



Monitoramento de CO₂ em ambientes internos escolares e sensibilização sobre as problemáticas ambientais pós-pandemia¹

Caroline Bomfim²

University of Alberta (UALBERTA)

0000-0002-6545-5765

Eloiza Torres³

Universidade Estadual de Londrina (UEL)

0000-0003-2526-470X

Gwendolyn Blue⁴

University of Calgary (UCALGARY)

0000-0003-3510-3248

Resumo: A Educação Ambiental desempenha um papel crucial ao preencher a lacuna entre conhecimento e ação, e a pandemia da covid-19 ressaltou a importância de ações fundamentadas para combater doenças transmitidas pelo ar. Este trabalho foi desenvolvido em colaboração entre a Universidade Estadual de Londrina e a é um estudo de caso sobre a Universidade de Calgary, Canada, e destaca, principalmente, o monitoramento de Dióxido de Carbono (CO₂) para promover a EA em ambientes educacionais internos e

¹ Recebido em 24/11/2023. Aceito em 05/05/2024

² Pós-doutoranda em Mudanças Climáticas pela University of Alberta. Doutora em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (CAPES n. 88887.674330/2022-00). Doutorado Sanduíche na University of Calgary (CAPES n. 88881.690159/2022-01). Engenheira Ambiental e de Segurança do Trabalho pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. E-mail: bomfim@ualberta.ca

³ Possui Licenciatura e bacharelado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, mestrado e doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho e pós doutorado pela Universidade Estadual de Maringá, com estágio na Università degli Studi di Genova-Italia. Licenciatura em Pedagogia pela Universidade Católica do Crato. Atualmente é professora associada da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: elotorres@uel.br

⁴ Associate Professor (Geography) - University of Calgary: Calgary, AB, CA. Graduação em Microbiologia pela University of Saskatchewan, mestre em Comunicação pela University of Calgary, PhD em Fisiologia e Estudos Culturais pela University of North Carolina. Desenvolve pesquisas que abrangem ciência, política e comunicação, orientadas para a promoção do envolvimento inclusivo com questões públicas que envolvem ciência e tecnologia. E-mail: gblue@ucalgary.ca

recomendações para o uso do monitoramento de CO₂ em salas de aula. A urgência em conter a propagação de infecções transmitidas pelo ar demanda uma compreensão mais ampla do papel do CO₂ na qualidade do ar e na saúde. O monitoramento de CO₂ em ambientes internos pode aprimorar essa compreensão, informar estratégias de mitigação e responsabilizar instituições por proporcionar ambientes seguros.

Palavras-chave: Conhecimento para a ação. Qualidade do ar interno. Saúde pública. Ação baseada em evidência. Educação Ambiental.

Monitoreo de CO₂ en ambientes escolares interiores y sensibilización sobre los problemas ambientales post-pandemia

El conocimiento y la acción ambiental juegan un papel crucial en el proceso de enseñanza y aprendizaje. La pandemia de COVID-19 resaltó la importancia de acciones fundamentadas para combatir enfermedades transmitidas por el aire. Este trabajo fue desarrollado en colaboración entre la Universidad Estatal de Londrina y la Universidad de Calgary, Canadá. Se trata principalmente del monitoreo de dióxido de carbono (CO₂) para promover la educación ambiental en entornos educativos interiores y recomendaciones para el uso del monitoreo de CO₂ en aulas. La ausencia de una comprensión amplia del papel del CO₂ en la calidad del aire y la salud demanda una mejor comprensión. El monitoreo de CO₂ en ambientes interiores puede mejorar esta comprensión, proporcionando información valiosa para la mitigación y la responsabilidad institucional al proporcionar ambientes seguros.

Palabras-clave: Conocimiento para la acción, calidad del aire interior, salud pública, acciones basadas en evidencia, educación ambiental.

Indoor school environment CO₂ monitoring and post-pandemic environmental awareness initiatives

Abstract: Environmental Education plays a crucial role in bridging the gap between knowledge and action, and the covid-19 pandemic has highlighted the importance of informed actions to combat airborne diseases. This work is a case study on the collaboration between the State University of Londrina and the University of Calgary, Canada, focusing primarily on Carbon Dioxide (CO₂) monitoring to promote EE in indoor educational settings and provide recommendations for the use of CO₂ monitoring in classrooms. The urgency to contain the spread of airborne infections demands a broader understanding of the role of CO₂ in air quality and health. Monitoring CO₂ in indoor environments can enhance this understanding, inform mitigation strategies, and hold institutions accountable for providing safe environments.

Keywords: Knowledge to action. Indoor air quality. Public health. Evidence-based action. Environmental Education.

INTRODUÇÃO

A pandemia da covid-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 11 de março de 2020, representa uma questão de saúde significativa para a humanidade devido a velocidade com que se propagou pelo mundo, infectando mais de 771 milhões de pessoas até o momento (WHO, 2023). Surtos de covid-19, gripe e outras doenças de transmissão aérea tem sido relacionado com a inalação de aerossol

contaminado em ambientes internos inadequadamente ventilados (Li *et al.*, 2007; Corsi *et al.*, 2021; McNeill *et al.*, 2022), sendo considerada essa a principal forma de transmissão (Li *et al.*, 2022; McNeill *et al.*, 2022). Medidas de contenção de vírus com essa característica representam um desafio substancial em salas de aula, escritórios e salas de reunião pelo compartilhamento do mesmo espaço por muitas horas diariamente (Di Gilio *et al.*, 2021). Considerado um bom indicador de agentes patogênicos por detectar “ar respirado” por outra pessoa, os monitores de CO₂ podem ser usados como um *proxy* para ventilação, e a sua concentração podem ser extremamente importantes na tomada de decisão, por exemplo, para a adoção de estratégias de ventilação em diferentes condições, estações do ano, horários específicos, e ainda, para que medidas adicionais sejam tomadas, como o uso de máscaras faciais como forma de proteção, abertura de janelas, filtros externos, entre outros (Li; Cai, 2022; McNeill *et al.*, 2022).

