

# A IMPORTÂNCIA DA RENOVAÇÃO DO AR EM AMBIENTES INTERNOS: ABORDANDO SAÚDE, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

*Data de aceite: 01/03/2024*

### **Alexandre Fernandes Santos**

Universidade Beira Interior, Covilhã,  
Portugal.  
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

### **Eliandro Barbosa de Aguiar**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Darlo Torno**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Daiane Busanello**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Fabio Francisco Ferreira**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Heraldo José Lopes de Souza**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

### **Natalia Tinti**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

### **Márcia Cristina de Oliveira**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Sandro Adriano Zandoná**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

**RESUMO:** O artigo aborda a importância da renovação de ar em ambientes fechados para garantir a qualidade do ar interior e prevenir a Síndrome do Edifício Doente (SED). Normas e regulamentações estabelecem parâmetros para a qualidade do ar, e a utilização de sistemas de ar-condicionado com renovação de ar é fundamental para atender a esses requisitos. Um estudo de caso em uma sala de aula demonstrou os benefícios da utilização de recuperadores de calor, que reduzem a carga térmica necessária e o consumo de energia. Conclui-se que essas medidas são essenciais para promover a eficiência energética e o conforto térmico dos ocupantes dos edifícios, contribuindo para a saúde e o bem-estar das pessoas e para a sustentabilidade do setor de construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Renovação de ar, Síndrome do Edifício Doente (SED), Recuperador de calor

**ABSTRACT:** The article addresses the importance of air renewal in enclosed spaces to ensure indoor air quality and prevent Sick Building Syndrome (SBS). Standards and regulations establish parameters for air quality, and the use of air conditioning systems with air renewal is essential to meet these requirements. A case study in a classroom demonstrated the benefits of using heat recovery systems, which reduce the required thermal load and energy consumption. It is concluded that these measures are essential to promote energy efficiency and thermal comfort for building occupants, contributing to people's health and well-being and the sustainability of the construction sector.

**KEYWORDS:** Air renewal, Sick Building Syndrome (SBS), Heat recovery.

## INTRODUÇÃO

Em projetos de climatização é fundamental considerar a adição de ar externo para ambientes fechados como escritórios, escolas, hospital, shoppings, entre outros. Uma das principais necessidades é evitar problemas de saúde, sendo que a *The American Society for Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering (ASHRAE)* estabelece que se um edifício estiver com mais de 20% de pessoas com sintomas de alguma doença ou desconforto ao estar expostos a este ambiente, o ambiente é considerado como uma edificação que se enquadra como Síndrome do Edifício Doente (SED).

Segundo Teixeira (2005) a falta de renovação de ar em ambientes fechados provoca o acúmulo de poluentes químicos (monóxido e dióxido de carbono, dióxido de enxofre, formaldeído, amônia, entre outros) e biológicos (fungos, algas, protozoários, bactérias, ácaros), tornando assim o ar perigoso para a saúde humana, sendo um fator de risco para pessoas com doenças respiratórias. Portanto, a falta de circulação de ar renovado irá fazer que este ambiente seja um local propício para a disseminação de doenças respiratórias. O ambiente com alto índice desses poluentes fazem parte do SED, onde a Organização Mundial de Saúde (OMS) reconheceu este problema em 1982.

Na década de 70, conforme explica Graf (2018), uma crise energética se alastrou globalmente devido a conflitos entre os países exportadores de petróleo do Oriente Médio. Como consequência o petróleo sofreu uma redução na produção e um aumento de valor que chegou a 400% em sua cotação no ano de 1973. Neste mesmo período, os engenheiros da época buscando alternativas de reduzir o consumo de energia elétrica, começaram a reduzir drasticamente a taxa de ar externo de edificação e devido a esta a atitude começou-se a ter os primeiros relatos da SED (MARTÍNEZ; CALLEJO, 2006).

No contexto nacional, o Ministério da Saúde do Brasil publicou em 08 de agosto de 1998 a PORTARIA N°3523 (BRASIL, 1998) a qual define importantes valores e definições para manter a qualidade de ar interno (QAI) como descrito Art. 4° a Síndrome do Edifício Doente: *consiste no surgimento de sintomas que são comuns à população em geral, mas que, numa situação temporal, pode ser relacionado a um edifício em particular. Um incremento substancial na prevalência dos níveis dos sintomas, antes relacionados,*

proporciona a relação entre o edifício e seus ocupantes e ainda no Art. 5º pode-se citar a necessidade imposta pela portaria de atender um nível mínimo de ar de renovação, sendo de 27m³/h/pessoa, e uma filtragem mínima de classe grossa (G1)

Em 1984, a OMS estimou que até 30% dos edifícios poderiam estar afetados com a SED. No início década de 80, o conceito da SED estava correlacionado a problemas ao ambiente, onde a Tabela 1 mostra alguns dos principais sintomas associados a SED. No entanto, o conceito evolui e incluiu aspectos psicológicos, implicações econômicas, economia de energia e mudanças climáticas (ISRAELI; PARDO, 2011).

