



TECNOLOGIA EDUCACIONAL APLICADA À VENTILAÇÃO DE AMBIENTES CLIMATIZADOS: UMA CALCULADORA ONLINE BASEADA NA ABNT NBR 16401-3

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6347

Autores: THIAGO DA SILVA ANDRÉ, HADLEY MAGNO DA COSTA SIQUEIRA, THÂNIA MARA RIBEIRO PAULO, NICOLI GRAZIELLE DA COSTA ARAÚJO, THALLES FABRÍCIO BERNARDO VIANA, YTALLO RAFAEL DA SILVA PONTES, ANTONIO GABRIEL SILVA DE SOUZA, VITÓRIA LUNNA FERNANDES PEREIRA DIAS, JOANA BEATRIZ DANTAS MEDEIROS

Resumo: O artigo apresenta o desenvolvimento de uma calculadora online, denominada renovacalc (disponível em: <https://renovacalc.meutrairi.com>), com o objetivo de facilitar o cálculo da vazão de ar exterior conforme os critérios da norma ABNT NBR 16401-3:2024, essencial para garantir a qualidade do ar interior em ambientes climatizados. A ferramenta foi construída com base em planilhas Excel convertidas para .csv e integradas a um sistema web em HTML, CSS e JavaScript. Foram lançadas duas versões do site, com melhorias progressivas na interface e usabilidade. A validação foi realizada por meio de testes com profissionais da área e questionários baseados na System Usability Scale (SUS) e nas heurísticas de Nielsen. Os resultados mostraram alta aceitação da plataforma: 100% dos usuários consideraram a linguagem clara e acessível. Os gráficos apresentados no estudo evidenciam esses dados, com destaque para o índice de 95,4% de usuários que perceberam o site como confiável já no primeiro contato.

Palavras-chave: site, ar condicionado, renovação do ar

TECNOLOGIA EDUCACIONAL APLICADA À VENTILAÇÃO DE AMBIENTES CLIMATIZADOS: UMA CALCULADORA ONLINE BASEADA NA ABNT NBR 16401-3

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar interior em ambientes climatizados é um aspecto essencial que impacta diretamente a saúde, o bem-estar e a produtividade dos ocupantes. Diante da crescente permanência de pessoas em ambientes fechados climatizados, a necessidade de garantir um ar limpo e saudável se torna cada vez mais premente. Nesse cenário, a norma ABNT NBR 16401-3 (2024) emerge como um guia fundamental, estabelecendo parâmetros e requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado, com o objetivo de proporcionar ambientes internos confortáveis e livres de contaminantes.

Esta norma aborda questões cruciais, como a renovação do ar em locais com condicionadores de ar, a filtragem adequada e o controle de poluentes, que são fundamentais para prevenir problemas respiratórios e alergias. Ao assegurar um ambiente com ar puro, a NBR 16401-3 não apenas promove o bem-estar dos ocupantes, mas também reduz o risco de doenças e melhora a qualidade de vida em espaços onde a concentração de poluentes pode ser elevada.

A norma também se preocupa com a eficiência energética dos sistemas de climatização, incentivando o uso de tecnologias que minimizam o consumo de energia sem comprometer a qualidade do ar. O cumprimento da ABNT NBR 16401-3 contribui para a padronização das práticas de projeto e instalação, garantindo que todos os profissionais atuem sob diretrizes técnicas unificadas e resultem em instalações consistentes e de alta qualidade.

É importante destacar que essa norma passa por revisões periódicas para se adaptar às inovações tecnológicas e ao avanço do conhecimento científico. A revisão realizada em 2024, por exemplo, trouxe mudanças significativas relacionadas à quantidade interna de CO₂ e outros fatores relevantes.

A aplicação prática das normas técnicas pode se tornar complexa, especialmente devido aos cálculos exigidos. Para facilitar esse processo, *softwares* ou ferramentas *online*, como calculadoras específicas para HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), têm se mostrado recursos valiosos (Cruz, 2023). Essas plataformas auxiliam profissionais na realização de dimensionamentos com maior precisão e agilidade, promovendo a conformidade com os parâmetros normativos e reduzindo o risco de erros operacionais.