A pandemia também afetou rapidamente métodos tradicionais de ensino no mundo todo, com aulas sendo canceladas, adiadas, ou adaptadas para o modelo virtual ou híbrido (por vezes, presencial, por vezes, virtual). Com a flexibilização das restrições pandêmicas a gestão segura dos estudantes também tem sido muito discutida (Di Gilio *et al.*, 2021), e muitas escolas e universidades, incluindo a Universidade de Calgary (COVIDSafe Campus, 2022), implementaram procedimentos de segurança com políticas para a 'volta às aulas presenciais' e suas formas de conter a pandemia. No site da Universidade de Calgary (UCalgary), há informações sobre programas de vacinação, uso de máscaras e ventilação de espaços internos. Em relação a este último tópico, a Universidade afirma que está comprometida em oferecer um ambiente seguro de trabalho e aprendizado, e que a equipe de Manutenção tem dado muita atenção aos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC – do inglês, *Heating, Ventilation and Air Conditioning*) presentes no campus para prevenir a propagação do vírus covid-19.

Nas universidades brasileiras, a maioria das salas de aula é naturalmente ventilada, com janelas e portas abertas para permitir a circulação do ar. Já no Canadá, devido ao clima, as salas são equipadas com sistemas HVAC. Esse sistema é essencial para controlar a temperatura, umidade e qualidade do ar em ambientes fechados, criando um ambiente interno confortável. A parte de ventilação” desse sistema é responsável por movimentar o ar de dentro para fora e vice-versa, filtrando e eliminando impurezas como partículas, poeira, pólen, mofo, bactérias e vírus. A UCalgary afirma que o ar, tanto dos espaços

internos quanto externos, é circulado ao longo do dia, e que o sistema está programado para trocar o ar nos prédios por ar fresco todas as manhãs antes do início das aulas (COVIDSafe Campus, 2023).

Esta pesquisa é fruto de uma parceria entre a Universidade Estadual de Londrina (UEL) e a UCalgary através de uma pesquisa realizada em um estágio de Doutorado Sanduíche. Nosso interesse neste tópico veio de nossas experiências coletivas em reduzir o risco pessoal de contrair a covid-19 em ambientes de sala de aula. Um dos autores adquiriu um sensor de CO₂ (Aranet4) (Figura 1) portátil para avaliar o risco de transmissão de doenças em salas de aula universitárias e outros espaços públicos. Observamos que a maioria das salas de aula e escritórios da UCalgary possuem dispositivos fixos de monitoramento de CO₂ (Figura 2), mas tivemos dificuldades para encontrar informações sobre como interpretar os dados. Conversas com estudantes e colegas da UCalgary revelaram que muitas pessoas desconheciam a existência desses dispositivos fixos de monitoramento. Além disso, faltava-nos conhecimento sobre o papel que esses dispositivos desempenhavam para informar a tomada de decisões a nível institucional. Nossa inspiração para conduzir esta pesquisa foi inicialmente prática: queríamos aprender mais, e aprender rapidamente, sobre como os dispositivos de detecção e monitoramento de CO₂ poderiam ser usados como ferramentas para promover o aprendizado e aumentar a conscientização sobre a qualidade do ar interno e a ventilação como uma estratégia de mitigação de doenças.

Coincidentemente, enquanto escrevíamos este artigo, um pequeno grupo de pais em Calgary, Alberta, Canadá, instalou monitores de CO₂ na mochila de seus filhos para verificar a qualidade do ar interno (QAI) nas salas de aula (Fletcher, 2023). Preocupados com o risco contínuo da covid-19, os pais estavam apreensivos que os administradores escolares não tivessem tomado as medidas adequadas para reduzir o risco de infecção. De acordo com notícias, os pais analisavam os dados coletados pelos sensores quando as crianças chegavam em casa. Em resposta, os diretores das escolas alegaram que as provas dos dispositivos portáteis não eram suficientes para informar a tomada de decisões e que somente dispositivos devidamente calibrados usados por profissões seriam apropriados.

Figura 1 - Monitor fixo das concentrações de CO₂ na UCalgary

Figura 2 – Monitor portátil das concentrações de CO₂



Fonte: Acervo próprio (2023)

Mesmo com o crescente número de artigos publicados sobre o tema desde o início da pandemia do covid-19, existe a dificuldade em encontrar informações sobre o que exatamente está sendo feito dentro de escolas e universidades acerca da Educação Ambiental (EA) como forma de sensibilização/conscientização sobre a qualidade do ar dos ambientes internos e, por consequência, engajamento dos alunos e professores que leva ao conhecimento de parâmetros importantes para a saúde em ambientes internos. O monitoramento de CO₂ não só tem importância prática e pedagógica, mas também é politicamente relevante, sinalizando a necessidade de pesquisas e análises mais sustentadas. Argumentamos que os dispositivos de monitoramento de CO₂ têm o potencial não apenas de aumentar a conscientização e mobilizar a ação diante de uma pandemia, mas também de reconfigurar os limites e a definição da EA.

Diante disso, buscamos: (1) investigar sobre a existência ou não de iniciativas de educação ambiental em ambientes escolares (secundário e pós-secundário) se tratando de monitorando de qualidade do ar interno através de publicações em revistas; (2) Resumir, quais são os principais assuntos abordados para a educação ambiental nestas condições, e se a abordagem vem se modificando ao longo do tempo; (3) avaliar as lacunas de conhecimento e compreensão e identificar possíveis direções futuras de pesquisas relacionadas na área, inclusive com o que já está sendo feito dentro da UCalgary. Por fim, este trabalho apresenta recomendações sobre o que ainda pode ser feito, e as sugestões apresentadas pelos diversos autores aqui referenciados.

Figura 1 - Monitor fixo das concentrações de CO₂ na UCalgary



Figura 2 – Monitor portátil das concentrações de CO₂



Fonte: Acervo próprio (2023).

METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica para este trabalho foi realizada em dezembro de 2022, utilizando palavras-chave em duas bases de dados (Scopus e ERIC). Os termos de pesquisa e as bases de dados foram selecionados em consulta com um cientista da Biblioteca da UCalgary (Quadro 1). Os resumos foram inseridos no *software* Covidence (covidence.org) para triagem inicial, seguido por uma revisão de texto completo dos artigos relevantes (ver Figura 2 para o processo de seleção).

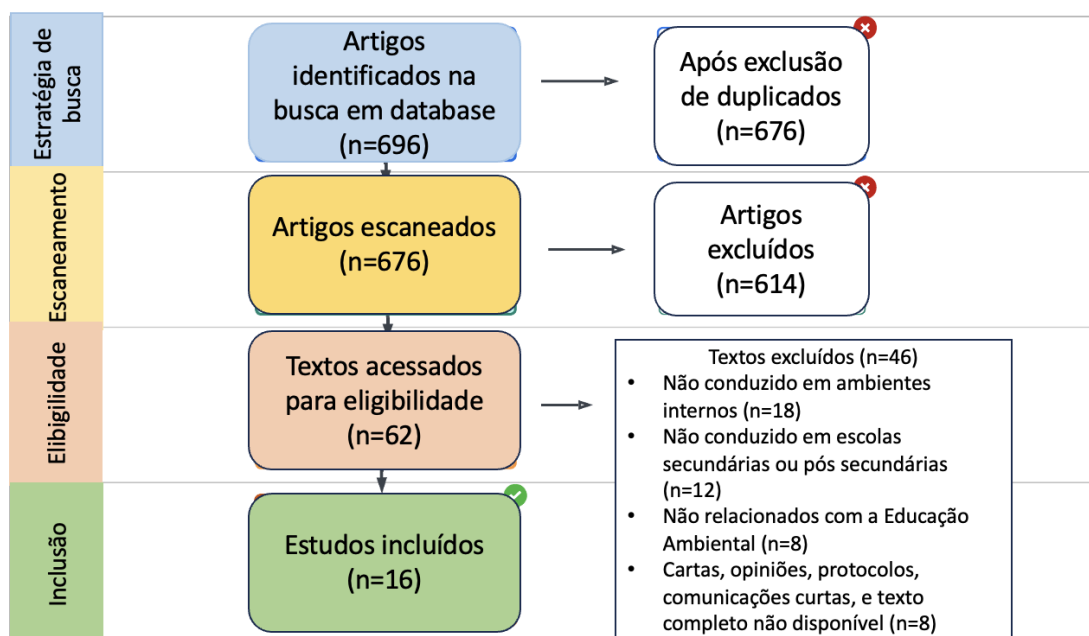
Quadro 1: Termos de busca

Conceitos-chave	Termos de busca
P (população)	Universit* OR school* OR classroom Student* OR “faculty” OR professor*
C (contexto)	“environment* education” OR education OR teach*
C (conceito)	“Air quality” OR CO2 OR “carbon dioxide”

Fonte: Autoria própria (2022).

A extração de dados seguiu os critérios de triagem e revisão de acordo com o que foi estabelecido para inclusão e exclusão (Figura 3). Dos 696 artigos encontrados na pesquisa por palavra-chave, 20 eram duplicados e foram automaticamente removidos pelo software. Foi verificado se eram de fato duplicados e, como eram, passamos ao passo seguinte. 676 estudos foram escaneados por título e resumo, e 615 foram excluídos por não estarem relacionados aos objetivos da pesquisa. Portanto, 62 estudos foram verificados através de texto completo e 46 foram excluídos, 18 por não terem sido realizados em espaços internos, 12 por não terem sido realizados no ensino secundário ou pós-secundário, 8 por não terem o viés da educação ambiental, e 8 por não fornecerem acesso livre ou através da universidade, ou eram cartas, artigos de opinião, protocolos de estudo, comunicações breves. No total, 16 trabalhos foram analisados dentro do contexto pré-estabelecido, e estão contidos no resultado deste trabalho.

Figura 3: Estratégias de busca e critérios utilizados na seleção dos artigos.



Fonte: autoria própria (2022)

Em seguida, foram extraídas informações sobre o ano de publicação/experimentação, métodos de estudo, população alvo, técnica utilizada, conclusão e recomendações.

RESULTADOS

Antes de aplicar o critério de inclusão e exclusão, nossa pesquisa inicial resultou em 676 artigos que forneceram uma visão geral da gama de artigos publicados sobre o monitoramento de CO₂. Estes artigos mostram um aumento substancial na literatura publicada na intersecção do QAI e do monitoramento de CO₂. Entre 2010 e 2019, o número de artigos publicados sobre o monitoramento de CO₂ quase dobrou em comparação com as décadas anteriores. Além disso, o que antes era uma contribuição predominantemente publicada em revistas de saúde, tornou-se predominante na área ambiental, com 100 artigos em revistas de energia e combustíveis (foco em ventilação e economia de energia), 61 em engenharia ambiental, 59 em ciências ambientais, 53 em sustentabilidade verde, e somente em 5º lugar, com 51 publicações aparece a primeira revista de saúde, sobre saúde respiratória. Este foi um passo importante, pois é perceptível esta mudança de direção para a pesquisa sobre o monitoramento de CO₂ relacionado a problemas ambientais.

Entre 2020 e 2022, o foco continuava sendo maior nas publicações em revistas relacionadas às ciências ambientais e engenharia eletrônica (22 artigos cada), seguidas pela meteorologia e ciências atmosféricas (18), engenharia ambiental (17) física aplicada (16), e sistemas respiratórios (16). Para o período, há 206 registros. Com a pandemia do covid-19, muitos artigos relacionaram o CO₂ com a contaminação pelo novo coronavírus e a necessidade de melhoria e monitoramento dos sistemas de ventilação, especialmente em escolas e universidades (e.g., Zivelonghi; Lai, 2021; Fayos-Jordan *et al.*, 2021; Trilles *et al.*, 2021).

