



Utilização de ventilação forçada para o conforto térmico em um galpão agroindustrial

LUCAS, W. A.¹; VIANNA, H. D.¹; GADOTTI, G. I.¹; BUCK, G.¹;

¹Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Palavras-chave:

eficiência energética, qualidade do ar, ambiente de trabalho, unidade de processamento de arroz.

Resumo

A ventilação forçada é crucial para otimizar o conforto térmico e controlar a poluição em ambientes industriais. Este estudo avaliou as condições térmicas em uma unidade de processamento de arroz, propondo soluções para aprimoramento. Foram utilizados medidores de temperatura e umidade para coletar dados no interior do galpão, os quais subsidiaram o dimensionamento do sistema de ventilação. Constatou-se a necessidade de 16 ventiladores axiais circulares para garantir ventilação eficaz, considerando a capacidade de vazão de cada ventilador e as características do ambiente. Esses resultados visam aprimorar a eficiência ambiental e o bem-estar dos ocupantes no ambiente industrial.

Use of forced ventilation for thermal comfort in an agro-industrial warehouse

Keywords: energy efficiency, air quality, working environment, rice processing unit.

Abstract

Forced ventilation is crucial for optimizing thermal comfort and controlling pollution in industrial environments. This study evaluated the thermal conditions in a rice processing facility and proposed solutions for improvement. Temperature and humidity sensors were used to collect data inside the warehouse, which informed the ventilation system design. It was determined that 16 axial fans are required to ensure effective ventilation, considering the airflow capacity of each fan and the characteristics of the facility. These results aim to enhance environmental efficiency and the well-being of occupants in industrial settings.

INTRODUÇÃO

A indústria de processamento de arroz é importante para a economia de muitos países (BELARMINO, 2018). A condição de conforto térmico dos trabalhadores é fundamental para a manutenção da alta produtividade, necessária no período de safra. No entanto, as altas temperaturas internas dessas instalações podem prejudicar a saúde e o bem-estar dos trabalhadores (OLIVEIRA, 2020). A falta de uma boa ventilação natural é um dos principais fatores que contribuem para o aumento da temperatura interna. Isso pode levar a uma série de problemas de saúde, incluindo fadiga, desidratação, problemas de respiração, dentre outros, além de afetar a produtividade dos trabalhadores, ou pode ter um impacto negativo na eficiência dos mesmos (FANGER, 1970; SARRA, 2021).

Somente com a diferença de pressão e a existência de aberturas é possível haver a ventilação natural. A diferença de pressão devido a temperatura provoca o efeito “chaminé”, isto se dá pela diferença de temperatura fazendo com que o ar aquecido, por possuir menor densidade,

desloque-se em direção a cobertura da edificação, gerando assim diferenças de pressão. A diferença de pressão por ação dos ventos e pelo efeito chaminé também podem ocorrer simultaneamente, havendo a conjunção dos efeitos de cada fenômeno (BOWER, 1995; SÁ CAVALCANTI, 2020).

A ventilação forçada, realizada por ventiladores ou exaustores, é crucial para renovar o ar em ambientes onde a ventilação natural é insuficiente. Isso é essencial para controlar a poluição e melhorar o conforto térmico dos usuários da edificação. A ventilação visa deslocar o ar dentro do ambiente, renovando-o e melhorando sua qualidade (MACINTYRE, 1990; VAN DIJKEN, 2020; FRANCESCHINI, et al. 2022). Dessa forma, o trabalho teve como objetivo compreender as condições de conforto térmico em uma unidade de processamento de arroz e propor melhorias térmicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma agroindústria de arroz situada na cidade de Pelotas, no

estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

As dimensões internas e disposição dos equipamentos na edificação foram levantadas com uma trena à laser Leica Disto D8. As dimensões serviram para a modelagem 3D da edificação, conferindo precisão e detalhamento. Isso possibilitou uma visualização realista e imersiva, além de uma análise minuciosa possibilitando a identificação de problemas que poderiam passar despercebidos em uma representação em 2D.

Um software de desenho arquitetônico foi utilizado para criar a planta baixa em 2D da edificação, destacando a disposição dos equipamentos e tanques. Essa representação é importante para dimensionar corretamente o sistema de ventilação, mostrando graficamente a disposição dos elementos internos e identificando as áreas que exigem maior ventilação.