Tais ferramentas também contribuem para a democratização do conhecimento técnico e o aprimoramento dos projetos de climatização. A pesquisa de Tôres (2019) aponta que o uso de *softwares* para cálculo de carga térmica e renovação de ar, alinhados à ABNT NBR 16401, otimiza o trabalho dos projetistas e garante maior eficácia nas soluções adotadas.

Nesse contexto, o desenvolvimento de calculadoras *online* com base na ABNT NBR 16401-3 atende a uma demanda crescente dos profissionais da área HVAC, promovendo ambientes internos mais saudáveis, confortáveis e tecnicamente adequados.

Este artigo tem como objetivo apresentar a calculadora *online* desenvolvida e com base na ABNT NBR 16401-3:2024, com a finalidade de facilitar o cálculo da renovação de ar em ambientes climatizados por profissionais e demais usuários que necessitem dessa ferramenta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta os procedimentos adotados para o dimensionamento da vazão de ar exterior com base na ABNT NBR 16401-3, bem como o desenvolvimento de uma ferramenta digital para automatizar esses cálculos.

2.1 Método da ABNT NBR 16401-3

A vazão eficaz de ar exterior Q_{ef} pode ser determinada a partir de dois critérios principais: Q_{ef1} , vazão relacionada à quantidade de pessoas presentes no ambiente; Q_{ef2} , relacionada à área útil ocupada do ambiente.

Ambas as vazões são calculadas conforme as Equações (1) e (2):

$$Q_{ef1} = P_z \times F_p \times D \quad (1)$$

$$Q_{ef2} = A_z \times F_a \quad (2)$$

Onde:

Q_{ef} - vazão eficaz de ar exterior adotada, corresponde ao maior valor entre Q_{ef1} e Q_{ef2} (L/s);

P_z - número de pessoas presentes no ambiente;

F_p - vazão de ar por pessoa (L/s·pessoa), conforme valores tabelados na ABNT NBR 16401-3;

D - fator de diversidade de ocupação;

A_z - área útil ocupada pelas pessoas (m²);

F_a - vazão de ar por metro quadrado de área útil (L/s·m²), também conforme a norma.

A vazão de ar a ser fornecida à zona de ventilação deve considerar não apenas a vazão eficaz requerida, mas também a eficiência da distribuição de ar no ambiente. Com isso, determina-se a vazão corrigida necessária, de acordo com a Equação (3):

$$Q_z = Q_{ef}/E_z \quad (3)$$

Onde:

Q_z — vazão de ar exterior corrigida (L/s);

E_z - eficiência da distribuição de ar na zona de ventilação, fator determinado conforme as tabelas da ABNT NBR 16401-3.

No desenvolvimento do site, o valor do fator de diversidade de ocupação (D) foi adotado como constante e igual a 1. Além disso, não foi realizada a correção em relação à densidade do ar, sendo esta considerada fixa em 1,2 kg/m³, correspondente às seguintes condições ambientais padrão: Pressão barométrica: 101,325 kPa; temperatura: 20 °C e umidade específica: 0 kg/kg.

2.2 Desenvolvimento do site

O desenvolvimento do site teve início com a utilização das linguagens *HTML* (*Hypertext Markup Language*), *CSS* (*Cascading Style Sheets*) e *JavaScript* (Silva, 2015; Oliveira, 2022). As planilhas elaboradas conforme a norma ABNT NBR 16401-3 foram convertidas para o formato .csv (*comma-Separated-Values*) e integradas ao *JavaScript*, que executa os cálculos de forma automatizada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto resultou na criação de um site autoral, denominado Renovacalc, disponível no endereço eletrônico <<https://renovacalc.meutrai.com>> fundamentado na norma ABNT NBR 16401-3. A proposta tem como objetivo disponibilizar uma plataforma de acesso gratuito e de fácil utilização, voltada para a simplificação do cálculo da taxa de renovação do ar, processo que frequentemente é realizado de forma manual. A versão inicial do site está direcionada ao cálculo de um único ambiente, considerando o fator de diversidade 1, sem a aplicação de correções relacionadas à massa específica do ar.

