fatores analisados. Outro estudo de O'Connor *et al.*, (2004) identificaram que os gêneros fúngicos *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* e *Penicillium* apresentaram reações positivas em 36%, 28%, 19% e 13%, respectivamente, entre crianças que apresentavam doenças relacionadas a alergias respiratórias.

Sharma *et al.* (2020) realizou um estudo de associação entre fungos e bactérias presentes no ar em 39 pacientes asmáticos e 19 indivíduos saudáveis. Nesse estudo foram identificadas as espécies de fungos *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus* e *Alternaria* em predominância nos locais em que os pacientes asmáticos residiam. Além desses, estudos realizados em Connecticut/Massachusetts e na Califórnia identificaram os fungos *Cryptococcus* e *Volutella* em ambientes domésticos, ambos associados a asma.

Fungos como o *Aspergillus fumigatus* foram reconhecidos como um alergênico significativo nas doenças atópicas do trato respiratório superior e inferior, e há evidências de que a colonização fúngica pode contribuir para a asma (Farrant *et al.*, 2016). Desta forma, há indícios que algumas espécies de fungos podem estar mais correlacionadas com o desencadeamento dos sintomas da asma que outras.

A identificação visual por meio do reconhecimento de mofo e bolores, em materiais de construção e nas estruturas da edificação, também são indicativos fortes da presença de contaminantes microbiológicos aéreos em concentrações significativas. O crescimento de fungos pode influenciar a qualidade do ar, porque tanto os esporos, quanto os fragmentos de micélio são dispersos no ar e podem ser inalados. Groot *et al.*, (2023) analisaram por meio de uma revisão sistemática da literatura epidemiológica, a relação entre mofo, umidade e sintomas respiratórios em crianças, encontrando que a maior parte dos estudos apontavam para um viés de qualidade ruim ou regular associada aos sintomas adversos a saúde. Tem-se ainda que a umidade interna e a exposição ao mofo apresentaram impacto de aproximadamente 30% a 50%, respectivamente, nas taxas de incidência dos resultados de saúde respiratória relacionados à asma em crianças (Fisk *et al.*, 2007).

Desta forma, os fungos e os esporos originados por estes, podem ter origem interna ou externa a edificação, causando alergias e malefícios ao sistema respiratório dos seus ocupantes. Consequentemente, uma série de estudos relataram associações significativas à exposição de mofo e umidade no desenvolvimento da asma, rinite e doenças respiratórias, especialmente em crianças. No entanto, a maioria é baseada em inquéritos epidemiológicos e poucos estudos foram realizados com investigações domiciliares, de modo que a verificação correspondente ainda está incompleta.

O presente trabalho objetivou analisar a relação entre os fatores construtivos e a presença fúngica no ar interno, de um conjunto de residências, na cidade de Vitória, Espírito Santo, Brasil, onde residem crianças diagnosticadas como asmáticas. O presente estudo é parte integrante do projeto ASMAVIX, que objetiva avaliar a associação entre a qualidade do ar e sintomas de asma em crianças e adolescentes residentes na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo. O projeto ASMAVIX é conduzido por pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo juntamente com colaboradores de outras instituições de ensino e pesquisa com a finalidade de obter dados longitudinais diretos de saúde e de qualidade do ar necessários para a análise de possíveis associações causais. Importante colocar que os bairros das residências analisadas não foram selecionados por serem os que mais representam quantitativamente o número de crianças asmáticas na cidade, mas sim, por serem aqueles em que as Unidades de Saúde locais, responsáveis pelo diagnóstico e acompanhamento dos sintomas da asma nas crianças, se interessaram e aceitaram participar do projeto.

Habitação e saúde

A precariedade habitacional e sua relação com a saúde humana se faz presente desde os primeiros anos do Brasil, ainda como colônia (Pasternak, 2016). Crises políticas, econômicas e sociais impactam diretamente o modo de viver da população brasileira e, consequentemente, a situação de moradia e saúde, principalmente da população de baixa renda. Em 2001 foi criado o estatuto da cidade, Lei nº 10.257, que tem como objetivo garantir o pleno desenvolvimento urbano. Essa lei tem grande importância para a qualidade de vida da população e de suas moradias:

Parágrafo único. Para todos os efeitos, esta Lei, denominada Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental (“Estatuto Da Cidade: Lei Nº 10.257/2001”, 2008).

A arquitetura residencial movimenta valores, necessidades físicas, psicológicas e preferências do ser humano, trazendo ou tirando sentimentos de segurança, bem-estar e proteção do mesmo (Bergan, 2005). Gómez-Ospina *et al.*, (2024) em seu estudo sobre a relação entre bem-estar e o habitar em casas na Colômbia, evidenciam que os fatores econômicos e de saúde, relações de vizinhança e condições físicas do lar influenciam no bem-estar dos habitantes.

Entre 2016 e 2019 mais de 23 milhões de moradias brasileiras apresentavam ao menos um tipo de inadequação seja infraestrutura ou edificação (Fundação João Pinheiro, 2021). O cálculo considerou a soma de habitações precárias, casas compartilhadas por mais de uma família, residências com mais de três moradores em média por dormitório, além das situações em que famílias com rendimento de até três salários-mínimos gastam mais de 30% da renda com aluguel (Machado, 2018). Esse descompasso, segundo o Censo 2022, levou nesta última década cerca de 16 milhões de pessoas às 6,55 milhões de unidade habitacional precárias e favelas, carentes de serviços básicos como saneamento, abastecimento de água potável e infraestrutura em geral (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022).

Essa realidade possui influência direta com a saúde pública no país, devido a transmissão de doenças que são disseminadas por ausência ou negligência de conhecimento técnico e social na elaboração de projetos residenciais. Os próprios moradores, muitas vezes, desconhecem os riscos que os ambientes projetados de forma inadequada oferecem à saúde humana (Bergan, 2005). Ainda conforme Bergan (2005), estudos sobre a análise da qualidade do ambiente residencial tinham como foco somente ambientes externos, entretanto é notório a importância de estudos que avaliem também a salubridade e a segurança do interior destas edificações.

Segundo Pasternak (2016), as técnicas construtivas inadequadas e soluções projetuais equivocadas nas moradias podem gerar danos na saúde fisiológica dos moradores, principalmente o agravamento de doenças respiratórias. A falta de iluminação e ventilação natural, e o uso de materiais industrializados que emitem substâncias químicas, são exemplos de fatores que prejudicam a saúde. Uma vez afetada a saúde

desses indivíduos, eles recorrem a instituições de saúde para tratar provisoriamente o problema apresentado. Porém, pode se tornar um ciclo vicioso, uma vez que, continua residindo em local insalubre, o que pode interferir na não melhoria do quadro clínico.

Apesar da moradia digna a todo cidadão ser garantida por lei (“Estatuto Da Cidade: Lei Nº 10.257/2001”, 2008) a realidade mostra que este direito ainda não foi atingido. Muitos cidadãos vivem em edificações construídas sem instrução profissional e devido à falta de recursos, muitas vezes ficam inacabadas e/ou não possuindo manutenção preventiva, facilitando dentre outros, a entrada de insetos, intempéries, proliferação de fungos e bactérias. A moradia digna deve proporcionar ao cidadão condição estável para residir, além de oferecer serviços e infraestrutura pública de qualidade.

Metodologia

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) no Estado do Espírito Santo, Brasil, possui fontes de poluição importantes e diversificadas, tais como, industriais, veiculares, ressuspensão de partículas depositadas em vias de tráfego, dentre outras (“Inventário de emissões”, 2019), sendo a poluição atmosférica e seu incômodo uma das maiores queixas da população ao órgão ambiental local (Nobres *et al.*, 2018; “Relatório com 191 metas”, 2018). Com base em dados coletados pela Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar – RAMQAR, implantada em 2001 na RMGV, foram conduzidos estudos que reportaram associações significativas entre as internações hospitalares por doenças respiratórias, incluindo asma, e o grau de poluição do ar na cidade (Freitas *et al.*, 2016; Nascimento *et al.*, 2020).

Sendo assim, o presente estudo é parte integrante do projeto ASMAVIX, que tem como finalidade obter dados longitudinais diretos de saúde e de qualidade do ar necessários para a análise de possíveis associações causais, a fim de determinar se, e em que extensão, a poluição do ar afeta os sintomas da asma em crianças e adolescentes moradores de Vitória. O projeto é composto por uma equipe multidisciplinar, com responsáveis pelo monitoramento de diversos poluentes aéreos e pelo acompanhamento de crianças e adolescentes portadores de asma atendidos em Unidades de Saúde do município que se voluntariaram a participar do projeto. Os procedimentos adotados para o levantamento de dados incluíram visitas *in loco* para alocação de diferentes equipamentos de coleta e monitoramento de poluentes no interior das residências, acompanhamento dos sintomas de asma e coleta de exames pela equipe médica, além da elaboração e preenchimento de planilhas para caracterização demográfica da criança, da família, do seu cotidiano e das características construtivas. O estudo é projetado para obtenção de dados diretos em amostra robusta de sujeitos e inclui um número elevado de covariáveis relacionadas ao desencadeamento e à piora dos sintomas de asma.

Como recorte, o artigo em questão, apresenta a avaliação da concentração de um dos parâmetros de poluição do ar interno: fungos aéreos, e sua relação com os aspectos construtivos das moradias das crianças

acompanhadas pelo estudo. Os resultados pretendem permitir uma melhor compreensão da dinâmica da doença e são importantes para definir estratégias de melhoria da qualidade do ar em residências de padrão construtivo similar bem como, o estabelecimento de estratégias futuras para enfrentamento desse problema de saúde pública.

O estudo foi realizado nos bairros Maria Ortiz e Jabour, na cidade de Vitória —capital do estado do Espírito Santo—, localizada na região Metropolitana da Grande Vitória, Brasil (Figura 01). Vitória, latitude 20°19'S e longitude 40°19'W, é caracterizado por um clima tropical quente e úmido, possuindo inverno ameno e seco, verão chuvoso e quente, com temperatura média anual de 24,9°C, com média das temperaturas máxima igual a 32°C e média das temperaturas mínima de 19,60°C, com precipitação média anual de 1.384,4 mm (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021) e ventos predominantes de direção Nordeste (NE) (Mattiuzzi & Marchioro, 2012). O município possui 97.123km² de área territorial e população estimada em 369.534 mil habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022).

Todas as residências participantes do estudo foram pré-selecionadas dentre os responsáveis pelas crianças asmáticas atendidas pela Unidade Básica de Saúde de Maria Ortiz e pela Unidade Básica de Saúde de Jabour, voluntários do projeto ASMAVIX (CAAE 0.9214519.1.0000.5071, parecer do CEP/Hucam N° 3.546.535).

O bairro Maria Ortiz e Jabour estão inseridos na região da Grande Goiabeiras, tendo como bairros vizinhos Goiabeiras, Antônio Honório e Solon Borges. A região era coberta por manguezal e no decorrer dos anos, até o final da década de 70, passou a ser utilizado como área de descarte de lixo pela prefeitura do município, o que acarretou um grande lixão, tornando o local propício a ocupação de barracos dentro da poligonal e avançando sobre o manguezal (Coutinho, 2019). A partir de 1989, a prefeitura aplicou a 'inversão de prioridades' e realizou melhorias na infraestrutura dos bairros.

Atualmente, tanto Maria Ortiz quanto Jabour são marcados por residências unifamiliares e edificações de até quatro pavimentos, ou seja, bairros marcados por edificações baixas, devido sua proximidade com o aeroporto de Vitória. Sua malha viária é regular, mas possui diversas ruas estreitas e becos. A população é caracterizada como classe "C" com nível de renda médio de aproximadamente de três a cinco salários-mínimos segundo classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). O local possui infraestrutura relativamente adequada se tratando de sinalização, pavimentação e serviços públicos, como escolas e unidade de saúde, porém ainda existem muitas residências executadas de forma irregular e inacabadas. Além disso, dado a configuração original dos bairros ser espontânea, há a presença de ruas estreitas e ruelas apenas para pedestres dificultando a entrada de luz natural nas residências voltadas para estas.

Figura 1.

Mapa de localização dos bairros Maria Ortiz e Jabour, em Vitória/ES, próximo ao manguezal e ao aeroporto de Vitória.



Fonte: Google Earth, modificado pelos autores.

As casas selecionadas são pertencentes a famílias com pelo menos uma criança com diagnóstico de asma dado pela Unidade de Saúde do bairro. Ao total, neste trabalho foram investigados 24 domicílios no bairro Maria Ortiz e 26 domicílios no bairro Jabour, sendo que em algumas residências coabitam duas crianças asmáticas, o que resultou em um total de 56 dormitórios avaliados. Em todas as moradias foram feitos levantamentos físicos, fotográficos e registros de caracterização das condições da habitação que possam influenciar na Qualidade do Ar Interno (QAI). Dentre essa caracterização as condições de ventilação do dormitório da criança, os materiais de acabamento, a identificação visual de mofo e bolores na edificação, e presença de outras possíveis fontes interna de poluição do ar foram registradas. Sobre as condições de ventilação, registrou-se os sistemas de ventilação predominantes: ventilação mecânica, por uso de aparelhos de ar-condicionado, e/ou ventiladores, e ventilação natural por meio do uso de aberturas de janelas.

Para a coleta dos fungos foi utilizado um impactador de um estágio tipo Andersen da marca Zefon®, posicionado na altura de 1,50m do piso no quarto da criança asmática. Para a coleta, coloca-se uma placa petri no instrumento e o mesmo é ligado por cinco minutos sob vazão de 28,3 l/min de ar. Cada placa contém o meio de cultura com o Agar Batata Dextrose, acrescido de Cloranfenicol na concentração de 0,05g/L utilizado para a coleta e cultivo dos fungos. O procedimento foi realizado três vezes no ambiente interno e repetido a mesma quantidade no ambiente externo, com o intuito de ter dados semelhantes para garantir a precisão do resultado. Desta forma, foram coletadas para análise um total de 318 placas Petri.

Após as coletas as placas Petri foram vedadas com filme plástico, colocadas em caixa térmica e levadas ao laboratório de Microbiologia Geral da Universidade Vila Velha para análise. Seguindo metodologia adaptada de Gangneux *et al.*, (2006) para crescimento das colônias e contagem, as placas foram incubadas à temperatura de 25°C, por sete dias, sendo observadas diariamente, a partir do segundo dia, para contagem das unidades formadoras de colônia (UFC)¹. O resultado foi expresso através do cálculo das UFCs por metro cúbico de acordo com a equação 1, onde n é o número de colônias contadas na placa e v é o volume de ar amostrado.

Equação 01:

$$UFC/m^3 = n / v$$

Após o período de sete dias a partir da contagem, as colônias foram isoladas em tubos com Agar Batata Dextrose, com o intuito de posterior observação em lâminas para identificação fenotípica das características macro e micromorfológicas (Klich, 2002). O exame macroscópico da colônia, descreve o tamanho, textura, pigmentação, superfície, bordas, topografia, cor da colônia, aspecto, pigmentação e tempo de crescimento. O exame microscópico consiste na observação do micélio e tipos de esporos (Lacaz *et al.*, 2002). A leitura das lâminas foi realizada em microscópio trinocular de contraste de fase Oxion – Euromex.

1 Unidades Formadoras de Colônia (UFC) é uma métrica utilizada pelo campo da microbiologia para avaliar a abundância de micro-organismos em um ambiente. O método é composto pela contagem de colônias que se desenvolvem em uma placa petri, por um determinado tempo e vazão de ar, de forma a estimar o número de fungos no ambiente.

Resultados e discussões

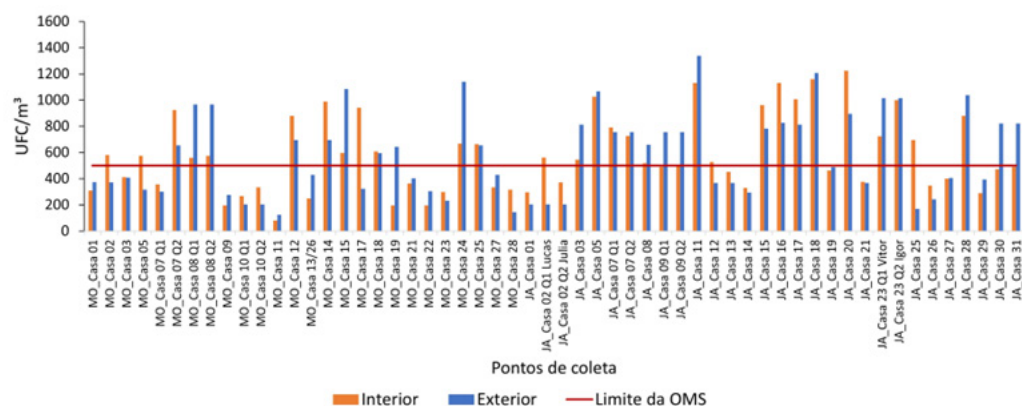
Após a contagem e o cálculo da concentração média em cada ponto de coleta interno e externo as residências, obteve-se 56 dormitórios avaliados. A média de concentração fúngica interna foi de 577,69 UFC/m³ e externo a residência de 585,01 UFC/m³, o que mostra um valor médio acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde para a qualidade do ar de interiores. A relação entre o interior e exterior encontrada neste trabalho (taxa indoor/outdoor =I/O) foi de 1,14 o que evidencia um ambiente interno com a necessidade de correções para mitigação deste contaminante.

