

Declaração de Direito Autoral

[
](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Este obra está licenciado com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional. Fonte:](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

<https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/ra/about/submissions#copyrightNotice>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Referência

FIGUEIREDO, Chenia; FARIA, Cybelle. Controle da qualidade do ar interno nos ambientes.

Revista da arquitetura: cidadania e habitação, Brasília, v. 1, n. 2. p.25-67, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.5102/ra.v1i2.8433>. Disponível em:

<https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/ra/article/view/8433>.

CEUB

EDUCAÇÃO SUPERIOR

REVISTA DA ARQUITETURA:

CIDADE E HABITAÇÃO

ISSN: 2763-7298



**Controle da qualidade do ar
interno nos ambientes**

**Control of internal air quality in
environments**

Chenia Figueiredo

Cybelle Faria

VOLUME 1 - NÚMERO 2 - JUL./DEZ. 2021

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
BRASÍLIA EM FRAGMENTOS: PERCURSOS E BIOGRAFIAS	12
Aline Stefânia Zim	
CHANCELA DO PATRIMÔNIO NATURAL: RELAÇÕES DE POLÍTICAS AMBIENTAIS E PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO COMO PAISAGEM	22
Paulo Afonso Cavichioli Carmona Talita Alves Morais e Rabelo	
CIDADES PARA QUEM?	37
Élida Lorraine Ramalho Almeida	
CLIMA, MEIO AMBIENTE URBANO E A DENGUE EM SALVADOR	43
Manoel Messias Teixeira Júnior Antônio Pedro Alves de Carvalho	
CONTROLE DA QUALIDADE DO AR INTERNO NOS AMBIENTES	56
Chenia Figueiredo Cybelle Faria	
ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PASIVAS PARA LA ZONA BIOCLIMÁTICA 4 EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL DE PERÚ	69
Diana Karen Pari Quispe Joára Cronemberger Silva Caio Frederico e Silva	
ESTUDOS DE CASO PÓS-PANDEMIA: COMO SE COMPORTARÁ A SOCIEDADE	80
Eliete de Pinho Araujo Manuel José Costa de Carvalho e Sousa	
NÚCLEO DE APOIO AO DISCENTE – NAD E CEUB: REFLETINDO SOBRE FUNÇÕES E ACESSIBILIDADE NO CONTEXTO INCLUSIVO	95
Norma Albuquerque Augusto	
O PROCESSO DE GENTRIFICAÇÃO AMBIENTAL E O MICROCLIMA	110
Clarianne Martins Braga Borges Gustavo Alexandre Cardoso Cantuária	

PROJETO ESTRUTURAL EM LIGHT STEEL FRAMING APLICADO AO PROGRAMA DE HABITAÇÃO SOCIAL DE BRASÍLIA..... 122

Pedro Victor de Moraes Guerra
Nathaly Sarasty Narváez

QUALIDADE AMBIENTAL E ASPECTOS PARA A HUMANIZAÇÃO DE UMA UTI NEONATAL: UM ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS (SC)..... 133

Isamara Gabriela de Souza Pinto
Keli de Farias Alves
Maíra Longhinotti Felipe
Maria Carolina Furlan Romi
Patrícia Biasi Cavalcanti
Tiago Mitsuo Nagasaki

Controle da qualidade do ar interno nos ambientes*

Control of internal air quality in environments

Chenia Figueiredo**

Cybelle Faria***

Resumo

O ar interno de ambientes construídos, local onde as pessoas passam a maior parte do tempo, pode ser mais poluído que o ar externo. A Qualidade do Ar Interno (QAI) dos ambientes afeta, diretamente, a saúde, o conforto e a produtividade dos ocupantes. Doenças e outros desconfortos relacionados a edifícios têm sido atribuídos a uma variedade de causas como baixa ventilação, presença de contaminantes, atividades humanas, umidade, entre outros. A falta de métricas e padrões consistentes e consenso sobre o que constitui uma QAI favorável, a diversidade e complexidade de poluentes encontrados, a falta de compreensão das ligações entre os níveis de poluentes em ambientes fechados e a falta de requisitos para medir e monitorar a QAI leva à falta de consistência dos problemas potenciais e das soluções. Buscou-se formar uma base de dados atualizada para direcionar pesquisas na área por meio de revisão de literatura, desenvolvendo-se uma discussão sobre as normas brasileiras e as internacionais relacionadas à qualidade do ar, os principais contaminantes do ar interno e o papel da qualidade do ar nas certificações ambientais. Observa-se que, ainda, não é possível identificar critérios de regulamentação bem definidos, bem como a importância de controlar as fontes de contaminação do ar.

Palavras-chave: qualidade do ar interno; contaminantes; certificações ambientais.

* Recebido em 04/05/2022

Aprovado em 28/06/2022

** Doutora em Estruturas e Construção Civil pela UnB (2004), mestrado em Estruturas pela UnB (1998), especialista em Projetos para Ambientes de Trabalho pela Mensch&Büro-Akademie (2019), Engenheira Civil pela UFG (1995). Professora Associada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB desde 2002. Membro do grupo de pesquisa Simulação Computacional no Ambiente Construído e do projeto de extensão de ação contínua em Assistência Técnica para Habitação de Origem Social. E-mail:chenia@unb.br

*** Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo pela FAU/UnB, mestre em Projeto e Cidade pela UFG (2016), Arquiteta e Urbanista pela PUC-GO (1990). E-mail:cybelle.saad@uol.com.br

Abstract

Indoor air in built environments, where people spend most of their time, can be more polluted than outdoor air. The indoor air quality (IAQ) of environments directly affects the health, comfort and productivity of occupants. Diseases and other discomforts related to buildings have been attributed to a variety of causes such as poor ventilation, presence of contaminants, human activities, humidity, among others. The lack of consistent metrics and standards and consensus on what constitutes a favorable IAQ, the diversity and complexity of pollutants encountered, the lack of understanding of the links between indoor pollutant levels, and the lack of requirements to measure and monitor IAQ leads to lack of consistency of potential problems and solutions. It was sought to form an updated database to direct

research in the area through literature review, developing a discussion on Brazilian and international standards related to air quality, the main indoor air contaminants and the role of air quality. air in environmental certifications. It is observed that it is not yet possible to identify well-defined regulatory criteria, as well as the importance of controlling the sources of air contamination.