O ambiente interno da edificação foi monitorado através de dois dataloggers modelo HT-70 da marca Instrutherm, para coletar dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR) ao longo de 42 dias, com intervalo de coleta a cada hora. O período

de monitoramento ocorreu de 08 de fevereiro de 2023 a 21 de março de 2023.

Os equipamentos de medição foram instalados 1,5 m de altura em relação ao piso e em dois pontos distintos dentro da edificação, os pontos selecionados foram determinados com base em relatos dos trabalhadores, os quais indicaram que essas áreas apresentavam níveis significativos de desconforto térmico. Um equipamento foi instalado próximo aos tanques de parboilização e outro próximo à região de empacotamento, permitindo uma avaliação abrangente do ambiente térmico. A altura foi estabelecida para garantir a coleta dos dados no ponto de maior troca térmica, localizado na região abdominal, que representa uma área significativa para a avaliação térmica do ambiente. Os dados registrados pelos dataloggers foram comparados aos de uma estação meteorológica próxima da edificação (Estação Agroclimatológica, situada na Estação Experimental de Terras Baixas, mantida pelo convênio Embrapa/UFPel), (EMBRAPA, 2024). A comparação foi realizada para mensurar quão maior é a temperatura na parte interna da edificação em comparação à

externa.

As temperaturas e UR máximas diárias, durante o período de monitoramento, foram plotadas na Carta Bioclimática de Givoni (1992). Para determinar a estratégia bioclimática adequado o número de ventiladores para a ventilação forçada foi determinado com base no cálculo do fluxo de ar necessário. O sistema selecionado deve ser capaz de fornecer ao galpão o fluxo de ar estipulado pela Equação 1:

$$N = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

Onde:

N - número de renovações de ar por hora;

Q - fluxo de ar em m^3/h ;

V - volume interno da edificação em m^3 ;

A Equação 2 foi utilizada para calcular a área de abertura necessária na cobertura da edificação para a retirada do ar interno.

$$Q = C \times A \times \sqrt{h} \times (ti - te) \quad (2)$$

Onde:

Q - fluxo de ar em m^3/h ;

C - coeficiente de resistência ao escoamento do fluxo de ar;

A - área da abertura em m^2 ;

h - altura média entre aberturas de entrada e saída do ar em (m);

ti - T do ar interior ($^{\circ}C$);

te - T do ar exterior ($^{\circ}C$);

Quanto ao sistema de ventilação e consequentemente, o seu dimensionamento adequado, foi utilizada a fórmula para o cálculo do número de renovações de ar e a do fluxo de ar necessário para a ventilação, pelo efeito chaminé (Equação 1 e 2).

O fluxo de calor retirado pelo sistema de ventilação (carga térmica) foi calculado pela Equação 3, tanto com a situação encontrada, e após com o uso dos ventiladores.

$$q = Car \times n \times v \times \Delta t \quad (3)$$

Onde:

q - carga térmica de ventilação (W);

Car - calor específico do ar

(1200 W/m³°C) (FROTA e SCHIFFER, 2001);

n - nº de renovações de ar por segundo;

v - volume do ambiente (m³);

Δt - diferença de temperatura entre interior e exterior da construção;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação das Equações 1 e 2 foi determinado o número de renovações de ar possíveis para o galpão e o fluxo de ar necessário para a ventilação.

O galpão possui um total de 138 unidades de exaustores estáticos em sua cobertura. Cada exaustor possui uma vazão máxima de 4100 m³/h, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e confortável. Esses exaustores captam o ar quente (que possui menor densidade e maior carga de contaminação) e os direcionam para fora através do efeito chaminé. O efeito chaminé é governado pela menor abertura da edificação, que no caso do galpão estudado, é referente as aberturas inferiores.

A vazão total do sistema de exaustão pode chegar 565.800 metros cúbicos por hora (m³/h). Essa informação é crucial para

avaliar a capacidade de renovação de ar do sistema, o que influencia diretamente na qualidade do ambiente interno, na eficiência da ventilação e na conservação dos materiais armazenados no galpão. Um fluxo de ar adequado promove um ambiente mais saudável, seguro e propício às atividades realizadas no espaço (DOS REIS JÚNIOR; DE PAULA; ROSA, 2023).