Do total de artigos recuperados da pesquisa inicial, 16 preencheram nossos critérios de inclusão. Foram publicados estudos entre 1993 e 2022 na Europa (n=8: 3 na Noruega; 1 na Finlândia; 1 na Alemanha; 1 na Grécia; 1 na Itália; 1 na Espanha e 1 no Reino Unido), América do Norte (n=5: 4 nos Estados Unidos; 1 no Canadá), Ásia (n=1: Malásia), América do Sul (n=1: Equador), e um em múltiplos territórios (Portugal, Espanha, França e Gibraltar).

As iniciativas mais relatadas utilizaram monitores de CO₂ para aumentar a conscientização sobre a importância da ventilação, do conforto térmico e da saúde. Estes estudos focalizaram principalmente: no uso de monitores de CO₂ em ambientes educacionais internos como ferramentas de ensino; projeto de ensino baseado no

"cidadão-cientista"; "Faça-você-mesmo"; e a mudança no foco principal da pesquisa após a pandemia covid-19, com a ligação entre saúde e ambientes internos.

CO₂ em ambientes educacionais internos como ferramentas de ensino

Os primeiros trabalhos que encontramos que utilizaram o monitoramento de CO₂ para ensinar aos estudantes sobre qualidade do ar e ventilação foram em cursos de engenharia. Larson; Rood (1993) descreveram sobre a importância da educação técnica rigorosa em engenharia para desenvolver habilidades profissionais, tais como "técnicas laboratoriais, informática, comunicação, trabalho em equipe, independência e criatividade" (Larson; Rood, 1993, p.101). Para a experiência de estudo e aprendizado do aluno, foi pensado em um projeto de integração entre leituras, experimentos e simulações numéricas envolvendo a qualidade do ar através de simulações computadorizadas, viagens de campo e uso de técnicas laboratoriais para o monitoramento e análise de dados de poluição do ar. Ao final, os estudantes escreveram artigos em revistas revisadas por pares e apresentaram seus resultados em conferência científica. Essas atividades aumentam o interesse do aluno para temas científicos, além de entusiasmo no aprendizado. As matrículas dos cursos de Modelagem da Qualidade do Ar e Técnicas de Amostragem do Ar aumentaram entre 10 e 20%, tendo o interesse de alunos de outros departamentos (como na engenharia mecânica, ciências atmosféricas e química após a implementação dessas novas práticas.

Eschenbach e Cashman (2004) apresentaram em sua pesquisa o módulo "ar" de 4 módulos curriculares (ar, terra, água, recursos energéticos) que estavam sendo utilizados em um curso introdutório de engenharia ambiental e consistia na leitura, quiz, coleta e análise de dados de qualidade do ar. O objetivo do curso foi de aumentar a confiança dos alunos no curso através do aprendizado ativo, e contou com palestras interativas e aulas em laboratório, incluindo coleta e análise de dados de campo e modelagem em Sistema de Informação Geográfica. A cada semana os alunos tinham que completar questionários da metodologia *Jus-in-Time*, uma abordagem de ensino que funciona como um quiz e combina tarefas preparatórias baseadas na web com atividades em sala de aula. Além de tópicos sobre introdução à poluição do ar e poluentes atmosféricos, QAI também foi abordado através da medição das concentrações de CO₂ para determinar a ventilação de espaços escolhidos pelos alunos. Os autores concluíram

que o projeto é útil para cursos introdutórios e aqueles relacionados à poluição do ar, e recomendaram sua metodologia para aumentar a conscientização ambiental dos alunos.

Neumann *et al.* (1999) descreveram suas pesquisas como sendo "uma abordagem inovadora que pode ajudar os estudantes a desenvolver pensamento crítico e resolver problemas da vida real enquanto aprendem sobre o QAI" (incluindo CO₂) (Neumann *et al.*, 1999, p. 9). Os autores relataram suas experiências com um programa desenvolvido nos Estados Unidos em 1997 e 1998, que envolveu estudantes, pais e professores. O programa começou com uma oficina para os professores entenderem a relação entre a qualidade do ar interior e o CO₂, e como abordar este assunto com os alunos. Relataram programas como o "Family Science Nights" (estudantes, membros da família e membros da comunidade escolar aprenderam sobre o IAQ, suas fontes e formas de preveni-lo) e o "Challenge Weekend", onde os estudantes tinham que resolver problemas da vida real sobre saúde e o meio ambiente, foram relatados. Os alunos monitoraram os níveis de CO₂ nas salas de aula, analisaram os dados e discutiram possíveis problemas e soluções para a concentração de CO₂. No final, os estudantes tiveram que resolver um problema da vida real relacionado ao QAI e elaborar um plano de mitigação: como consultores, tiveram que analisar e propor soluções para um prédio escolar recém-inaugurado que antes era uma biblioteca histórica. Professores e alunos reclamavam de odores e enjoos na nova escola, e os alunos consultores tinham que analisar dados hipotéticos de CO₂, desenvolver um plano que envolvia um sistema de filtro de ar, e apresentar os custos associados. Os autores avaliaram que o projeto era eficaz e os alunos que participaram relataram sucesso no aprendizado.

Para o entendimento da compreensão pública da ciência, Papanastasiou *et al.* (2014) utilizaram questionários para avaliar a compreensão de 314 estudantes de graduação sobre os fatores que afetam a qualidade ambiental dentro das salas de aula universitárias. As perguntas incluíam questões sobre QAI e conforto térmico, e quais os fatores que poderiam afetar a qualidade do ar, como a ventilação, a poluição do ar externo, poeira, móveis, entre outros. Os autores concluíram que muitos dos futuros professores primários não têm o conhecimento dos fatores que afetam o QAI e que este resultado é alarmante pois "eles não só ensinarão educação ambiental aos alunos do ensino fundamental no futuro, mas também para a sua vida cotidiana" (Papanastasiou *et al.*, 2014, p.936). Afirmam também que os tópicos abordados na pesquisa devem ser

discutidos em âmbitos dos cursos universitários relacionados às ciências naturais, meio ambiente, e edifícios.