Keywords: indoor air quality; contaminants; environmental certifications.

1 Introdução

O termo Qualidade Ambiental Interna relaciona a saúde e o bem-estar ao ambiente construído (NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, 2013) e representa um domínio que abrange diversos subdomínios que afetam a vida humana dentro de um edifício. Essa qualidade é obtida por meio de um conjunto de variáveis, subdivididas em qualidade do ar interno, iluminação, conforto térmico, acústica, qualidade da água, ergonomia, radiação eletromagnética, entre outras. As condições dessas variáveis são importantes para a saúde, o conforto e para o desempenho das pessoas que passam longos períodos em ambientes construídos (ALMEIDA; FREITAS; DELGADO, 2015; RIQUE JR. *et al.*, 2019; MURJEEBU, 2019).

A falta de qualidade ambiental interna expõe os usuários a inúmeros perigos ambientais (DOJVAK; KUKEC, 2019) que podem ser de natureza biológica, química ou física (BREVIGLIERO *et al.*, 2019; YASSI; KJELLSTRÖM; DE KOK; GUIDOTTI, 2001) que, isolada ou associadamente, podem promover doenças que estão diretamente relacionadas às condições do edifício, tais como asma, infecções bacterianas, virais ou por fungos (SODRÉ; TORTORA; CORRÊA, 2014). O trabalhador exposto em um ambiente insalubre (contaminado por agentes físicos, químicos ou biológicos) pode desenvolver uma doença que o incapacitará para o trabalho. No entanto, nesse caso, será necessário tratar a causa básica, que é a exposição ao ambiente contaminado (BREVIVLIERO *et al.*, 2019).

A qualidade ambiental interna em escritórios e outros locais de trabalho tem um papel crucial em relação ao retorno do investimento das empresas. Um local de trabalho com alta qualidade ambiental, obviamente, melhora a saúde e o humor dos trabalhadores, aumentando, assim, a sua produtividade.

A Qualidade do Ar Interno (QAI) está estritamente ligada à saúde da edificação e, consequentemente, ao bem-estar de seus ocupantes, o que o torna um importante parâmetro de avaliação em edificações sustentáveis (PAGEL *et al.*, 2016). Isso porque o ar interno das edificações pode ser contaminado por uma variedade de poluentes que podem chegar a níveis de concentração cinco vezes maiores do que ao ar livre, gerando efeitos adversos à saúde que podem ser mais sérios do que exposições em exteriores de cidades industrializadas (CROOK; BURTON, 2010). A exposição a esses perigos pode afetar a saúde humana e a extensão dos efeitos é dependente de sua dose e tempo de exposição, tipos de poluentes e suas características (YASSI; KJELLSTRÖM; DE KOK; GUIDOTTI, 2001).

Uma fração da população ativa trabalha em edifícios de escritórios e estes evoluíram, amplamente, para se tornarem ambientes controlados com sofisticados sistemas de ventilação e ar-condicionado. Assim, o conhecimento dos fatores que afetam a qualidade do ar interno em ambientes de trabalho pode apontar para soluções arquitetônicas mais adequadas para a obtenção da melhor qualidade do ar interno em uma localidade determinada e, ainda, informar estratégias futuras de mitigação da poluição interna.

O presente artigo tem objetivo de promover maior familiaridade com esse tema e formar uma base de dados normativos, auxiliando arquitetos e demais profissionais da construção civil para a tomada de decisões ainda na fase de planejamento da edificação acerca de estratégias de projeto e escolha de materiais para evitar os fatores que degradam a qualidade do ar interno.

2 Metodologia

Por meio de uma revisão sistemática de literatura, este artigo promove uma discussão sobre as normas brasileiras e internacionais relacionadas à qualidade do ar, os principais contaminantes do ar interno e o papel da qualidade do ar nas certificações ambientais. O intuito é formar uma base de dados para direcionar pesquisas na área, bem como auxiliar profissionais da área na tomada de decisões na fase de planejamento e projeto.

Inicialmente, delimitou-se o tema de pesquisa, selecionaram-se as bases de dados, definiu-se a estratégia de busca, selecionando os documentos e finalmente, a sistematização dos resultados. Consultaram-se, para a revisão de literatura, as principais bases de dados da América Latina e áreas de conhecimento.

3 Análise e discussão dos dados

A Qualidade do Ar Interno aceitável é definida no padrão ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2007) como um ar em que não se identifica a presença de contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, determinado de acordo com as recomendações das autoridades reconhecidas e onde a maioria (pelo menos 80%) dos ocupantes expostos não expressa insatisfação (ALMEIDA; FREITAS; DELGADO, 2015).