Sintomas relacionado ao trabalho	Ocorrência (%)
Letargia	57
Nariz trancado	47
Garganta seca	46
Dor de cabeça	43
Coceira nos olhos	28
Olhos secos	27
Nariz escorrendo	23
Gripe	23
Dificuldade de respiração	9
Dor no peito	9

Tabela 1 – Sintomas associados a SED. Fonte: (ISRAELI; PARDO, 2011)

Brasche (2001) concluiu que mulheres sofrem mais com SED ao se comparar com os homens, pois de todas as mulheres presentes no estudo, 44,3% sofrem com doenças relacionadas ao SED, enquanto apenas 26,2% do total dos homens enfrenta este tipo de problemas, tal como é apresentado na Tabela 2. No entanto, essa diferença percentual entre gêneros ocorre devido a posição dentro da empresa, no mesmo estudo, quando homens e mulheres estão em ambientes com a mesma QAI, as taxas de ocorrência da SED são mais elevadas em mulheres.

		Mulheres		Homens	
		n = pessoas	%	n = pessoas	%
SED	Com sintomas	393	44.3	151	26.2
	Sem Sintomas	495	55.7	426	73.8
	Total	888	100	577	100

Tabela 2 Diferenças relacionadas ao gênero no SED. Fonte: (BRASCHE, 2001)

Por outro lado, o Ministério da Saúde publicou em janeiro de 2003 a RESOLUÇÃO RE N°09 (BRASIL, 2003), a qual apresenta informações complementares da PORTARIA N° 3.523/98. Uma das definições apresentadas na RE-09 é o conceito de ar-condicionado, que corresponde ao processo de tratamento do ar, destinado a manter os requerimentos de QAI do espaço condicionado, controlando variáveis como a temperatura, umidade, velocidade, material particulado, partículas biológicas e teor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Assim como as definições, a RE N°09 também apresenta alguns parâmetros de valores máximos recomendáveis destinados a contaminação microbiológica, o qual é 750 ufc/m<sup>3</sup> (Unidade Forma de Colônia/metro cúbico), e da contaminação química sendo seu valor 1000 ppm para a concentração do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 80 µg/m<sup>3</sup> de aerodispersóides. Além destes parâmetros, tem-se as faixas recomendáveis de operação em relação à temperatura, umidade, velocidade do ar, taxa de renovação de ar e grau de pureza do ar que devem estar de acordo a Norma Brasil de Regulamentação – NBR 16401-3 – Qualidade do ar Interior (ABNT, 2008). Levando em consideração as informações apresentadas pela PORTARIA N°3523, a RE N°09 teve uma atualização do parâmetro de vazão de ar externo onde a taxa de renovação do ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m<sup>3</sup>/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas. Nestes casos, a taxa de renovação do ar mínima será de 17 m<sup>3</sup>/hora/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO<sub>2</sub>, maior ou igual a 1000 ppm.

Um ponto importante para controlar a QAI é manter os equipamentos em plena operação e para isto foi necessário a criação de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC). No Brasil, a Casa Civil publicou a Lei N°13.589 de janeiro de 2018 (BRASIL, 2018), que obriga a edifícios públicos e coletivos a manterem o PMOC ativo, garantindo assim as faixas estabelecidas para uma boa QAI.

Para a definição da vazão de ar externo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) padronizou na NBR 16401-3 (ABNT, 2008) uma metodologia diferente da RE-09 e da PORTARIA N°3523, que determina a vazão eficaz de ar externo através da equação (1):

$$V_{ef} = P_z \cdot F_p + A_z \cdot F_a \quad (1)$$

Onde:

$V_{ef}$  = É a vazão de ar eficaz referente ao ar exterior, expressa em litros por segundo (l/s);

$F_p$  = é a vazão de ar por pessoa, expressa em litros por segundo (l/s\*pessoa);

$F_a$  = é a vazão de ar por área útil ocupada (l/s\*m<sup>2</sup>);

$P_z$  = é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

$A_z$  = Área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m<sup>2</sup>);

Os valores a serem adotados na equação (1) estão na NBR 16401-3 – Qualidade do ar interior (ABNT, 2008).

Apenas ampliar a renovação de ar em edificações sem o tratamento adequado não resolve todos os problemas relacionados à QAI. De acordo com Che et al. (2019), essa metodologia pode gerar um aumento na umidade interna, que pode incrementar substancialmente o potencial de crescimento microbiológico, assim como o acréscimo da ventilação pode aumentar a concentração de poluentes no ambiente. No entanto, essa prática de aumentar a taxa de renovação de ar estabeleceu-se entre os projetistas, principalmente após do início da pandemia (ABRAVA, 2021). As recomendações de ar externo são estipuladas a cada tipo de projeto, onde projetistas buscam aumentar a taxa de ar externo ao máximo permitido de acordo com a NBR 16401-3 – Qualidade do ar interior (ABNT, 2008), além do sistema proporcionar o controle de temperatura, umidade e filtragens específicas para a condição do ambiente em questão, e para isso, caso seja necessário, considerar a utilização dos recuperadores de calor como rodas entálpicas, pois estes conseguem prover uma economia de energia à edificação.

De acordo com Pargeter (2012), o consumo de energia demandado pelas práticas convencionais de tratamento de ar para climatizar edifícios comerciais, representam uma média de 10% de toda a energia gasta nos Estados Unidos. O autor também observou que uma grande parte do consumo de energia para climatizar esses prédios comerciais se deve a renovação de ar, pois trata-se de uma condição totalmente diferente das condições internas de conforto. Além do consumo de energia elétrica, quanto maior for a taxa de renovação de ar, maiores serão os sistemas centrais de tratamento ar, e conseqüentemente, maiores serão os investimentos e custos de manutenção desse sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC).