A Figura 2 apresenta a média das coletas de microbiológico em UFC/m³ de todas as residências. Observa-se que 29 ambientes ultrapassaram o valor estipulado pela OMS, de 500 UFC/m³, dentre estes, 14 dormitórios ultrapassaram, também, o valor estabelecido pela legislação brasileira, de 750 UFC/m³. Em se tratando do local avaliado onde a criança asmática dorme, pode-se inferir que o ambiente em questão interfere na piora do quadro clínico. Tais dados apontam que concentrações de fungos acima do recomendado pelas normas vigentes podem ser comuns no interior de residências de padrão construtivo e classe social semelhantes à deste estudo, pondo em risco a saúde de seus usuários.

Internamente a concentração máxima média encontrada foi de 1224,97 UFC/m³, em um quarto de uma residência no bairro Jabour, o que é mais de duas vezes o limite estipulado pela OMS. A concentração externa média registrada neste local foi em 895,17 UFC/m³, ao passo que, a concentração mínima média encontrada entre as campanhas foi de 80,09 UFC/ m³ e 124,85 UFC/ m³, interno e externo, respectivamente, em uma residência no bairro Maria Ortiz, o que aponta uma tendência de o meio externo influenciar a quantidade de fungos aéreos do meio interno, provavelmente pela infiltração destes pelas aberturas e frestas da edificação. Tal fato é evidenciado no cruzamento de dados da Figura 3, que mostra estatisticamente que há uma correlação positiva moderada de R=0,497 entre a quantidade de fungos encontrada na parte exterior e a quantidade de fungos encontrada no ambiente do quarto.

Figura 2.

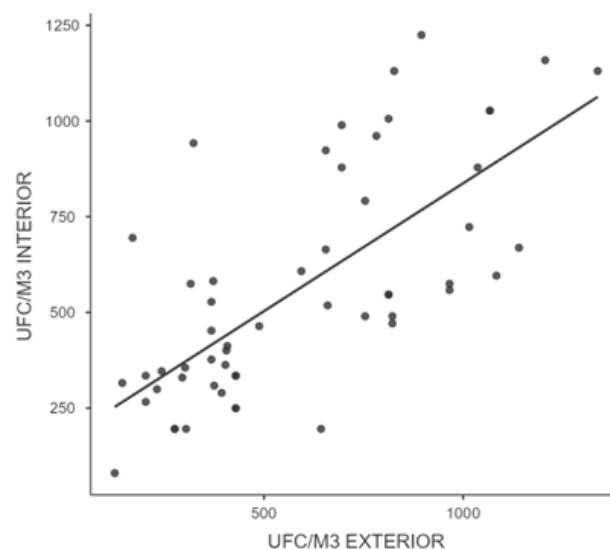
Concentração média de fungos medido em ponto interno e externo às residências.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3.

Correlação entre a quantidade de Unidade Formadoras de Colônia por m³ de fungos encontrada no interior e no exterior das residências.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na identificação das espécies fúngicas teve-se a predominância dos gêneros *Cladosporium*, *Penicillium* e *Aspergillus* (Figura 4) tanto na parte interna das residências, como na externa. *Penicillium* e *Aspergillus* são gêneros de fungos muito difundidos e encontrados em ambientes internos (Bardana, 2003; Kawasaki *et al.*, 2010), pois menos de 4% de seus esporos são formados no ar externo, ao contrário do fungo *Cladosporium*, que é predominantemente universal (Cabral, 2010).

Tanto *Penicillium* quanto *Aspergillus* possuem espécies que produzem micotoxinas (compostos orgânicos voláteis microbianos) que podem ser responsáveis pela presença ou agravamento de problemas respiratórios. O gênero *Aspergillus* é associado a locais com a presença de umidade e sua presença é um fator importante no agravamento da asma, principalmente em indivíduos com sensibilização fúngica (Farrant *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2011).

O estudo de Sánchez Espinosa *et al.*, (2024) identificou fungos aéreos em residências em Havana, Cuba, e sua relação com os fatores ambientais. O *Aspergillus* foi o gênero predominantemente encontrado nas habitações, e sua presença foi principalmente relacionada com problemas de umidade, ventilação inadequada e o tipo de material construtivo utilizado. Os autores apontam ainda que, embora, as concentrações encontradas estavam abaixo do recomendado, a presença destes contaminantes fúngicos serve como um sistema de alerta para saúde.

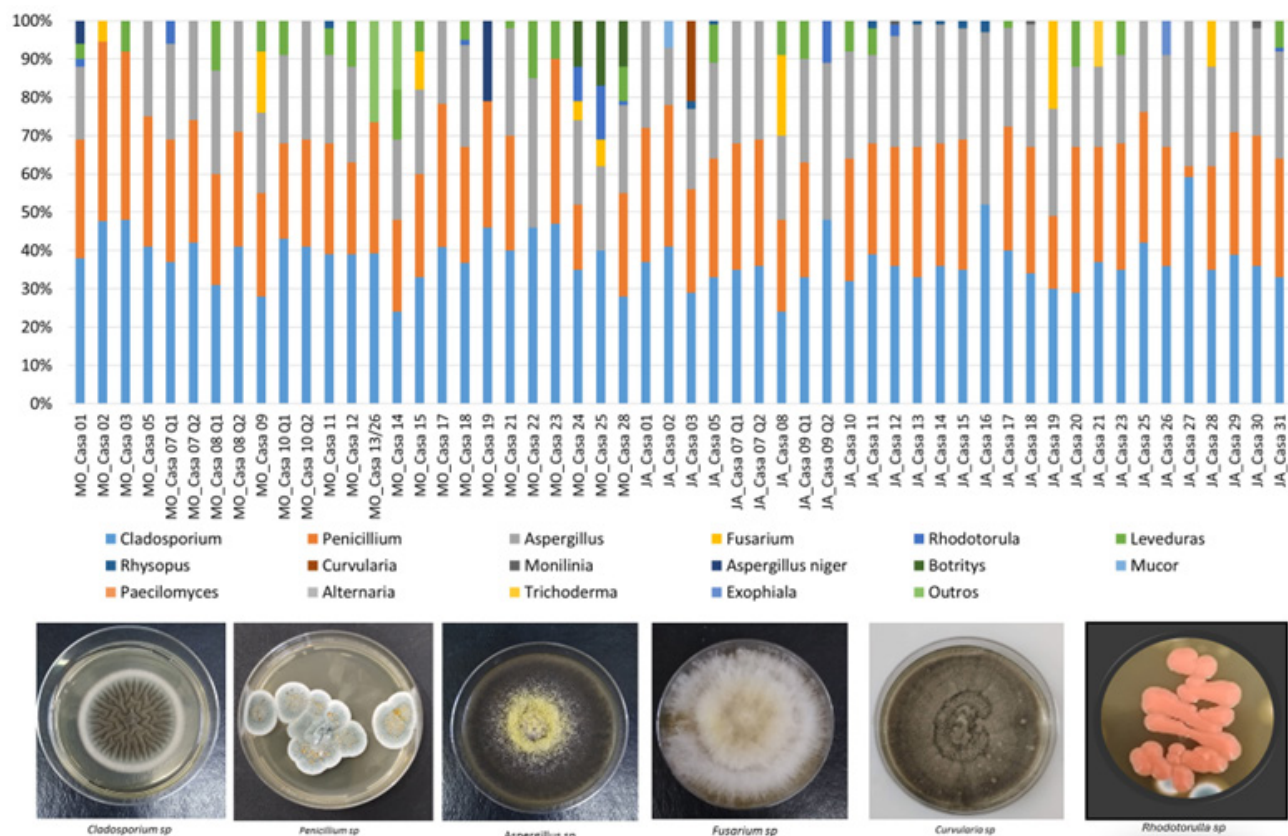
A Figura 5 exibe informações referentes ao perfil dos participantes do projeto. De acordo com os dados levantados, 53% e 47% das crianças é do gênero masculino e feminino, respectivamente, predominando crianças com estatura acima de 140 cm, entre 30 e 50 kg e com idades entre seis e 15 anos. As residências têm, em média, quatro moradores e há animais de estimação em 56% das casas, sendo eles, cachorro (67%), passarinho (38%), gato (13%), dentre outros. O número de residências em que há fumantes é consideravelmente baixo, com 72% das residências sem nenhum fumante.

A Figura 6 mostra as informações referentes aos fatores construtivos das residências dos participantes com a finalidade de identificar possíveis aspectos que podem influenciar a qualidade do ar interno das residências. A maior parte das residências possuem mais de 10 anos de construção sem manutenção preventiva e 47% dos moradores residem no local também há mais de 10 anos. Isso evidencia a provável deterioração das estruturas construtivas em habitações de baixa renda, provavelmente devido ao custo para realização dos acertos.

Outro ponto importante de se notar é que a maior parte das residências possuíam entre cinco e seis cômodos no total, sendo destes, em média dois quartos (51%). Considerando, predominantemente, quatro moradores por domicílio, isso representa no mínimo dois habitantes por dormitório. 95% das residências receberam reboco ou reboco e acabamento com pintura nas paredes, 2% são paredes sem reboco apenas com blocos cerâmicos aparentes e 3% eram casas construídas em madeira. A cocção de alimentos é feita majoritariamente por fogão a gás (97%), e 47% das habitações possuem churrasqueira a carvão. Embora a queima do carvão em churrasqueiras seja uma fonte conhecida de poluição do ar, principalmente de emissão de material particulado (Taner *et al.*, 2013), essa atividade representa um hábito comum e presente na maior parte das casas das famílias brasileiras.

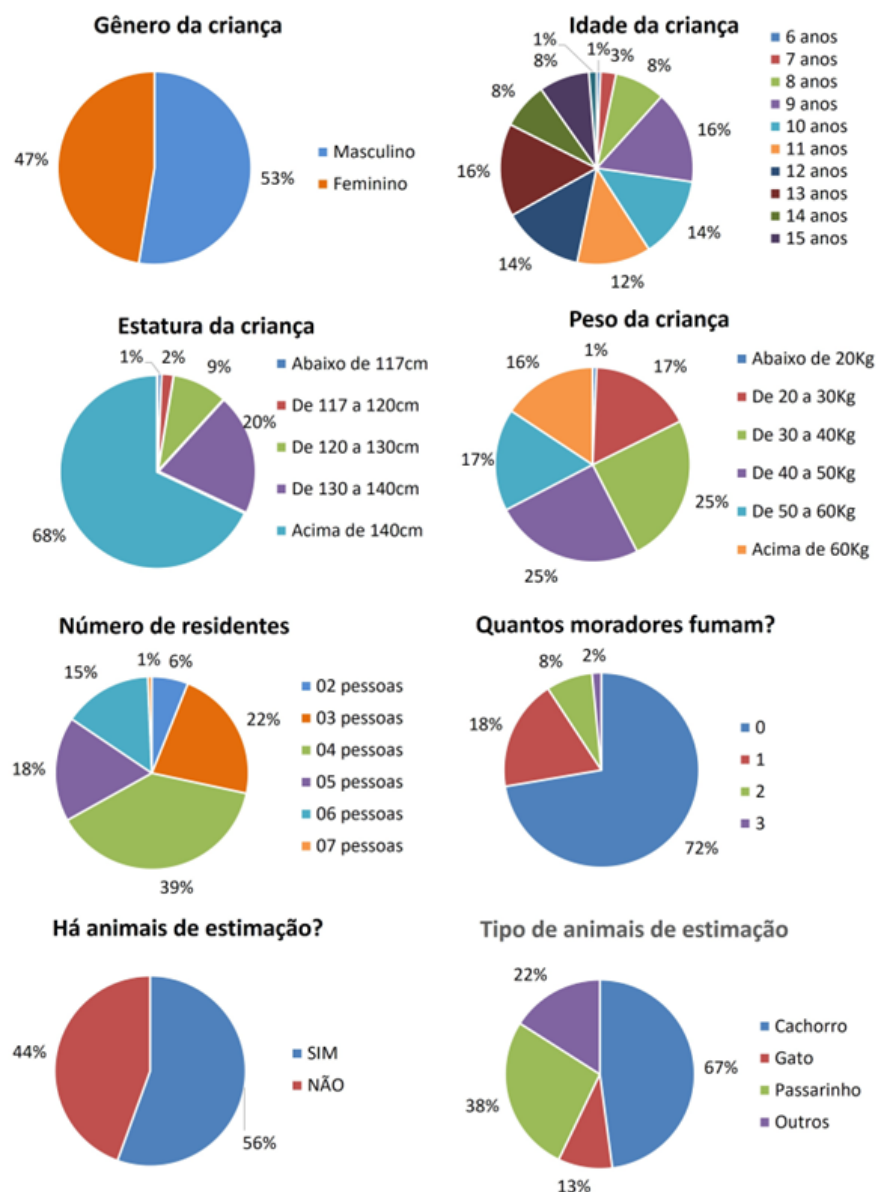
Figura 4.

Frequência de espécies fúngicas identificadas e imagem de microscópio de micro cultivos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

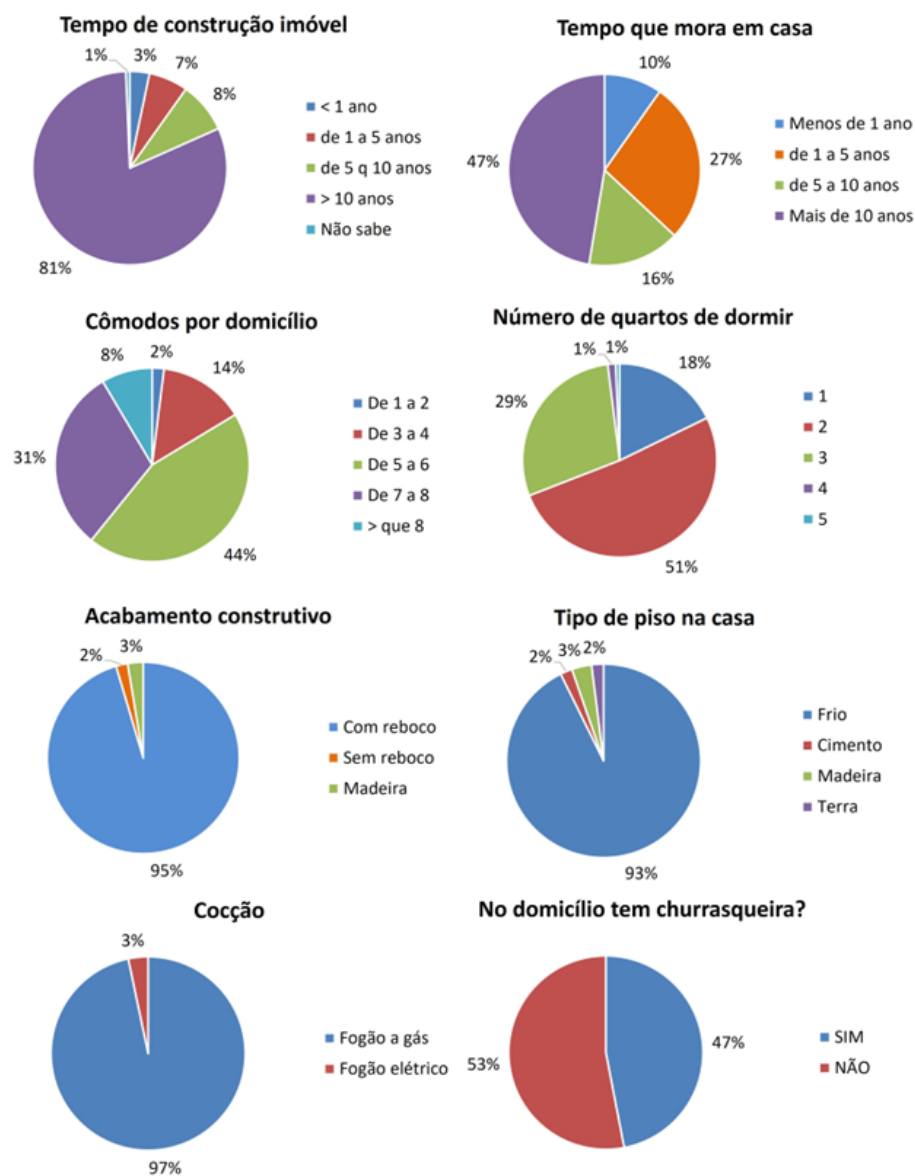
Figura 5.
Resultados referentes ao perfil familiar das crianças e dos moradores das habitações avaliadas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6.

Resultados referentes aos fatores construtivos das residências das crianças participantes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A maior parte das residências possuem piso frio, que além de facilitar a limpeza são característicos de climas quente e úmido. Vitória frequentemente registra reclamações da sua população acerca do pó depositado internamente nas residências da população, provindos do Parque industrial localizado a nordeste da cidade (Melo *et al.*, 2015).