3.1 Fatores que afetam a qualidade do ar interno

Vários fatores influenciam a qualidade do ar interno. Resultados de pesquisas já desenvolvidas mostram que as características construídas de uma edificação influenciam, diretamente, a QAI, com destaque para os seguintes itens:

i) controle das fontes de contaminação do ar – por meio da seleção criteriosa dos materiais construtivos com baixa ou zero emissão de poluentes, bem como programas de certificação de produtos. Segundo Torgal e Jalali (2011), durante a fase de produção de alguns materiais de construção, há a emissão de vários tipos de poluentes e a produção

de resíduos perigosos, os quais afetam, de alguma forma, o planeta.

Os materiais de construção são responsáveis pela emissão de até 40% dos poluentes internos do edifício, algumas dessas emissões podendo ter um curto tempo de vida no ambiente e outras por longos períodos (MISSIA *et al.*, 2010). Apesar de ser um tema de conhecimento antigo, como demonstram diversos trabalhos da World Health Organization (2010), da United States Environmental Protection Agency (2016, 2017a, 2017b) e ainda os das organizações não governamentais como Transparency-Perkins-Will, Internacional Living Future e Healthy Building Network, poucos testes são feitos para verificar a segurança da utilização dos produtos químicos em paredes, pisos, tetos e móveis (KEELER; BURKE, 2010; TRANSPARENCY PERKINS-WILL, 2020).

ii) Sistemas de ventilação – Roumieh (2017) acredita que parte dos problemas da qualidade do ar interno nos ambientes refere-se ao fato de esse aspecto não ser considerado como uma das premissas básicas de projeto. Decisões como a localização e a orientação da edificação, locais das tomadas de ar externo e descargas, além da concepção do projeto básico de AVAC são de extrema importância para garantir requisitos mínimos de qualidade do ar.

É importante considerar a distinção entre infiltração e ventilação. Segundo Persily e Emmerich (2012), a infiltração refere-se à entrada não controlada de ar externo por meio de aberturas não intencionais no envelope do edifício, ou seja, vazamentos. A infiltração é impulsionada por diferenças de pressão de ar interno-externo devido ao clima (vento e temperatura) e à operação de sistemas de construção (por exemplo, ventiladores de exaustão e equipamentos de combustão ventilados). Já a ventilação refere-se ao fluxo de ar externo para um edifício por meio de aberturas intencionais, como entradas, saídas de ar e abertura de janela. E a ventilação mecânica refere-se à ventilação induzida por equipamentos elétricos, enquanto a ventilação natural é impulsionada pelo clima.

Para Persily e Emmerich (2012), a infiltração não é uma boa maneira de ventilar um edifício, uma vez que as taxas não são controladas, nem a distribuição de ar dentro do edifício. Além disso, a infiltração

pode ter impactos negativos na QAI (uma vez que o ar de infiltração não é filtrado) podendo modificar as condições interiores de umidade e durabilidade do material. Sistemas de ventilação, quando bem projetados, instalados, operados e mantidos são preferíveis para atender aos requisitos da ventilação em edifícios e fornecem oportunidades para controlar os impactos de energia e recuperar parte do calor associado do ar que sai (PERSILY; EMMERICH, 2012).

iii) Presença humana e a funcionalidade do espaço – são responsáveis pela formação de diversas fontes de poluição aérea providas das atividades realizadas no ambiente e ainda influenciados por uma série de fatores, tais como a ocupação, tipos de materiais de construção utilizados, idade da edificação, como o ar exterior influencia na evolução/comportamento do ar interior entre outras variáveis (NÓBREGA, 2012).

No entanto, não são apenas as atividades desenvolvidas em cada setor que contribuem para a contaminação do ar interior de um ambiente construído. Influenciam a qualidade do ar também o número e o tipo de utensílios e equipamentos, o material empregado para a construção e revestimento dos ambientes, o fluxo de renovação de ar, a arquitetura, a localização das salas, a temperatura, a umidade do ar e o número de pessoas que habitam o ambiente. Esses fatores agem de forma integrada e, em cada situação, um deles pode ser mais relevante que os demais (SANTOS; MAVROIDIS; REIS JR.; PAGEL, 2011; SODRÉ; TORTORA; CORRÊA, 2014). Muitas atividades humanas, como cozinhar, varrer, fumar, usar cosméticos, materiais de limpeza de higiene pessoal, acender incensos, velas, assim como o funcionamento de sistemas de aquecimento, guarda e trânsito de veículos, a própria presença humana e outras atividades estão diretamente relacionadas com a contribuição de elevados níveis de concentração de poluentes dentro das edificações (WESCHLER, 2009).

iv) Contínua avaliação da edificação e da QAI - O acompanhamento dos parâmetros físicos de qualidade do ar – temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e níveis de contaminantes deve ser realizado periodicamente por instrumentos ou sensores.

v) Controle da umidade – esse controle é de grande importância para a qualidade do ar interno. Segundo Persily e Emmerich (2012), problemas de umidade, pela relevância na QAI, deveriam receber mais atenção por meio de um conjunto mais exigente de requisitos e recomendações.