A ferramenta foi submetida a múltiplos testes por profissionais e usuários da área de climatização, com o intuito de identificar possíveis inconsistências nos resultados. Até o presente momento, não foram detectadas divergências, sendo que os valores obtidos apresentaram conformidade com os cálculos analíticos. A primeira versão funcional do site permitia o preenchimento de dados básicos — como número de pessoas, área útil e tipo de atividade — e retornava o valor da vazão de ar exterior com base nas informações inseridas, conforme Figura 1.

Figura 1 – Versão inicial do “renovacalc”.

Nome do Projeto/Espaço:	Nome do Projeto/Espaço: Comércio varejista
Número de pessoas:	Selecione a atividade: Supermercado de alto de alto padrão
Área útil (m²):	Selecione a configuração da Distribuição do ar: Insuflação de ar frio pelo forro
	Valor de ar exterior (L/s): NaN L/s
	Calcular

Fonte: Autores (2025).

A plataforma passou por atualizações progressivas, voltadas principalmente à melhoria da interface e à organização dos campos de entrada, como a inclusão de novos parâmetros (e.g. concentração de CO₂), reorganização da apresentação dos dados e otimização da experiência de uso, conforme Figura 2. As mudanças buscaram tornar a ferramenta mais intuitiva e acessível, sem alterar a lógica central dos cálculos definidos pela norma.

Essas versões evolutivas demonstram o compromisso com a usabilidade, mantendo o foco na funcionalidade essencial: oferecer cálculos confiáveis e de fácil execução conforme os parâmetros técnicos exigidos.

Figura 2 – Versão final do Renovacalc.

Calculadora da
Renovação do Ar

Informações do Projeto

Nome do Projeto/Espaço:

Número de pessoas:

Área útil (m²):

Selecione uma opção

Configuração do Espaço

Selecione uma opção

Selecione uma opção

Distribuição do Ar

Selecione uma opção

Calcular

Limpar

Vazão de ar exterior (L/s):
??

Fonte: Autores (2025).

Para avaliar a usabilidade do site <renovacalc.meutirai.com>, foi aplicado um questionário estruturado com usuários reais. A elaboração das perguntas teve como base os princípios da System Usability Scale (SUS) de Brooke (1986) e as heurísticas de usabilidade de Nielsen (1995), contemplando aspectos como facilidade de uso, clareza das informações, eficiência na execução das tarefas e nível de satisfação durante a interação com a interface. As questões foram organizadas em categorias temáticas, visando à coleta de dados qualitativos e quantitativos capazes de subsidiar melhorias no sistema e validar sua adequação ao público-alvo.

O site contou com um feedback de 22 respondentes da área da refrigeração e climatização. Os usuários-teste foram fundamentais para identificar falhas na plataforma, as quais foram corrigidas posteriormente. Além disso, foram submetidos a um questionário avaliativo com as opções entre sim e não conforme a satisfação do usuário nos seguintes aspectos: primeiras impressões, navegação e estrutura, funcionalidade e interação, design e acessibilidade, satisfação geral.