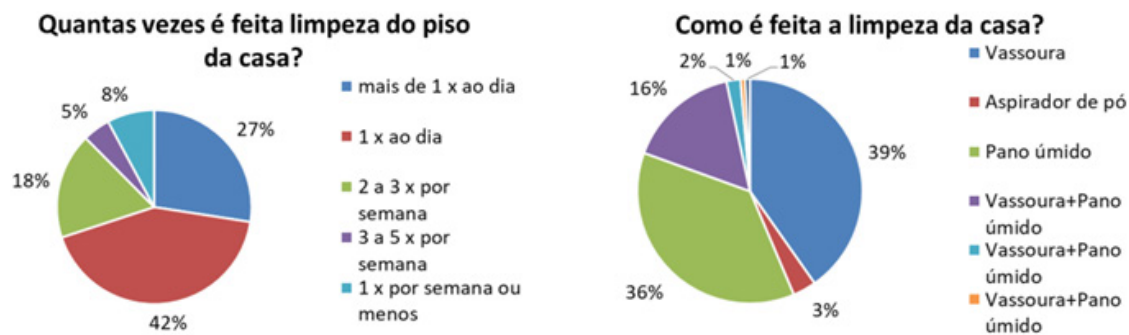
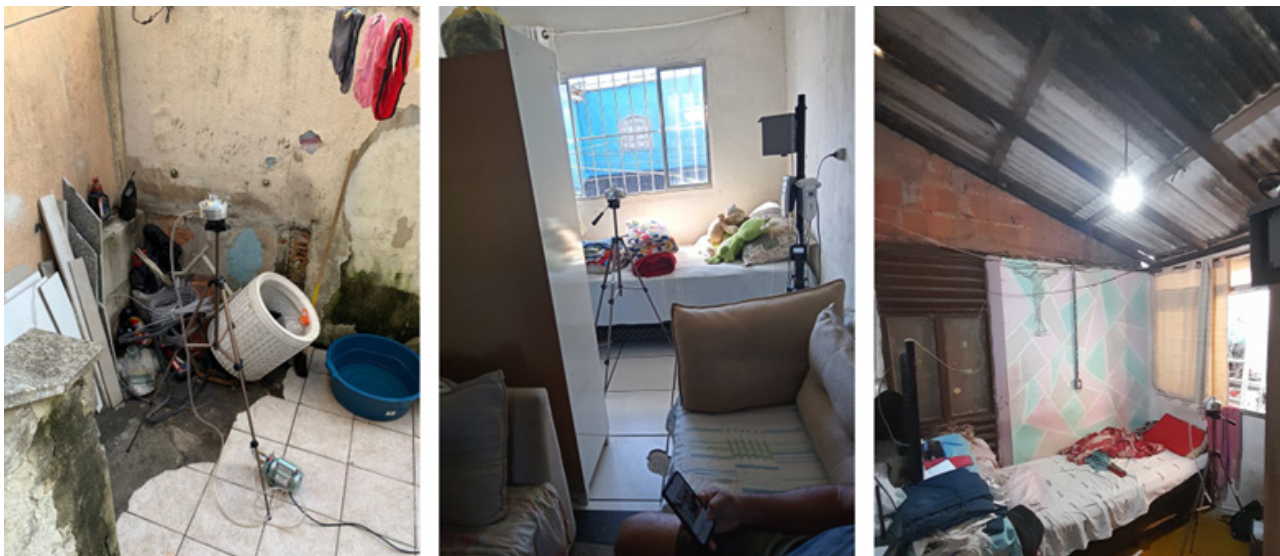
Os cômodos são pouco espaçosos e, geralmente, com quantidade elevada de mobiliário e objetos. Foi observado o acúmulo de utensílios na maior parte das casas, que dificulta a limpeza e permite o acúmulo de poeira e sujeira (Figura 7). Foi identificado que 42% % das famílias limpam a casa pelo menos uma vez ao dia e 27% das famílias limpam a casa mais de uma vez por dia. 18% declararam limpar de dois a três vezes por semana, 5% limpam de três a cinco vezes por semana e 8% uma vez por semana ou menos.

A ventilação natural, pelo uso da abertura das janelas, foi a ventilação predominantemente declarada como utilizada para conforto térmico em 47% das residências, seguida de 33% do uso de ventiladores mecânicos, 15% ventiladores mecânicos e ar-condicionado e 3% apenas o uso do ar-condicionado. Por se tratar de habitações de baixa renda, o uso da ventilação natural para conforto térmico é preferível por apresentar menores gastos energéticos e, conseqüentemente, menor custo operacional. A ventilação natural, por meio das aberturas da edificação, além de ser uma estratégia passiva de conforto térmico indicada para locais de clima quente e úmido, permite a entrada de luz solar e a renovação do ar dos ambientes, contribuindo para a salubridade dos mesmos. Tal fato corrobora com as correlações significativamente positivas encontradas por Kajjoba *et al.*, (2024) em seu estudo sobre o impacto da ventilação natural, a melhoria da qualidade do ar interno e a saúde dos ocupantes em habitações tropicais de baixa renda na cidade de Kampala, Uganda.

Entretanto, foi digno de nota, no presente estudo, a existência de dormitórios (11%), onde as crianças asmáticas dormiam, sem janelas ou janelas voltadas para outros ambientes internos, ou até mesmo janelas do tipo basculante com tamanho inadequado para ventilação e iluminação desses espaços de longa permanência (Figura 8).

Figura 7.

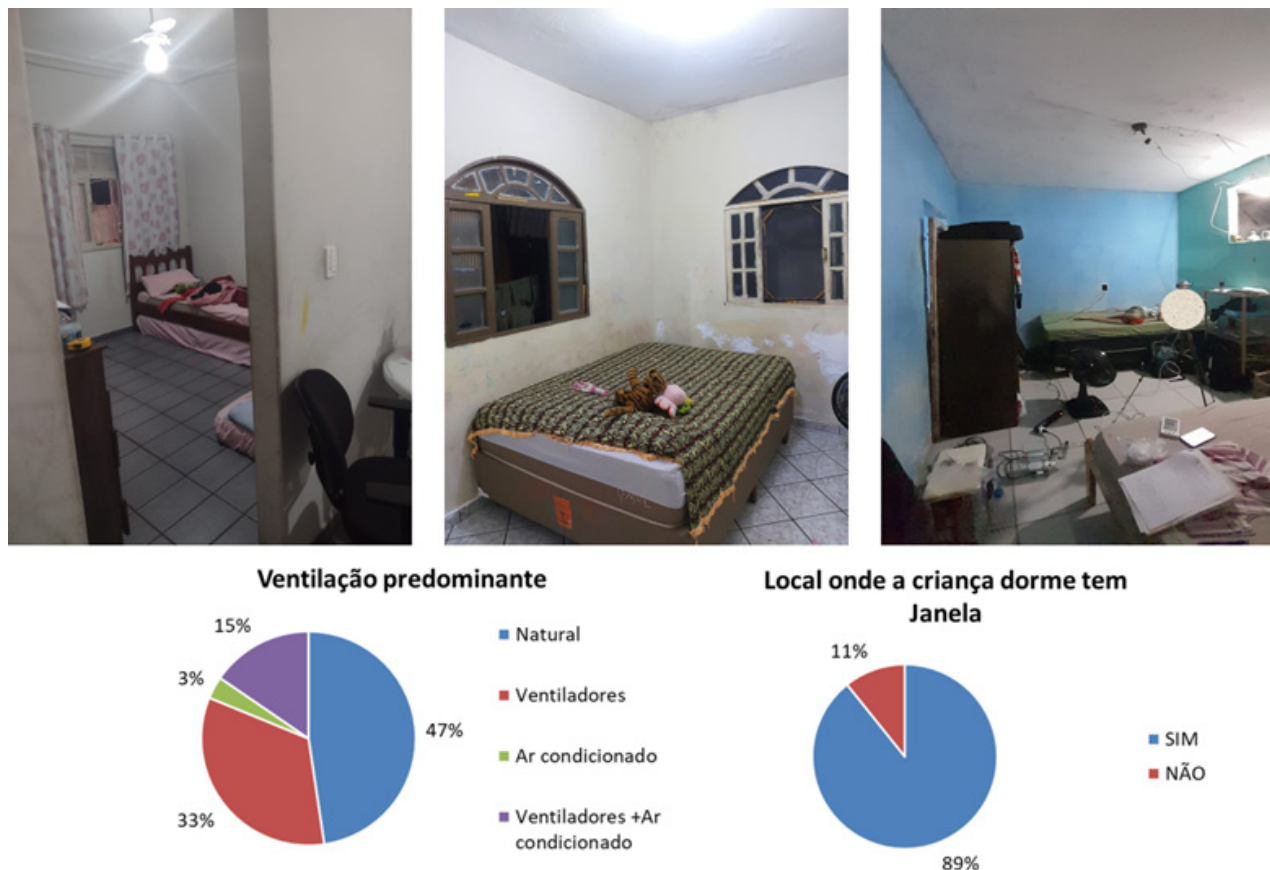
Exemplos do acúmulo de móveis e objetos dentro e fora das residências.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8.

Quartos sem aberturas para o exterior impossibilitando uma ventilação natural direta.

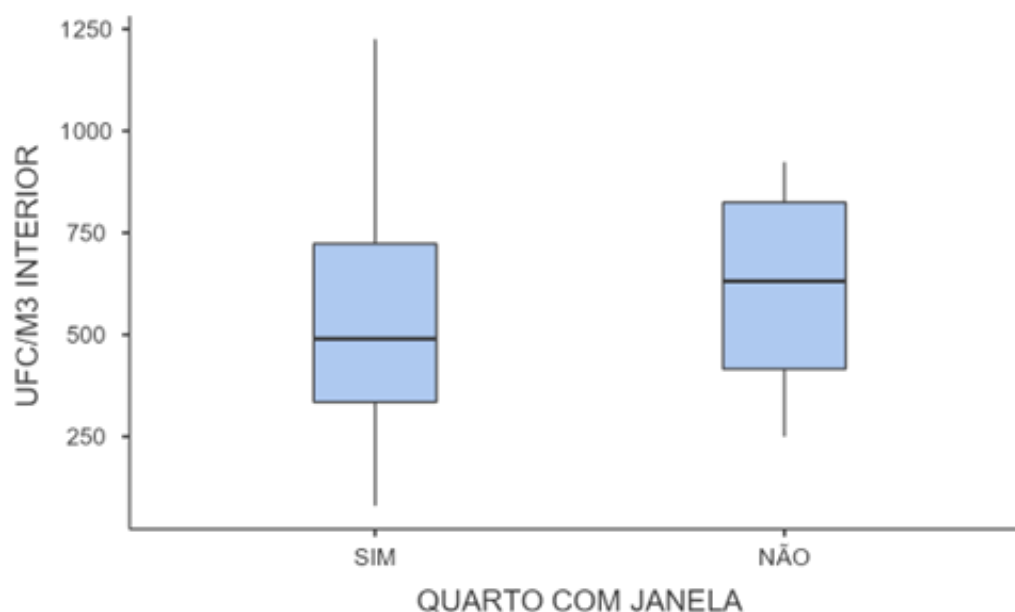


Fonte: Elaborado pelos autores.

É importante notar a maior parte das casas não consegue atender a área mínima de ventilação havendo dormitórios sem janelas. Esse resultado tem relação direta com as autoconstruções, pois, geralmente, o proprietário não tem conhecimento técnico de que a janela é um elemento essencial para uma habitação saudável, pois é o componente responsável pela renovação do ar nos ambientes, além de proporcionar a entrada de luz e sol nos quartos. Observa-se pela Figura 9 que a concentração média de fungos aéreos internamente ao dormitório é maior nos quartos que não possuíam janelas em comparação aos quartos que possuíam janelas.

Figura 9.

Gráfico representando o cruzamento de dados entre a presença da janela no quarto da criança e a quantidade de fungos encontrado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A presença de bolores, foi identificada em 41% das residências que apresentavam mofo aparente nas paredes, piso ou teto, sendo em algumas residências este mofo visível identificado externamente, outras internamente ou em ambos (Figura 10). Observou-se a presença de umidade no exterior de algumas residências principalmente na parte inferior, mais próxima ao solo, o que indica uma deficiência na impermeabilização da base da moradia e um acúmulo de água nestes locais. A alta umidade nos materiais construtivos é também um dos fatores da presença de mofo (Du *et al.*, 2021; Qiao *et al.*, 2024) e consequentemente, de elevada concentração de fungos em ambientes residenciais que está relacionada doenças do sistema respiratório humano (Groot *et al.*, 2023).

Figura 10.

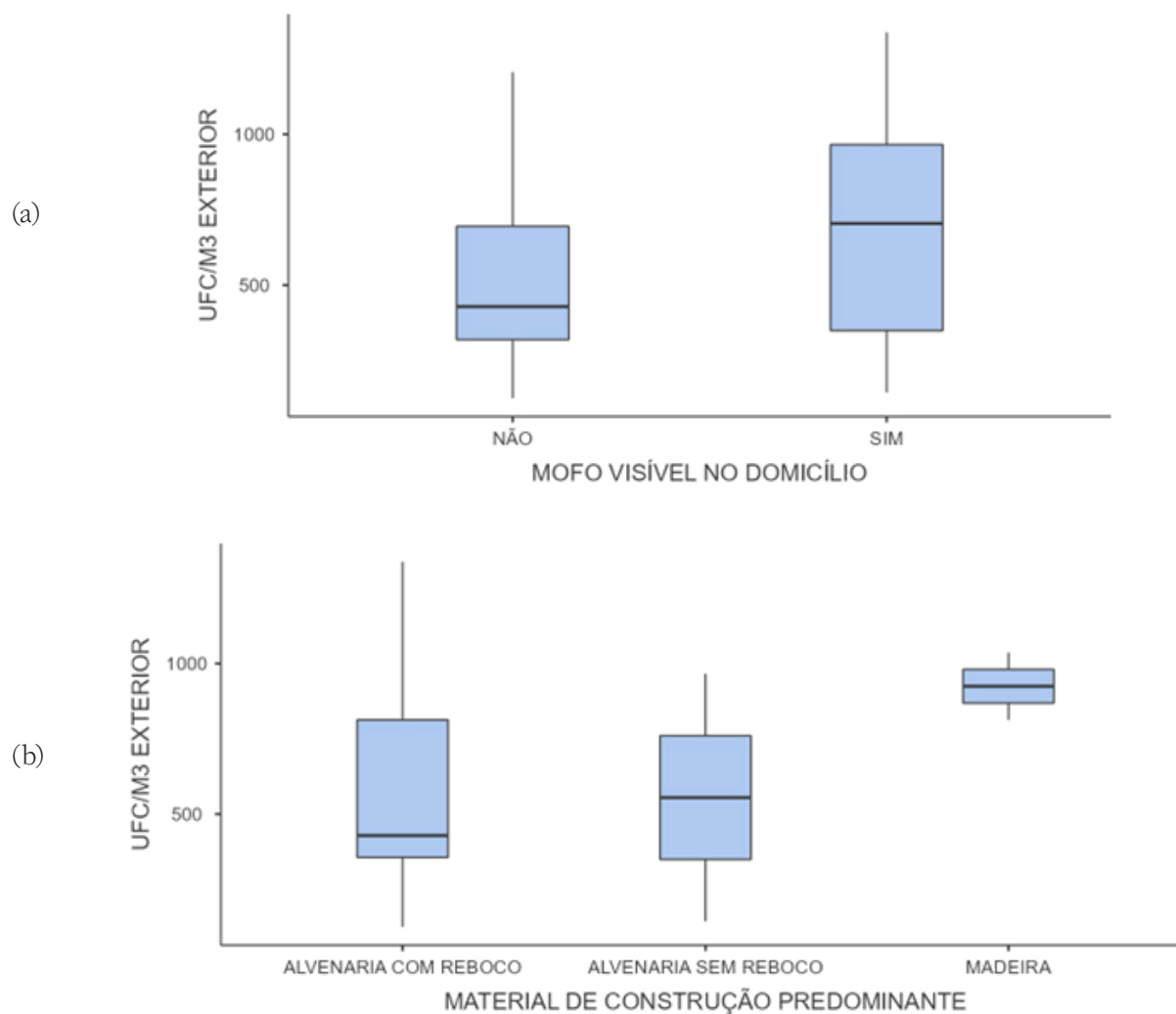
Exemplos da presença de mofo e acúmulo de umidade em paredes internas e externas das residências.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11.

Gráfico representando o cruzamento de dados entre a quantidade de fungos encontrados no ambiente externo imediato a residência em relação a (a) presença de mofo visível no domicílio e (b) o material de construção predominante de acabamento das fachadas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observou-se a ausência de reboco, emboço e pintura, necessidade de manutenção ou exposição das estruturas, permitindo a deterioração precoce da edificação. Significativa parte das fachadas das residências com identificação visual de mofo não apresentava nenhum tipo de acabamento ou estavam apenas no reboco. Foi possível observar também habitações sem laje, com dormitórios diretamente sob telhas de fibrocimento. A falta de acabamento construtivo externo, com pintura ou revestimentos, contribui para maior retenção da umidade nas paredes da construção, o que por sua vez, contribui para a alta concentração de fungos no ambiente podendo agravar os sintomas da asma. A Figura 11 representa o cruzamento de dados entre a quantidade de fungos encontrados no ambiente externo, imediato a residência, a presença de mofo visível no domicílio e o material de construção predominante de acabamento das fachadas. Pode-se observar que as habitações com identificação de mofo em suas superfícies construtivas apresentaram maior concentração média de fungos aéreos. Da mesma forma, observa-se que o padrão construtivo também influencia nessa concentração de fungos, uma vez que, residências em madeira e em alvenaria sem reboco, apresentaram uma concentração média fúngica maior do que as residências com acabamento construtivo de alvenaria e reboco.

Conclusões

O objetivo deste trabalho consistiu em analisar os aspectos construtivos de moradias em dois bairros da cidade de Vitória no estado do Espírito Santo, Brasil, e sua relação com a presença de fungos que podem afetar a saúde de crianças, especialmente aquelas diagnosticadas asmáticas. Apesar de garantido por lei a habitação digna, muitas residências encontram-se em situação inapropriadas e insalubres, com dormitórios sem janelas ou com aberturas para outros espaços da edificação. Os resultados mostraram que a maior parte das residências com identificação visual de mofo e bolores possuía área de ventilação e iluminação natural inadequada nos dormitórios, além da carência de acabamentos nas fachadas. Da mesma forma significativa parte das residências analisadas possuíam concentrações de fungos no ar interno acima dos limites da OMS, indicando forte influência da presença de umidade nas fachadas e ventilação inadequada nos quartos, como principais aspectos de contribuição no aumento dos níveis fúngicos da moradia.