3.2 Legislação sobre qualidade do ar

A legislação nacional e internacional em vigor acerca dos níveis permitidos de poluentes internos não apresenta um critério claro de regulamentação. Muitos países, ainda, não apresentam padrões nacionais e, em sua maioria, as regulamentações se restringem a locais específicos, como ambientes climatizados, industriais ou hospitalares. Além disso, verifica-se uma ampla variação do conjunto de poluentes abordados entre os órgãos regulamentadores (PAGEL *et al.*, 2016).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) desenvolveu diretrizes para qualidade do ar interno para serem usados em meios não industriais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010). Entretanto, para o conjunto de contaminantes abordados, ela estabelece, apenas, diretrizes e não um padrão obrigatório, cabendo a cada país instituir o seu. Essas diretrizes foram desenvolvidas em 1987 e sua última revisão ocorreu em 2010, resultado da contribuição de mais de sessenta cientistas e, pela primeira vez, com orientações para proteger a saúde global do impacto de produtos químicos no ar interior. Ressalta-se que essas diretrizes para a qualidade do ar interno englobam, apenas, um conjunto de contaminantes químicos, incluindo: benzeno, monóxido de carbono, formaldeído, naftaleno, dióxido de nitrogênio, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, radônio, tricloroetileno e tetracloroetileno. A respeito de outros contaminantes, tais como material particulado, por exemplo, é recomendado pela OMS utilizar as diretrizes traçadas para exposição ao ar externo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012 *apud* PAGEL, 2015).

Quanto à exposição a contaminantes microbiológicos em 2006, um grupo de trabalho da OMS se reuniu para identificar os principais grupos de riscos e formular diretrizes específicas a esses tipos de contaminação objetivando a proteção da saúde

pública em espaços internos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010).

3.2.1 Normas brasileiras sobre a qualidade do ar externo

O estudo realizado por Simoni (2021, p. 15) aponta que “o arcabouço jurídico que disciplina a proteção da qualidade do ar encontra-se disperso em diferentes dispositivos normativos legais e infralegais” e, ainda, que a estruturação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) (BRASIL, 1981) tem levado, na prática, a sobreposições e, principalmente, lacunas e vazios na gestão. No Quadro 1, apresentam-se as principais normas com relação à qualidade do ar externo.

Quadro 1 – principais normas relacionadas à qualidade do ar externo

Ano	Normas	Detalhamento
1975	Decreto – Lei 1.413	Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais.
1980	Lei 6.803	Dispõe sobre as diretrizes para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição.
1981	Lei Federal 6.938	Institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) com diretrizes gerais de suporte às principais medidas de gestão da qualidade do ar.
1989	Resolução CONAMA n.º 05	Institui o Pronar (Programa Nacional de Controle da Poluição do ar) com o objetivo de limitar os níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica.
1990	Resolução CONAMA n.º 03	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.
2018	Resolução CONAMA n.º 491	Estabelece padrões de qualidade do ar considerando como referência os valores recomendados pela OMS em 2005.

Fonte: as autoras.

3.2.2 Qualidade do ar em ambientes ventilados naturalmente

O Brasil não possui legislação específica para a qualidade do ar interior em ambientes sem clima-

tização artificial (PAGEL, 2015; COMIN, 2016). Em alguns casos, como em ambientes de trabalho, uma consulta deve ser feita à Norma regulamentadora do Ministério do Trabalho, NR-15, Anexo 11 (MTE, 2011), que caracteriza como insalubridade quando ultrapassados os limites de tolerância de exposição a mais de 200 agentes químicos durante as atividades ou operações no local de trabalho. Ou, ainda, pode-se recorrer à Consulta Pública n.º 109/2003 (ANVISA, 2003a), referente a indicadores de qualidade do ar interior em ambientes de serviços de saúde que têm várias recomendações, entre elas os valores máximos aceitáveis para contaminantes de origem química, como as partículas respiráveis menores que 1 µm, fenol, formaldeído, etanol e cloro. Apresentam-se, no quadro 2, as principais normas com relação à qualidade do ar interno com ventilação natural.

Quadro 2 – principais normas relacionadas à qualidade do ar interno com ventilação natural

Ano	Normas	Detalhamento
1994	Norma Regulamentadora NR 15 – MTE	Descreve as operações, atividades e agentes insalubres presentes nas atividades laborais e aborda os limites de tolerância de acordo com a natureza e o tempo de exposição ao agente
2003	Consulta Pública 109 – ANVISA	Dispõe sobre indicadores de Qualidade do ar Ambiental Interior em Serviços de Saúde

Fonte: as autoras.

3.2.3 Legislação brasileira relativa à qualidade do ar interno em ambientes fechados

Inicialmente, a legislação brasileira tratou a QAI abordando, apenas, os procedimentos de manutenção dos sistemas de climatização de conforto térmico baseado na NBR 13971:1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. No entanto, a morte de um ex-ministro das Comunicações, em 1998, vítima de uma pneumonia provocada pela bactéria *Legionella pneumophila*, decorrente do grau de sujidade nos equipamentos e dutos do sistema de condicionamento de ar no hospital onde estava internado, colocou o tema em foco.

Assim, em 1998, o Ministério da Saúde lançou a Portaria 3523 (BRASIL, 1998) com o intuito de reduzir os riscos potenciais para a saúde dos indivíduos, em virtude de sua permanência em ambientes climatizados, estabelecendo diretrizes para um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC).

A Resolução n.º 9 de 2003 (ANVISA, 2003) dispõe sobre os padrões relativos à qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo já existentes e aqueles a serem instalados. Na referida resolução, a avaliação da qualidade do ar interno caracteriza a contaminação como microbiológica e química.

A resolução, também, apresenta parâmetros físicos que visam melhorar a purificação do ar e promover o conforto dos usuários. Esses parâmetros são regulamentados pela Norma Brasileira 16401/2 de 2008 — Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários de Ar-Condicionado pra Conforto.