O volume total da edificação é de 34.880,7 metros cúbicos (m³), um dado essencial para a análise do funcionamento e conforto do espaço. Com base nessa informação, é possível dimensionar adequadamente o sistema de ventilação, garantindo a distribuição adequada de ar fresco e a circulação eficiente para manter um ambiente interno saudável e agradável. Além disso, o conhecimento do volume interno é fundamental para se estabelecer a taxa de renovação de ar. A taxa de renovação de ar é essencial para remover poluentes, gases indesejados e odores, contribuindo para a preservação dos materiais e a segurança dos ocupantes (NASCIMENTO, 2023). Para fábricas, o número de renovação do ar interno da

edificação recomendado é de no mínimo 10 renovações por hora (COSTA, 1982).

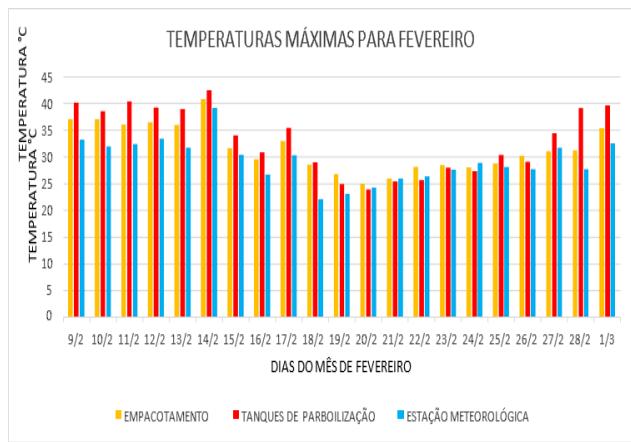
A partir da Equação 1, determinamos a taxa de renovação de ar (N), para tal utilizamos a vazão máxima possível através dos exaustores na cobertura, com isso foi obtido 16,22 renovações acima do mínimo recomendado, indicando que o dimensionamento dos exaustores estáticos está correto. Usando a Equação 2, obtivemos o fluxo de ar devido ao efeito chaminé, que é de 9,82 metros cúbicos por hora (m^3/h). Essa informação é crucial para avaliar a eficiência da ventilação no galpão. Essa vazão é consideravelmente menor que a capacidade total dos exaustores da cobertura, pois o efeito chaminé depende das aberturas das janelas inferiores, que tem 12 m^2 para o galpão estudado.

A partir da Equação 3, determinamos o fluxo de calor que pode ser retirado da edificação pelo sistema de ventilação, ou seja, a carga térmica, que pode chegar a 625.453,15 W quando a ventilação natural é complementada pela ventilação mecânica. Essa informação é importante para se mensurar a quantidade de calor que o sistema

é capaz de remover do ambiente interno, garantindo temperaturas mais confortáveis aos trabalhadores, além de melhorar a eficiência energética do galpão.

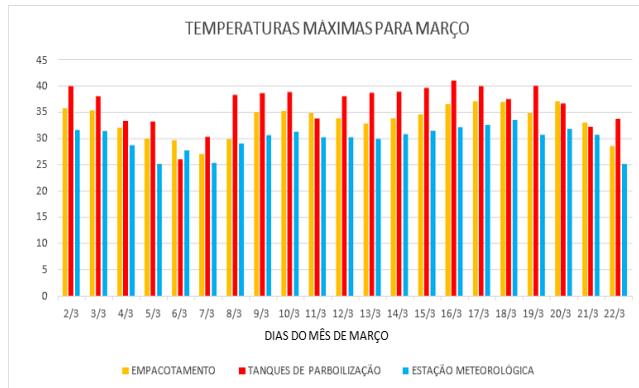
As Figuras 1 e 2 mostram as temperaturas máximas registradas pelos dataloggers e pela estação meteorológica, enquanto as figuras 3 e 4 apresentam os dados de UR ao longo do período monitorado. A representação gráfica dos dados permitiu uma análise detalhada das variações de temperatura e UR, facilitando a compreensão das condições ambientais que afetam o espaço em estudo. Isso possibilitou a identificação de padrões climáticos, variações sazonais e tendências importantes para o dimensionamento e a eficiência dos sistemas de ventilação.

Figura 1. Temperaturas máximas registradas (em C°) em fevereiro pelos dataloggers e estação meteorológica.