Durante as visitas *in loco*, constatou-se que a maior parte das famílias desconhecia a importância da influência de uma adequada ventilação e iluminação para a salubridade dos espaços internos bem como a importância da manutenção e dos sistemas construtivos. Por outro lado, foi verificado também que a maior parte dessas residências apresentavam um significativo acúmulo de objetos e mobílias em seus pequenos cômodos, assim como a presença de poeira constante nos espaços. Neste sentido, coloca-se a importância de trabalhos futuros visarem a confecção de materiais instrucionais, com noções simples de mitigação da poluição do ar nos ambientes interiores, incentivando ações para uma habitação saudável no dia a dia e melhorias construtivas futuras nas residências. Tem-se ainda que o envolvimento da comunidade no entendimento da qualidade do ar em suas residências contribui para educação observadora e questionadora, formando cidadãos

críticos na mudança de suas próprias atitudes e comportamentos. Estratégias para a melhoria da habitação, devem ser pautas prioritárias da saúde pública pois impactam tanto no número de atendimentos quanto na qualidade de vida da população.

O estudo da qualidade do ar de interiores por meio da concentração de fungos aéreos pode fornecer métricas valiosas para investigações da qualidade da habitação e a exposição humana, como fator de risco para saúde, especialmente a asma, subsidiando políticas públicas que auxiliem e reduzam estes sintomas, principalmente em crianças em vulnerabilidade social e residentes em habitações autoconstruídas.

Agradecimentos

Ao Núcleo de Pesquisas da Qualidade do Ar (NQualiar) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Grupo de Pesquisa Arquitetura e Estudos Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade da Universidade Vila Velha (UVV), pelo suporte à pesquisa. Aos pesquisadores do projeto ASMAVIX pelo compartilhamento e discussão de ideias e informações que contribuíram para o direcionamento e amadurecimento do trabalho, em especial a Brenda Tonon, Jeferson Corrêa, Karla Gonçalves Schroeffer e todos os alunos de iniciação científica que auxiliaram nas coletas e idas e vindas do campo ao laboratório. As famílias que gentilmente nos receberam e abriram as portas de suas casas para a pesquisa. A ArcelorMittal Brasil pelo financiamento do projeto ASMAVIX e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, TO 1063/2022 pelo suporte financeiro a infraestrutura de laboratório.

Declaração de contribuição do autor (CRediT):

Érica Coelho Pagel: conceptualization, methodology, supervision, writing – review & editing.

Lidia Leal Medeiros: investigation, formal analysis, visualization, writing – original draft.

Jane Méri Santos: funding acquisition, project administration, supervision, writing – review & editing.

Clarisse Maximo Arpini: methodology, formal analysis, validation.

Alessandro Coutinho Ramos: methodology, formal analysis, validation.

Neyval Costa Reis Júnior: funding acquisition, supervision, data curation.

Introducción

La arquitectura residencial influye directamente en la calidad de la vivienda que debe proporcionar a su usuario. Además de satisfacer sus necesidades psicofisiológicas, la vivienda debe brindar dignidad, comodidad, funcionalidad y seguridad. Los seres humanos, en general, pasan entre el 80 % y el 90 % de su vida en espacios interiores, inhalando aproximadamente 10 m³ de aire por día (Godish *et al.*, 2014). El aislamiento social decretado por la Organización Mundial de la Salud a principios de 2020 debido a la pandemia de COVID-19, causada por el virus Sars-Cov-2 (Bueno *et al.*, 2021), provocó que gran parte de la población mundial adaptara sus rutinas dentro de sus propias casas, aumentando este tiempo de permanencia en ella y convirtiéndola en un espacio multifuncional, con funciones tanto de trabajo y estudio, como de descanso y ocio, lo que también reforzó su importancia en el contexto de la salud de sus habitantes.

La contaminación del aire interior es resultado de la contaminación del aire exterior que se infiltra hacia el interior de los edificios a través de sus rendijas y grietas, sumada a la contaminación del aire generada por fuentes internas (Santos *et al.*, 2011; Tofful *et al.*, 2021). Las fuentes de contaminación del aire en ambientes residenciales pueden ser de origen físico, químico y/o biológico e incluyen la cocción de alimentos (Akteruzzaman *et al.*, 2023; Begum *et al.*, 2009; Cortés y Ridley, 2013), pinturas, pegamentos y resinas de acabado (Uhde y Salthammer, 2007), moho y hongos en los edificios (Du *et al.*, 2021; Fisk *et al.*, 2007; Qiao *et al.*, 2024), entre otros.

Los efectos adversos asociados a la contaminación atmosférica incluyen enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como el riesgo de cáncer en ambientes específicos. El asma y la rinitis, por ejemplo, son enfermedades inflamatorias que se desencadenan, entre otros factores, por la exposición a contaminantes presentes en el ambiente interior (Boechat, 2009).

Las viviendas construidas sin el adecuado asesoramiento profesional, conocidas como autoconstrucciones, presentan a menudo imperfecciones que ponen en riesgo el confort térmico, ergonómico, lumínico, acústico, así como la calidad del aire. En la mayoría de las ciudades brasileñas, aproximadamente el 85 % de los proyectos de construcción no recurren a servicios especializados debido a la necesidad que tienen las personas de construir sus propias viviendas. Como resultado de esto, el propietario comete una serie de errores técnicos y, en la mayoría de los casos, infringe la legislación vigente (Killian, 2023). Estas irregularidades pueden afectar el intercambio de aire entre el ambiente interior y exterior, así como el ingreso de luz solar e iluminación natural a la vivienda, volviéndola muchas veces insalubre y propicia para la proliferación de microorganismos, como hongos y bacterias, que pueden agravar el cuadro de enfermedades alérgicas respiratorias de sus habitantes (Cox *et al.*, 2022).

Algunos estudios han mostrado que la concentración de hongos en ambientes interiores está directamente relacionada con su entorno, sin embargo, la cantidad encontrada dentro de los ambientes suele ser superior a la de las muestras tomadas en el exterior (Kalogerakis *et al.*, 2005). De acuerdo con la legislación

brasileña — Resolución nº 09 de la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria de 2003 —, en edificios de uso público colectivo el valor máximo recomendado de hongos en el aire es de 750 UFC/m³ (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2003), mientras que, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un valor más restrictivo igual a 500 UFC/m³ (Hänninen, 2007) para ambientes interiores.

En la concentración de hongos al interior de las viviendas influyen diversos factores, entre los que destacan las actividades realizadas por los habitantes, el número de habitantes, el método de limpieza (Pagel *et al.*, 2017), los materiales utilizados en la construcción de la edificación (Hyvärinen *et al.*, 2002; Qiao *et al.*, 2024), la renovación ineficiente del aire, la falta de luz natural, la alta humedad (Goudarzi y Reshadatian, 2024), entre otros. Pagel *et al.* (2017) en su trabajo sobre la evaluación de los materiales de construcción y las actividades humanas en la calidad del aire interior, afirma que ya la sola presencia humana aumenta la concentración de hongos en el ambiente, probablemente transportados hacia adentro de los edificios por la piel y la ropa de las personas. Los autores también señalan que los materiales de construcción más porosos, como la madera, y los materiales que permiten la absorción y acumulación de polvo son excelentes sustratos para el crecimiento de hongos (Pagel *et al.*, 2017). La aparición de moho y hongos puede ser un claro indicio de la presencia microbiológica fúngica en concentraciones significativas por encima de los valores recomendados (Sahakian *et al.*, 2008). Huang *et al.*, (2023) en su estudio sobre los efectos de las características del ambiente residencial en el agravamiento de las alergias en niños en edad preescolar en Taipei (Taiwán), mostraron que los contaminantes microbiológicos, como los hongos, afectaron de forma más significativa las enfermedades alérgicas en comparación con otros contaminantes. Los autores también señalan la importancia de un ambiente doméstico saludable para prevenir el aumento de la contaminación del aire interior, especialmente microbiológica.

El número de unidades formadoras de colonias es mayor cuando las puertas y ventanas están cerradas, lo que muestra la fuerte influencia de probables fuentes internas que provienen principalmente de actividades humanas y materiales de construcción (Kalogerakis *et al.*, 2005). Fuentes como la presencia de plantas, mascotas, restos de comida, así como las actividades de las personas que se encuentran en el ambiente tales como conversar, estornudar, toser o caminar, pueden favorecer el aumento de contaminantes microbiológicos. De hecho, se considera que la presencia de seres humanos es el parámetro que más aumenta el recuento de bioaerosoles en las edificaciones (Salonen *et al.*, 2007). Tanto el uso de diferentes tipos de sistemas de ventilación como la eficiencia de los mismos, influye en la dispersión aérea de hongos, encontrándose generalmente niveles de concentración más bajos en edificios con ventilación natural que en aquellos que no la tienen (Harrison *et al.*, 1992).

En 2023, la Asociación Brasileña de Alergia e Inmunología actualizó en su sitio web oficial que el asma es uno de los problemas de salud respiratoria más comunes en Brasil y afecta a alrededor del 10 % de la población (Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, 2023). Los principales síntomas del asma son dificultad para respirar, sibilancias, opresión en el pecho y respiración corta y rápida que empeoran durante la noche y en las primeras horas de la mañana o en respuesta al ejercicio físico, a la exposición a alérgenos o a la contaminación ambiental (Ministerio da Saúde, 2010). Además de los factores genéticos, la exposición a

hongos, ácaros, cucarachas, polvo, infecciones virales y variaciones climáticas pueden agravar o desencadenar ataques de asma. Se considera que los niños son más sensibles o vulnerables, ya que su sistema fisiológico aún está en desarrollo y el volumen de aire que respiran es mayor que el de los adultos (Bundy *et al.*, 2009). La mayoría de las muertes que se producen por esta enfermedad están relacionadas con la falta de tratamiento adecuado en países pobres y en vías de desarrollo (Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, 2023). En 2021, el Sistema Único de Salud — SUS registró 1,3 millones de atenciones a pacientes con asma en la Atención Primaria de Salud, número que corresponde a un aumento del 18 % en comparación con el año anterior, 2020, con una incidencia que varía del 19,8 % al 24,9 % entre las regiones del país (Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, 2023).

En Brasil, para evaluar la calidad del aire interior se consideran las concentraciones de hongos, dióxido de carbono - CO₂, aerosoles, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del aire, utilizándose como parámetro la Resolución nro. 09 de la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (2003), que establece estándares para evaluar la calidad de estos ambientes. Los hongos se caracterizan por ser organismos eucariotas heterótrofos, que pueden ser pluricelulares o unicelulares, pertenecientes al reino fungi dentro de la microbiología. Según Kalogerakis *et al.* (2005), la concentración de hongos en espacios cerrados está directamente relacionada con el entorno, sin embargo, la cantidad encontrada suele ser mayor al compararse con el ambiente exterior, lo que demuestra que, una vez que el hongo se infiltra en un edificio, puede encontrar condiciones ideales para su crecimiento y proliferación.

Aunque existen estándares de hongos, la caracterización de este material microbiológico es de suma importancia para evaluar la calidad del aire del ambiente interior. Los microorganismos varían mucho en función de las condiciones variables de cada lugar (Fu *et al.*, 2022). Por lo tanto, el crecimiento de hongos y la dispersión de esporas en el aire dependen de una infinidad de factores ambientales (por ejemplo, temperatura, humedad relativa, velocidad del aire) y físicos (tamaño de partícula, densidad, forma, componente), así como del comportamiento de los habitantes, de la construcción y del clima local.

Fan *et al.*, (2021) realizaron una medición en viviendas de doce regiones diferentes de China. Los autores dieron cuenta de la influencia de las diferentes variaciones de las estaciones cálidas y frías entre las distintas ciudades en la concentración fúngica. Se sabe que la temperatura y la humedad son factores clave que influyen en la liberación, transmisión y distribución de los hongos en los ambientes (Ramachandran *et al.*, 2005). Dadas estas características altamente dinámicas, las concentraciones de hongos medidas en ambientes cerrados varían significativamente entre los ambientes (Cabral, 2010).

Turki *et al.*, (2020) al examinar los perfiles de alérgenos en 653 pacientes con rinitis y 521 pacientes con asma en Irak, basándose en un sondeo transversal, encontraron que los hongos eran los mayores potenciales sensibilizadores de alérgenos entre los ocho factores analizados. Otro estudio de O'Connor *et al.*, (2004) identificó que los géneros fúngicos *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* presentaron reacciones positivas en el 36 %, 28 %, 19 % y 13 %, respectivamente, entre niños que presentaban enfermedades relacionadas con alergias respiratorias.

Sharma *et al.* (2020) realizaron un estudio de asociación entre hongos y bacterias presentes en el aire en 39 pacientes asmáticos y 19 individuos sanos. En este estudio se identificaron las especies de hongos *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus* y *Alternaria* como predominantes en los lugares donde vivían los pacientes asmáticos. Además, estudios realizados en Connecticut/Massachusetts y California identificaron los hongos *Cryptococcus* y *Volutella* en ambientes domésticos, ambos asociados con el asma.

Hongos como *Aspergillus fumigatus* han sido reconocidos como un alérgeno significativo en enfermedades atópicas del tracto respiratorio superior e inferior, y hay evidencias de que la colonización fúngica puede contribuir al asma (Farrant *et al.*, 2016). Por tanto, hay indicios de que algunas especies de hongos pueden estar más correlacionadas con el desencadenamiento de los síntomas del asma que otras.

La identificación visual a través del reconocimiento de moho y hongos en materiales de construcción y en las estructuras del edificio también son indicios claros de la presencia de contaminantes microbiológicos aéreos en concentraciones significativas. El crecimiento de hongos puede influir en la calidad del aire porque tanto las esporas como los fragmentos de micelio se dispersan en el aire y pueden ser inhalados. Groot *et al.*, (2023) analizaron la relación entre el moho, la humedad y los síntomas respiratorios en niños mediante una revisión sistemática de la bibliografía epidemiológica y descubrieron que la mayoría de los estudios apuntaban hacia un sesgo de calidad deficiente o regular asociada a los síntomas adversos de salud. También se observó que la humedad interior y la exposición al moho tuvieron un impacto aproximadamente del 30 % al 50 %, respectivamente, en las tasas de incidencia de los resultados de salud respiratoria relacionados con el asma en niños (Fisk *et al.*, 2007).

De esta forma, los hongos y las esporas que producen pueden tener un origen interno o externo al edificio, provocando alergias y daños en el sistema respiratorio de sus habitantes. En consecuencia, varios estudios han informado de asociaciones significativas entre la exposición al moho y la humedad en el desarrollo del asma, rinitis y enfermedades respiratorias, especialmente en niños. Sin embargo, la mayoría se basan en encuestas epidemiológicas y pocos estudios se han realizado con investigaciones domiciliarias, por lo que la verificación correspondiente aún sigue estando incompleta.

El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre los factores que influyen en la construcción y la presencia fúngica en el aire interior de un grupo de viviendas de la ciudad de Vitória, Espírito Santo, Brasil, donde viven niños diagnosticados con asma. Este estudio forma parte del proyecto ASMAVIX, que tiene como objetivo evaluar la asociación entre la calidad del aire y los síntomas de asma en niños y adolescentes que viven en la ciudad de Vitória, en el estado de Espírito Santo. El proyecto ASMAVIX está siendo llevado a cabo por investigadores de la Universidad Federal de Espírito Santo junto con colaboradores de otras instituciones de enseñanza e investigación, con el objetivo de obtener datos longitudinales directos de salud y calidad del aire necesarios para el análisis de posibles asociaciones causales. Es importante señalar que los barrios de las viviendas analizadas no se seleccionaron por ser los que cuantitativamente más representarían el número de niños asmáticos en la ciudad, sino porque fueron aquellos en los que las Unidades de Salud locales, encargadas de diagnosticar y monitorear los síntomas de asma en los niños, se interesaron y aceptaron participar del proyecto.

Vivienda y salud

La precariedad habitacional y su relación con la salud humana ha estado presente desde los primeros años de Brasil, cuando aún era una colonia (Pasternak, 2016). Las crisis políticas, económicas y sociales impactaron directamente en la forma de vivir de la población brasileña y, en consecuencia, en la situación habitacional y de salud, especialmente entre la población de bajos ingresos. En 2001 se creó el estatuto de la ciudad, Ley n° 10.257, que tiene como objetivo garantizar el pleno desarrollo urbano. Esta ley es de gran importancia para la calidad de vida de la población y sus viviendas:

Párrafo único. A todos los efectos, esta Ley, denominada Estatuto de la Ciudad, establece normas de orden público e interés social que regulan el uso de la propiedad urbana en favor del bien colectivo, de la seguridad y del bienestar de los ciudadanos, así como del equilibrio ambiental (“Estatuto da Cidade: Lei No 10.257/2001”, 2008).

La arquitectura residencial mueve valores, necesidades físicas, psicológicas y preferencias de los seres humanos, aportando o sacando sentimientos de seguridad, bienestar y protección (Bergan, 2005). Gómez-Ospina *et al.*, (2024) en su estudio sobre la relación entre el bienestar y la habitabilidad en las casas en Colombia, muestran que los factores económicos y de salud, las relaciones vecinales y las condiciones físicas del hogar influyen en el bienestar de los habitantes.