Projeto de ensino baseado na ciência-cidadã

Outro propósito dos monitores de CO₂ foi para a ciência cidadã, um termo derivado do campo da participação pública na pesquisa científica (Conrad; Hilchey, 2010). A ciência cidadã refere-se ao envolvimento de não profissionais na pesquisa científica e tem se tornado uma ferramenta cada vez mais popular de pesquisa, ensino e aprendizagem (Lusse *et al.*, 2022). Além disso, pode construir a ponte entre ciência e sociedade (Conrad; Hilchey, 2010) e melhorar aspectos como motivação, interesse estudantil, competência científica e comunicação (Rautio *et al.*, 2022). Acredita-se que, no futuro, o indivíduo formado como cidadão-cientista também tenha o poder de replicar conhecimento (Conrad; Hilchey, 2010).

Butterfield *et al.*, (2018) relataram os resultados de um projeto para recrutar estudantes do ensino médio como cientistas cidadãos e estudantes de engenharia para trabalharem em parceria com pesquisadores da engenharia química para criar uma rede online de sensores de qualidade do ar. Os pesquisadores treinaram os estudantes para monitorar seu próprio sensor e aprenderam a ciência por trás da pesquisa, as dificuldades e cuidados ao usar tais equipamentos e a análise dos valores encontrados. A chave do sucesso foi a parceria entre professores universitários, escolas e comunidades locais.

Da mesma forma, Ellenburg *et al.*, (2019) descreveram o Programa Educacional *AQtreks* para envolver os estudantes que trabalham com cientistas universitários no monitoramento tanto da qualidade do ar exterior quanto interior. O *AQTraks* visa um conjunto de sensores móveis (Monitores Pessoais) acoplados a um aplicativo para *smartphone* para medir a dose/exposição pessoal à poluição do ar, incluindo o CO₂. O foco principal do projeto era automatizar o compartilhamento de dados e o ensino-aprendizagem sobre poluição do ar e mudanças climáticas. Os dados obtidos no projeto foram úteis tanto em termos de promover a pesquisa científica quanto em educar a próxima geração sobre questões de qualidade do ar” (Ellenburg *et al.*, 2019, p. 15).

D'eon *et al.* (2021) também descreveram um aprendizado baseado em projeto (PBL) que usa sensores para medir CO₂, Ozônio (O₃) e Material particulado (PM) em tempo real para envolver alunos na ciência da qualidade do ar. Os autores acreditam que

além de uma valiosa oportunidade de aprendizado experimental através da criação de questões de pesquisa, visualização e interpretação de dados de poluição do ar, os estudantes são engajados em um exercício legítimo da ciência cidadã. Apesar de analisarem poluentes externos e internos, os autores relatam que os projetos principais eram focados nos ambientes internos devido à variação de acordo com a atividade humana, e que a escassez de dados que eles encontraram na literatura sobre esse tópico significa uma valiosa oportunidade de aprendizado experimental.

A pesquisa de Lassandro e Zono (2018) cita a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) a fim de promover o conforto interior, gerenciar a informação e torná-la acessível a todos. Os pesquisadores relataram os esforços para que os estudantes desempenhassem papéis importantes na economia de energia através de medições de concentrações de CO₂, iluminação e temperatura. A pesquisa de Lassandro, Zonno e Perozo (2018) concluiu que tornar os estudantes e professores conscientes do QAI contribui para aumentar o comportamento responsivo e adaptativo.

Grossberndt *et al.* (2021) usaram sensores de qualidade do ar em projetos de ciência cidadã para projetar, realizar e avaliar seus próprios projetos de pesquisa, que consideraram 5 áreas de impacto: científica, social, econômica, política e ambiental. Os autores relataram impactos positivos no aprendizado e na visão de mundo pró-ambiente, e aumento das atitudes pré-científicas e, portanto, do poder transformador. Grossberndt *et al.*, (2021) afirmaram que após a pesquisa, o interesse em temas relacionados à ciência aumentou, e que o projeto alcançou resultados positivos em termos de aquisição de habilidades e conscientização sobre a poluição do ar, mas que o impacto na mudança de comportamento não foi tão evidente quanto o impacto no aprendizado. Eles também destacam o potencial transformador das atividades, o que o torna um exemplo de boas práticas para atividades científicas cidadãs sobre qualidade do ar com sensores de baixo custo em um contexto escolar.

Faça você mesmo

Aproveitando a influência dos movimentos do fabricante (ou bricolagem) na educação, os pesquisadores espanhóis Pino *et al.* (2018) fornecem uma configuração passo a passo de sensores usando a placas de microcontrole Arduino, um sensor de CO₂, um cartão de memória e um painel de controle. O monitor pode ser usado para ensinar a

investigação baseada em modelos onde os estudantes usam resultados experimentais para testar modelos explicativos, e para encorajar os estudantes a fazer seus próprios dispositivos. Da mesma forma, os estudiosos noruegueses Fjukstad *et al.* (2018; 2019) relatam o projeto *air:bit* para introduzir os estudantes secundários à programação de computadores, engenharia e ciências ambientais. *Air:bit* consiste em um *kit* de sensor programável que permite aos estudantes construir, coletar, analisar e tornar os dados publicamente disponíveis. Os autores descrevem lições aprendidas usando o projeto *AirBit* em 10 escolas secundárias na Noruega, começando com a construção e codificação dos sensores, seguido pelo monitoramento do CO₂ interno através da coleta de dados (Fjukstad *et al.*, 2018). Em publicação posterior, Fjukstad *et al.* (2019) descreveram as lições aprendidas com o projeto *AirBit* após sua introdução em mais de 150 escolas secundárias com 400.000 medições locais de qualidade do ar. Os autores aplicaram ainda uma pesquisa de verificação entre alunos e professores, que estavam muito satisfeitos com os resultados e com o projeto.

O link entre a qualidade do ar interno e a saúde no pós-pandemia

A pandemia de covid-19 introduziu novos usos para a detecção e monitoramento de CO₂ em ambientes fechados para destacar o risco de doenças infecciosas, e para conectar o monitoramento ambiental com a saúde pública.