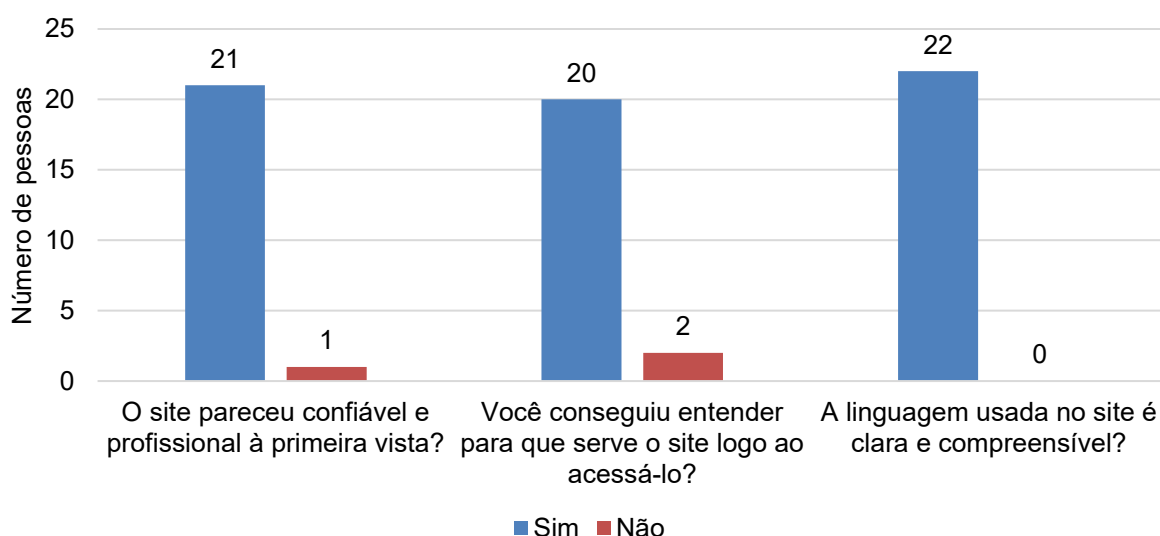
A validação da calculadora foi realizada por meio da comparação dos resultados gerados com os valores obtidos manualmente a partir das equações estabelecidas na norma. Os testes aplicados a diferentes cenários de ocupação, e.g. escritórios, salas de aula e restaurantes indicaram total conformidade entre os valores produzidos pela ferramenta e aqueles estipulados normativamente. Essa consistência comprova a confiabilidade do motor de cálculo implementado em *JavaScript*.

Para avaliar a aplicabilidade e a funcionalidade da ferramenta online Renovacalc, foi realizada uma coleta de dados com usuários da plataforma, por meio de um formulário online. O objetivo foi verificar o nível de familiaridade dos participantes com a metodologia

apresentada na ABNT NBR 16401-3:2024 e observar a percepção geral quanto à experiência de uso da calculadora.

A pesquisa também investigou as primeiras impressões dos usuários ao acessarem o site, conforme representado no Gráfico 1. Os resultados foram amplamente positivos: 21 dos 22 respondentes (95,4%) afirmaram que o site parecia confiável e profissional à primeira vista; 20 (90%) entenderam sua funcionalidade logo ao acessá-lo; e a totalidade dos usuários (100%) considerou clara e compreensível a linguagem utilizada na plataforma. Tais indicadores reforçam a qualidade do trabalho de engenharia de usabilidade adotado na construção do site.

Gráfico 1 – Primeiras impressões.



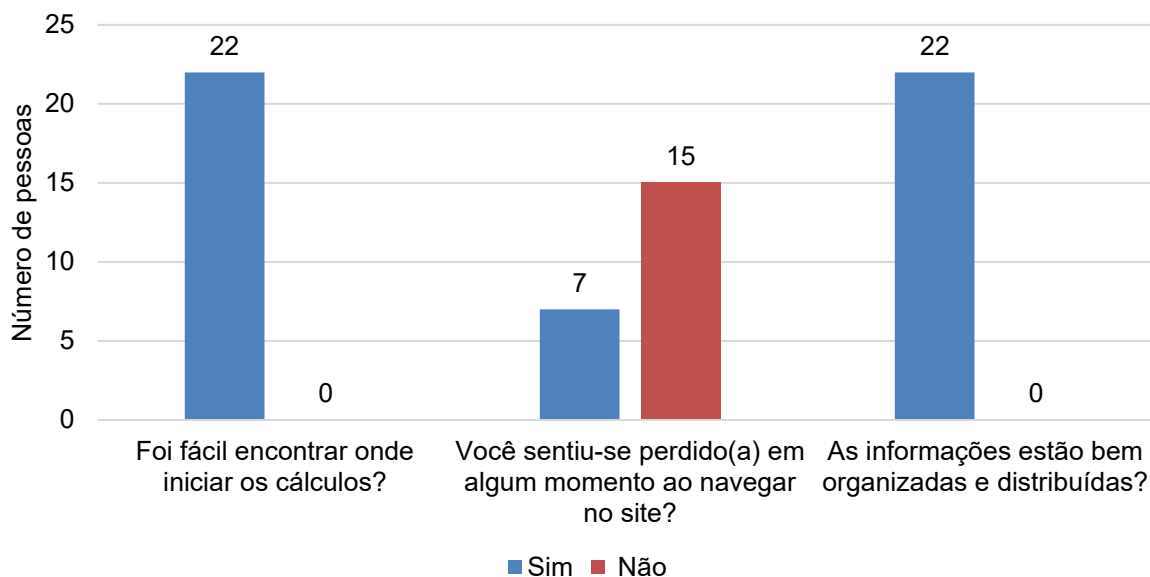
Fonte: Autores (2025).