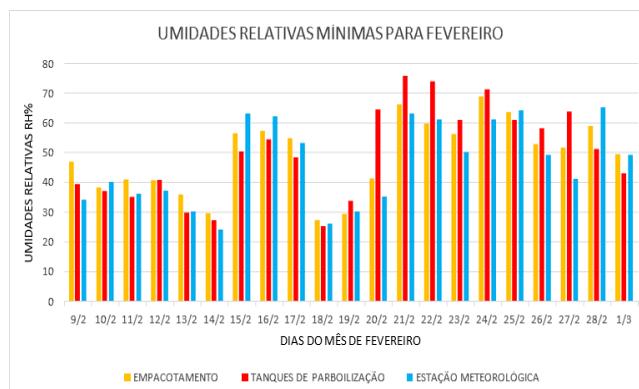
Fonte: Autores (2023).

Figura 2. Temperaturas máximas registradas (em C°) em março por ambos os dataloggers e estação meteorológica.



Fonte: Autores (2023).

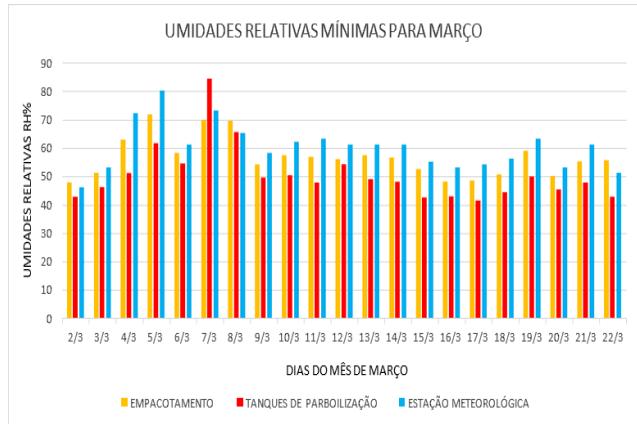
Figura 3. Umidades relativas mínimas registradas (em %) em fevereiro por ambos dataloggers e a estação meteorológica.



Fonte: Autores (2023).

Figura 4. Umidades relativas

mínimas registradas (em %) em março por ambos dataloggers e a estação meteorológica.

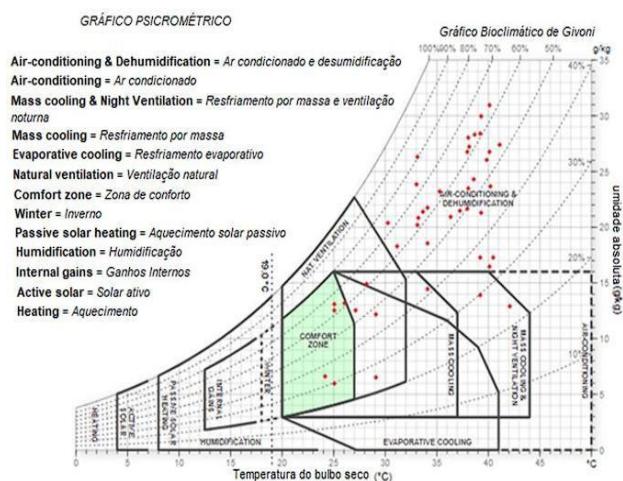


Fonte: Autores (2023).

A metodologia desenvolvida por Givoni (1992) é reconhecida como a mais apropriada para as condições climáticas do Brasil. O modelo detalhado da Carta Bioclimática de Givoni oferece uma visualização das estratégias bioclimáticas sugeridas de acordo com ambiente interno da edificação. O uso da carta é especialmente relevante em um país de dimensões continentais como o Brasil, onde as variações climáticas podem ser significativas entre as regiões (ROSSATO, 2020; LAMBERTS et al., 2014). Nas figuras 5 e 6 estão plotados os valores de temperatura e UR medidos com os *dataloggers*.

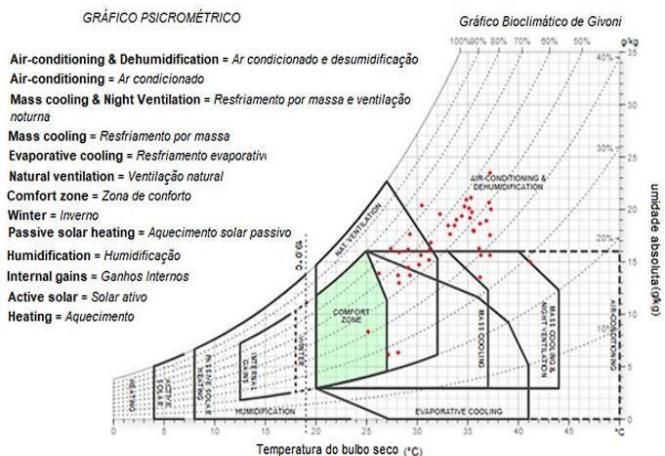
Figura 5. Estratégia bioclimática recomendadas para o conforto térmico próximo aos tanques de

parboilização na Carta Bioclimática de Givoni.