Antes da pandemia, Jarvi *et al.* (2018) desenvolveram um questionário online para avaliar os sintomas e o QAI. Eles também visavam testar a usabilidade do questionário para avaliar as diferenças entre as medições de CO₂, temperatura e umidade, e as queixas e sintomas de QAI relatados por acadêmicos. Estudantes (n=6322) e professores (n=719) foram solicitados a responder se tinham sintomas alérgicos, asma, febre, problemas respiratórios, sinusite, otite, bronquite, pneumonia. As respostas do questionário e as concentrações foram cruzadas, e os autores concluíram que tal abordagem é o primeiro passo na tentativa de rastrear e resolver problemas de QAI em edifícios escolares, especialmente entre adultos, e que as informações obtidas dos questionários, juntamente com a investigação sistemática do ambiente interno, podem ser úteis para uma investigação mais aprofundada.

Durante a pandemia, estudiosos alemães (Dey *et al.*, 2021) informaram sobre o uso dos monitores de CO₂, um dispositivo de medição "faça você mesmo" que pode ser usado

em sala de aula. A novidade de sua abordagem é rastrear os comportamentos de ventilação em salas de aula ao longo do tempo, a fim de identificar possíveis correlações com infecções respiratórias. Os autores forneceram uma descrição detalhada dos diferentes sensores (por exemplo, VoC e NDIR) e forneceram uma fundamentação para sua seleção do sensor escolhido (*Sensirion* SCD-30). Eles também forneceram uma descrição detalhada do *kit* do medidor, e da arquitetura do *software*, e forneceram materiais e informações de montagem em um *website*, incluindo vídeos para auxiliar na montagem. Estas informações são extremamente úteis para educadores interessados em trabalhar com opções de bricolagem. Os autores concluem que criar dispositivos de monitoramento de CO₂ é uma maneira fácil e econômica de melhorar o aprendizado sobre infecções baseadas em aerossol, ventilação e sistemas de monitoramento.

Usando o aprendizado baseado em projetos (PBL) e considerando o "mundo pandêmico", Yang (2021) relatou uma iniciativa na qual os estudantes selecionaram locais de amostragem, coletaram amostras de gases de efeito estufa, entre eles o CO₂, realizaram medições de laboratório e apresentaram os resultados como um grupo. O principal objetivo era que os estudantes de engenharia experimentassem problemas da vida real e que os aprendizados adquiridos fomentassem o desenvolvimento de habilidades profissionais. No final do projeto, os pesquisadores aplicaram uma pesquisa para acompanhar o aprendizado e as experiências, lições e desafios dos estudantes. Os principais resultados levaram os pesquisadores a afirmar que os estudantes aumentaram seu interesse e confiança na engenharia, suas habilidades transferíveis, e sua compreensão da importância do trabalho em equipe.

Pirela e Rodríguez (2020) analisaram a relação entre os níveis de CO₂, Ozônio (O₃), Composto Orgânico Volátil (COV), e a qualidade educacional dos estudantes durante a pandemia da covid-19 através do projeto de análise quantitativa e exploratória. Este estudo coletou e analisou dados de poluição do ar, temperatura, ventos e precipitação. Eles também aplicaram um questionário com os estudantes de engenharia, que tinham que responder se achassem que a poluição do ar afetava os estudantes universitários (Quase sempre - 34,0%; às vezes - 24,6%; Nunca - 16%). Seus esforços resultaram em recomendações importantes: a poluição ambiental é o principal problema das sociedades atuais e continuará sendo até que haja uma mudança radical nos padrões de desenvolvimento; as universidades, como atores sociais, educacionais, cognitivos e de

impacto, devem ser ativas para o desenvolvimento sustentável; as universidades devem incluir em seus valores organizacionais a consciência dos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Elas também citam sobre o papel-chave que as escolas e universidades desempenham no treinamento de estudantes e futuros líderes.

CONCLUSÃO

Um viés implícito na literatura é que o meio ambiente se refere a espaços ao ar livre e que a educação ambiental se concentra nos espaços externos. Como geógrafos, estamos profundamente conscientes dos problemas com tais suposições de limites, e argumentamos que a EA pode (e de fato deve) ser aplicada em ambientes internos, lugares onde as pessoas passam grande parte de seus dias de trabalho. Os dispositivos de monitoramento de CO₂ fornecem maneiras práticas de realizar os objetivos da EA - para melhorar as habilidades, melhorar a conscientização e fomentar a defesa - para promover ambientes internos seguros. Além disso, como muitos pesquisadores têm argumentado enfaticamente, a EA precisa abordar crises globais urgentes como mudança climática, perda de biodiversidade e pandemias, promovendo o pensamento crítico e o engajamento com uma gama de atores, e também ser abordado dentro e fora das comunidades educacionais (Baker; Gehlbach, 2022; Suárez-Perales *et al.*, 202; Dunlop, 2022; Johnston, 2009).

Identificamos 16 estudos que ligam ações de EA através do monitoramento de CO₂ em ambientes educacionais internos. Os resultados gerais sugerem que, embora todos os artigos presentes neste trabalho relatam experiências e ações de EA, a palavra "educação ambiental" não está explicitamente contida na maioria dos artigos utilizados aqui, nem a descrição de que o projeto é, de fato, uma ação de EA.

Os dispositivos de monitoramento de CO₂ são uma ferramenta para os educadores ambientais em todas as etapas da jornada de aprendizagem para chamar a atenção para questões urgentes globais na intersecção da saúde e do meio ambiente. Nós sabemos que a realidade brasileira para a compra de equipamentos e interesse científico é fator limitante, porém, as descobertas deste trabalho demonstram como o uso desse dispositivo pode ser usado além da sensibilização através da EA, mas para o entendimento de outras frentes: computação, programação, bricolagem, noções de gerenciamento de projeto, despertar o interesse de estudantes na pesquisa, entre outros. Além disso, estes

dispositivos podem ser uma ferramenta para aumentar a conscientização da importância da qualidade do ar interior e fornecer meios práticos para melhorar as habilidades de pesquisa e defesa necessárias para enfrentar as pandemias futuras.