Entre 2016 y 2019, más de 23 millones de viviendas brasileñas presentaban al menos un tipo de imperfección, ya sea de infraestructura o de edificación (Fundação João Pinheiro, 2021). El cálculo consideró la suma de viviendas precarias, casas compartidas por más de una familia, viviendas con más de tres habitantes en promedio por dormitorio, además de las situaciones en que las familias con ingresos de hasta tres salarios mínimos gastan más del 30 % de sus ingresos en alquiler (Machado, 2018). Este desajuste, según el Censo de 2022, ha llevado a que alrededor de 16 millones de personas vivan en 6,55 millones de viviendas precarias y favelas en la última década, carentes de servicios básicos como saneamiento, suministro de agua potable e infraestructura en general (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022).

Esta realidad influye directamente en la salud pública del país, debido a la transmisión de enfermedades que se propagan por la ausencia o negligencia de conocimientos técnicos y sociales en la elaboración de proyectos habitacionales. Los mismos habitantes a menudo desconocen los riesgos que un diseño inadecuado de los ambientes supone para la salud humana (Bergan, 2005). De acuerdo con Bergan (2005), los estudios sobre el análisis de la calidad del ambiente residencial se centraron únicamente en ambientes exteriores, sin embargo, es clara la importancia de estudios que evalúen también la salubridad y la seguridad del interior de estos edificios.

Según Pasternak (2016), las técnicas de construcción inadecuadas y las soluciones de diseño erróneas en las viviendas pueden provocar daños a la salud fisiológica de los habitantes, especialmente el empeoramiento de enfermedades respiratorias. La falta de iluminación y ventilación natural y el uso de materiales industrializados que emiten sustancias químicas son ejemplos de factores que perjudican la salud. Una vez que la salud de estos individuos se ve afectada, recurren a instituciones de salud para tratar temporalmente el problema. Sin embargo, puede convertirse en un círculo vicioso, ya que continúan viviendo en un lugar insalubre, lo que puede interferir en que el cuadro clínico no mejore.

Aunque la ley garantiza a todos los ciudadanos una vivienda (“Estatuto da Cidade: Lei No 10.257/2001”, 2008), la realidad muestra que este derecho aún no ha sido alcanzado por todos. Muchos ciudadanos viven en edificios construidos sin asesoramiento profesional y, debido a la falta de recursos, muchas veces quedan inconclusas y/o no reciben mantenimiento preventivo, facilitando, entre otras cosas, la entrada de insectos, las inclemencias del tiempo y la proliferación de hongos y bacterias. Una vivienda digna debe proporcionar a los ciudadanos condiciones estables para vivir, además de ofrecer servicios e infraestructura pública de calidad.

Metodología

La Región Metropolitana de la Gran Vitória (RMGV) en el Estado de Espírito Santo, Brasil, posee importantes y diversas fuentes de contaminación, como la industrial, vehicular, resuspensión de partículas depositadas en las vías de circulación, entre otras (“Inventário de emissões”, 2019), siendo la contaminación atmosférica y sus molestias una de las mayores quejas de la población ante el órgano ambiental local (Nobres *et al.*, 2018; “Relatório com 191 metas”, 2018). A partir de datos recopilados por la Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar – RAMQAR, implementada en 2001 en la RMGV, se han realizado estudios que dieron cuenta de asociaciones significativas entre las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, incluyendo el asma, y el grado de contaminación del aire en la ciudad (Freitas *et al.*, 2016; Nascimento *et al.*, 2020).

Por consiguiente, el presente estudio forma parte del proyecto ASMAVIX, cuyo objetivo es obtener datos longitudinales directos sobre la salud y la calidad del aire necesarios para el análisis de posibles asociaciones causales con el fin de determinar si la contaminación atmosférica afecta a los síntomas del asma en los niños y adolescentes que viven en Vitória, y en qué medida. El proyecto está formado por un equipo multidisciplinario, con personas responsables del monitoreo de los diferentes contaminantes aéreos y del seguimiento de niños y adolescentes con asma atendidos en Unidades de Salud del municipio que se ofrecieron voluntariamente para participar del proyecto. Los procedimientos adoptados para la recolección de datos incluyeron visitas al lugar en cuestión para la asignación de diferentes equipos para la recolección y monitoreo de contaminantes en el interior de las viviendas, seguimiento de los síntomas de asma y recolección de exámenes por parte del equipo médico, además de preparar y llenar hojas de cálculo para caracterizar la demografía del niño, la

familia, su vida cotidiana y las características de la construcción. El estudio está diseñado para la obtención de datos directos en una muestra sólida de sujetos e incluye un número elevado de covariables relacionadas con la aparición y el empeoramiento de los síntomas del asma.

A modo de extracto, el artículo en cuestión presenta la evaluación de la concentración de uno de los parámetros de contaminación del aire interior: los hongos aéreos y su relación con los aspectos de construcción de las viviendas de los niños monitoreados por el estudio. Los resultados pretenden permitir una mejor comprensión de la dinámica de la enfermedad y son importantes para definir estrategias que ayuden a mejorar la calidad del aire en viviendas con estándares de construcción similares, así como establecer estrategias futuras para abordar este problema de salud pública.

El estudio se llevó a cabo en los barrios Maria Ortiz y Jabour, de la ciudad de Vitória —capital del estado de Espírito Santo—, ubicada en la región Metropolitana de la Gran Vitória, Brasil (Figura 1). Vitória, latitud 20°19'S y longitud 40°19'O, se caracteriza por un clima tropical cálido y húmedo, con inviernos suaves y secos, veranos lluviosos y calurosos, con una temperatura media anual de 24,9°C, con una temperatura máxima promedio igual a 32°C y una temperatura mínima promedio de 19,60°C, con una precipitación media anual de 1.384,4 mm (Instituto Nacional de Meteorología, 2021) y vientos predominantes del Noreste (NE) (Mattiuzzi y Marchioro, 2012). El municipio tiene 97.123 km² de área territorial y una población estimada de 369.534 mil habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022).

Todas las viviendas participantes en el estudio fueron preseleccionadas entre los responsables de niños asmáticos atendidos por la Unidad Básica de Salud María Ortiz y la Unidad Básica de Salud Jabour, voluntarios del proyecto ASMAVIX (CAAE 0.9214519.1.0000.5071, dictamen CEP/Hucam No. 3.546.535).

Los barrios Maria Ortiz y Jabour forman parte de la región de Grande Goiabeiras, teniendo como vecinos Goiabeiras, Antônio Honório y Solon Borges. La región solía estar cubierta por manglares y con el paso de los años, hasta finales de la década de 1970, comenzó a ser utilizada como área de disposición de basura por parte de la alcaldía, lo que resultó en un gran vertedero, convirtiéndolo en un lugar propicio para la ocupación de asentamientos irregulares dentro de esta área y avanzando sobre los manglares (Coutinho, 2019). A partir de 1989, la municipalidad implementó la “inversión de prioridades” y realizó mejoras en la infraestructura de los barrios.

Actualmente, tanto Maria Ortiz como Jabour están marcados por viviendas unifamiliares y edificios de hasta cuatro pisos, es decir, barrios marcados por edificaciones de baja altura, debido a su proximidad al aeropuerto de Vitória. Su red vial es regular, pero presenta numerosas calles estrechas y callejones. La población se caracteriza como de clase “C” con un nivel de ingreso promedio de aproximadamente tres a cinco salarios mínimos según la clasificación del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (2022). La zona cuenta con una infraestructura relativamente adecuada en términos de señalización, pavimentación y servicios públicos, como escuelas y centros de salud, no obstante, hay muchas viviendas construidas de manera irregular y sin terminar. Además, dado que la configuración original de los barrios es espontánea, existen calles estrechas y callejuelas exclusivas para peatones, lo que dificulta el ingreso de luz natural a las viviendas orientadas hacia ellas.

Figura 1.

Mapa de ubicación de los barrios Maria Ortiz y Jabour, en Vitória/ES, cerca del manglar y del aeropuerto de Vitória.



Fuente: Google Earth, modificado por los autores.

Las casas seleccionadas pertenecen a familias con al menos un niño con diagnóstico de asma por la Unidad de Salud del barrio. En total, en este estudio se investigaron 24 domicilios del barrio María Ortiz y 26 del barrio Jabour, en algunos de los cuales cohabitaban dos niños asmáticos, lo que dio como resultado un total de 56 dormitorios evaluados. En todas las viviendas se realizaron sondeos físicos y fotográficos, así como registros de caracterización de las condiciones de la vivienda que pudieran influir en la Calidad del Aire Interior (CAI). Entre esta caracterización se registraron las condiciones de ventilación del dormitorio del niño, los materiales de acabado, la identificación visual de moho y hongos en la edificación y la presencia de otras posibles fuentes internas de contaminación del aire. En cuanto a las condiciones de ventilación, se registraron los sistemas de ventilación predominantes: ventilación de manera mecánica, mediante el uso de equipos de aire acondicionado y/o ventiladores, y ventilación natural mediante la apertura de ventanas.

Para recolectar los hongos se utilizó un impactador marca Zefon® tipo Andersen de una sola etapa, posicionado a una altura de 1,50 m del suelo en el dormitorio del niño asmático. Para la recolección, se colocó una placa de Petri en el instrumento y se encendió durante cinco minutos bajo un caudal de aire de 28,3 l/

min. Cada placa contenía el medio de cultivo con Agar Papa Dextrosa, adicionado con Cloranfenicol a una concentración de 0,05 g/L utilizado para la recolección y cultivo de hongos. El procedimiento se realizó tres veces en el ambiente interior y se repitió la misma cantidad en el ambiente exterior, con el objetivo de tener datos similares para garantizar la precisión del resultado. En total se recogieron un total de 318 placas de Petri para su análisis.

Luego de la recolección, se sellaron las placas de Petri con una película de plástico, se colocaron en una caja térmica y se llevaron al laboratorio de Microbiología General de la Universidad de Vila Velha para su análisis. Siguiendo la metodología adaptada de Gangneux *et al.*, (2006) para el crecimiento y recuento de colonias, las placas se incubaron a una temperatura de 25°C durante siete días y se observaron diariamente a partir del segundo día para contar las unidades formadoras de colonias (UFC)¹. El resultado se expresó calculando las UFC por metro cúbico de acuerdo con la Ecuación 1, donde n es el número de colonias contadas en la placa y v es el volumen de aire muestreado.

$$\text{Ecuación 01: } UFC/m^3 = n / v$$

Luego de un período de siete días desde el recuento, las colonias fueron aisladas en tubos con Agar Papa Dextrosa para su posterior observación en portaobjetos para la identificación fenotípica de las características macro y micromorfológicas (Klich, 2002). El examen macroscópico de la colonia describe el tamaño, la textura, la pigmentación, la superficie, los bordes, la topografía, el color de la colonia, el aspecto, la pigmentación y el tiempo de crecimiento. El examen microscópico consiste en observar el micelio y los tipos de esporas (Lacaz *et al.*, 2002). La lectura de los portaobjetos se realizó utilizando un microscopio marca Euromex serie Oxion, trinocular de contraste de fase.

1 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) son una métrica utilizada en el campo de la microbiología para evaluar la abundancia de microorganismos en un ambiente. El método consiste en contar colonias que se desarrollan en una placa de Petri, durante un tiempo y caudal de aire determinados, para estimar el número de hongos en el ambiente.

Resultados y discusiones

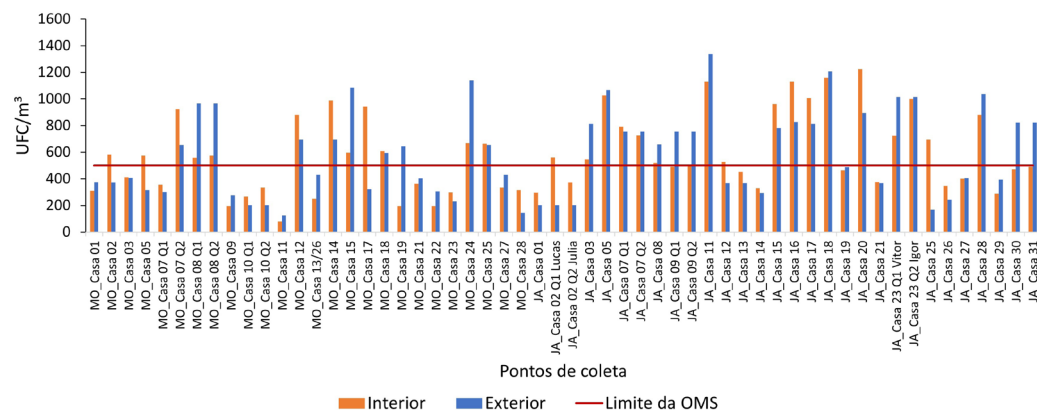
Luego del recuento y cálculo de la concentración promedio en cada punto de recolección interior y exterior de las viviendas, se obtuvo un total de 56 dormitorios evaluados. El promedio de concentración fúngica en el interior fue de 577,69 UFC/m³ y en el exterior de la vivienda fue de 585,01 UFC/m³, lo que muestra un valor promedio superior al recomendado por la Organización Mundial de la Salud para la calidad del aire interior. La relación entre el interior y el exterior encontrada en este trabajo (relación interior/exterior = I/E) fue de 1,14, lo que evidencia un ambiente interior que requiere correcciones para mitigar este contaminante.

La figura 2 muestra el promedio de las recolecciones de microbiológico en UFC/m³ en todas las viviendas. Se observa que 29 ambientes superaron el valor estipulado por la OMS, de 500 UFC/m³, entre estos, 14 dormitorios también superaron el valor establecido por la legislación brasileña, de 750 UFC/m³. En cuanto al lugar evaluado donde duerme el niño asmático, se puede inferir que el ambiente en cuestión interfiere en el agravamiento del cuadro clínico. Estos datos indican que concentraciones de hongos superiores a las recomendadas por la regulación vigente pueden ser comunes en el interior de viviendas con estándares de construcción y clases sociales similares a las de este estudio, poniendo en riesgo la salud de sus usuarios.

A nivel interno, la concentración promedio máxima encontrada fue de 1224,97 UFC/m³, en un dormitorio de una vivienda del barrio Jabour, lo que supone más del doble del límite estipulado por la OMS. La concentración promedio externa registrada en este lugar fue de 895.17 UFC/m³, mientras que la concentración promedio mínima encontrada entre las campañas fue de 80.09 UFC/m³ y 124.85 UFC/m³, interna y externa, respectivamente, en una en una vivienda del barrio de María Ortiz, lo que indica una tendencia de que el medio exterior influye en la cantidad de hongos aéreos del medio interior, probablemente debido a su infiltración a través de rendijas y grietas en el edificio. Este hecho se evidencia en el cruce de datos de la Figura 3, que muestra estadísticamente que existe una correlación positiva moderada de $R=0,497$ entre la cantidad de hongos encontrados en el exterior y la cantidad de hongos encontrados en el ambiente del dormitorio.

Figura 2.

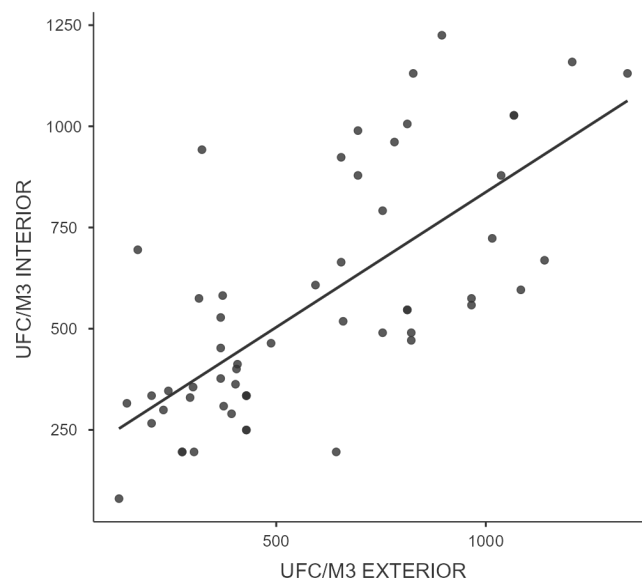
Concentración promedio de hongos medida en el interior y exterior de las viviendas.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 3.

Correlación entre el número de Unidades Formadoras de Colonias por m³ de hongos encontrados en el interior y en el exterior de las viviendas.



Fuente: Elaborado por los autores.

En la identificación de las especies fúngicas se mostró un predominio de los géneros *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* (Figura 4) tanto en el interior como en el exterior de las viviendas. *Penicillium* y *Aspergillus* son géneros de hongos muy extendidos y que se encuentran en ambientes interiores (Bardana, 2003; Kawasaki *et al.*, 2010), ya que menos del 4 % de sus esporas se forman en el aire exterior, a diferencia del hongo *Cladosporium*, que es predominantemente universal (Cabral, 2010).