Além de ser importante para a saúde, a renovação de ar tem seus impactos térmicos. Como exemplo disto, pode-se considerar um teatro localizado na cidade de Atlanta, que possui uma carga térmica de fator de calor sensível de 75%, a carga térmica do ar externo pode significar até 50% do total da carga térmica, ou seja, o ar externo para locais mais ocupados tem fator predominante na carga térmica e no consumo de energia de um sistema de ar-condicionado (KOSAR et al., 1998).

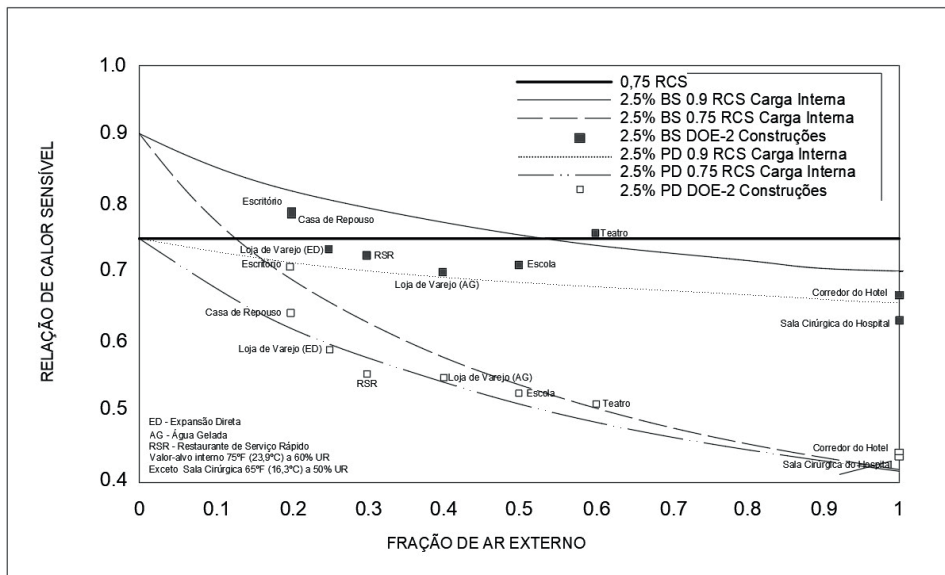


Figura 1 – Condições do ar externo do fator de calor sensível para a cidade de Atlanta.

Fonte: Adaptado de (KOSAR et al., 1998)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2018), no Brasil o consumo de energia elétrica total previsto para 2050 será de 1.600.000 GWh, sendo que os dados de 2021 de consumo alcançaram a marca de 500.209 GWh (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021). Observa-se que na Figura 2 é possível identificar o consumo energético de diferentes setores no Brasil e a projeção até o ano 2050.

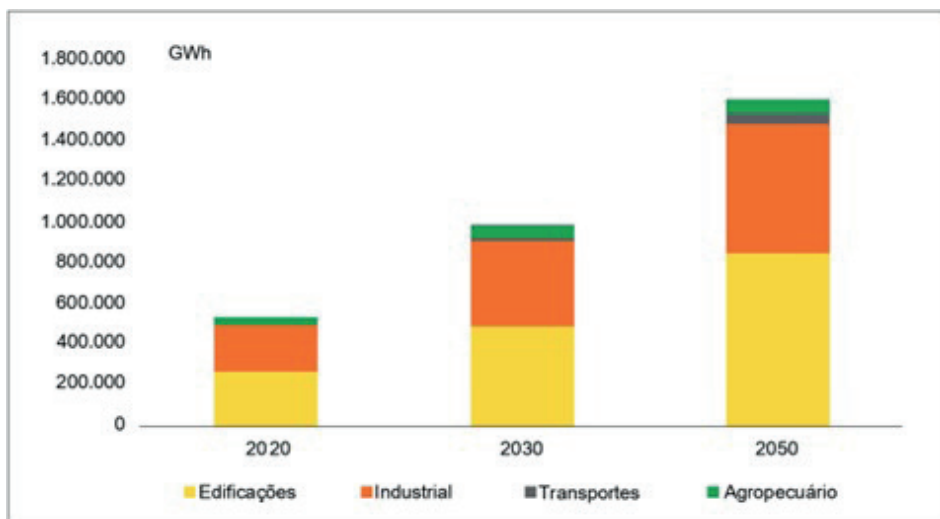


Figura 2 – Projeção de Consumo de energia elétrica setorial.

Fonte: Adaptado de (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018)

A Figura 3 mostra as parcelas responsáveis pelo consumo de energia para o ano de 2021, sendo que o setor de edificações representa aproximadamente 50% -sendo a soma dos setores residencial, comercial e público – levando esses dados para o setor de AVAC, como evidencia-se na Figura 4, o consumo de energia elétrica despendido para o sistema de climatização pode representar até 40% da energia total das edificações, correspondentes ao 20,4% do consumo total de energia do país.