O que acontece na UCalgary sobre o monitoramento interno de CO₂ já é uma realidade em várias universidades canadenses. Junto com o CO₂, o dispositivo (Figura 1) também informa, em tempo real, a temperatura e umidade internas. Nele, há informações sobre como aumentar e diminuir a temperatura, porém, nada é informado, nem no site da universidade, nem nos informativos do aparelho sobre a medição de CO₂. Tampouco é informado sobre o que o valor mostrado representa (se as concentrações estão altas ou baixas, por exemplo), se a universidade mantém uma base de dados, ou se aqueles dados auxiliam na tomada de decisão sobre a ventilação do edifício. Este relato é um grande exemplo onde uma é quebrada uma premissa (ação, sensibilização, divulgação) muito importante da EA: a “divulgação”. Pode-se dizer que a UCalgary “sensibilizou” os tomadores de decisão sobre a importância deste monitoramento ao incluírem esta tecnologia nas salas de aula (“ação”), mas não agregou os professores e alunos. A “divulgação” sobre este monitoramento não acontece para a comunidade acadêmica em geral, fator extremamente relevante quando se deseja alcançar uma EA efetiva.

Por fim, os monitores de CO₂ podem ajudar a aumentar a conscientização da importância de garantir níveis seguros de gases de efeito estufa atmosféricos de forma mais geral, de modo a conectar a saúde e o bem-estar pessoal com as condições ecológicas planetárias. A educação sobre a importância que os ambientes internos desempenham em nossa saúde e conforto ("agir localmente") pode levar a uma conscientização sobre "a totalidade" e uma maior preocupação em "pensar globalmente".

REFERÊNCIAS

BAKER, Zeke; GEHLBACH, Hunter. Policy Dialogue: teaching environmentalism on a warming planet. **History of Education Quarterly**, v. 62, n. 1, p. 107-119, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/heq.2021.56>.

BUTTERFIELD, Anthony; LE, Katrina; KELLY, Kerry; GOFFIN, Pascal; BECNEL, Thomas; GAILLARDON, Pierre-Emanuel. **Citizen Scientists Engagement in Air Quality Measurements**. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 125., 2018, Salt Lake City. **Proceedings** Salt Lake City: American Society for Engineering Education, 2018. p. 1-14.

CONRAD, Cathy C; HILCHEY, Krista G. (2010). A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 176 (1-4), 273-291. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>

CORSI Richard; MILLER, Shelly L.; VANRY, Marissa G.; MARR, Linsey C.; CADET, Leslie R.; POLLOK, Nira R.; MICHAELS, David; JONES, Emily R.; LEVINSON, Meira; LI, Yuguo; MORAWSKA, Lidia; MACOMBER, John; ALLEN, Josph G. Designing infectious disease resilience into school buildings through improvements to ventilation and air cleaning. **Report of the Lancet COVID-19 Commission Task Force on Safe Work, Safe School, and Safe Travel**. Disponível em: <https://covid19commission.org/safe-work-travel>. Acesso em 2 abr 2024.

COVIDSafe Campus. **University of Calgary**. Calgary, Alberta, Canada. 2022. Disponível em: <https://www.ucalgary.ca/risk/emergency-management/covid-19-response/covidsafe-campus>. Acesso em: 2 abr. 2024.

DEY, Thomas; ELSER, Ingo; FERREIN, Alexander; FRAUENRAT, Tobias; REKE, Michael; SCHIFFER, Stefan. (2021). CO2 Meter: a do-it-yourself carbon dioxide measuring device for the classroom. In: **The 14Th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference**, 1(1), 1-164. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3453892.3462697>.

DÈON, Jessica C.; STIRCHAK, Laura T.; BROWN, Abener-Shepsu; SAIFUDDIN, Yusra. (2020). Project-Based Learning Experience That Uses Portable Air Sensors to Characterize Indoor and Outdoor Air Quality. **Journal of Chemical Education**, 98(2), 445-453. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00222>.

DI GILIO, Alessia.; PALMISANI, Jolanda; PULIMENO, Manuela; CERINO, Fabio; CACACE, Mirko.; MIANI, Alessandro.; GENNARO, Gianluigi. CO2 concentration monitoring inside educational buildings as a strategic tool to reduce the risk of Sars-CoV-2 airborne transmission. **Environmental Research**, v. 202, p. 111560, nov. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.111560>.

DUNLOP, Lynda; RUSHTON, Elizabeth A.C.; ATKINSON, Lucy; AYRE, Jaquie. Teacher and youth priorities for education for environmental sustainability: a co-created manifesto. **British Education Research Journal**, [s. l], v. 4, n. 5, p. 952-973, abr. 2022.

ELLENBURG, Jessa A.; WILLIFORD, Craig J.; RODRIGUEZ, Shannon L.; ANDERSEN, Peter C.; TURNIPSEED, Andrew A.; ENNIS, Christine A.; BASMAN, Kali. A.; HATZ, Jessica M.; PRINCE, Jason C.; MEYERS, Drew H.; KOPALA, David J.; SAMON, Michael J.; JASPERS, Kodi J.; LANHAM, Boden J.; CARPENTER, Brian J.; BIRKS, Jown W. (2019). Global Ozone (GO3) Project and AQTreks: use of evolving technologies by students and citizen scientists to monitor air pollutants. **Atmospheric Environment: X**, 4, 100048. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100048>.

ESCHENBACH, Elizabeth A.; CASHMAN, Eileen M. Introduction to Air Resources: just in time! In: Proceedings of the 2004. **American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition**. Humboldt: American Society for Engineering Education, 2004. p. 1-8.

FJUKSTAD, Bjorn.; ANGELVIK, Nina.; HAUGLANN, Maria W.; KNUTSEN, Joachim. S.; GRØNNESBY, Morten; GUNHILDRUD, Heddin; BONGO, Lars A. Low-Cost Programmable Air Quality Sensor Kits in Science Education. **Proceedings of the 49Th Acm Technical Symposium on Computer Science Education**, v. 1, n. 1, p. 1-20, 21 fev. 2018a. ACM. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3159450.3159569>.