A Resolução 09 da ANVISA recomenda limites de referência para determinados parâmetros por meio do Valor Máximo Recomendável (VMR) que separa as condições de ausência e de presença do risco de agressão à saúde humana. O VMR propõe uma correlação de análise interno/externo como forma de avaliação frente ao conceito de normalidade, sendo possível verificar a tendência de amplificação dos poluentes nos ambientes fechados. No Quadro 3, apresentam-se as principais normas com relação à qualidade do ar interno com climatização artificial.

Quadro 3 – principais normas relacionadas à qualidade do ar interno com climatização artificial

Ano	Normas	Detalhamento
1998	Portaria 3.523 Ministério da Saúde	Medidas básicas e condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle de todos os componentes dos sistemas de climatização para garantir a Qualidade do ar de interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados

Ano	Normas	Detalhamento
2003	Resolução n.º 09 ANVISA	Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo
2008	NBR 16401 – Parte 3	Parâmetros básicos e requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado para a qualidade aceitável do ar interior
2010	NBR 15848	Sistemas de ar-condicionado e ventilação – Procedimentos e requisitos relativos às atividades de construção, reformas, operação e manutenção das instalações que afetam a Qualidade do Ar Interior (QAI)
2012	NBR 14679	Procedimentos e diretrizes mínimas para execução dos serviços de higienização corretiva do sistema de tratamento e distribuição de ar caracterizados como contaminados por agentes biológicos, químicos ou físicos
2018	Lei 13.589	Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de climatização artificial – padrões, valores, parâmetros, normas e procedimentos

Fonte: as autoras.

3.3 Principais contaminantes do ar interno

Uma vez que as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes internos (aproximadamente 90%), a presença de determinadas substâncias químicas neles é particularmente preocupante. Considerando-se, ainda, que as edificações atuais costumam ser herméticas por razões acústicas e de conservação de energia, além das emissões dos materiais construtivos, pode-se ter elevada carga química nas edificações (KEELER; BURKE, 2010). Alguns poluentes do ar interno devem ser evitados. Nesta seção abordam-se os conceitos fundamentais dos principais contaminantes do ar interno e seus efeitos à saúde.

3.3.1 Contaminantes físico-químicos do ar interno

a) Material Particulado (MP)

Essa categoria de poluente é constituída de uma mistura física e química de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido ou líquido (gotículas, aerossol, névoas, fumaça, entre outros) que se encontra suspenso na atmosfera devido às suas dimensões diminutas ou temperatura elevada. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (SÃO PAULO, 2007 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010).

b) Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

As principais fontes de emissão dos Compostos Orgânicos Voláteis (COV) em interiores provêm dos materiais construtivos e das atividades humanas envolvendo produtos de limpeza, solventes e outros. A emissão associada ao material de construção é a parcela de maior contribuição em ambientes internos e a taxa desses compostos encontrada em interiores chega a exceder em cinco vezes a taxa em exteriores (JACOBSON, 2002 *apud* PAGEL, 2016).

A substância desse grupo que é encontrada em quantidade evidente de todas as emissões é o formaldeído (HCHO) oriundo, principalmente, de mobiliário e revestimentos com madeira compensada ou aglomerados. Seus efeitos à saúde humana são irritação nos olhos, pele, trato respiratório, asma, alergia e efeitos carcinogênicos (FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000 *apud* PAGEL, 2016).

c) Compostos inorgânicos gasosos

Dióxido de Carbono (CO₂) – é um gás incolor e inodoro, que, em concentrações moderadas, pode causar a sensação de desconforto e de que o ambiente está abafado. Acima de 30.000 ppm, os efeitos da sua presença são dores de cabeça, tontura e náuseas (JONES, 1999 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010).

Óxidos de Nitrogênio – são formados em ambientes em que há condições de altas temperaturas e pressões, que podem oxidar, parcial ou completamente, moléculas de nitrogênio atmosférico (N₂)

ou do nitrogênio presente na composição dos combustíveis eventualmente utilizados.

Dióxido de Enxofre (SO₂) – é formado por meio da queima de combustíveis fósseis que contenham impurezas ou compostos à base de enxofre. Os efeitos do SO₂ não são restritos somente aos ocupantes do edifício, mas também aos equipamentos e móveis, pois os compostos formados quando em contato com a água são corrosivos (JONES, 1999 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010).

Radônio (²²²Rn) – o gás radônio é um gás de origem natural, radioativo, cujos átomos se desintegram originando outros elementos também radioativos, sendo inodoro, incolor e insípido, logo não detectável pelos sentidos humanos. O radônio provém de solos e rochas, e as concentrações mais elevadas ocorrem, usualmente, em zonas de rochas graníticas. Ressalta-se que somente alguns granitos possuem elevadas emissividades específicas de radônio. A exposição ao radônio é a segunda causa principal de câncer de pulmão depois do uso do tabaco (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010).

Ozônio (O₃) – é um composto altamente reativo, gerado quando o ar passa por um campo eletrostático. Normalmente, a fonte mais importante de ozônio é o ar externo, mas alguns equipamentos eletrônicos, também, o produzem, como fotocopiadoras e impressoras a laser (GIODA, 2003; UNDERHILL, 2004 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010). Em ambientes internos, a formação de O₃ depende da velocidade da troca de ar; concentração de reagentes; temperatura; umidade relativa e luz. O ozônio é um agente oxidante que pode causar forte irritação nos pulmões, garganta e olhos (WOLKOFF; NIELSEN, 2001; GIODA, 2003 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010).

d) Fumaça de cigarro (ETS – Environmental Tobacco Smoke)

A fumaça de cigarro (ETS) é um aerossol formado pela mistura complexa de diversas substâncias, distribuídas em particulados, vapores e gases, sendo responsável pela emissão de MP, nicotina, HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), COV, CO, acroleína, NO₂, entre outras (JONES, 1999 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010).