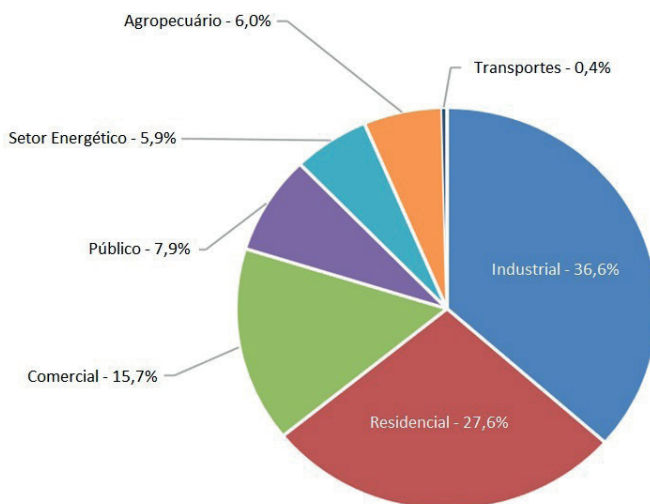


Figura 3 – Decomposição de consumo final de eletricidade em 2020.

Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL), 2021)

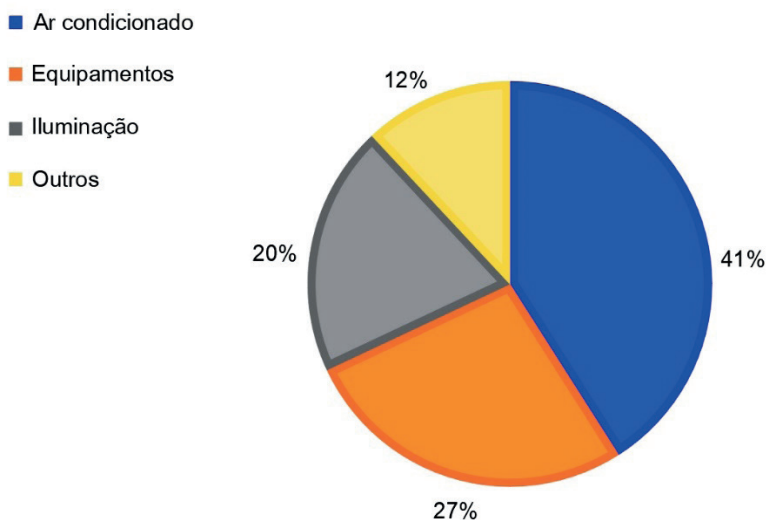


Figura 4 – Segregação do consumo de energia de uma edificação pública em Porto Alegre/RS.

Fonte: (TOMAZI; RODRIGUES; SCHNEIDER, 2020)

De acordo com International Energy Agency (IEA,2018), cerca de 2/3 das residências ao redor do mundo terão um aparelho de ar condicionado instalado até o ano de 2050. Outro dado apresentado demonstra a dimensão deste mercado, sendo que o estoque previsto para este mesmo período, representa a venda de 10 condicionadores de ar por segundo pelos próximos 30 anos. Existe uma expectativa que os sistemas de resfriamento de ar possam representar mais de 20% do crescimento da demanda de energia elétrica do mundo, considerando que não haja novas tecnologias mais eficientes para condicionamento do ar.

Segundo Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento ABRAVA (2022), o setor do ar-condicionado e refrigeração brasileiro representou um faturamento de cerca de R\$37,98 Bilhões no ano de 2021, sendo que o crescimento percentual foi de 9,8% em relação ao ano 2020, enquanto a expectativa de crescimento para o ano de 2022 é de 5,5%. A quantidade de ar-condicionado tipo Split que foram produzidos em 2021, ultrapassou 3,5 milhões de unidades. Este expressivo aumento de vendas no setor de AVAC resultará em um aumento do consumo de energia.

Desta forma, programas voltados a eficiência energética foram criados a fim obter melhores resultados quando se refere aos sistemas de ar-condicionado, aumento do ar de renovação, e o consumo de energia elétrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de minimizar os problemas relacionados a SED apresentados na Tabela 1, é necessário que seja projetado um sistema de ar-condicionado com renovação de ar, o qual deve atender as condições estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), indicadas na RESOLUÇÃO RE N°09 e/ou NBR 16401-3.

Com o objetivo de apresentar um estudo prático da aplicação da renovação de ar e a utilidade do recuperador de calor, foi elaborado um estudo de caso com duas simulações para uma sala de aula que obtém as seguintes características:

Tipo de Recinto: Sala de aula

Área total: 4.629 m<sup>2</sup>

Ocupação total em sala de aula = 1000 pessoas

Para se adequar a todas as legislações e normas brasileiras, é necessário confrontar os valores da RE N°09 e a NBR 16401-3. Considerando a RE N°09 e por se tratar de sala de aula, o valor a ser utilizado seria de 17 m<sup>3</sup>/h/pessoa e ao mesmo tempo por ser um recinto de grande rotatividade devido a quantidade de pessoas, a vazão mínima de ar externo seria de 17.000 m<sup>3</sup>/h.

Enquanto isso, pela NBR 16401-3, a vazão seria determinada pela Equação (1), onde os respectivos valores de  $P_z$  e  $A_z$  e para salas de aulas são 5 pessoas e 0,6



m<sup>2</sup>, respectivamente. Desta forma consegue-se determinar que a vazão de ar eficaz é equivalente a  $V_{ef} = 28.000\text{m}^3/\text{h}$ .

Para este estudo de caso, quando confrontadas as metodologias de determinação de da vazão mínima necessária de ar externo, opta-se por seguir com a metodologia da NBR 16401-3 que entrega a maior vazão de ar entre as duas metodologias.

A ilustração da Figura 5 apresenta com clareza as parcelas da carga térmica que atuam sobre o ambiente de estudo e que devem ser consideradas para o levamento de carga térmica do local.