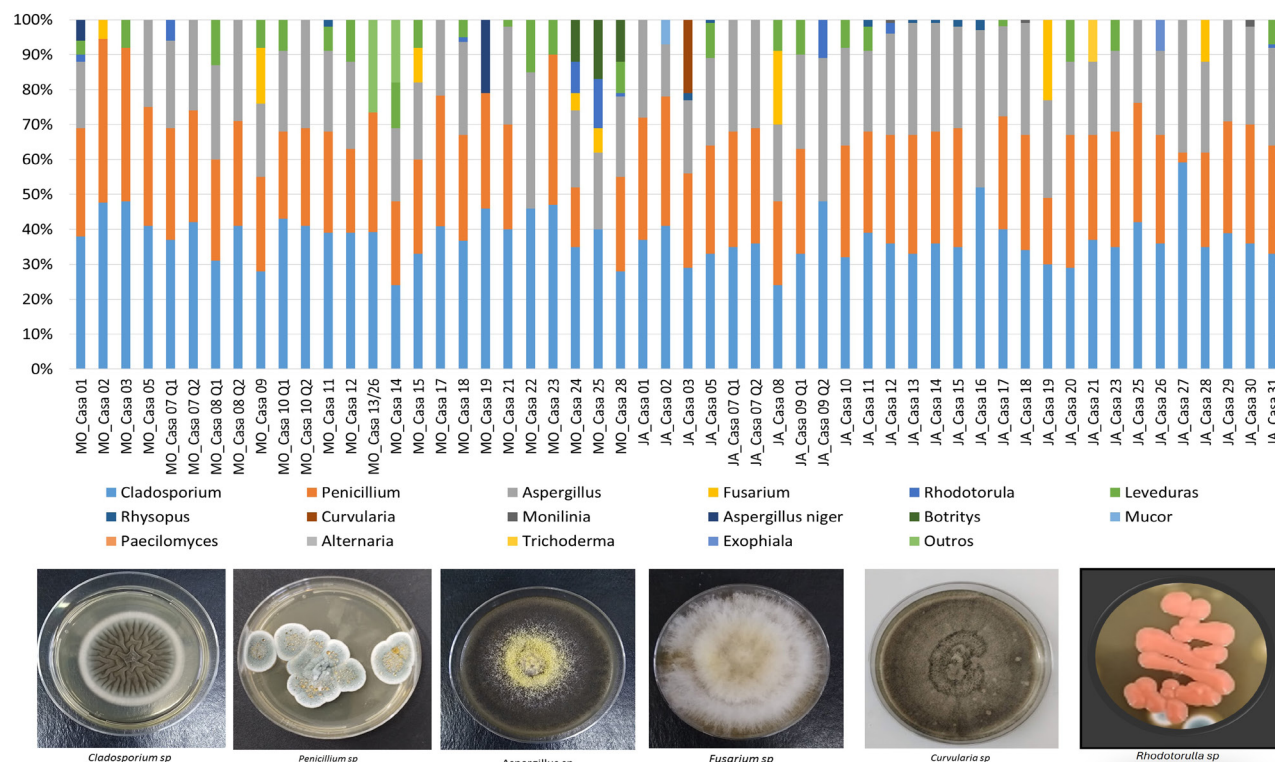
Tanto *Penicillium* como *Aspergillus* tienen especies que producen micotoxinas (compuestos orgánicos volátiles microbianos) que pueden ser responsables de la presencia o agravamiento de problemas respiratorios. El género *Aspergillus* está asociado a lugares con humedad y su presencia es un factor importante en el empeoramiento del asma, especialmente en individuos con sensibilización fúngica (Farrant *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2011).

En el estudio de Sánchez Espinosa *et al.* (2024) se identificaron hongos aerotransportados en viviendas de La Habana, Cuba, y su relación con factores ambientales. *Aspergillus* fue el género predominantemente encontrado en las viviendas y su presencia se relacionó principalmente con problemas de humedad, ventilación inadecuada y el tipo de material de construcción utilizado. Los autores también señalan que, aunque las concentraciones encontradas estaban por debajo del nivel recomendado, la presencia de estos contaminantes fúngicos sirve como un sistema de alerta sanitaria.

La figura 5 muestra información sobre el perfil de los participantes del proyecto. Según los datos recogidos, el 53 % y el 47 % de los niños son varones y mujeres respectivamente, con predominio de niños de más de 140 cm de altura, con peso entre 30 y 50 kg y con edades comprendidas entre seis y 15 años. Las viviendas tienen, en promedio, cuatro habitantes y en el 56 % de las casas hay mascotas, entre ellas perros (67 %), aves (38 %), gatos (13 %), entre otros. El número de viviendas con fumadores es considerablemente bajo: el 72 % no tiene ningún fumador.

Figura 4.

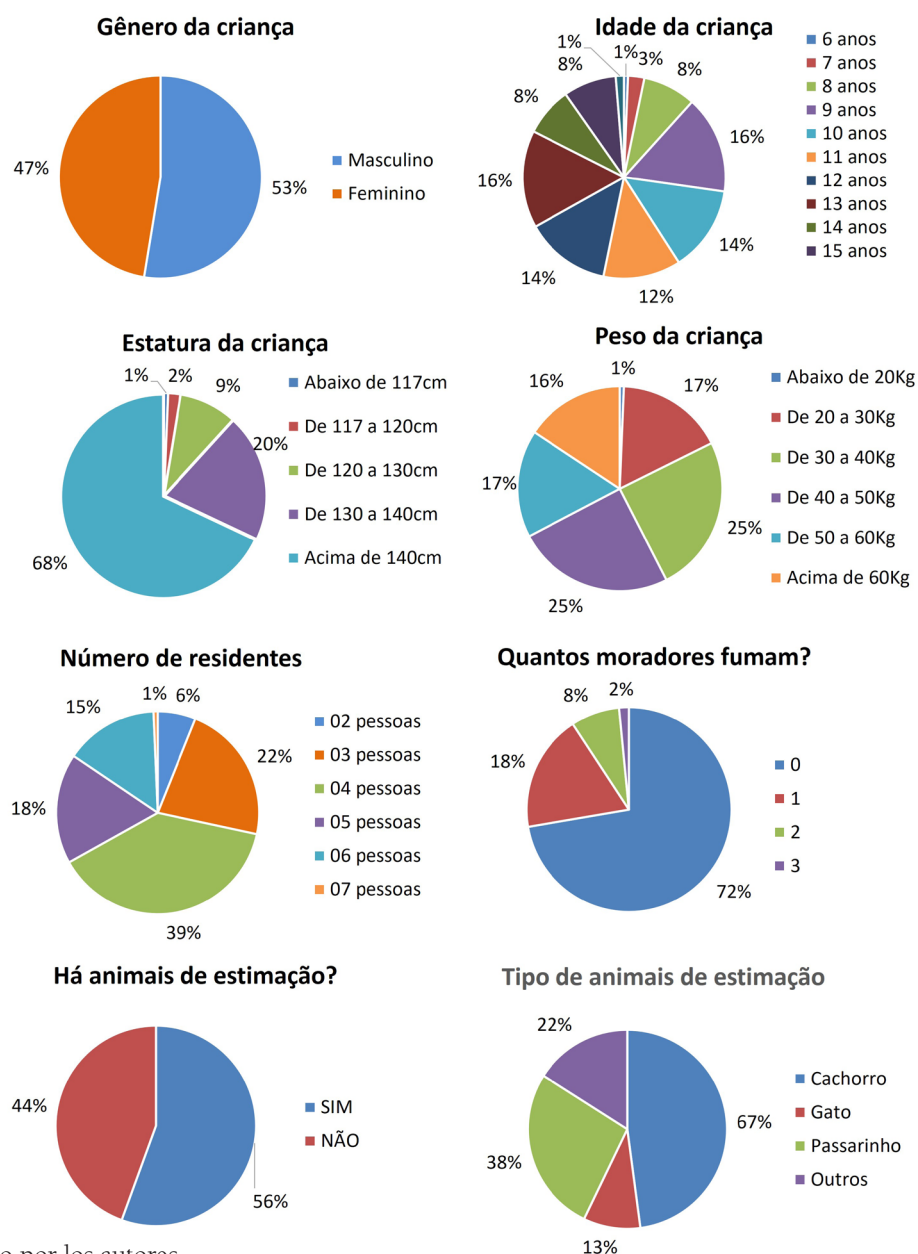
Frecuencia de especies fúngicas identificadas e imagen microscópica de microcultivos.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 5.

Resultados sobre el perfil familiar de los niños y habitantes de las viviendas evaluadas.



Fuente: Elaborado por los autores.

La Figura 6 muestra información respecto a los factores de construcción de las viviendas de los participantes con el objetivo de identificar posibles aspectos que puedan influir en la calidad del aire interior de las viviendas. La mayoría de las viviendas fueron construidas hace más de 10 años sin mantenimiento preventivo y el 47 % de los habitantes también ha vivido allí durante más de 10 años. Esto evidencia el probable deterioro de las estructuras de construcción de las viviendas de bajos ingresos, probablemente debido al costo de realizar reparaciones.

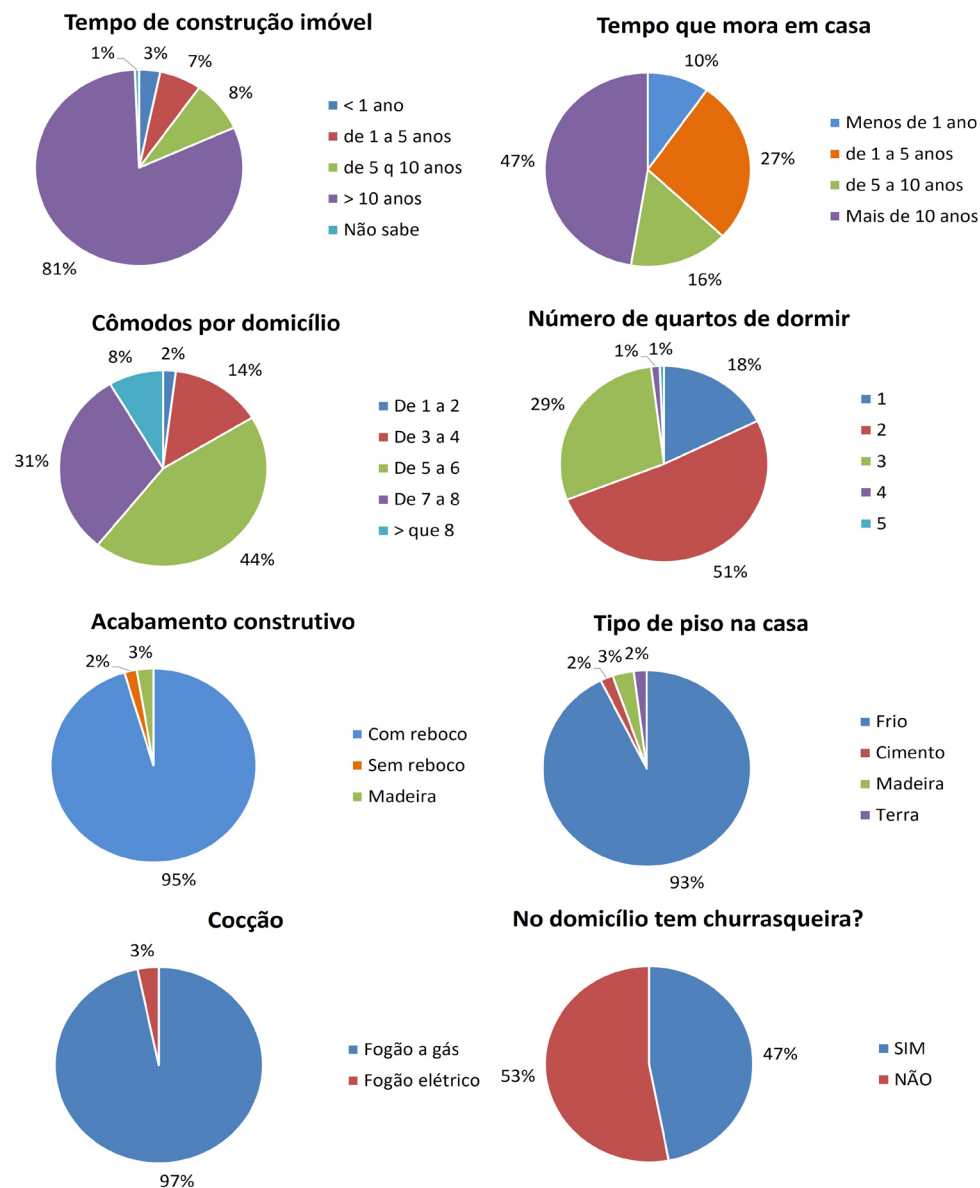
Otro punto importante a destacar es que la mayoría de las viviendas contaban con entre cinco y seis habitaciones en total, de las cuales un promedio de dos eran dormitorios (51 %). Considerando que predominan cuatro habitantes por domicilio, esto representa al menos dos habitantes por dormitorio. El 95 % de las viviendas estaban enfoscadas o revocadas y con acabado de pintura en las paredes, el 2 % tenía paredes sin revocar con solo bloques cerámicos a la vista y el 3 % eran casas construidas en madera. La cocción de los alimentos es mayoritariamente en una cocina a gas (97 %) y el 47 % de los hogares tiene una parrilla de carbón. Aunque la quema de carbón en parrillas es una fuente conocida de contaminación del aire, principalmente de emisión de material particulado (Taner *et al.*, 2013), esta actividad representa un hábito común y está presente en la mayoría de las casas de las familias brasileñas.

La mayoría de las viviendas tienen suelos de baldosas, lo que, además de facilitar la limpieza, es característico de los climas cálidos y húmedos. Vitória registra frecuentemente quejas de su población sobre el polvo depositado en el interior de las viviendas, proveniente del parque industrial ubicado al noreste de la ciudad (Melo *et al.*, 2015).

Las habitaciones son poco espaciosas y generalmente tienen gran cantidad de muebles y objetos. En la mayoría de las casas se observó una acumulación de utensilios, lo que dificulta la limpieza y permite la acumulación de polvo y suciedad (Figura 7). Se identificó que el 42 % de las familias limpian la casa al menos una vez al día y el 27 % de las familias limpian la casa más de una vez al día. El 18 % afirmó limpiar de dos o tres veces por semana, el 5 % limpia de tres a cinco veces por semana y el 8 % limpia una vez por semana o menos.

Figura 6.

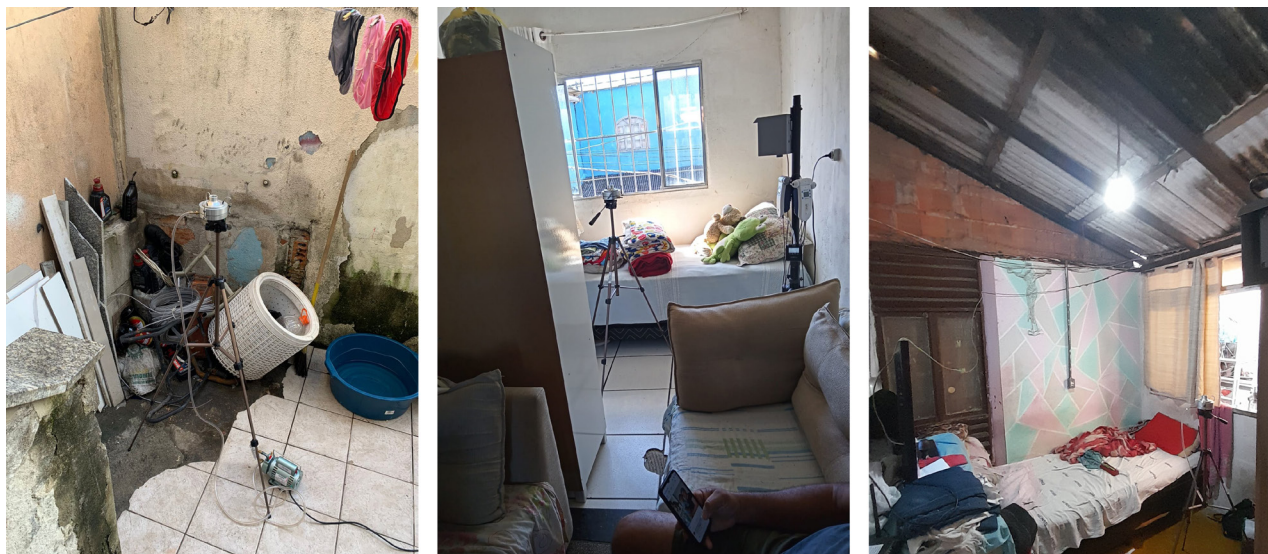
Resultados respecto a los factores de construcción de las viviendas de los niños participantes.



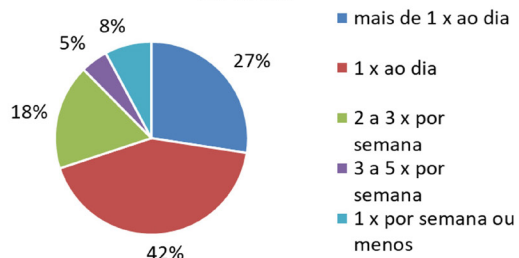
Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 7.

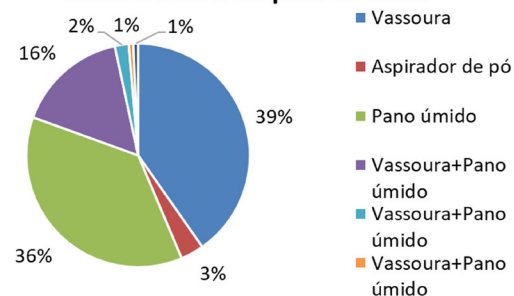
Ejemplos de acumulación de muebles y objetos en el interior y exterior de las viviendas.



Quantas vezes é feita limpeza do piso da casa?



Como é feita a limpeza da casa?