Mesmo com a proibição do fumo em ambientes de uso público e comum em diversos países, a ETS, ainda, é considerada o principal poluente de ambientes internos. Nos Estados Unidos, o câncer causado por cigarro é a maior causa de morbidade e mortalidade dentre aquelas que podem ser evitadas (CARMO; PRADO, 1999; JONES, 1999 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010). A ETS afeta, também, não fumantes que convivem com fumantes, os chamados fumantes passivos.

e) Produtos de impregnação de madeiras

A madeira padece de baixa resistência à degradação por agentes biológicos, fungos e insetos (carunchos e cupins). Enquanto os fungos e cupins degradam a madeira aplicada em locais úmidos, os carunchos costumam atacar madeira com teores de umidade correntes no interior das habitações (CRUZ; NUNES, 2009 *apud* TORGAL; JALALI, 2011).

Para evitar essa característica, é comum a aplicação de inseticidas e fungicidas nas madeiras, materiais que contém produtos como o creosote ou outros à base de sais metálicos como cobre, cromo e arsênico (CCA). Os referidos sais metálicos são bastante tóxicos, além de serem bioacumuláveis. Quando em contato com a água da chuva ou outra, grande parte desses sais acaba sendo lixiviada, contaminando o meio ambiente. Desde 01/01/2004, a Agência de Proteção dos Estados Unidos (EPA) proibiu o uso de CCA no tratamento de madeiras para fins habitacionais (EDLICH; WINTERS; LONG, 2005 *apud* TORGAL; JALALI, 2011) e, desde 2001, a Diretiva da União Europeia 2001/90/EC iniciou um processo progressivo que visa à proibição do uso de creosote no tratamento de madeiras (TORGAL; JALALI, 2011).

f) Materiais que libertam fumos tóxicos em caso de incêndio

Estudos sobre a toxicidade após a combustão de vários isolantes térmicos concluíram que tanto o polietileno como o poliuretano apresentam elevada toxicidade (LIANG; HO, 2007 *apud* TORGAL; JALALI, 2011), pois excedem o valor limite (equivalente a 10), correspondente a materiais de baixa toxicidade em caso de incêndio. Doroudiani e Omidian (2010 *apud* TORGAL; JALALI, 2011) recomendam a não utilização de molduras decora-

tivas de poliestireno, devido à sua elevada combustibilidade e à libertação de fumos tóxicos em caso de incêndio.

g) Benzeno

O benzeno é um carcinógeno, genotóxico em humanos e não é recomendado nenhum nível de exposição a ele (WHO, 2010a). O risco de toxicidade de benzeno inalado é o mesmo se a exposição for em ambientes internos ou externos. Portanto, do ponto de vista prático, é conveniente reduzir níveis de exposição tão baixos quanto possível. Isso exigirá a redução ou eliminação de atividades humanas que liberam benzeno, como fumar tabaco, uso de solventes para pintura ou limpeza e uso de materiais de construção que geram benzeno.

h) Materiais contendo amianto

A fibra de amianto é uma categoria especial dos materiais particulados em suspensão. As investigações feitas pela comunidade científica permitiram concluir que todas as fibras de amianto apresentam potencial cancerígeno, na variante asbestose, lesões do tecido pulmonar causadas por um ácido produzido pelo organismo na tentativa de dissolver as fibras (AKIRA, 2010 *apud* TORGAL; JALALI, 2011) ou mesmo cânceros no pulmão, no trato gastrointestinal, nos rins e na laringe (TORGAL; JALALI, 2011).

i) Metais pesados

Segundo a Resolução 491 (CONAMA 2018), o chumbo é um material a ser monitorado em áreas específicas em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente. Alguns autores referem que o uso de canalizações para abastecimento de água contendo chumbo provoca graves problemas de saúde, como redução de capacidades intelectuais e problemas de comportamento em jovens e crianças (CANFIELD *et al.*, 2013; POCOCK; SMITH; BAGHURST, 1994).

Além da liberação de COVs pelas tintas e vernizes, esses materiais contêm, ainda, metais pesados com elevado poder cancerígeno. Um teor de chumbo no sangue acima de 10 mg/dl é considerado tóxico, causando o envenenamento (LABAT *et al.*, 2006 *apud* TORGAL; JALALI, 2011). Outros autores (MENKE *et al.*, 2006 *apud* TORGAL; JALALI,

2011) observaram risco de enfarte de miocárdio e acidente vascular cardíaco (AVC) para níveis acima de 2 mg/dl.

3.3.2 Contaminantes microbiológicos do ar interno

Os bioaerossóis constituem a microbiota dispersa no ar, como os fungos e sua exposição pode resultar em uma sensibilização respiratória e efeitos toxicológicos no pulmão.

Os fungos são os indicadores biológicos da qualidade do ar escolhidos pela resolução RE n.º 09 da ANVISA. Segundo Burge (2004 *apud* QUADROS; LISBOA, 2010), os fungos estão entre os poluentes mais importantes do ar interno, mas são pouco estudados.

A principal fonte de vírus no ambiente interno é o próprio ser humano. Os vírus se propagam pelas correntes de ar, ressuspensão de material particulado ou em gotículas de aerossóis dispersadas pela saliva. As bactérias podem ser veiculadas por meio de sistemas centrais de condicionamento de ar e de pessoas no ambiente.