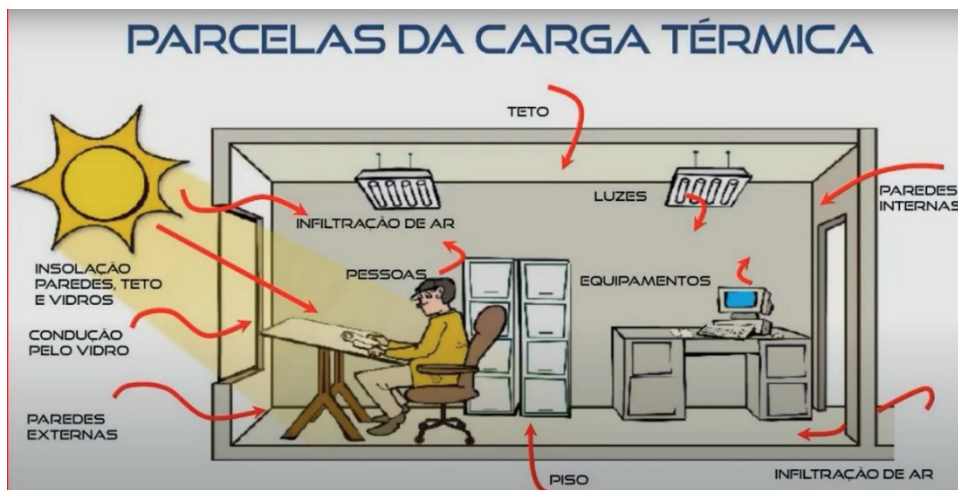


Figura 5 – Parcelas da carga térmica. Fontes: (HASHIM et al., 2019)

Uma vez apresentada as fontes de carga térmica que atuam sobre o ambiente de estudo e a carga térmica do ar de renovação quantificada em 73 Toneladas de Refrigeração (TR), a Figura 6 exemplifica o sistema de tratamento de ar externo com vazão de 28000 m<sup>3</sup>/h. Em seguida será apresentada as duas simulações propostas para o tratamento deste ar de renovação, sendo uma sem a utilização do recuperador de calor e com a utilização do recuperador de calor.

Método 1 – A unidade de tratamento de ar apresentada na Figura 6 é capaz de tratar toda a carga térmica do ar externo que será inserido ao ambiente. Este método não é econômico, pois trata-se o ar de renovação diretamente na unidade de tratamento de ar (UTA), sem nenhuma metodologia de economia de energia.

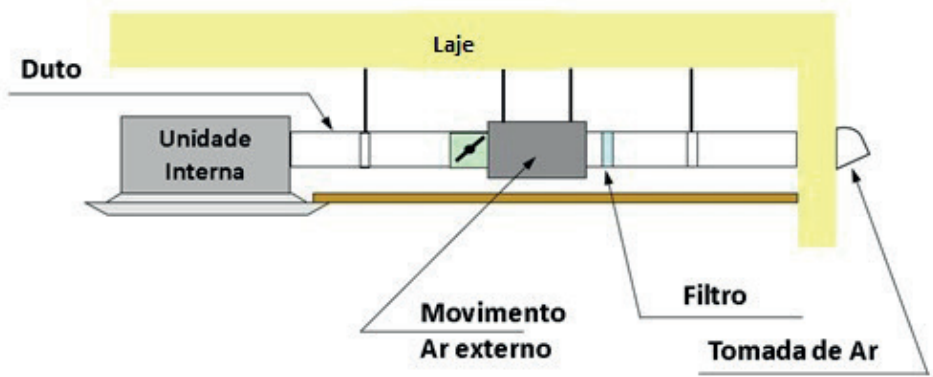


Figura 6 – Representação UTA com captação de ar externo: Fonte: Os Autores.

Método 2 – Alocar um recuperador de calor entálpico que aproveita a diferença de energia entre ar externo e interno antes da UTA. A Figura 7 representa apenas o sistema intermediário.

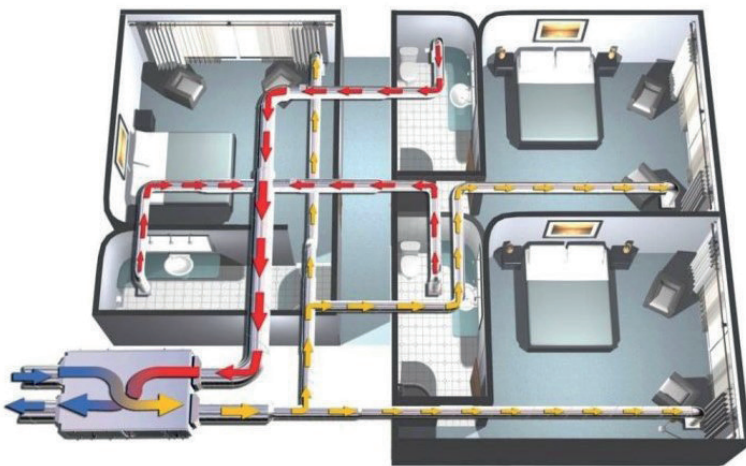


Figura 7 – Representação de um sistema de recuperação de calor em um ambiente. Fonte: (GEOTERMAL54, 2021).