Fuente: Elaborado por los autores

La ventilación natural, mediante la apertura de ventanas, fue la ventilación predominante para el confort térmico en el 47 % de las viviendas, seguida por el 33 % que utiliza ventiladores, el 15 % que utiliza ventiladores y aire acondicionado y el 3 % que solo utiliza aire acondicionado. Al tratarse de viviendas con bajos ingresos, es preferible el uso de ventilación natural para el confort térmico ya que presenta un menor costo energético y, en consecuencia, un menor costo operacional. La ventilación natural, a través de rendijas en la edificación, no sólo es una estrategia pasiva de confort térmico recomendada para lugares con climas cálidos y húmedos, sino que también permite la entrada de luz solar y la renovación del aire en los ambientes, contribuyendo a su salubridad. Este hecho corrobora las correlaciones significativamente positivas encontradas por Kajjoba *et al.*, (2024) en su estudio sobre el impacto de la ventilación natural, la mejora de la calidad del aire interior y la salud de los habitantes de viviendas tropicales de bajos ingresos en la ciudad de Kampala, Uganda.

Sin embargo, cabe destacar en este estudio, la existencia de dormitorios (11 %), donde los niños asmáticos dormían, sin ventanas o con ventanas orientadas hacia otros ambientes interiores, o incluso con ventanas basculantes de tamaño inadecuado para la ventilación e iluminación de estos espacios de larga permanencia (Figura 8).

Es importante tener en cuenta que la mayoría de las casas no puede cumplir con el área mínima de ventilación, habiendo dormitorios sin ventanas. Este resultado está directamente relacionado con la autoconstrucción, ya que el propietario generalmente no tiene el conocimiento técnico de que la ventana es un elemento esencial para una vivienda saludable, ya que es el componente responsable por la renovación del aire en los ambientes, además de proporcionar luz y sol a los dormitorios. La Figura 9 muestra que la concentración promedio de hongos aéreos en el dormitorio es mayor en los que no tenían ventanas en comparación con los que sí las tenían.

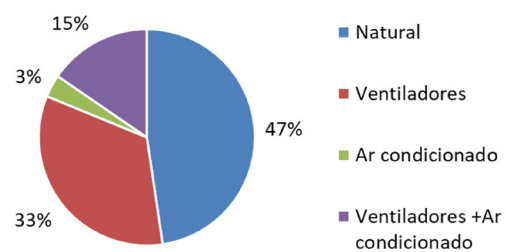
Se identificó la presencia de hongos en el 41 % de las viviendas que presentaban moho visible en las paredes, piso o techo, mientras que en algunas se identificó este moho visible en el exterior, en otras en el interior o en ambos (Figura 10). Se observó la presencia de humedad en el exterior de algunas viviendas, principalmente en la parte inferior, más cercana al suelo, lo que indica una deficiencia en la impermeabilización de la base de la vivienda y una acumulación de agua en estos lugares. La alta humedad en los materiales de construcción también es uno de los factores que explican la presencia de moho (Du *et al.*, 2021; Qiao *et al.*, 2024) y, en consecuencia, de la alta concentración de hongos en ambientes residenciales que se relaciona con enfermedades del sistema respiratorio humano (Groot *et al.*, 2023).

Figura 8.

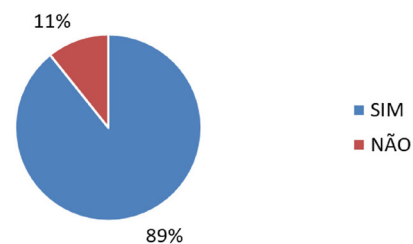
Dormitorios sin rendija al exterior, lo que imposibilita la ventilación natural directa.



Ventilação predominante



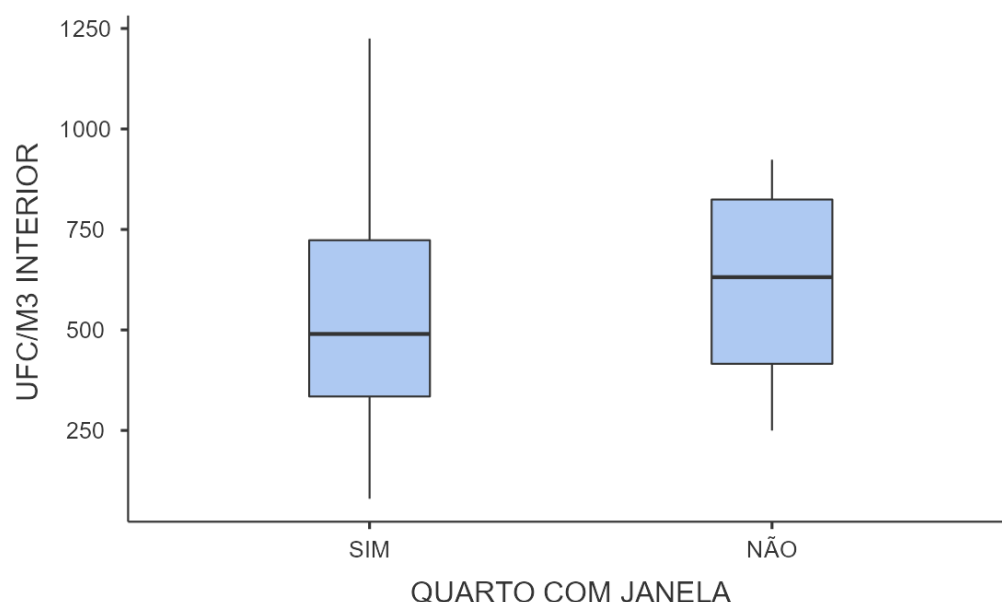
Local onde a criança dorme tem Janela



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 9.

Gráfico que representa el cruce de datos entre la presencia de la ventana en el dormitorio del niño y la cantidad de hongos encontrados.

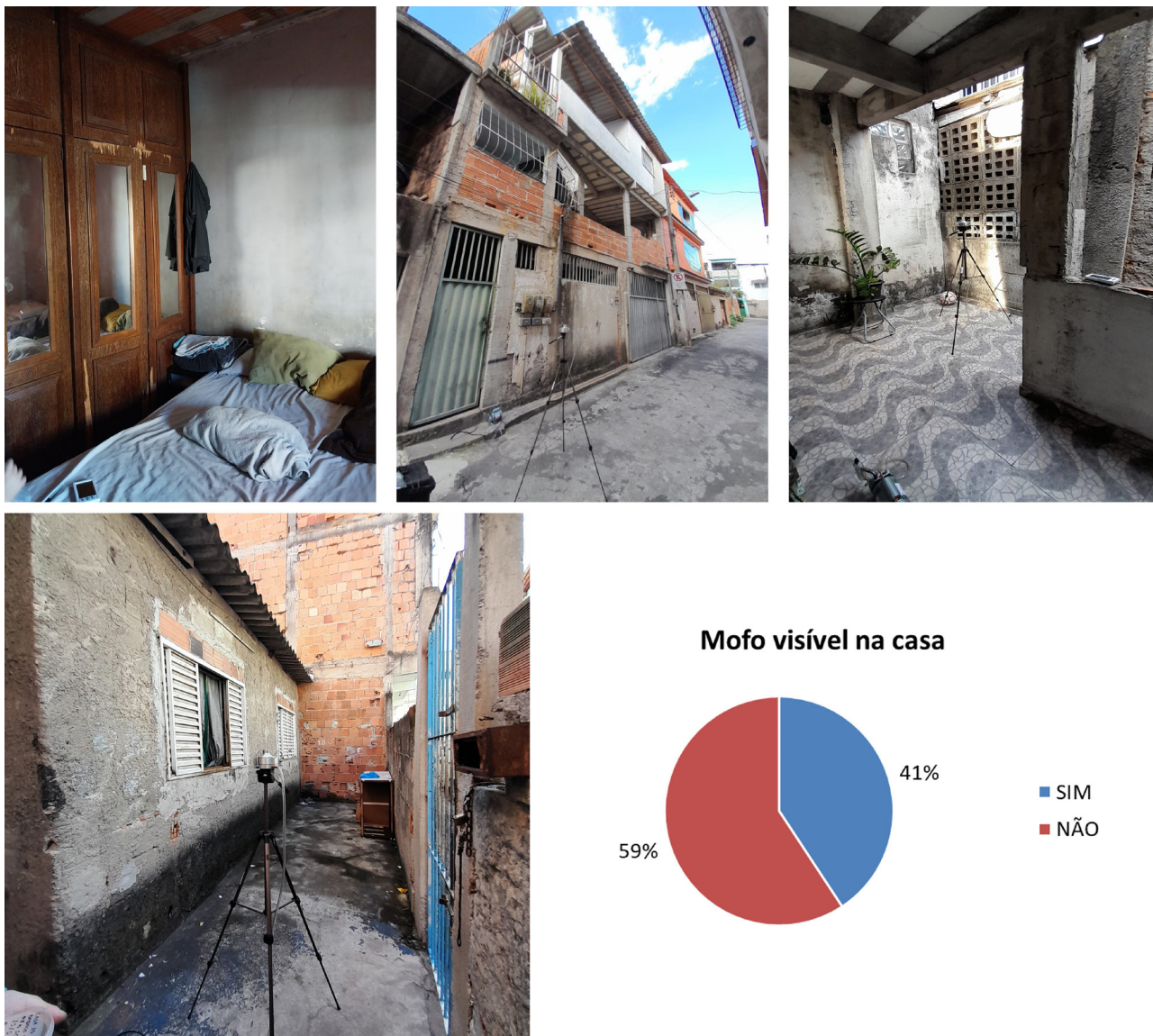


Fuente: Elaborado por los autores.

Se observó la ausencia de revoco, enlucido y pintura y la necesidad de mantenimiento o exposición de las estructuras, lo que permitió que el edificio se deteriorara prematuramente. Una parte importante de las fachadas de viviendas con signos visuales de moho no presentaba ningún tipo de acabado o solo estaban enlucidas. También se observaron viviendas sin losa, con dormitorios directamente bajo tejas de fibrocemento. La falta de acabado de construcción en el exterior, con pintura o revestimiento, contribuye a una mayor retención de humedad en las paredes de la construcción, lo que a su vez contribuye a una elevada concentración de hongos en el ambiente lo que podría agravar los síntomas del asma. La Figura 11 muestra el cruce de datos entre la cantidad de hongos encontrados en el ambiente exterior, inmediatamente circundante a la vivienda, la presencia de moho visible en la vivienda y el material de construcción predominante utilizado para el acabado de las fachadas. Se puede observar que las habitaciones con moho en las superficies de construcción presentaron una mayor concentración promedio de hongos aéreos. Asimismo, se observa que el estándar de construcción también influye en esta concentración de hongos, ya que las viviendas de madera y en mampostería sin revoco presentaron una mayor concentración promedio fúngica que las con acabado de mampostería y que sí tenían revoco.

Figura 10.

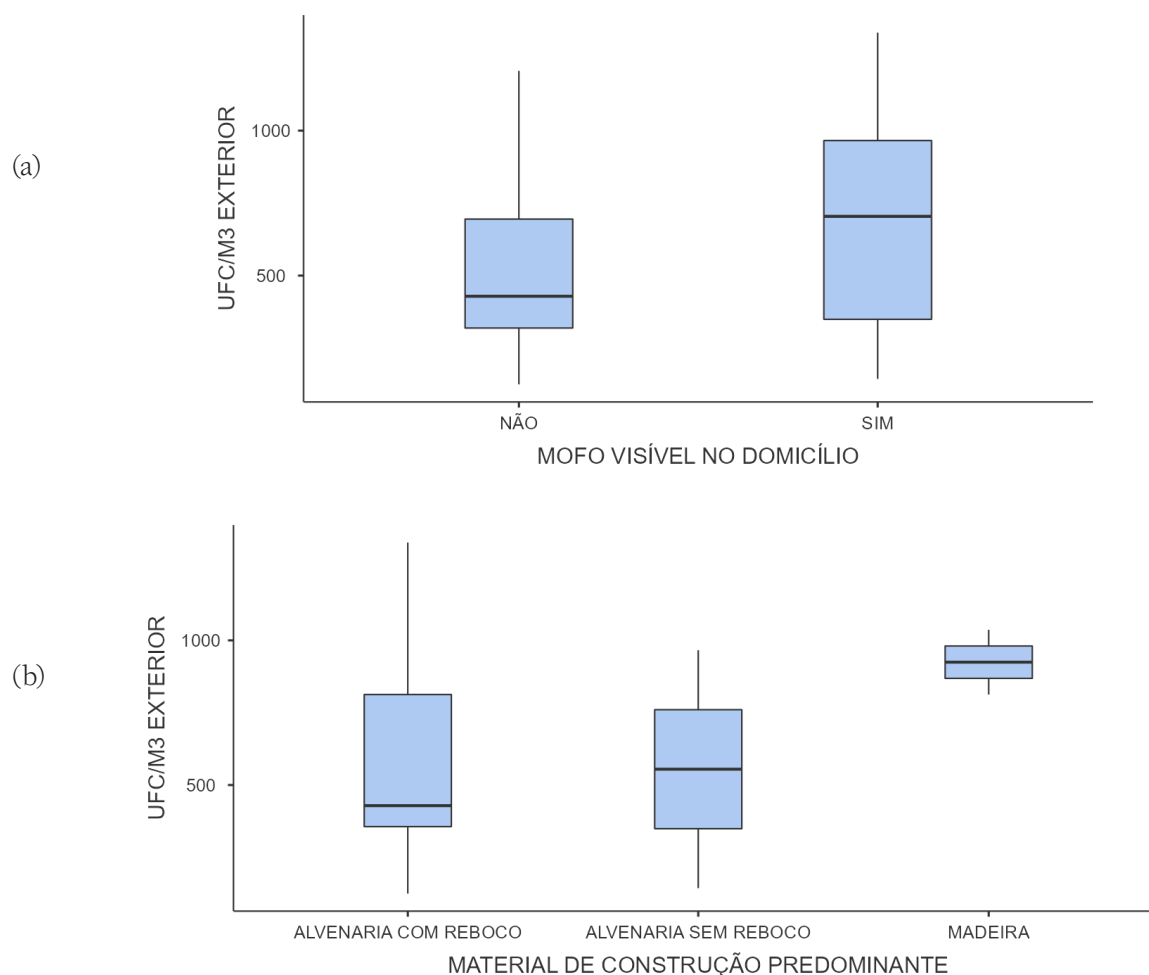
Ejemplos de la presencia de moho y acumulación de humedad en paredes interiores y exteriores de las viviendas.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 11.

Gráfico que representa el cruce de datos entre la cantidad de hongos encontrados en el ambiente exterior inmediatamente circundante a la vivienda en relación a (a) la presencia de moho visible en la misma y (b) el material de construcción predominante utilizado para el acabado de las fachadas.



Fuente: Elaborado por los autores.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue analizar los aspectos de construcción de viviendas en dos barrios de la ciudad de Vitória en el estado de Espírito Santo, Brasil, y su relación con la presencia de hongos que pueden afectar la salud de los niños, especialmente la de aquellos diagnosticados con asma. Aunque la ley garantiza una vivienda digna, muchas viviendas se encuentran en condiciones inadecuadas e insalubres, con dormitorios sin ventanas o con rendijas hacia otros espacios de la edificación. Los resultados mostraron que la mayoría de las viviendas identificadas visualmente con moho y hongos presentaban ventilación e iluminación natural inadecuada en los dormitorios, además de falta de acabado en las fachadas. Asimismo, una parte significativa de las viviendas analizadas presentaron concentraciones de hongos en el aire interior por encima de los límites establecidos por la OMS, lo que indica una fuerte influencia de la presencia de humedad en las fachadas y una ventilación inadecuada en los dormitorios, como principales aspectos que contribuyen al incremento de los niveles fúngicos en la vivienda.

Durante las visitas al lugar en cuestión, se constató que la mayoría de las familias desconocían la importancia de una adecuada ventilación e iluminación para la salubridad de los espacios interiores, así como la importancia del mantenimiento y de los sistemas de construcción. Por otro lado, también se constató que la mayoría de estas viviendas presentaban una importante acumulación de objetos y muebles en sus pequeñas habitaciones, así como la presencia constante de polvo en los espacios. En este sentido, es importante que trabajos futuros apunten a producir materiales instructivos, con nociones simples sobre cómo mitigar la contaminación del aire en los ambientes interiores, incentivando acciones para una habitación saludable en el día a día y futuras mejoras constructivas en las viviendas. También es importante destacar que la participación de la comunidad en la comprensión de la calidad del aire en sus viviendas contribuye a una educación observadora y cuestionadora, formando ciudadanos críticos capaces de cambiar sus propias actitudes y comportamientos. Las estrategias para mejorar la vivienda deben ser una prioridad para la salud pública ya que inciden tanto en el número de atenciones como en la calidad de vida de la población.

El estudio de la calidad del aire interior a través de la concentración de hongos aéreos puede proporcionar métricas valiosas para investigaciones sobre la calidad de la vivienda y la exposición humana, como factor de riesgo para la salud, especialmente el asma, subsidiando políticas públicas que ayuden y reduzcan estos síntomas, especialmente en niños socialmente vulnerables y habitantes de viviendas autoconstruidas.

Agradecimientos

Al Núcleo de Pesquisas da Qualidade do Ar (NQualiar) del Programa de Postgrado en Ingeniería Ambiental de la Universidad Federal de Espírito Santo (UFES) y al Grupo de Investigación de Arquitectura y Estudios Ambientales del Programa de Postgrado en Arquitectura y Ciudad de la Universidad de Vila Velha (UVV), por el apoyo a la investigación. A los investigadores del proyecto ASMAVIX por compartir y discutir ideas e informaciones que contribuyeron a la orientación y madurez del trabajo, especialmente a Brenda Tonon, Jeferson Corrêa, Karla Gonçalves Schroeffler y a todos los estudiantes de iniciación científica que ayudaron con las recolecciones y en los viajes de ida y vuelta del campo al laboratorio. Las familias que amablemente nos acogieron y nos abrieron las puertas de sus casas para la investigación. A ArcelorMittal Brasil por el financiamiento del proyecto ASMAVIX y a la Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, TO 1063/2022 por el apoyo financiero a la infraestructura del laboratorio.