3.4 A qualidade do ar interno nas certificações ambientais

Diversas metodologias de certificação ambiental consagradas internacionalmente consideram a qualidade do ar como requisito para avaliação. As categorias que incluem a QAI nas avaliações recebem diferentes denominações. Por exemplo, na certificação BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), a QAI está incluída na categoria saúde e bem-estar, na LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e *Green Star*, a QAI está na categoria chamada qualidade ambiental interna; enquanto em DGNB ela está na categoria que descreve a qualidade ambiental interna. Já a certificação WELL (*Well Building Certificate*) apresenta a categoria AR e nela estão incluídas quatorze subcategorias, sendo: qualidade do ar, ambiente livre de cigarro, projeto de ventilação, controle da poluição na construção, melhoria da qualidade do ar, melhoria do Projeto de ventilação, janelas operáveis, monitoramento e conscientização da qualidade do ar, gerenciamento de infiltração de poluição, minimização de combustão, separação da fonte, filtragem de ar, abastecimento de ar aprimorado e controle

de Micróbios e fungos. A certificação HBC (*Healthy Building Certificate*) apresenta a categoria Qualidade do ar interno com doze subcategorias: ventilação, oxigênio, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, aparelhos emissores de compostos químicos, partículas e fibras, cargas ionizadoras, eletricidade do ar, higroscopia, temperatura, mofo e bactérias.

A contribuição de créditos para QAI em esquemas de construção verde é, em média, 7,5%, e vai de cerca de 3% a 11%, com base em uma avaliação de 55 projetos de edifícios verdes em 30 países realizada por Wei, Ramalho e Mandim (2015). Para os citados autores, a porcentagem relativamente pequena de créditos para QAI pode ser considerada como baixo incentivo para buscar esses créditos, ou mesmo como representação inadequada da importância da QAI.

A política de selos verdes e as garantias de sustentabilidades nem sempre significam uma melhoria sobre a qualidade de vida nos ambientes internos, evidenciando uma despreocupação com o ar interior no tocante de não conhecer totalmente os materiais de construção (AMARAL, 2016). Steinemann *et al.* (2017), na mesma linha de análise, observou que pode ser possível negociar créditos em diferentes categorias e, com poucas exceções (por exemplo, DGNB), pois o número total de créditos concedidos determina o nível de certificação de construção; e não os créditos recebidos em cada categoria.

Por outro lado, algumas certificações, como a *Healthy Building Certificate* (HBC), inviabilizam a certificação se um dos seguintes fatores não estiver presente: na categoria qualidade do ar — se o edifício não permitir a ventilação natural, se tiver a presença de asbesto, se algum tipo de mofo for visível e ainda, na categoria materiais — se a emissão de COV estiver acima de 1000 mg/m³ ou se a emissão de formaldeído e gases tóxicos estiver acima de 100 mg/m³ (HBC, 2020).

4 Considerações finais

A pesquisa desenvolvida aponta para fatores importantes com relação ao cenário da Qualidade do Ar Interno (QAI) no mundo e no Brasil. Com

relação à legislação, tanto nacional como internacional sobre QAI, ainda não é possível identificar critérios de regulamentação bem definidos. Muitos países, ainda, não apresentam padrões nacionais e há uma ampla variação no conjunto dos contaminantes abordados. No Brasil, ainda, são escassas as normas específicas para ambientes internos e as existentes não abrangem os interiores, que contam, apenas, com ventilação natural, fazendo com que seja necessário recorrer a outras normas que não tratam especificamente do assunto.

O estudo direciona, também, para a relevância de se controlar as fontes de contaminação do ar como as que provêm de emissões de materiais de construção, das atividades humanas, e para a compreensão de como os contaminantes do ar interno contribuem e interagem para acentuar os efeitos adversos nas pessoas, em que questões como a química interna e a infecção pelo ar devem, ainda, ser mais estudadas e aprofundadas.

Percebeu-se, ainda, que a implementação de medidas de conservação de energia em prédios sustentáveis ou verdes torna a manutenção de um nível seguro de QAI um desafio constante. Isso se deve ao fato de que muitas medidas em um edifício, como taxa de ventilação do ar externo reduzida, maior isolamento térmico e equipamentos de resfriamento eficientes, colocam, em segundo plano, as questões de ventilação e umidade dos ambientes, o que pode levar a um impacto prejudicial sobre a QAI.

Referências

- ALMEIDA, Ricardo M. S. F.; FREITAS, Vasco Peixoto de; DELGADO, João M. P. Q. *School buildings rehabilitation: indoor environmental quality and enclosure optimization*. New York: Springer, 2015.
- AMARAL, Paulo Giovany Quadros. *Avaliação da alterabilidade e da exalação do gás radônio em rochas ornamentais*. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- ANVISA. Consulta pública nº 109, de 11 de dezembro de 1993. Estabelece padrões de qualidade do ar específicos para hospitais. Brasília, 2003a. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/consultas-publicas#/>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- ANVISA. Resolução n.º 9, de 16 de janeiro de 2003. Estabelece padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Brasília, 2003. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- ASHRAE 62.1. Ventilation for acceptable indoor air quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2007.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 10 abr. 2021.
- BRASIL. Lei nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Estabelece responsabilidade e procedimentos para manutenção, operação e controle de sistemas de ar condicionado. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 ago. 1998. Disponível em: https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA_3523.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.
- BREVIGLIERO, Ezio; POSSEBON, José; SPINELLI, Robson. Higiene Ocupacional – Agentes biológicos, químicos e físicos. São Paulo, Editora Senac, 2019.
- CANFIELD *et al.* *Oxygen dynamics in the aftermath of the Great Oxidation of Earth's atmosphere*. New York, Proceedings of the National Academy of Sciences, september, 2013.
- COMIN, Tatiane Tagino. *Avaliação da qualidade do ar em interiores e ambientes abertos de uma universidade em São Carlos – SP*. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2016.
- CROOK, B; BURTON, N. C. Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. *Fungal Biol Rev* 24, pag. 1– 8, 2010.