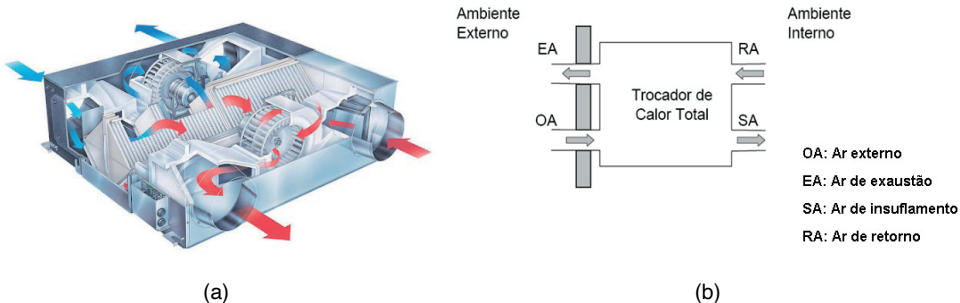


Figura 8 – (a) Recuperador de Trocador de calor de placas.

Fonte: (Lee, 2005)

(b) Pontos de entrada e saída de ar de um recuperador de calor.

Fonte: Os Autores

A Figura 8 (b) é apresentada com o objetivo de deixar mais claro o funcionamento do Recuperador de calor apresentado na Figura 8 (a).

A eficiência do trocador de calor é expressa de acordo com as equações 2 e 3, sendo que a equação 2 representa a Eficiência de troca de temperatura (sensível) e a equação 3 representa a eficiência de troca do calor total (entalpia).

$$n_t = \frac{t(OA) - t(SA)}{t(OA) - t(RA)} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$n_t = \frac{i(OA) - i(SA)}{i(OA) - i(RA)} \cdot 100\% \quad (3)$$

As premissas para o cálculo de carga térmica são dadas pela Tabela 3.

Condições Externas (AO):		Condições Internas (RA)	
Temperatura de Bulbo Seco (t)	35.1°C	Temperatura de Bulbo Seco (t)	24.0°C ± 1°C
Entalpia (i)	19 kcal/kg	Entalpia (i)	11.5 kcal/kg

Tabela 3 – Condições de psicrométricas.

Fonte: Os Autores.

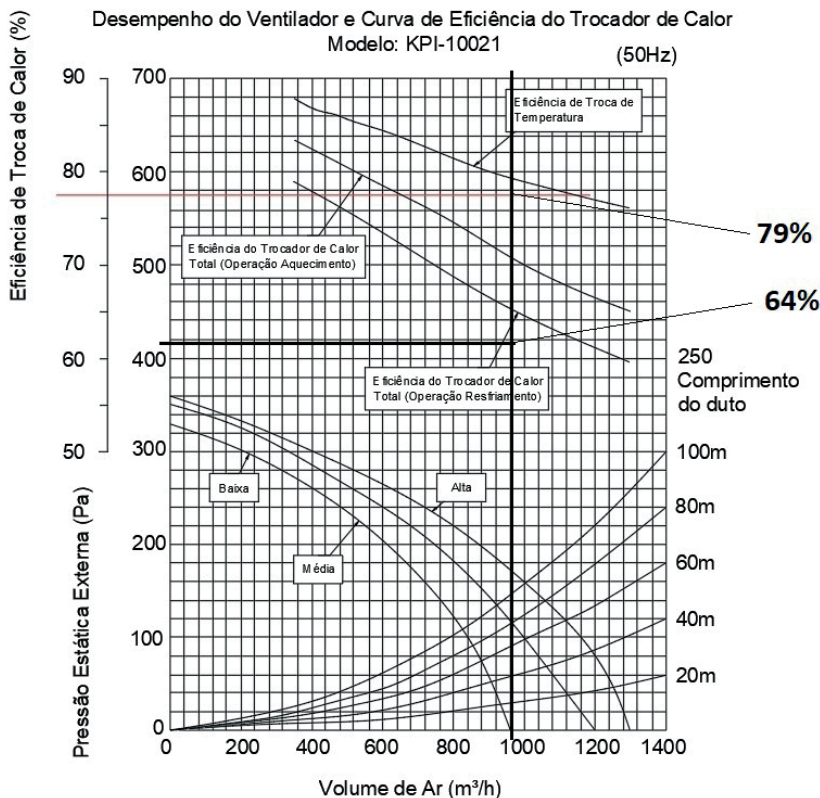


Figura 9 – Curva de performance do recuperador de calor.

Fonte: Adaptada de (HITACHI, 2009)

Utilizando as equações 2 e 3 e a curva de performance do recuperador de calor conforme Figura 9, consegue-se obter as condições de temperatura e entalpia do ponto de insuflamento do recuperador de calor. Desta forma, tem-se como resultado que a temperatura de insuflamento será equivalente a  $26,55^{\circ}C$  que pode ser observada na Figura 10 e a entalpia do ponto de insuflamento será de  $14,2 \text{ kcal/kg}$  conforme apresentada na Figura 11.

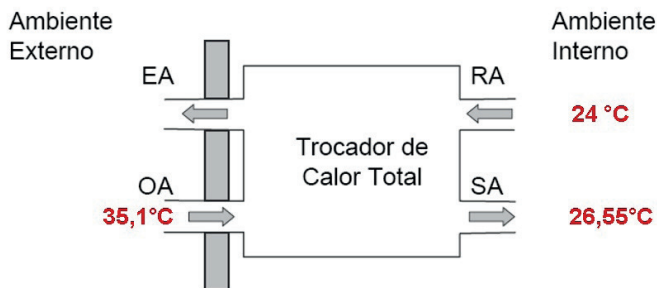


Figura 10 – Resultado da temperatura de insuflamento do recuperador de calor.