FJUKSTAD, Bjorn.; ANGELVIK, Nina.; GRONNESBY, Morten; HAUGLANN, Maria W.; GUNHILDRUD, Hedinn; RASCH, Fedrik H.; IVERSEN, Julianne, DALSENG, Margaret; BONGO, Lars. A. Teaching Electronics and Programming in Norwegian Schools Using the air. **Proceedings of the 2019 Acm Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education**, 1(1), 952- 164, 2018b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3304221.3325527>.

FLETCHER, Robson. **Inside these parents' long, nerdy struggle over how to improve air quality in Calgary schools**. 2023. CBC - Canadian Broadcasting Corporation. Disponível em: <https://www.cbc.ca/newsinteractives/features/calgary-parents-campaign-school-air-quality>. Acesso em 04 apr. 2023.

GROSSBERNDT, Sonja.; PASSANI, Antonella.; DI LISIO, Giulia.; JANSSEN, Anelli.; CASTELL, Nuria. Transformative Potential and Learning Outcomes of Air Quality Citizen Science Projects in High Schools Using Low-Cost Sensors. **Atmosphere**, 12(6), 736, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12060736>.

JAMES, Katy L.; RANDALL, Nicola P.; HADDAWAY, Neal R. A methodology for systematic mapping in environmental sciences. **Environmental Evidence**, v. 5, n. 1, p. 1-22, 26 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13750-016-0059-6>.

JARVI, Kati; VORNANEN-WINQVIST, Camilla; MIKKOLA, Raimo; KURNITSKI, Jarek; SALONEN, Heidi. Online Questionnaire as a Tool to Assess Symptoms and Perceived Indoor Air Quality in a School Environment. **Atmosphere**, 9(7), 270, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos9070270>.

JOHNSTON, Julie. (2009). Transformative Environmental Education: stepping outside the curriculum box. **Canadian Journal of Environmental Education**, 14, 149-157.

KHANGURA, Sara; KONNYU, Kristin; CUSHMAN, Rob; GRIMSHAW, Jeremy; MOHER, David. Evidence summaries: the evolution of a rapid review approach. **Systematic Reviews**, v. 1, n. 1, p. 1-20, 10 fev. 2012. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/2046-4053-1-10>.

LASSANDRO, Paola; ZONO, Marina. A work-related learning project for energy efficiency evaluation and indoor comfort of school buildings. **Ingénierie Des Systèmes D'Information**, 23(5), 7-27, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.3166/isi.23.5.7-27>.

LARSON, Susan M.; ROOD, Mark J. Development of an Air Quality Program at the University of Illinois at Urbana-Champaign. **Journal of Engineering Education**, 82(2), 101-108, 1993. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2168-9830.1993.tb00083.x>.

LI, Yuguo; LEUNG, Gabriel M.; TANG, Julian W.; YANG, X.; CHAO, Christopher. Y. H.; LIN, J. Z.; LU, J. W.; NIELSEN, Peter V.; NIU, Jianlei; QIAN, Hua; SLEIGH, Adrian; LU, Wei-Zhen; SUNDELL, Jan; WONG, Tze Wai; YUEN P. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment? A multidisciplinary systematic review. **Indoor Air**, v. 17, n. 1, p. 2-18, fev. 2007. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>.

LI, Bingxu; CAI, Wenjian. A novel CO₂-based demand-controlled ventilation strategy to limit the spread of COVID-19 in the indoor environment. **Building and Environment**, v. 219, p. 109232, jul. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109232>.

LUSSE, Mientje; BROCHHAGE, Frauke; BEEKEN, Marco; PIETZNER, Verena. Citizen science and its potential for science education. **International Journal of Science Education**, 44(7), 1120- 1142, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2022.2067365>.

MCNEILL, Faye V.; CORSI, Richard; HUFFMAN, Alex J.; KING, Cathleen; KLEIN, Robert; LAMORE, Michael; DO MAENG, Young; MILLER, Shelly L.; NG, Lee N.; OLSIEWSKI, Paola; POLLITT, Krystal J.G.; SEGALMAN, Rachel; SESSIONS, Alex; SQUIRES Todd, WESTGATE, Sabrina. Room-level ventilation in schools and universities. **Atmospheric Environment: X**, v. 13, p. 100152, jan. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aeaoa.2022.100152>.

NEUMANN, Catherine; BLOOMFIELD, Molly M.; HARDING, Anna K.; SHERBURNE, Holly. An innovative approach to teaching high school students about indoor air quality. **Journal of Environmental Health**, 62 (4), 9-13, 1999.

PAPANASTASIOU Dimitrios K.; AVGOLOUPIS Stavros; MELAS, Dimitris; IKONOMIDIS, Simos. Future primary teachers' knowledge and understanding of environmental quality issues – a questionnaire survey. **Global Nest: The international Journal**, 16(5), 929-937, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.30955/gnj.001532>.

RAUTIO, Pauliina; TAMMI, Tuure; AIVELO, Tuomas; HOHTI, Riikka; KERVINEN, Anttoni; SAARI, Maria. “For whom? By whom?”: critical perspectives of participation in ecological Citizen science. **Cultural Studies of Science Education**, 17(3), 765-793, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11422-021-10099-9>.

SUÁREZ-PERALES, Ines; VALERO-GIL, Jesus; LAHIZ, Dante I. L.; RIVERA-TORRES, Pilar; GARCÉS-AYERBE, Conchita. Educating for the future: how higher education in environmental management affects pro-environmental behaviour. **Journal of Cleaner Production**, 321, 128972, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128972>.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **Coronavirus COVID-19 Dashboard**. Disponível em: <https://covid19.who.int/table>. Acesso em: 2 abr. 2024.

ZIVELONGHI, ALESSANDRO; LAI, MASSIMO. Mitigating aerosol infection risk in school buildings: the role of natural ventilation, volume, occupancy and CO2 monitoring. *Building and Environment*, 204, 108139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108139>