- DOJVAK, Mateja; KUKEC, Andreja. *Creating healthy and sustainable buildings: an assessment of health risk factors*. New York: Springer Open, 2019.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States). Health risk of radon. *EPA*, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon>. Acesso em: 07 nov. 2020.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States). Indoor Air Quality (IAQ): volatile organic compounds impact on indoor air quality. *EPA*, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>. Acesso em: 07 nov. 2020.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States). Risk assessment: human health risk assessment. *EPA*, 2016. Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/humanhealth-risk-assessment>. Acesso em: 07 nov. 2020.
- KEELER, Marian; BURKE, Bill. *Projeto de edificações sustentáveis*. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- MISSIA, D. *et al.* Indoor exposure from building materials: a field study. *Atmosphere Environment*, n. 44, p. 4388-4395, 2010.
- MUJEEBU, Muhammad Abdul. Introductory chapter: indoor environmental quality. In: MUJEEBU, Muhammad Abdul (ed.). *Indoor environmental quality*. London: IntechOpen, 2019. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/65121>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- MTE. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15), de 22 de outubro de 2020. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>. Acesso em: 28 fev. 2021.
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. *Indoor environmental quality: overview*. CDC - Centers for Disease Control and Prevention, 17 maio 2013. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/indoorenv/>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- NOBREGA, Cláudia Maria. Avaliação da Eficácia Adaptativa em Atletas de Basquetebol. 2012. dissertação (Mestrado em Psicologia da Saúde) - Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo, 2012.
- PAGEL, Érica Coelho. *Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas*. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
- PAGEL, Érica Coelho *et al.* O edifício sustentável e a qualidade do ar interno. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ANTAC, 2016. p. 2235-2245.
- PERSILY, Andrew. K.; EMMERICH, Steven. Indoor air quality in sustainable, energy efficient buildings. *HVAC&R Research*, London, v. 18, n. 1-2, p. 4-20, fev. 2012. Disponível em: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=908145. Acesso em: 05 maio 2021.
- POCOCK, S. J.; SMITH, M.; BAGHURST, P. Environmental lead and children's intelligence: a systematic review of the epidemiological evidence. *BMJ*, november, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.309.6963.1189>
- QUADROS, Mariana Eller; LISBOA, Henrique de Melo. *Controle da poluição atmosférica: qualidade do ar interno*. Controle da poluição atmosférica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. ISBN 978-85-913483-0-5.
- RIQUE JR. José Flávio *et al.* Qualidade Ambiental Interna (QAI) em ambiente de ensino superior climatizado: uma revisão sistemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2019, Ponta Grossa. *Anais [...]*. Ponta Grossa, PR, 2019.
- ROUMIEH, Ivete Y. Fatores que impactam na qualidade do ar interior. *Fundação Butantã*, dez. 2017. Disponível em: www.engenhariaearquitetura.com.br/2017/12/fatores-que-impactam-na-qualidade-do-ar-interior. Acesso em: 06 dez. 2020.
- SANTOS, J. M.; MAVROIDIS, I.; REIS JR, N. C.; PAGEL, E. C. Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. *Atmospheric Environment*,

London, v. 45, n. 36, p. 6534-6545, nov. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011008867/pdf?md5=d0ba3a24bf8b62ae2f48a6116ac8e711&pid=1-s2.0-S1352231011008867-main.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SIMONI, W. F. de (coord.). O estado da qualidade do ar no Brasil. *WRI Brasil*, São Paulo, p. 1-32, jan. 2021. Disponível em: https://wribrasil.org.br/sites/default/files/wri-o-estado-da-_qualidade-do-ar-no-brasil.pdf. Acesso em: 25 maio. 2021.

SODRÉ, Eduardo Delfino; TÓRTORA, João Carlos de Oliveira; CORRÊA, Sérgio Machado. Avaliação da qualidade do ar interior do Hospital Universitário Pedro Ernesto. *Revista Sustinere*, v. 2, n. 2, 2014. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/sustinere/article/view/14126>. Acesso em: 28 nov. 2020.

Steinemann, Anne; Pawel, Wargocki; Behzad, Rishmanchi. Tem questions concerning green buildings and indoor air quality. *Building and Environment*, 2017, vol. 112, pag. 351-358.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. Toxicity of construction and building materials. In: TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. *Eco-efficient construction and building materials*. New York: Springer, 2011. p. 19-33. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-0-85729-892-8_2. Acesso em: 08 nov. 2020.

TRANSPARENCY PERKINS-WILL, 2020. Disponível em: <https://transparency.perkinswill.com>. Acesso em: 10 nov. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva: *World Health Organization*, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global recommendations on physical activity for health. Geneva: *World Health Organization*, 2010a.

YASSI, Annalee; KJELLSTRÖM, Tord; DE KOK, Theo; GUIDOTTI, Tee L. *Basic environmental health*. Oxford, UK: —Oxford University Press, 2001.

WEI, W.; RAMALHO, O.; MANDIM, C. *Indoor air quality requirements in green building certifications*. Building Environment, 2015.

WESCHLER, Charles Joseph. Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment*, 2009, n. 43, p.153-169.