Fonte: Os Autores.

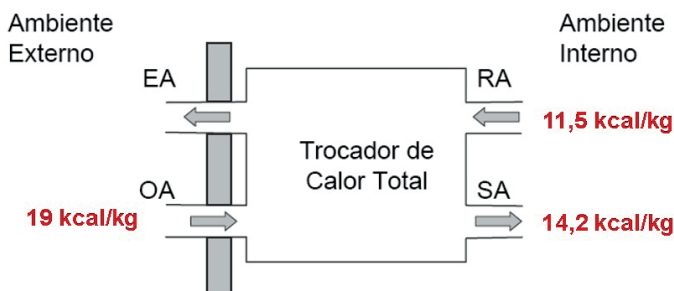


Figura 11 – Resultado da entalpia de insuflamento do recuperador de calor.

Fonte: Os Autores.

Com os dados apresentados, é possível quantificar através da equação (4) a capacidade de refrigeração economizada.

$$Q_T = V_{ef} \times 1,05 \times (i_{OA} - i_{SA}) \quad (4)$$

Onde,

$Q_T$  = Carga térmica economizada

$V_{ef}$  = 28000 m<sup>3</sup>/h

$i_{OA}$  = 19 kcal/kg

$i_{SA}$  = 14,2 kcal/kg

Sendo assim com a utilização da equação 4 e os dados apresentados acima, consegue determinar a carga térmica economizada.

$$Q_T = 28000 \times 1,05 \times (19 - 14,2)$$

Portanto, a carga térmica  $Q_T$  economizada pelo recuperador de calor será de 141.120 kcal/h ou aproximadamente 47 TR.

Aplicando os conceitos para determinar a carga térmica gerada e as premissas apresentadas no para este exemplo, será necessária uma carga térmica de 216TR para climatizar o ambiente utilizando o método 1, enquanto através do método 2, apenas adicionando o recuperador de calor ao sistema e seguindo os mesmos conceitos para determinar que a carga térmica para climatizar o ambiente, observa-se que no método 2 esta carga térmica será equivalente à 169 TR. Essa diferença é obtida justamente pela utilização do recuperador de calor, além disso este equipamento proporciona uma redução no consumo de energia ao sistema de 252kW para 195,6kW.

## ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS

A análise dos resultados apresentados no estudo indica que a utilização de um sistema de ar-condicionado com renovação de ar, projetado de acordo com as normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pela NBR 16401-3, é fundamental para minimizar os problemas relacionados à Síndrome do Edifício Doente (SED). Para demonstrar a aplicação prática da renovação de ar e a eficácia do recuperador de calor, foi realizado um estudo de caso para uma sala de aula.

Ao comparar as metodologias de determinação da vazão mínima necessária de ar externo, observou-se que a metodologia da NBR 16401-3 resulta em uma vazão de ar eficaz superior à estabelecida pela RE N°09, tornando-se a escolha preferencial para este estudo de caso.

A análise das parcelas da carga térmica que atuam sobre o ambiente demonstrou a importância de considerar todos os fatores relevantes para o levantamento da carga térmica do local. Com base nesses dados, foram propostas duas simulações para o tratamento do ar de renovação: uma sem o uso do recuperador de calor e outra com o uso do recuperador de calor.

A primeira simulação, sem o uso do recuperador de calor, mostrou-se menos econômica, uma vez que o ar de renovação é tratado diretamente na unidade de tratamento de ar (UTA), sem nenhum mecanismo de economia de energia.

Na segunda simulação, foi alocado um recuperador de calor entálpico para aproveitar a diferença de energia entre o ar externo e o ar interno antes de entrar na UTA. A análise da eficiência do trocador de calor mostrou que ele é capaz de proporcionar uma redução significativa no consumo de energia do sistema.

Os resultados obtidos demonstram que a utilização do recuperador de calor pode resultar em uma economia de energia substancial, além de reduzir a carga térmica necessária para climatizar o ambiente.

## CONCLUSÃO

Em conclusão, o estudo destaca a importância crucial da renovação de ar e do tratamento adequado do ar externo em ambientes fechados, especialmente em locais como escritórios, escolas, hospitais e shoppings, onde a concentração de pessoas é alta. A Síndrome do Edifício Doente (SED) é um sério problema relacionado à qualidade do ar interior, que pode afetar a saúde e o bem-estar dos ocupantes.

A partir de diversas normas e regulamentações, como a da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a Norma Brasileira de Regulamentação (NBR), foram estabelecidos parâmetros para garantir a qualidade do ar interior e prevenir a SED. A utilização de sistemas de ar-condicionado com renovação de ar e o emprego de recuperadores de calor são estratégias fundamentais para alcançar esses objetivos.

O estudo de caso realizado para uma sala de aula demonstrou claramente os benefícios da utilização do recuperador de calor, que proporcionou uma redução significativa na carga térmica necessária para climatizar o ambiente, além de uma economia substancial no consumo de energia do sistema.