A clareza na nomenclatura dos campos, a estrutura modular de entrada de dados e o layout simplificado contribuíram significativamente para a boa recepção da ferramenta, mesmo entre os usuários sem experiência prévia com a norma. Isso sugere que o renovacalc consegue conciliar critérios técnicos com acessibilidade e boa experiência do usuário.

Ainda que a maioria absoluta tenha relatado facilidade de uso, as sugestões qualitativas recebidas reforçam a importância de contínuas melhorias na interface, como a inclusão de tutoriais passo-a-passo e funcionalidades para cenários múltiplos de cálculo. Tais aspectos vêm sendo considerados para as próximas versões do sistema.

A análise da experiência de navegação também foi contemplada na pesquisa, conforme ilustrado no Gráfico 2. Todos os usuários (22) considerou fácil encontrar onde iniciar os cálculos, o que indica que os elementos de entrada e o botão de ação estavam visíveis e bem-posicionados na interface. No entanto, 7 participantes relataram ter-se sentido perdidos em algum momento durante a navegação, apontando uma possível necessidade de refinamento na estrutura sequencial ou na orientação inicial oferecida pelo sistema. Isso sugere que, apesar da organização geral ter sido bem avaliada, pode haver momentos em que o fluxo de navegação se torna menos intuitivo, sobretudo para usuários sem familiaridade prévia com sistemas de cálculo normativo.

Gráfico 2 – Navegação e estrutura.

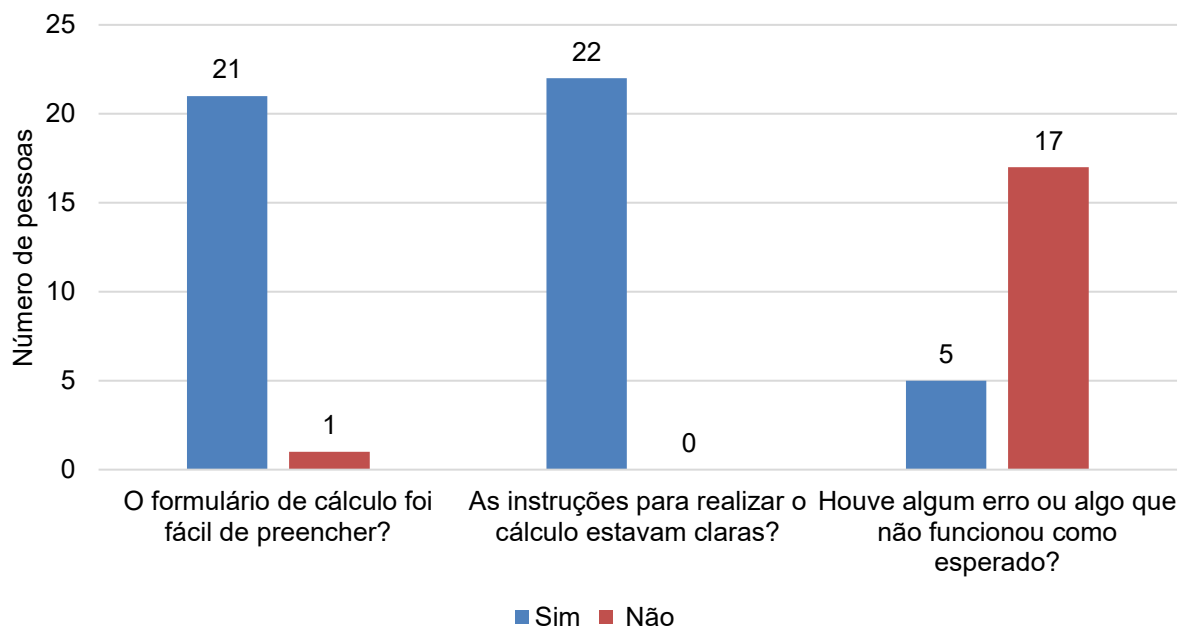


Fonte: Autores (2025).

