



**XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**  
São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021

## **SISTEMA DE CONTROLE DE PARAMETROS DO AR EXTERNO DE RENOVAÇÃO PARA BUSCA DA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

### **PAPER 18**

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para análise de eficiência energética de sistemas de ar-condicionado operando com tecnologias de recuperação de energia e vazão de ar externo variável, incluindo também uma estratégia de controle para maximizar os efeitos da recuperação de energia no sistema de climatização. A metodologia foi baseada em um modelo matemático implementado no software supervisorio desenvolvido, desenvolvido para controle completo do sistema de climatização voltado ao conforto térmico. Para tanto, o modelo considerou o excesso de ar externo desnecessário que afetava a eficiência do equipamento, juntamente com os efeitos decorrentes da variação do fluxo de ar não climatizado. Para avaliar a metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso para analisar o potencial de economia usando recursos de do controle de parametros do ar exetero no sistema de condicionamento de ar de uma sala de aula. O estudo contou com criação de dois cenários, nos quais as tecnologias foram avaliadas individualmente e de forma conjunta. Os resultados mostraram que as utilizações das tecnologias avaliadas geram economia nos custos operacionais em até 40%, quando combinadas, em sistemas de ar-condicionado que atendem ambientes com perfil de ocupação variável e grandes variações climáticas.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Automação. Qualidade do Ar Interior. CO<sub>2</sub>

#### **ABSTRACT**

The objective of this work is to present a methodology for analyzing the energy efficiency of air conditioning systems operating with energy recovery technologies and variable external air flow, including also a control strategy to maximize the effects of energy recovery on the air conditioning system. air conditioning. The methodology was based on a mathematical model implemented in the supervisory software developed, developed for complete control of the air conditioning system aimed at thermal comfort. For this purpose, the model considered the excess of unnecessary external air that affected the efficiency of the equipment, together with the effects resulting from the variation of the non-acclimatized air flow. To evaluate the proposed methodology, a case study was carried out to analyze the potential for savings using features of the control of parameters of the outdoor air in the air conditioning system of a classroom. The study included the creation of two scenarios, in which the technologies were evaluated individually and jointly. The results showed that the uses of the evaluated technologies generate savings in operating costs of up to 40%, when combined, in air conditioning systems that serve environments with a variable occupancy profile and great climatic variations.

**Keywords:** Energy efficiency. Automation. Indoor Air Quality. CO<sub>2</sub>

## **1. INTRODUÇÃO**

O atual estágio de desenvolvimento da legislação tanto nacional quanto internacional foca na saúde e bem-estar do ocupante do edifício. Os projetos mais antigos quando de sua concepção visavam o conforto térmico e uma renovação de ar calculada de forma bruta e simples, sem considerar as condições psicrométricas do ar tanto interior quanto exterior. Aliando a tecnologia com os conhecimentos desenvolvidos nos anos recentes, hoje existe muito foco em eficiência energética, sem perder o foco na necessidade de qualidade do ar interior (QAI).

Para isso o foco desse documento é apresentar um sistema que monitora os parâmetros do ar interior e exterior agregando automação para que tanto a qualidade do ar interior, quanto a eficiência energética sejam alcançados. Foi elaborado um estudo de caso para atuar na base de controle de funcionamento do sistema geral de climatização e renovação do ar no interior do ambiente climatizado, onde esse aparato atua diretamente no controle de vazão de ar e a temperatura interna para obter o melhor funcionamento e economia energética do sistema de climatização para atender o controle de nível de CO<sup>2</sup>, e temperatura do ambiente climatizado com o mínimo da intervenção humana, seguindo todos os parâmetros e valores normativos para manter o ambiente com o conforto térmico ideal e o melhor aproveitamento do sistema de climatização para obter um resultado econômico físico e financeiro nos aspectos de eficiência energética, vida útil dos equipamentos e na manutenção corretiva.

O objetivo principal é apresentar o dispositivo batizado Clear CO<sup>2</sup>, elaborado com eletrônica de baixo custo e sua atuação no controle de entrada de ar externo para renovação de ar do ambiente conforme os parâmetros da legislação e normas técnicas vigentes. Com a implantação do sistema Clear CO<sup>2</sup>, em uma instalação com renovação de ar forçada e climatização por condicionadores de ar individuais do tipo split demonstrar os consumos da instalação sem nenhum controle, com controle de saturação de CO<sup>2</sup>, e com controle de parâmetros de ar interno e externo e apontar qual a economia em kWh proporcionada.