Portanto, é evidente que a implementação de sistemas de climatização com renovação de ar e o uso de tecnologias como recuperadores de calor são medidas essenciais para promover a eficiência energética, garantir a qualidade do ar interior e proporcionar conforto térmico aos ocupantes dos edifícios. Essas práticas não apenas contribuem para a saúde e o bem-estar das pessoas, mas também para a sustentabilidade e a redução do consumo de energia no setor de construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABNT, A. B. de N. T. *NBR\_16401-3\_2008.pdf*, 2008. . Disponível em: <[http://www.ductbusters.com.br/normas/NBR\\_16401-3\\_2008.pdf](http://www.ductbusters.com.br/normas/NBR_16401-3_2008.pdf)>.

ABRAVA. ABRAVA - Climatização e Refrigeração. 2021.

ASHRAE. *2019 ASHRAE Handbook\_ HVAC Applications CH35.pdf*. [s.l: s.n.]

ASHRAE. *2020 Ashrae Handbook*. [s.l: s.n.]

ASHRAE. *ASHRAE DATA VIEWER*. Disponível em: <[https://www.techstreet.com/standards/weather-data-viewer-2021-basic-subscription?product\\_id=2248129](https://www.techstreet.com/standards/weather-data-viewer-2021-basic-subscription?product_id=2248129)>.

BRASCHE, S. Why do women suffer from sick building syndrome more often than men? - Subjective higher sensitivity versus objective causes. *Indoor Air*, v. 11, n. 4, p. 217–222, 2001.

BRASIL. *PORTARIA Nº 3.523* Brasília Ministério da Saúde do Brasil, , 1998. . Disponível em: <[https://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523\\_28\\_08\\_1998.html](https://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html)>.

BRASIL. *RESOLUÇÃO-RE Nº 9, de 16 de JANEIRO de 2003* Revisa e atualiza a RE/ANVISA nº 176, de 24 de outubro de 2000, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Brasília ANVISA, , 2003. . Disponível em: <[https://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009\\_16\\_01\\_2003.html](https://bvms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html)>.

BRASIL. *LEI 13589-18* Brasília CASA CIVIL, , 2018. . Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/13589.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/13589.htm)>.

CHE, W. W. et al. Energy consumption, indoor thermal comfort and air quality in a commercial office with retrofitted heat, ventilation and air conditioning (HVAC) system. *Energy and Buildings*, v. 201, p. 202–215, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.029>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Brazilian Energy Balance 2021 year 2020. *Brazilian Energy Balance 2021 year 2020*, p. 292, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 2021.

GEOTERMAL54. *Trocador de Calor Ar-Ar*. Disponível em: <<https://geotermal54.ru/stati/teplovyenasosy-vozdukh-vozdukh>>. Acesso em: 18 out. 2022.

GRAF, R. *OIL AND SOVEREIGNTY*. [s.l.] Berghahn Book, 2018.

HASHIM, H. M. et al. Cooling Load Calculation Principles. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies*, n. October, 2019.

HITACHI. Manual de Operação Manual de Instalação - KPI. 2009.

INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>>. Acesso em: 2 set. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *The Future of Cooling Opportunities for energy- efficient air conditioning*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The\\_Future\\_of\\_Cooling.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf)>.

ISRAELI, E.; PARDO, A. The sick building syndrome as a part of the autoimmune (auto-inflammatory) syndrome induced by adjuvants. *Modern Rheumatology*, v. 21, n. 3, p. 235–239, 2011.

KOSAR, D. R. et al. Dehumidification issues of standard 62-1989. *ASHRAE Journal*, v. 40, n. 3, p. 71–75, 1998.

LEE, A. Otimização Dos Sistemas De Climatização E Refrigeração Industrial Em Supermercados. 2005.

MARTÍNEZ, F. J. R.; CALLEJO, R. C. *Edificios saludables para trabajadores sanos : Edificios saludables para trabajadores sanos : calidad de ambientes interiores*. [s.l.: s.n.]

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. *Nota Técnica EPE 030/2018* -, p. 43, 2018. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT\\_EPE\\_030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT_EPE_030_2018_18Dez2018.pdf)>.

MUNTERS. *Dehumidificaion Handbook*. 3. ed. Amesbury, MA: Munters Corporation Marketing Department, 2019.

MUNTERS. *Munters' desiccant rotor – industrial dehumidification at its best*. Disponível em: <<https://www.munters.com/en/about-us/history-of-munters/history-news2/munters-desiccant-rotor--industrial-dehumidification-at-its-best/>>. Acesso em: 11 jul. 2022.

PARGETER, S. Reducing Building HVAC Costs with Site-Recovery Energy. *Facilities Manager*, v. January/fe, p. 24–28, 2012.

PROCEL. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 2 set. 2022.



TEIXEIRA, D. B. et al. Síndrome dos Edifícios Doentes em Recintos com Ventilação e Climatização Artificiais: Revisão de Literatura. *Acervo Digital Inmetro*, n. 21, p. 47–2752, 2005. Disponível em: <[http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/347/1/2005\\_TeixeiraBrionizioPereira.pdf](http://repositorios.inmetro.gov.br/bitstream/10926/347/1/2005_TeixeiraBrionizioPereira.pdf)>.

TOMAZI, J. O.; RODRIGUES, L. J.; SCHNEIDER, P. S. Auditoria Energética Visando O Selo Procel De Economia De Energia Para Uma Edificação Pública De Ensino / Energy Audit Aiming At the Procel Seal of Energy Savings for a Public Education Building. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 12, p. 99648–99664, 2020.