Referências bibliográficas

- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2003). *Resolução - RE no 9, de 16 de janeiro de 2003*.
- Akteruzzaman, M., Rahman, M. A., Rabbi, F. M., Asharof, S., Rofi, M. M., Hasan, M. K., Muktedir Islam, M. A., Khan, M. A. R., Rahman, M. M., & Rahaman, M. H. (2023). The impacts of cooking and indoor air quality assessment in the southwestern region of Bangladesh. *Heliyon*, 9(1), e12852. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12852>
- Associação Brasileira de Alergia e Imunologia. (2023). Asma atinge 10% da população brasileira. <https://asbai.org.br/asma-atinge-10-da-populacao-brasileira/>
- Bardana, E. J. (2003). Indoor air quality and health does fungal contamination play a significant role? *Immunology and Allergy Clinics of North America*, 23(2), 291–309. [https://doi.org/10.1016/S0889-8561\(02\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0889-8561(02)00081-4)
- Begum, B. a., Paul, S. K., Dildar Hossain, M., Biswas, S. K., & Hopke, P. K. (2009). Indoor air pollution from particulate matter emissions in different households in rural areas of Bangladesh. *Building and Environment*, 44(5), 898–903. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.005>
- Bergan, K. (2005). *Casa Saudável: um estudo sobre os sentidos da moradia. Estudo de Caso: Conjunto Pedro I, Realengo, Rio de Janeiro/RJ* [Dissertação Mestrado]. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Boechat, J. L. (2009). *Presença de endotoxinas, fungos e ácaros em prédios de escritórios no Rio de Janeiro e sua influência na prevalência dos sintomas de asma, rinite, atopia e síndrome do edifício doente* [Tese de doutorado]. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Bueno, F. T. C., Souto, E. P., & Matta, G. C. (2021). Notas sobre a trajetória da Covid-19 no Brasil. Em *Os impactos sociais da Covid-19 no Brasil: populações vulnerabilizadas e respostas à pandemia* (pp. 27–39). Editora Fiocruz. <https://doi.org/10.7476/9786557080320.0002>
- Bundy, K. W., Gent, J. F., Beckett, W., Bracken, M. B., Belanger, K., Triche, E., & Leaderer, B. P. (2009). Household airborne penicillium associated with peak expiratory flow variability in asthmatic children. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 103(1), 26–30. [https://doi.org/10.1016/s1081-1206\(10\)60139-1](https://doi.org/10.1016/s1081-1206(10)60139-1)
- Cabral, J. P. S. (2010). Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4285–4295. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.005>
- Cortés, A. & Ridley, I. (2013). Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario: La ciudad de Temuco como caso de estudio. *Revista INVI*, 28(78), 257–271. <https://doi.org/10.4067/s0718-83582013000200008>
- Coutinho, M. I. J. (2019). *Análise da evolução do bairro Maria Ortiz e os impactos no manguezal*. [Trabalho de conclusão de curso]. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Cox, J., Stone, T., Ryan, P., Burkle, J., Jandarov, R., Mendell, M. J., Niemeier-Walsh, C., & Reponen, T. (2022). Residential bacteria and fungi identified by high-throughput sequencing and childhood respiratory health. *Environmental Research*, 204 part D, 112377. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112377>

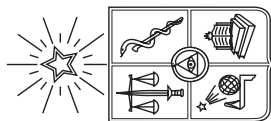
- Du, C., Li, B., & Yu, W. (2021). Indoor mould exposure: Characteristics, influences and corresponding associations with built environment—A review. *Journal of Building Engineering*, 35(174), 101983. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101983>
- Estatuto da cidade: Lei no 10.257/2001. (2008). Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas.
- Fan, L., Wang, J., Yang, Y., Yang, W., Zhu, Y., Zhang, Y., Li, L., Li, X., Yan, X., Yao, X., Wang, L., & Wang, X. (2021). Residential airborne culturable fungi under general living scenario: On-site investigation in 12 typical cities, China. *Environment International*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106669>
- Farrant, J., Brice, H., Fowler, S., & Niven, R. (2016). Fungal sensitisation in severe asthma is associated with the identification of *Aspergillus fumigatus* in sputum. *Journal of Asthma*, 53(7), 732–735. <https://doi.org/10.3109/02770903.2016.1154073>
- Fisk, W. J., Lei-Gomez, Q., & Mendell, M. J. (2007). Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air*, 17(4), 284–296. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2007.00475.x>
- Freitas, C. U. d., Leon, A. P. d., Junger, W., & Gouveia, N. (2016). Air pollution and its impacts on health in Vitoria, Espirito Santo, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 50(0). <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050005909>
- Fu, X., Ou, Z., & Sun, Y. (2022). Indoor microbiome and allergic diseases: From theoretical advances to prevention strategies. *Eco-Environment & Health*, 1(3), 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.09.002>
- Fundação João Pinheiro. (2021). *Déficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil: principais resultados para o período de 2016 a 2019* [apresentação]. https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/04.03_Cartilha_DH_compressed.pdf
- Gangneux, J.-P., Robert-Gangneux, F., Gicquel, G., Tanquerel, J.-J., Chevrier, S., Poisson, M., Aupée, M., & Guiguen, C. (2006). Bacterial and fungal counts in hospital air: Comparative yields for 4 sieve impactor air samplers with 2 culture media. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 27(12), 1405–1408. <https://doi.org/10.1086/508840>
- Godish, T., Davis, W., & Fu, J. (2014). *Air quality* (5th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17341>
- Gómez-Ospina, L. H., Restrepo-Yepes, A. M., & Hernández-Calle, J. A. (2024). Bienestar y habitar en la vivienda de interés prioritario en Medellín-Colombia. *Revista INVI*, 39(110), 138–163. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2024.68816>
- Goudarzi, G., & Reshadatian, N. (2024). The study of effective factors in sick building syndrome related to fungi and its control methods. *Results in Engineering*, 23, 102703. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102703>
- Groot, J., Tange, E., Fuhr, T., Kragh, P., Pedersen, M., Sigsgaard, T., Loft, S., Andersen, A. N., & Keller, A. (2023). Exposure to residential mold and dampness and the associations with respiratory tract infections and symptoms thereof in children in high income countries: A systematic review and meta-analyses of epidemiological studies. *Paediatric Respiratory Reviews*, 48, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2023.06.003>
- Hänninen, O. (2007). World Health Organization guidelines for indoor air quality: dampness and mold. Em O. C. G. Adan & R. A. Samson (Eds.), *Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living* (pp. 277-302). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-722-6_10

- Harrison, J., Pickering, C. A. C., Faragher, E. B., Austwick, P. K. C., Little, S. A., & Lawton, L. (1992). An investigation of the relationship between microbial and particulate indoor air pollution and the sick building syndrome. *Respiratory Medicine*, 86(3), 225–235. [https://doi.org/10.1016/s0954-6111\(06\)80060-0](https://doi.org/10.1016/s0954-6111(06)80060-0)
- Huang, H.-C., Zou, M.-L., Chen, Y.-H., Jiang, C.-B., Wu, C.-D., Lung, S.-C. C., Chien, L.-C., Lo, Y.-C., & Chao, H. J. (2023). Effects of indoor air quality and home environmental characteristics on allergic diseases among preschool children in the greater Taipei area. *Science of the Total Environment*, 897, 165392. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165392>
- Hyvärinen, A., Meklin, T., Vepsäläinen, A., & Nevalainen, A. (2002). Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials - Concentrations and diversity. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 49(1), 27–37. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(01\)00103-2](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(01)00103-2)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo 2022*. <https://censo2022.ibge.gov.br/>
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2021). *Mapa de estações [Estações automáticas]*. <https://mapas.inmet.gov.br/>
- Inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória - ano base 2015. RTC190018-R1. Ecosoft. (2019). https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/INVENTARIO/Ecosoft_RTC190018_R1.pdf
- Kajjoba, D., Kasedde, H., Kirabira, J. B., Wesonga, R., Mugwanya, R., Lwanyaga, J. D., & Olupot, P. W. (2024). Impact of natural ventilation and outdoor environment on indoor air quality and occupant health in low-income tropical housing. *Energy Reports*, 12, 4184–4194. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.10.004>
- Kalogerakis, N., Paschali, D., Lekaditis, V., Pantidou, a., Eleftheriadis, K., & Lazaridis, M. (2005). Indoor air quality - Bioaerosol measurements in domestic and office premises. *Journal of Aerosol Science*, 36(5–6), 751–761. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2005.02.004>
- Kawasaki, T., Kyotani, T., Ushiogi, T., Izumi, Y., Lee, H., & Hayakawa, T. (2010). Distribution and identification of air-borne fungi in railway stations in Tokyo, Japan. *Journal of Occupational Health*, 52(3), 186–193. <https://doi.org/10.1539/joh.O9022>
- Killian, M. S. (2023). *A autoconstrução de moradias e seus riscos*. AEA - Associação Dos Engenheiros e Arquitetos Servidores Municipais de Sorocaba. <https://aeasms.org.br/a-autoconstrucao-de-moradias-e-seus-riscos/>
- Klich, M. A. (2002). *Identification of common aspergillus species*. Centraalbureau voor Scimmelcultures.
- Lacaz, C. d. S., Martins, E., & Costa, J. E. (2002). *Tratado de micologia médica Lacaz* (9a ed). Sarvier.
- Machado, K. (2018). *Sem moradia, não há saúde*. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio. <https://www.epsv.fiocruz.br/noticias/reportagem/sem-moradia-nao-ha-saude>
- MattiuZZi, H. V. & Marchioro, E. (2012). O comportamento dos ventos em Vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climatológicos. *Revista Geonorte*, 2(4), 983–993.
- Melo, M. M., Santos, J. M., Frere, S., Reisen, V. A., Jr, N. C. R., Leite, M. D. F. S., & Dunkirk, A. A. (2015). Annoyance caused by air pollution : A comparative study of two industrialized regions. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 9(2), 177–182.
- Ministerio da Saúde. (2010). *Doenças respiratórias crônicas*. Autor.

- Nascimento, A. P., Santos, J. M., Mill, J. G., Toledo de Almeida Albuquerque, T., Reis Júnior, N. C., Reisen, V. A., & Pagel, É. C. (2020). Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO₂, PM₁₀ and chemical elements in fine particles. *Environmental Research*, 188, 109619. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109619>
- Nobres, J., Arpini, N., Rezende, R., & Machado, V. (2018). *Entenda o que é o pó preto que polui o ar e o mar de Vitória há anos Samarco, Arcelor Mittal e Vale são apontadas como principais poluidoras*. G1. <http://g1.globo.com/espirito-santo/noticia/2016/01/entenda-o-que-e-o-po-preto-que-polui-o-ar-e-o-mar-de-vitoria-ha-anos.html>
- O'Connor, G. T., Walter, M., Mitchell, H., Kattan, M., Morgan, W. J., Gruchalla, R. S., Pongracic, J. A., Smartt, E., Stout, J. W., Evans, R., Crain, E. F., & Burge, H. A. (2004). Airborne fungi in the homes of children with asthma in low-income urban communities: The Inner-City Asthma Study. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(3), 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.05.064>
- Pagel, É. C., Reis, N. C., de Alvarez, C. E., Santos, J. M., Beghi, S. P., Boechat, J. L., Nishikawa, M. M., Antunes, P. W. P., & Cassini, S. T. (2017). Indoor air quality in an Antarctic Research Station: Fungi, particles and aldehyde concentrations associated with building materials and architectural design. *Indoor and Built Environment*, 1–19. <https://doi.org/10.1177/1420326X17719953>
- Pasternak, S. (2016). Habitação e saúde. *Estudos Avançados*, 30(86), 51–66. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100004>
- Qiao, J., Zhang, X., Xiao, F., Li, Y., & Gao, W. (2024). Experimental investigation of mold growth risk among typical residential indoor materials: Case study in coastal city, China. *Energy and Buildings*, 304, 113885. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113885>
- Ramachandran, G., Adgate, J. L., Banerjee, S., Church, T. R., Jones, D., Fredrickson, A., & Sexton, K. (2005). Indoor air quality in two urban elementary schools — Measurements of airborne fungi, carpet allergens, CO₂, temperature, and relative humidity. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2(11), 553–566. <https://doi.org/10.1080/15459620500324453>
- Relatório com 191 metas para reduzir pó preto na Grande Vitória é entregue para Vale e ArcelorMittal. (2018). G1. <https://g1.globo.com/es/espirito-santo/noticia/relatorio-com-191-metas-para-reduzir-po-preto-na-grande-vitoria-e-entregue-para-vale-e-arcelormittal.ghtml>
- Sahakian, N. M., Park, J., & Cox-Ganser, J. M. (2008). Dampness and mold in the indoor environment: Implications for asthma. *Immunology and Allergy Clinics of North America*, 28(3), 485–505. <https://doi.org/10.1016/j.iac.2008.03.009>
- Salonen, H., Lappalainen, S., Lindroos, O., Harju, R., & Reijula, K. (2007). Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate. *Atmospheric Environment*, 41(32), 6797–6807. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.04.043>
- Sánchez Espinosa, K. C., Rodríguez Davydenko, S., Rojas Flores, T. I., Fernández-González, M., & Almaguer, M. (2024). Xerophilic and cellulolytic fungi in the indoor air of houses in Havana. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2024.105730>

- Santos, J. M., Mavroidis, I., Reis, N. C., & Pagel, E. C. (2011). Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. *Atmospheric Environment*, 45(36).
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.049>
- Sharma, A., Laxman, B., Naureckas, E. T., Hogarth, D. K., Sperling, A. I., Solway, J., Ober, C., Gilbert, J. A., White, S. R., & Jolla, L. (2020). Associations between fungal and bacterial microbiota of airways and asthma endotypes. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 144(5), 1214–1227. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2019.06.025>
- Shi, C., Belisle, D., & Miller, J. D. (2011). Quantification of the aspergillus versicolor allergen in house dust. *Journal of Immunological Methods*, 372(1–2), 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.jim.2011.06.034>
- Taner, S., Pekey, B., & Pekey, H. (2013). Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: Elemental compositions, sources and health risks. *Science of the Total Environment*, 454–455, 79–87.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.018>
- Tofful, L., Canepari, S., Sargolini, T., & Perrino, C. (2021). Indoor air quality in a domestic environment: Combined contribution of indoor and outdoor PM sources. *Building and Environment*, 202, 108050.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108050>
- Turki, S. G., Ad'hiah, A. H., Brakhas, S. A., & Atiyah, M. R. (2020). Allergen profile of rhinitis and asthma among Iraqi patients: Allergens in rhinitis and asthma. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(2), 637–642.
<https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.018>
- Uhde, E., & Salthammer, T. (2007). Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality-A review of recent advances in indoor chemistry. *Atmospheric Environment*, 41(15), 3111–3128.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.082>

revista invi



Revista INVI es una publicación periódica, editada por el Instituto de la Vivienda de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, creada en 1986 con el nombre de Boletín INVI. Es una revista académica con cobertura internacional que difunde los avances en el conocimiento sobre la vivienda, el hábitat residencial, los modos de vida y los estudios territoriales. Revista INVI publica contribuciones originales en español, inglés y portugués, privilegiando aquellas que proponen enfoques inter y multidisciplinarios y que son resultado de investigaciones con financiamiento y patrocinio institucional. Se busca, con ello, contribuir al desarrollo del conocimiento científico sobre la vivienda, el hábitat y el territorio y aportar al debate público con publicaciones del más alto nivel académico.

Director: Dr. Jorge Larenas Salas, Universidad de Chile, Chile.

Editor: Dr. Pablo Navarrete-Hernández, Universidad de Chile, Chile.

Editores asociados: Dra. Mónica Aubán Borrell, Universidad de Chile, Chile

Dr. Gabriel Felmer, Universidad de Chile, Chile

Dr. Carlos Lange Valdés, Universidad de Chile, Chile

Dr. Daniel Muñoz Zech, Universidad de Chile, Chile

Dra. Rebeca Silva Roquefort, Universidad de Chile, Chile

Coordinadora editorial: Sandra Rivera Mena, Universidad de Chile, Chile.

Asistente editorial: Katia Venegas Foncea, Universidad de Chile, Chile.

Traductor: Jose Molina Kock, Chile.

Diagramación: Ingrid Rivas, Chile.

Corrección de estilo: Leonardo Reyes Verdugo, Chile.

COMITÉ EDITORIAL:

Dra. Julie-Anne Boudreau, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Victor Delgadillo, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, México.

Dra. María Mercedes Di Virgilio, CONICET/ IIGG, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Dr. Ricardo Hurtubia González, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Dra. Irene Molina, Uppsala Universitet, Suecia.

Dr. Gonzalo Lautaro Ojeda Ledesma, Universidad de Valparaíso, Chile.

Dra. Suzana Pasternak, Universidade de São Paulo, Brasil.

Dr. Javier Ruiz Sánchez, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Dra. Elke Schlack Fuhrmann, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Dr. Carlos Alberto Torres Tovar, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Dr. José Francisco Vergara-Perucich, Universidad de Las Américas, Chile

Sitio web: <http://www.revistainvi.uchile.cl/>

Correo electrónico: revistainvi@uchilefau.cl

Licencia de este artículo: Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0
Internacional (CC BY-SA 4.0)