Devido a existência de diversos dispositivos separados para monitoramento dos parâmetros necessários para atingimentos dos controles buscados no atingimento da eficiência energética, o foco desse estudo foi desenvolver uma plataforma multi função customizável com base em eletrônica de baixo custo e linguagem de programação de comum entendimento, após verificar a existência de vários locais onde a climatização não apresentava controle nenhum com um alto custo operacional.

### **1.1 CONDICIONAMENTO TÉRMICO DO AMBIENTE**

O condicionamento térmico de um ambiente, ou simplesmente condicionamento de ar, busca através de alguns processos, atingir condições

que transmitam uma sensação de conforto aos usuários. Como as sensações são subjetivas, devido a particularidades de cada indivíduo, condições fisiológicas e até psicológicas, não é possível atingir a condição ideal para 100% dos ocupantes.

Os parâmetros e estudos relacionados ao tema indicam que um ambiente térmico onde uma maioria superior a 80% do público em condições semelhantes de atividade física exercida, vestimentas utilizadas e após um tempo mínimo de adaptação ao ambiente, é utilizado para determinar o conforto térmico do ambiente. (ABNT, 2008)

Para atingir a condição de conforto térmico, quatro processos básicos devem ser trabalhados através do equipamento de condicionamento de ar. Aquecimento simples, resfriamento simples, umidificação e desumidificação do ar. Esses processos, agindo individualmente ou combinados agem para atender a condição de conforto do ambiente.

Existem alguns balizadores que devem ser observados. No Brasil existem duas legislações que tratam do tema. A resolução 09 da ANVISA que trata além da qualidade do ar interior, também informa condições para temperatura e umidade buscando conforto e a norma regulamentadora 17 do MTE, que trata das condições ergonômicas e ambientais para os trabalhadores.

As duas leis informam parâmetros de operação dos sistemas de condicionamento de um ambiente, a RE-09 diz que para um escritório a temperatura de bulbo seco de estar entre 23 e 26 °C e a umidade relativa do ar estar entre 40 e 65%. Já a NR-17 diz que a temperatura efetiva deve estar entre 20 e 23 °C, a velocidade do ar na altura da zona de ocupação do ambiente não superior a 0,75 metros por segundo e a umidade relativa não ser inferior a 40%.

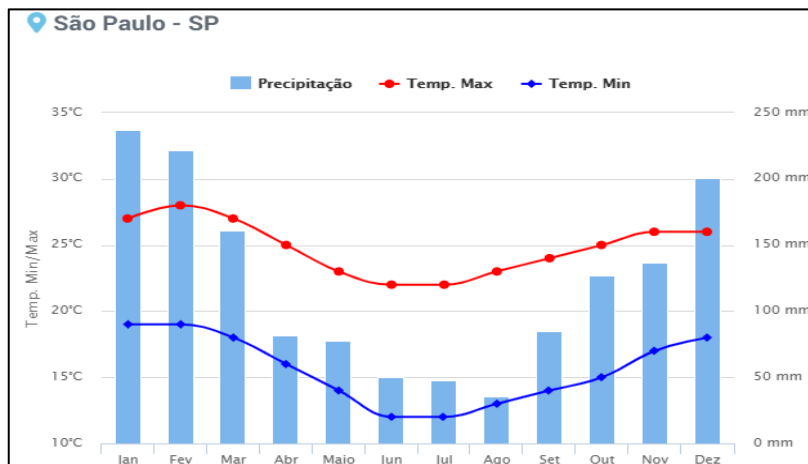
## **1.2 CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA**

Baseando-se na norma ABNT NBR 16401 parte 3, além das características de construção do ambiente, conhecimento da localização e posicionamento em relação a incidência de luz solar, e utilizando tabelas contidas em normas, livros e estudos, estima-se a carga térmica de um ambiente. A carga térmica nada mais é do que a quantidade de calor estimada para variar a temperatura, tanto para cima quanto para baixo, dentro de um ambiente em um delta pré estabelecido (Creder, 2006).