Ainda assim, 100% dos respondentes afirmaram que as informações estavam bem-organizadas e distribuídas, o que reforça que a estrutura modular do site (dividida por seções de entrada e configuração) está adequada ao objetivo funcional da ferramenta. Com base nos dados do Gráfico 2, fica evidente que, embora o site já apresente uma estrutura funcional bem recebida, existe margem para aprimoramentos na experiência do usuário, principalmente por meio de mecanismos de orientação contextual, como tutoriais interativos, mensagens de ajuda nos campos de entrada e destaque visual na sequência lógica dos cálculos. Tais estratégias podem ajudar a mitigar a sensação de desorientação relatada por alguns usuários.

A avaliação da funcionalidade da ferramenta Renovacalc incluiu a análise do formulário de entrada de dados, das instruções fornecidas para realização do cálculo e da ocorrência de possíveis falhas no processo de interação. Conforme mostrado no Gráfico 3, a quase totalidade dos usuários (21 de 22) considerou o formulário online fácil de preencher, o que demonstra uma adequada escolha dos campos, nomenclaturas compreensíveis e disposição visual funcional. Além disso, 100% dos respondentes afirmaram que as instruções estavam claras, revelando que a comunicação técnica da ferramenta está efetivamente acessível a um público com diferentes níveis de conhecimento sobre a norma.

Gráfico 3 – Funcionalidade e interação.

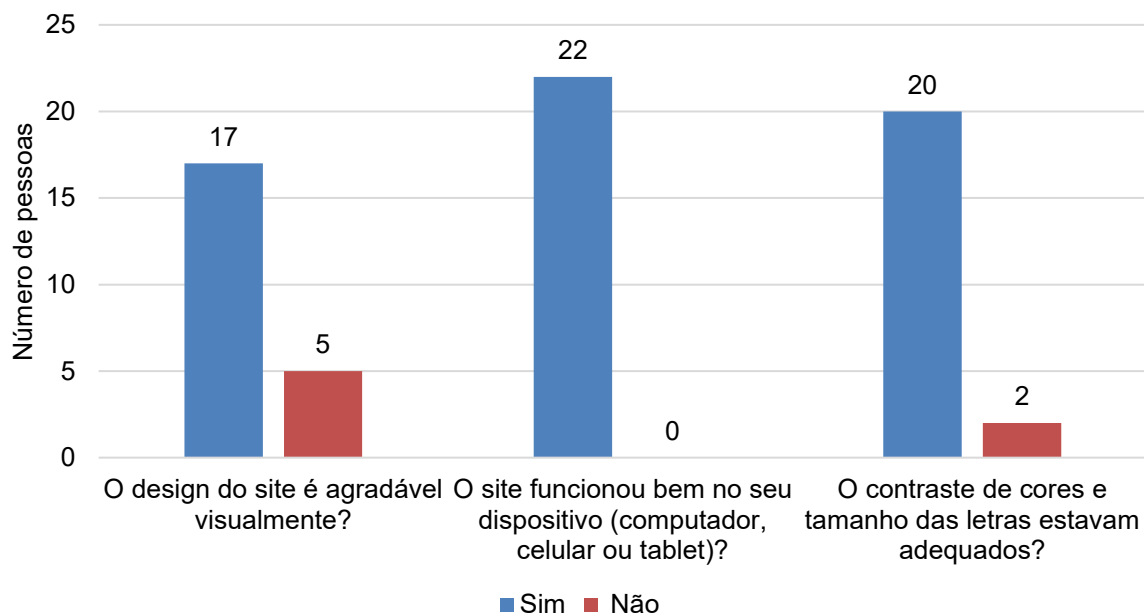


Fonte: Autores (2025).

A última métrica do Gráfico 3 revela um ponto de atenção: aproximadamente 11% dos usuários relataram ter enfrentado algum tipo de falha ou comportamento inesperado durante o uso. Embora os dados não detalhem a natureza exata dos erros, esse resultado ainda assim indica a importância de reforçar as etapas de testes de usabilidade e a estabilidade do código-fonte, especialmente em diferentes navegadores e dispositivos móveis. Após a coleta dos dados, novos testes foram realizados, identificando-se um erro no resultado da vazão de ar exterior: o valor final apresentava, a depender dos valores de entrada, várias casas decimais. A programação foi então readequada, corrigindo o problema observado.

A avaliação final abordou aspectos relacionados ao *design* visual, responsividade e acessibilidade da interface, elementos fundamentais para a experiência do usuário, especialmente em ambientes técnicos com ampla diversidade de perfis profissionais. Como mostra o Gráfico 4, a maioria dos participantes (17 de 22) considerou o *design* do site agradável visualmente, destacando a harmonia entre os elementos gráficos e a interface simplificada. Esse resultado é coerente com as diretrizes adotadas nas versões mais recentes do site, que priorizam um visual limpo e organizado, com foco na clareza das informações e na neutralidade estética.

Gráfico 4 – Design e acessibilidade.



Fonte: Autores (2025).

A responsividade da ferramenta também foi bem avaliada: 22 usuários afirmaram que o site funcionou adequadamente em seu dispositivo, seja em computador, celular ou *tablet*. Esse dado é relevante, uma vez que garante a aplicabilidade da ferramenta em contextos diversos, inclusive em campo ou em visitas técnicas, onde o uso de dispositivos móveis é comum.

A análise de acessibilidade básica, como contraste de cores e tamanho das fontes, também obteve avaliação majoritariamente positiva, conforme Gráfico 4. Apenas dois usuários relataram alguma inadequação, sugerindo que ajustes pontuais podem ser realizados para garantir uma experiência ainda mais inclusiva — especialmente para usuários com limitações visuais ou sensibilidade a cores. Esses resultados reforçam que a plataforma não apenas cumpre seu propósito técnico de cálculo conforme norma, mas também atende aos critérios mínimos de usabilidade, responsividade e acessibilidade, essenciais para sua adoção em larga escala.

A etapa final da avaliação buscou medir o grau de satisfação geral dos usuários em relação ao uso da ferramenta, a eficiência no cumprimento de sua função principal e o nível de recomendação da plataforma. Conforme ilustrado no Gráfico 5, os respondentes indicaram (100%) ter conseguido realizar com sucesso a tarefa proposta, ou seja, concluir o cálculo da vazão de ar exterior conforme os parâmetros normativos estabelecidos.

Gráfico 5 – Satisfação geral.



Fonte: Autores (2025).

Ainda, 95,4% dos usuários relataram que o tempo necessário para concluir o cálculo foi adequado, o que reforça o objetivo central da ferramenta: agilizar um processo técnico normalmente dependente de consulta a normas e tabelas específicas.

De forma bastante significativa, 100% dos participantes afirmaram que recomendariam o uso do site para outras pessoas, evidenciando um alto índice de confiança e aprovação da plataforma como recurso técnico-pedagógico. Tal dado reforça a efetividade do Renovacalc enquanto solução gratuita, prática e validada para a aplicação da ABNT NBR 16401-3:2024.

Os dados obtidos ao longo da avaliação da ferramenta Renovacalc indicam um alto nível de confiabilidade, usabilidade e aceitação por parte dos usuários, com destaque para a clareza das instruções, facilidade de navegação e precisão dos cálculos. A ausência de divergências significativas entre os resultados automatizados e os cálculos manuais, somada à alta taxa de recomendação da plataforma, evidencia o sucesso da proposta em atender às demandas práticas da engenharia de climatização.

Dessa forma, os resultados confirmam que a ferramenta não apenas cumpre seu papel técnico com eficiência, mas também se destaca como um recurso acessível e funcional, com potencial para contribuir significativamente tanto para o cotidiano profissional quanto para a formação acadêmica em engenharia térmica e áreas correlatas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Renovacalc é uma ferramenta online gratuita que automatiza o cálculo da taxa de renovação de ar em ambientes climatizados, conforme a ABNT NBR 16401-3:2024. A ferramenta, disponibilizada no endereço <renovacalc.meutairi.com>, foi desenvolvida com foco em praticidade e precisão. A plataforma permite que profissionais da climatização realizem dimensionamentos técnicos com agilidade, reduzindo erros e tempo de execução.

A interface simplificada e a integração com planilhas normativas tornam a ferramenta acessível mesmo para usuários com pouca familiaridade com os cálculos envolvidos. Sua aplicação direta no cotidiano profissional favorece a padronização de projetos e o cumprimento dos requisitos legais e de conforto ambiental.

Apesar dos resultados positivos, o estudo apresenta algumas limitações. A ferramenta, em sua versão atual, está restrita ao cálculo de ambientes individuais, com fator de diversidade fixo e sem correções para variações na densidade do ar. Além disso, a amostra de usuários para avaliação da usabilidade, embora representativa, foi relativamente reduzida, o que limita a generalização dos resultados. Questões como acessibilidade plena para usuários com deficiência e testes em diferentes navegadores e sistemas operacionais também merecem aprofundamento.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação das funcionalidades da calculadora, incluindo o suporte a múltiplos ambientes, variação de parâmetros ambientais e integração com bancos de dados de projetos. Estudos podem ser conduzidos com amostras mais amplas e diversificadas para validação estatística mais robusta. Além disso, há espaço para explorar o impacto do uso da ferramenta no desempenho de projetos reais de climatização, bem como investigar sua contribuição para o ensino de normas técnicas em cursos de engenharia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3**: Instalações de condicionamento de ar – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BROOKE, J. **SUS: a quick and dirty usability scale**. Reading: Digital Equipment Co. Ltd., 1986. Technical report.

CRUZ, B. L. **Simulação computacional para dimensionamento de equipamento de climatização de sala de aula**. *Revista Científica Semana Acadêmica*, Fortaleza, ano 2023, n. 000230, 6 fev. 2023.

LEE, D. *Automating Excel with VBA and JavaScript*. New York: Apress, 2021.

NIELSEN, J. **10 usability heuristics for user interface design**. *Nielsen Norman Group*, 1995. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

OLIVEIRA, Edécio Fernando. **Lógica de programação e algoritmos com JavaScript**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2022. 352 p.

SILVA, J. A. **Excel 2019: o guia prático para o cotidiano**. São Paulo: Novatec, 2019.

TÔRRES, ÉRICA VALESKA GURGEL. **Levantamento de carga térmica: novo software nacional incluindo renovação de ar (ABNT 16401)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SILVA, Maurício Samy. **Fundamentos de HTML5 e CSS3**. São Paulo: Novatec, 2015. 304 p.

KUHM, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 2. ed, São Paulo: Perspectiva, 1987.

EDUCATIONAL TECHNOLOGY APPLIED TO THE VENTILATION OF AIR-CONDITIONED SPACES: AN ONLINE CALCULATOR BASED ON ABNT NBR 16401-3

Abstract: *This article presents the development of an online calculator, called renovacalc (available at: <https://renovacalc.meutrairi.com>), with the aim of facilitating the calculation of outdoor air flow according to the criteria of the ABNT NBR 16401-3:2024 standard, which is essential for guaranteeing indoor air quality in air-conditioned environments. The tool was built using Excel spreadsheets converted to .csv and integrated into a web system using HTML, CSS and JavaScript. Two versions of the site were launched, with progressive improvements to the interface and usability. Validation was carried out using tests with professionals in the field and questionnaires based on the System Usability Scale (SUS) and Nielsen's heuristics. The results showed high acceptance of the platform: 100% of users considered the language to be clear and accessible. The graphs presented in the study show this data, highlighting the 95.4% rate of users who perceived the site as trustworthy on first contact.*

Keywords: website, air conditioning, air renewal.