Fonte: Adaptado pelos autores de Psychrometric Chart (2023).

Figura 6. Estratégia bioclimática recomendadas para o conforto térmico próximo ao empacotamento na Carta Bioclimática de Givoni.



Fonte: Adaptado pelos autores de Psychrometric Chart (2023).

Ambas as cartas bioclimáticas destacam a recomendação do uso de sistemas de ar condicionado como a estratégia mais eficaz para a melhoria do conforto térmico na edificação, dada a sua capacidade de controlar a temperatura e a

umidade de forma precisa e rápida. No entanto, para o setor de empacotamento, a ventilação natural foi identificada como uma alternativa eficiente, especialmente em ambientes onde as condições meteorológicas favorecem a circulação de ar fresco de forma natural, resultando em economia de energia.

Apesar da recomendação do sistema de ar condicionado, a empresa optou pelo uso da ventilação forçada devido às razões econômicas. Os ventiladores são uma opção mais acessível, em termos de investimento e exigem um menor tempo na instalação e consequentemente, menor interrupção nas atividades na agroindústria. Essa escolha alinhou-se com as necessidades e circunstâncias específicas da empresa, oferecendo uma abordagem equilibrada entre eficiência econômica e melhoria nas condições de conforto térmico para os funcionários.

Ao dimensionar-se os ventiladores é recomendado a seleção de equipamentos com uma vazão igual à capacidade máxima de exaustão do sistema que, no caso do galpão estudado, são os exaustores estáticos existentes na cobertura da edificação. Essa escolha garante uma ventilação adequada em diferentes situações, considerando

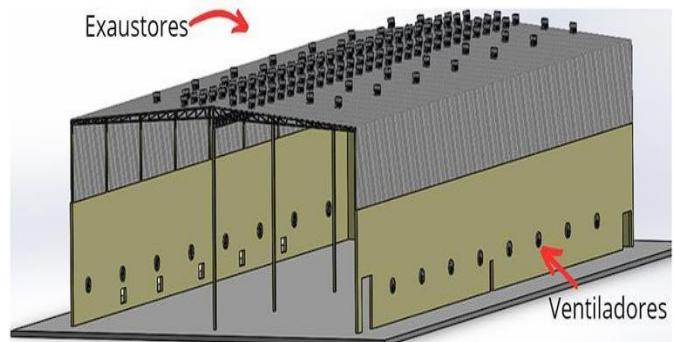
o pior cenário, quando a máxima capacidade de exaustão é necessária, garantindo uma circulação eficiente de ar e mantendo um ambiente interno saudável e confortável.

Para atender ao número de renovações de ar (16,22 vezes por hora), considerando-se à vazão máxima dos exaustores (565.800 m³/h), optou-se por ventiladores axiais. O modelo escolhido foi o ventilador axial de formato circular de 9 pás trifásico com proteção contra explosão. Cada ventilador tem uma capacidade máxima de vazão de 37.200 m³/h. Com base no cálculo do volume de ar a ser removido, são necessários 16 ventiladores para atender plenamente às necessidades de ventilação forçada.

No projeto de ventilação em agroindústrias, a disposição cuidadosa dos ventiladores axiais é importante para garantir a eficácia da circulação de ar e o conforto térmico no ambiente de trabalho. Diversos fatores devem ser considerados para otimizar o desempenho desse sistema. Primeiramente, é importante evitar que os ventiladores sejam posicionados diretamente um em frente ao outro, o que poderia causar turbulências no fluxo de ar. A estratégia de posicionamento

deve promover um fluxo de ar contínuo e uniforme, instalando-se os ventiladores nas paredes de maior área. A altura de instalação em relação ao piso, deve equilibrar a circulação de ar e a comodidade dos ocupantes do espaço. Além disso, os ventiladores devem ser integrados de forma integrada aos exaustores em um sistema de ventilação, proporcionando uma circulação de ar completa e eficiente. Na figura 7 é demonstrado uma modelagem 3D do galpão com o sistema de ventilação forçada dimensionado.

Figura 7. Modelagem 3D com a disposição dos ventiladores e exaustores na agroindústria.



Fonte: Autores (2023).