Conhecendo esse valor e aliando-se as boas práticas para qualidade do ar interior, obtemos os parâmetros que embasaram os projetos de renovação e distribuição de ar-condicionado no ambiente.

Através dos dados coletados no sítio da internet do CLIMATEMPO foram obtidos os dados de temperatura do ano de 2018 expostos abaixo. Esses dados embasam os cálculos de rendimento do sistema.

Figura 03 – Representação das temperaturas médias CLIMATEMPO.



Fonte: CLIMATEMPO, 2020.

### 1.3 ESP32

O ESP32 é um microcontrolador lançado em 2016 pela empresa Espressif Systems, e apresenta entre suas características robustez, velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade evidenciada pela compatibilidade com conexão Wi-Fi. (Kolban, 2018)

Sua constituição apresenta um processador que pode ser de núcleo simples ou duplo de 32 bits com frequências de até 240MHz, com capacidade de armazenamento maior se comparado com seus concorrentes diretos como o Arduíno. Além disso apresenta módulos de conectividade incorporados ao seu chip, com acesso a redes sem fio do tipo wi fi, ondas de rádio, bluetooth, gerando uma plataforma embarcada de alta flexibilidade na aplicação de automação combinada.

Pela existência de um número elevado de softwares compatíveis com a linguagem de programação, no caso do ESP32, C/C++, com seu desenvolvimento viável através do programa SDK, software development kit, fornecido pela empresa desenvolvedora do dispositivo, torna mais interessante essa ferramenta.

## 2. DISCUSSÃO

Buscando uma melhor eficiência no uso da energia elétrica, foi desenvolvido um hardware de controle denominado Clear CO<sub>2</sub>. Esse dispositivo faz o controle eletrônico de diversos parâmetros previamente estabelecidos em sua programação. A base de construção desse dispositivo utiliza a plataforma ESP32 e uma linguagem de programação em lista C++ e interface através de access point com aplicativo para smartphone.

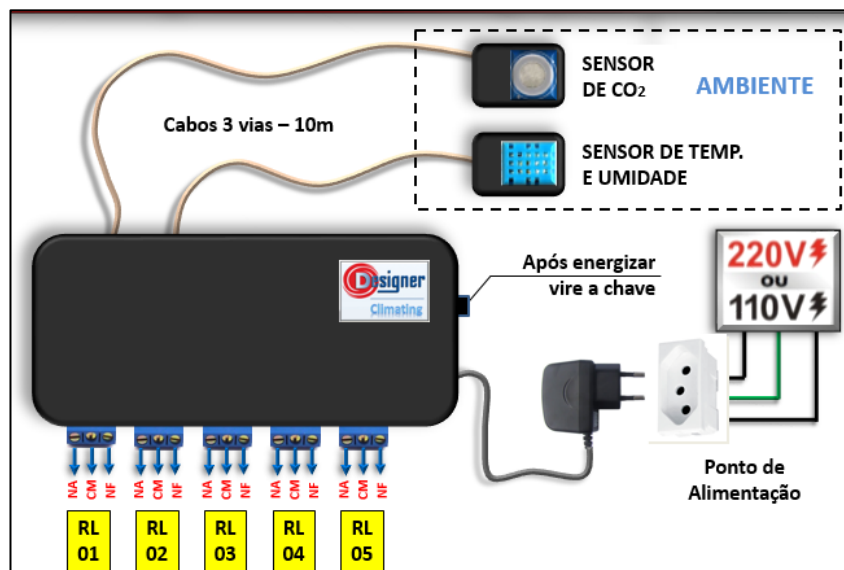
O intuito da aplicação desse dispositivo, será o estudo de caso em um ambiente de uma sala de aula de uma universidade, monitorando os

parâmetros de consumo de energia elétrica, nos seguintes cenários. O cenário inicial com a instalação original, climatizadores do tipo split e renovação de ar sem nenhum controle. O segundo cenário o Clear CO<sub>2</sub> atua controlando o sistema de renovação de ar conforme a saturação de dióxido de carbono no ambiente e por fim o terceiro cenário o dispositivo estava programado para controlar os parâmetros de diferencial de temperatura interna e externa, além da saturação de dióxido de carbono no ambiente.

## 2.1 APRESENTAÇÃO DO CLEAR CO<sub>2</sub>

O dispositivo foi construído com componentes encontrados no mercado facilmente, ele conta com uma placa controladora com entradas e saídas digitais, sensor de aferição de monóxido de carbono e sensores de medição de temperatura ligados a essa placa através de cabo blindado do tipo PP de 3 vias com comprimento de até 10 metros. Saídas do tipo liga desliga para controle dos equipamentos como a evaporadora e o motor atuador no damper e ventilador para renovação de ar, além de entrada para fonte transformadora de alimentação de 110V/220V para 5V, conforme diagrama a seguir.

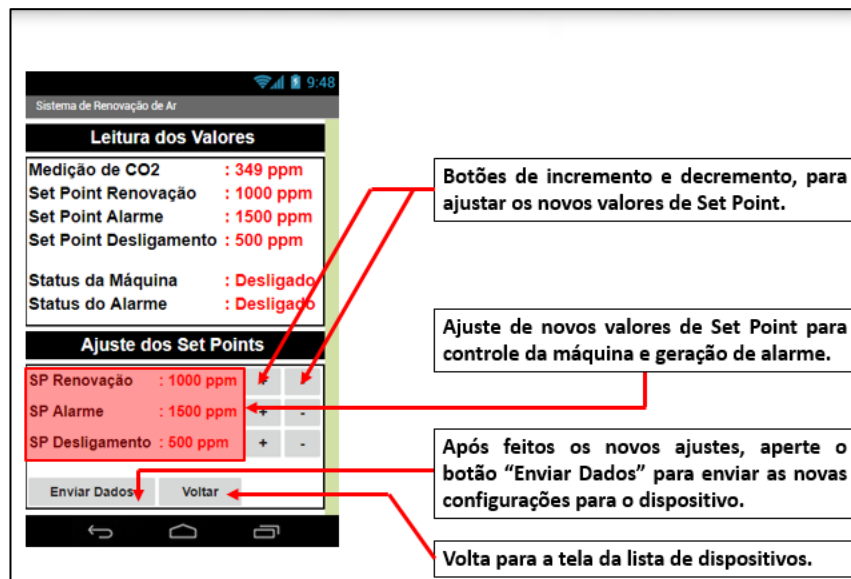
Figura 01 – Diagrama esquemático do Clear CO<sub>2</sub>



Fonte: Dados do autor

Foi desenvolvido um aplicativo para leituras e inserção dos dados de ajustes dos parâmetros desejados, a seguir imagens ilustrando.

Figura 02 – Tela de interface do aplicativo para smartphone



Fonte: Dados do autor

Figura 03 – Tela de interface do aplicativo para smartphone



Fonte: Dados do autor

A seguir foto das montagens esquemáticas da montagem do dispositivo com seus periféricos pontos de ligação e fontes.

Figura 04 – Foto do dispositivo montado

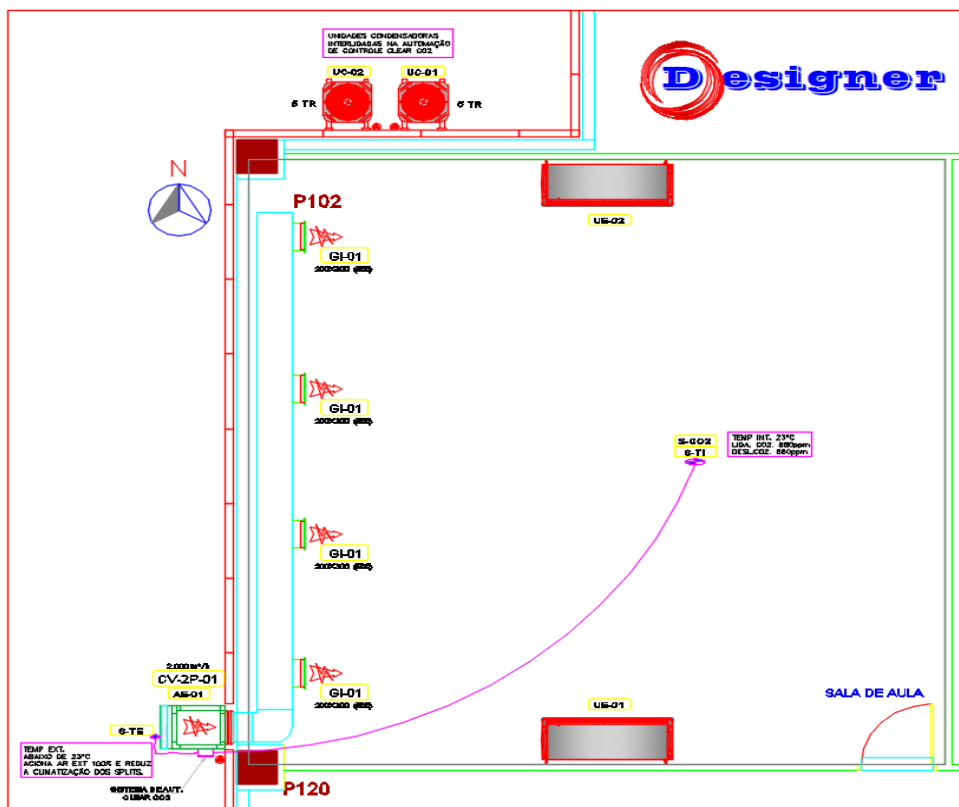


Fonte: Dados do autor

## 2.2 DADOS INICIAIS

Inicialmente, conforme descrito o ambiente estudado contava apenas com equipamentos do tipo split, com renovação de ar sem nenhum controle, e com o controle de temperatura na mão dos usuários do local. Abaixo segue tabela com os dados do sistema com essa apresentação.

Figura 5 – Planta da instalação modelo do estudo



Fonte: Dados do autor

Planta do ambiente onde mostram o sistema de climatização do tipo split Piso teto, sistema de renovação de ar externo com duto de distribuição ar no ambiente e o posicionamento dos sensores de temperatura do sistema controlador Clear CO<sub>2</sub>.

Figura 06 – Estudo de gastos cenário inicial

CAPAC. INDICADA	8,75	TR
<b>CÁLCULO DE CLIMATIZAÇÃO</b>		
Área	80	m2
Pessoas	80	
Tensão	220	Volt
Coef. Performace	2,8	Cop
Tempo de utilização	8	T
Quant de dias	22	D
R\$ do Kw/h	0,57	R\$
<b>Capacidade</b>		
Capacidade	105.000	Btu/h
Capacidade	8,75	Tr
Capacidade	34,72	Kcal/h
<b>Vazão de ar</b>		
Vazão de ar	5.950	m3/h
Ar Externo	2.160	m3/h
<b>Potência Refr.</b>		
Potência Refr.	29.855	W
<b>Potência Elét.</b>		
Potência Elét.	10.662	W
<b>Corrente A</b>		
Corrente A	48,47	1-F
Corrente A	28,01	3-F
<b>TEMP PROGRAMADA DE 23 A 26°C</b>		
Consumo mês	1.877	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 1.069,66	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 21°C</b>		
Consumo mês	1.989	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 1.133,84	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 20°C</b>		
Consumo mês	2.102	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 1.198,02	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 18 E 19°C</b>		
Consumo mês	2.214	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 1.262,20	R\$

Fonte: Dados do autor

Gastos iniciais sem a implantação do sistema de controle Clear CO<sub>2</sub>, onde mostram o consumo de energia elétrica e o valor mensal.

## 2.3 DADOS DO SEGUNDO CENÁRIO

Com a implantação do Clear CO<sub>2</sub>, passou-se a controlar a infiltração de ar externo no ambiente através do nível de saturação de dióxido de carbono. A seguir os dados de consumo.



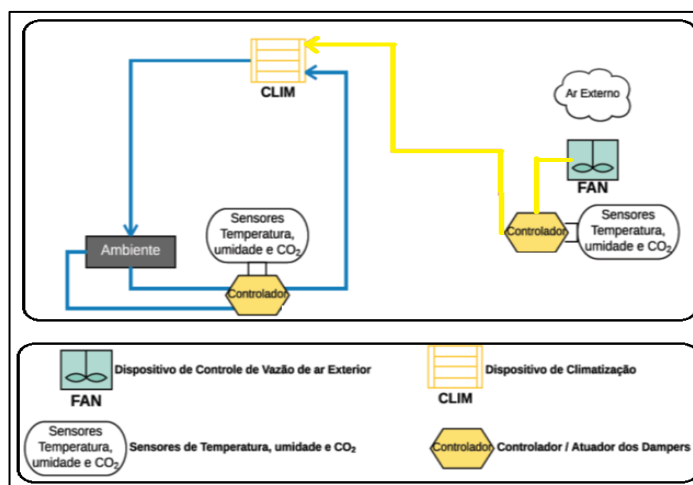
Figura 07 – Estudo de gastos segundo cenário

CAPAC. INDICADA	8,75 TR	
<b>CÁLCULO DE CLIMATIZAÇÃO</b>		
Área	80	m2
Pessoas	80	
Tensão	220	Volt
Coef. Performace	2,8	Cop
Tempo de utilização	6	T
Quant de dias	22	D
R\$ do Kw/h	0,57	R\$
<b>Capacidade</b>		
Capacidade	105.000	Btu/h
Capacidade	8,75	Tr
Capacidade	34,72	Kcal/h
<b>Vazão de ar</b>		
Vazão de ar	5.950	m3/h
Ar Externo	2.160	m3/h
<b>Potência Refr.</b>		
Potência Refr.	29.855	W
<b>Potência Elét.</b>		
Potência Elét.	10.662	W
<b>Corrente A</b>		
Corrente A	48,47	1~F
Corrente A	28,01	3~F
<b>TEMP PROGRAMADA DE 23 A 26°C</b>		
Consumo mês	1.407	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 802,25	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 21°C</b>		
Consumo mês	1.492	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 850,38	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 20°C</b>		
Consumo mês	1.576	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 898,52	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 18 E 19°C</b>		
Consumo mês	1.661	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 946,65	R\$

Fonte: Dados do autor

Gastos iniciais com a implantação do sistema de controle Clear CO<sub>2</sub> atuando somente no sistema de renovação de ar com o controle de saturação do dióxido de carbono no ambiente, onde mostram o consumo de energia elétrica e o valor mensal.

Figura 08 – Fluxograma do sistema de controle.



Fonte: Dados do autor

## 2.4 DADOS DO TERCEIRO CENÁRIO

E o terceiro cenário com a implantação do controle de diferencial de temperatura interna e externa, onde os condicionadores só ligavam quando a temperatura interna estivesse maior que o parametrizado. E a temperatura externa estivesse abaixo de 23°C. Esse cenário o ventilador é ligado em sua potência máxima e joga o ar externo mais frio que o ambiente interno, climatizando sem a necessidade, ou com o menor consumo dos equipamentos condicionadores de ar. Em determinados meses do ano onde a temperatura média da cidade é mais baixa que 23°C esse sistema tornou-se bastante atrativo.

Figura 09 – Estudo de gastos terceiro cenário

CAPAC. INDICADA	8,75 TR	
<b>CÁLCULO DE CLIMATIZAÇÃO</b>		
Área	80	m2
Pessoas	80	
Tensão	220	Volt
Coef. Performace	2,8	Cop
Tempo de utilização	8	T
Quant de dias	22	D
R\$ do Kw/h	0,57	R\$
Capacidade	105.000	Btu/h
Capacidade	8,75	Tr
Capacidade	34,72	Kcal/h
Vazão de ar	5.950	m3/h
Ar Externo	2.160	m3/h
Potência Refr.	29.855	W
Potência Elét.	10.662	W
Corrente A	48,47	1-F
Corrente A	28,01	3-F
<b>TEMP PROGRAMADA DE 23 A 26°C</b>		
Consumo mês	1.110	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 632,70	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 21°C</b>		
Consumo mês	1.177	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 670,66	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 20°C</b>		
Consumo mês	1.243	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 708,62	R\$
<b>TEMP PROGRAMADA DE 18 E 19°C</b>		
Consumo mês	1.310	Kw/h/mês
Gasto R\$ mensal	R\$ 746,59	R\$

Fonte: Dados do autor

Gastos iniciais com a implantação do sistema de controle Clear CO<sup>2</sup> atuando no sistema de renovação de ar com o controle de saturação do dióxido de carbono e no diferencial de temperatura interna e externa do ambiente, onde mostram o consumo de energia elétrica e o valor mensal.

### 3. CONCLUSÃO

Analisando os cenários apresentados pode-se verificar que o cenário três com o controle mais avançado economiza 40,87% da condição inicial e o segundo cenário onde temos apenas o controle da infiltração de ar externo pela saturação de dióxido de carbono economiza 25,04% da condição inicial.

Elevando essa análise de uma sala de aula apenas para um prédio com 14 andares e 250 salas de aula, os valores são apresentados na tabela a seguir.

Uma escolha cuidadosa não é definir o fluxo de ar externo, mas sim a concentração interna aceitável de dióxido de carbono. O uso do sistema de controle deve ser incentivado onde a taxa de ar externo tem um efeito significativo na carga térmica do ambiente. Em outras palavras, os regulamentos atuais definem uma linha horizontal com uma vazão constante de 27m<sup>3</sup>/h/pessoa. Uma proposição deste trabalho é a taxa de fluxo de ar externo através da concentração de CO<sub>2</sub> e o diferencial de temperatura interna e externa.

Figura 10 – Modelo comparativo de gastos das três (3) situações

CALCULO PARA UM PRÉDIO DE 14 ANDARES COM 250 SALAS DE AULA								
TEMP PROGRAMADA DE 23 A 26°C			TEMP PROGRAMADA DE 23 A 26°C			TEMP PROGRAMADA DE 23 A 26°C		
Consumo	469.150	Kw/h/mês	Consumo	351.862	Kw/h/mês	Consumo	277.408	Kw/h/mês
Custo	R\$ 267.415,41	R\$	Custo	R\$ 200.561,56	R\$	Custo	R\$ 158.122,73	R\$
TEMP PROGRAMADA DE 21°C			TEMP PROGRAMADA DE 21°C			TEMP PROGRAMADA DE 21°C		
Consumo	497.299	Kw/h/mês	Consumo	372.974	Kw/h/mês	Consumo	294.053	Kw/h/mês
Custo	R\$ 283.460,34	R\$	Custo	R\$ 212.595,25	R\$	Custo	R\$ 167.610,10	R\$
TEMP PROGRAMADA DE 20°C			TEMP PROGRAMADA DE 20°C			TEMP PROGRAMADA DE 20°C		
Consumo	525.448	Kw/h/mês	Consumo	394.086	Kw/h/mês	Consumo	310.697	Kw/h/mês
Custo	R\$ 299.505,26	R\$	Custo	R\$ 224.628,95	R\$	Custo	R\$ 177.097,46	R\$
TEMP PROGRAMADA DE 18 E 19°C			TEMP PROGRAMADA DE 18 E 19°C			TEMP PROGRAMADA DE 18 E 19°C		
Consumo	553.597	Kw/h/mês	Consumo	415.198	Kw/h/mês	Consumo	327.342	Kw/h/mês
Custo	R\$ 315.550,18	R\$	Custo	R\$ 236.662,64	R\$	Custo	R\$ 186.584,82	R\$

Fonte: Dados do autor

Comparativo entre as três (3) situações do estudo com o prospecto abrangente de todo o prédio onde mostram o consumo de energia e o valor gasto por mês de energia elétrica.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a instituição SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial pela oportunidade de desenvolver este estudo e aos colegas que contribuíram para o desenvolvimento deste artigo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401:** instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401:** instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários. Parte 2: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401:** instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários. Parte 3: qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução n. 9 de 16 de janeiro de 2003.** Brasília: 2003

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico da previsão do tempo em São Paulo.** Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/558/saopaulo-sp>. Acesso em: 15 dez 2020.

CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado.** São Paulo: LTC, 2004.

KOLBAN, Neil. **Kolban's book on ESP32.** [S.l.]: Leanpub, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

**NR-17:** ergonomia. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17.pdf/view>. Acesso em: 20 maio 2021.