CONCLUSÕES

As medições registraram altas temperaturas, destacando a necessidade de um sistema de ventilação eficaz. Em todo o período de monitoramento, a temperatura interna na edificação foi superior à externa, demonstrando que a edificação

não confere proteção aos trabalhadores nos dias quentes.

O ventilador é mais eficaz do que as janelas abertas, pois opera de forma consistente (vazão de ar constante), independentemente das condições do tempo.

A ventilação forçada é recomendada para melhorar as condições internas em uma edificação. São necessários 16 ventiladores axiais para aproveitar a capacidade máxima dos exaustores já instalados. Optou-se por ventiladores axiais devido à sua economia em relação ao ar condicionado, o qual proporciona um equilíbrio entre eficiência e custo. A ventilação forçada representa uma medida financeiramente econômica, sendo responsável para otimizar as operações e garantir o sucesso da agroindústria.

REFERÊNCIAS

BELARMINO, Luiz Clóvis; SOUZA, Ângela Rosane Leal de; AZAMBUJA, Isabel Helena Vernetti; MIRITZ, Luciane Dittgen. Aspectos da economia do arroz irrigado no bioma pampa. In: CONGRESSO SOBER SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 56., 2018, Campinas.

Transformações Recentes na

Agropecuária Brasileira: Desafios em Gestão, Inovação, Sustentabilidade e Inclusão Social. Campinas: Unicamp, 2018. p. 1-15.

BOWER, J. - Understanding Ventilation: How to design, select, and install residential ventilation systems, The Healtly House Institute, 1995.

CLEZAR, C. A, NOGUEIRA, A. C. R. Ventilação industrial. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

COSTA, Ennio Cruz da. Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural. São Paulo: Blucher, 1982.

DOS REIS JÚNIOR, Márcio Eustáquio; DE PAULA, Lucas Davis Ribeiro; ROSA, Diego de Jesus Queiroz. Engenharia civil e a criação de ambientes hospitalares promotores da prevenção de infecções: fatores de projeto em foco. Paramétrica, v. 15, n. 2, 2023.

EMBRAPA. Laboratório de Agrometeorologia. Disponível em: <https://agromet.cpact.embrapa.br/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FANGER, P. O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering., 1970. Copenhagen: Danish Technical Press.

FRANCESCHINI, P. B.; LIGUORI, I. N.; NEVES, L. DE O.. Condições de conforto térmico e QAI em salas de aula naturalmente ventiladas durante a pandemia de Covid-19. *Ambiente Construído*, v. 22, n. 4, p. 217-231, out. 2022.

FROTA, A.B; SCHIFFER, S.R. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 5^a edição.

Givoni, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: *Energy in Buildings*, vol. 18, July/92, pp. 11-23. 1992.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. DE P.; GOULART, S.; VECCHI, R. de. Conforto e stress térmico. Apostila da disciplina ECV 4200: Conforto Ambiental. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. 139p.

MACINTYRE, A. J. Ventilação Industrial e Controle da Poluição. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

NASCIMENTO, Salomão Ramos do; MACIEL, Paulo Fernando Figueiredo; OLIVEIRA NETO, Benjamin Batista de; FARIA, Nei Junior Da Silva. Análise de conformidade de um sistema de ventilação em concordância com a NBR 14518 instalado em uma cozinha profissional no IFAM-campus Manaus centro. 2023.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.;

BOTTEGA, E. L. Conforto térmico de trabalhadores rurais durante a colheita do tabaco. *Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas*, v. 14, n. 3, p. 299-308, 2020.

Adaptado pelos autores de: Psychrometric Chart. [Ferramenta online]. Disponível em: <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>. Acesso em: 2023.

ROSSATO, Maíra Suertegaray. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. *Entre-lugar*, v. 11, n. 22, p. 57-85, 2020. SÁ CAVALCANTI, Fernando; DE L CAVALCANTI, Gabriela L.; DE ALMEIDA BLASO, Thiago. Otimização do uso de projeto padrão de unidades básicas de saúde quanto à eficiência energética e ventilação natural. *Revista de Arquitetura IMED*, v. 9, n. 2, 2020.

SARRA, Sheila Regina; MÜLFARTH, Roberta Consentino Kronka. Importância da percepção dos usuários na avaliação de conforto térmico e qualidade do ar. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 12529-12548, 2021.

VAN DIJKEN, F. Guidance for schools. Brussels: REHVA Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations.