



**XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**  
São Paulo Expo - 10 a 13 de setembro de 2019

## **Dimensionamento e construção de um dispositivo para a medição e controle de parâmetros de conforto térmico de baixo custo através da plataforma Arduino**

**Paulo Davila Garcia Neto, Gustavo de Novaes Pires Leite, Kilvio Alessandro Ferraz, Alvaro Antonio Ochoa Villa**

### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo para medição de parâmetros de conforto térmico em ambiente climatizado através da plataforma Arduino. Este dispositivo terá a capacidade de aferir temperatura e umidade relativa do ambiente climatizado; concentração de CO<sub>2</sub> e corrente elétrica do equipamento de ar condicionado, integrado a um sistema de armazenamento de dados com data e hora em tempo real. A construção do protótipo será executada em plataforma Arduino incorporando sensores de temperatura e umidade, concentração de CO<sub>2</sub> e medição de corrente elétrica não invasiva, integrado num único dispositivo com a possibilidade de aferir parâmetros de um ambiente climatizado. A validação do protótipo de medição será realizada a partir de instrumentos previamente calibrados e certificados. Uma análise experimental será realizada numa sala de aula de uma instituição Educacional considerando cenários com sala de aula com ocupação parcial e total.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Temperatura, Umidade relativa, CO<sub>2</sub>, Arduino.

### **ABSTRACT**

*The objective of this study is the design of a low cost device for the measurement of parameters of thermal comfort in an air-conditioned environment through the Arduino platform. This device will be able to measure temperature and relative humidity of the air-conditioned environment; concentration of CO<sub>2</sub> and electric consumption of the air conditioning equipment, integrated to a system of data storage with date and time in real time. The construction of the prototype will be executed on an Arduino platform integrating temperature and humidity sensors, CO<sub>2</sub> concentration and non-invasive electric current measurement, integrated in a single device with the possibility to measure parameters of an air-conditioned environment. Validation of the measurement prototype will be performed from previously calibrated and certified devices. An experimental analysis will be performed in a classroom of an educational institution considering sceneries with the classroom with partial and total occupation.*

**Keywords:** Thermal comfort. Temperature, Relative humidity, CO<sub>2</sub>, Arduino.

## **1 INTRODUÇÃO**

A climatização está fortemente vinculada aos processos de qualidade de ar interior. Conseqüentemente, a importância de análise do conforto térmico e a qualidade do ar como parâmetros simultâneos de operação. Portanto, vários estudos envolvendo o conforto térmico, especificamente a qualidade do ar interior vem sendo desenvolvidos em função das concentrações de CO<sub>2</sub>

e sua relação com o desempenho das pessoas no interior de recintos resfriados por sistemas de refrigeração por compressão a vapor (Yu et al., 2018a e 2018b), verificando a importância da climatização de ambientes internos não só, em função da temperatura e umidade relativa interna, mas através da preservação das condições ótimas de concentrações de componentes do ar interno. Visando o conforto térmico a ambientes internos, Marino et al. (2017) analisaram a influência da radiação solar sobre o conforto térmico em recintos internos. Neste trabalho foi introduzida uma equação que permitisse analisar a temperatura radiante em função da radiação solar. Utilizando os métodos computacionais como referência na análise, Hosseini et al. (2016), estudaram o fluxo de ar e o conforto térmico em seis diferentes projetos de coletores de vento usando a ferramenta de dinâmica de fluidos computacional.

O conforto térmico para o ser humano é caracterizado por uma estrita faixa de temperatura e umidade relativa do ar, assim como a velocidade do ar insuflado no ambiente. Desta forma, ao utilizar-se a carta psicrométrica para definir tais situações de conforto, pode-se estabelecer parâmetros a serem controlados. Numa sala de aula é fundamental, para manter a qualidade do aprendizado, um ambiente com condições de conforto térmico, além da preocupação com a taxa de concentração de CO<sub>2</sub>, que provoca dores de cabeça, sonolência, desorientação etc. quando em concentrações elevadas (Jason M.Y. TSE; Phillip Jones, 2019; Sant'anna et al., 2018).

É importante destacar, que para atender as necessidades de conforto térmico, são necessários sensores e instrumentos adequados para o monitoramento e controle de parâmetros (Ladha-Sabur et al., 2018), tais como; temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar frio, concentração de CO<sub>2</sub> entre outros, que permitam verificar as condições reais dentro de ambiente interno climatizado para acionar os respectivos equipamentos de climatização e ar condicionado (Kimmling e Hoffmann, 2017). Estes instrumentos são encontrados no mercado nacional, como termômetros, termopares, anemômetros, higrômetro com valores que podem variar amplamente, assim como, com uma faixa ampla de medição (Salamone et al., 2018). Muitas vezes são necessários vários sensores e conexões para fazer este acompanhamento, o que tende a encarecer o projeto. Dai a ideia de se utilizar sensores e sistemas de baixo custo e que permitam integrar todas as medições ao único dispositivo, como é o caso do Arduino. Neste contexto, Ali et al. (2016) descreveu um projeto de “*Open Source Building Science Sensors*” que foi desenvolvido utilizando um conjunto de dispositivos de código aberto de baixo custo baseados na plataforma Arduino para mensurar, registrar e monitorar dados operacionais de ambientes internos. Assim também, e utilizando Arduino como base do estudo, Karami et al. (2018) descreveram ferramentas de medição contínua portátil de baixo custo para registro e controle de parâmetros de qualidade de ambientes internos.

No mercado nacional, já existem instrumentos para aferição dos parâmetros de temperatura, umidade relativa, CO<sub>2</sub>, e consumo energético do

equipamento de ar condicionado, porém para um único módulo fazer o monitoramento automático numa sala de aula através de um dispositivo de baixo custo não existe. A ideia é desenvolver um protótipo de fácil instalação, com “*data logger*” para análise dos parâmetros citados, com a possibilidade de integração para projetos futuros e realizar a renovação de ar da sala ou monitoramento remoto utilizando o conceito de “*IOT*” – Internet das Coisas. Portanto, este artigo tem como objetivo apresentar um protótipo que visa monitorar as condições de conforto térmico e concentração de CO<sub>2</sub> no ar, além do consumo energético de um ar condicionado instalado numa sala de aula de uma instituição de ensino.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO

Com o intuito de construir um protótipo de baixo custo, que seja facilmente implementado e reproduzido, optou-se em utilizar um sistema microcontrolado, permitindo assim realizar mudanças nas funcionalidades do circuito construído e visando facilitar o uso de tais sistemas, foi utilizado o Arduino UNO, Tabela 1 e Figura 1. Por possuir código aberto, hardware e software, e uma vasta rede de informação na internet para componentes e códigos, além das características do microcontrolador ATMEGA328 instalado na placa do Arduino UNO que atende ao número de entradas digitais e analógicas necessárias para todas as coletas realizadas no protótipo. A área de climatização necessita cada vez mais de sistemas eletrônicos embarcados que possibilitem maior eficiência energética. Assim, nesse protótipo também será realizada a coleta de dados referente ao consumo energético do equipamento.

Tabela 1. Características Arduino UNO

Microcontrolador:	ATmega328
Tensão de funcionamento:	5V
Tensão de entrada (recomendado):	7-12V
Tensão de entrada (limites):	6-20V
Digital I/O:	14 (6 com saída PWM)
Pinos de entrada analógica:	6
Corrente DC por I / O:	40 mA
“Clock:”	16 MHz

Figura 1- Arduino UNO.



## 2.1 Sensor de temperatura e Umidade – DHT22

Este sensor de temperatura e umidade possui um baixo consumo de corrente, 2,5 mA durante as medições, e 150µA em “standby”, e construtivamente o sensor possui um termistor do tipo NTC e um sensor de umidade capacitivo, figura 2b, além de um conversor analógico/digital para comunicação com o microcontrolador, apresentando em um único fio as informações relativas as medições de temperatura e umidade. Porém em alta umidade, maior que 80%, degrada-se rapidamente. Pode ser usado para transmissões de longa distância, até cerca de 20m. Os sensores capacitivos de umidade são construídos em um substrato com um fino filme dielétrico depositado entre dois eletrodos condutores, formando um capacitor e a mudança na constante dielétrica do filme é proporcional à umidade relativa do ar a que está exposto.

De acordo com o fabricante AOSONG (<http://www.aosong.com>), recomenda-se utilizar um capacitor de 100 nF entre o VCC e o GND para eliminar ruídos, além de utilizar um resistor de pull-up de 10 kΩ. A tabela 2 mostra as características deste sensor.

Figura 2 – a. Sensor de temperatura e umidade DHT22. b. Constituição interna do DHT22. c. Conexões do sensor DHT22

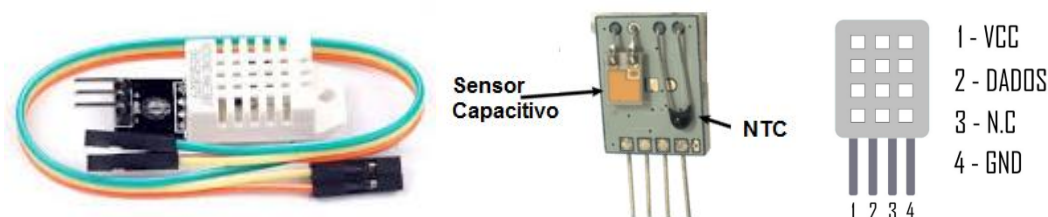


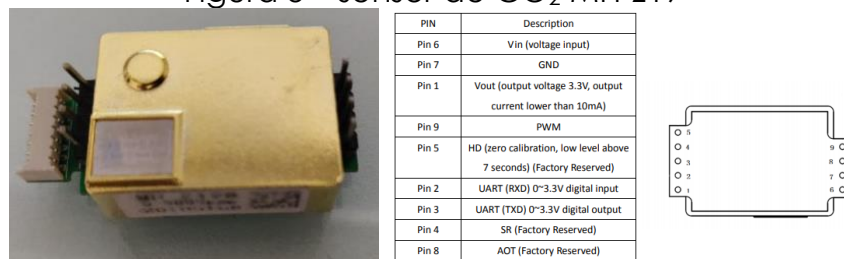
Tabela 2. Características do sensor de temperatura e umidade DHT22

Alimentação (V)	Faixa de medição		Precisão de medição		Tempo para medição (s)
	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	
3,3 à 6	0 à 100	-40 à 80	± 2 (máx.±5)	± 0,5	Cerca de 2 s

## 2.2 Sensor de CO2 MH-Z19

A medição da concentração de CO<sub>2</sub> pode ser realizada utilizando sensores de infravermelhos não dispersivo, assim como o sensor MH-Z19, Figura 3, do fabricante Winsensor (<https://www.winsensor.com>) e que foi utilizado no protótipo desse artigo.

Figura 3 – sensor de CO<sub>2</sub> MH-Z19



Esse sensor não é dependente de oxigênio no ambiente para fazer a medição da concentração de CO<sub>2</sub>, possui tamanho compacto e baixo consumo de corrente, propiciando uma longa vida útil, segundo as características mostradas na Tabela 3. Esse sensor possui duas formas de saídas de dados: via UART ou PWM.

Tabela 3. Dados do sensor de CO<sub>2</sub> MH-Z19

Nome	Faixa de medição (ppm)	Precisão (ppm)	Tipos de saídas	Alimentação	Tamanho (mm)
MH-Z19	0 à 5000	± 50 ± 5%	UART, PWM	3,6 ... 5,5 VCC	32,6 × 19,5

O Cálculo da concentração de CO<sub>2</sub> baseado no sinal PWM “*Pulse-Width Modulation*” é realizado da seguinte forma: O comprimento do ciclo é de 1004 ms, os primeiros 2 ms é sempre alta, e o último é sempre baixo, onde o tempo de transição para o baixo nível de sinal é proporcional à concentração de CO<sub>2</sub> no intervalo de 0 à 5000 ppm. O sensor possui calibração automática integrada. Para ler dados via UART “*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*”, é necessário enviar um comando com nove bytes para o sensor: 0xFF - start byte; 0x01 - número do sensor (sempre 1); 0x86 - comando de leitura; 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 - dados; 0x79 - soma de verificação.

### 2.3 Sensor de Corrente SCT-013

O sensor de corrente que será utilizado no projeto do protótipo é do tipo não invasivo. O sensor de corrente SCT-013, Figura 4, é muito versátil e tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada.

Para fazer a medição da corrente sem a necessidade de contato elétrico com o circuito esse sensor de corrente alternada utiliza as propriedades magnéticas da corrente elétrica. O sensor funcionará como um transformador de corrente, com sua corrente induzida inversamente proporcional ao número de espiras de sua bobina.

De acordo com o fabricante YHDC (<http://www.yhdc.com>), o sensor de corrente utilizado, o modelo SCT-013-000 apresenta uma variação de corrente em sua saída de 0-50mA, com medições de valores de 0 até 100 A de corrente alternada eficaz (RMS). O Material do núcleo é de ferrite e a temperatura de trabalho varia entre -25°C à +70 °C.

Figura 4 – sensor de corrente SCT-013



### 2.3.1 Cálculo do resistor de carga para o sensor de corrente

O valor RMS da corrente é igual ao máximo valor que a corrente pode alcançar (corrente de pico) dividido pela raiz quadrada de dois, equação 1, portanto, a corrente de pico máxima medida é de 141.4A.

$$i_{medido} = \sqrt{2} \cdot i_{rms} \quad (1)$$

A equação 2, permite encontrar a corrente de saída do sensor.

$$N_1/N_2 = i_1/i_2 \quad (2)$$

Sendo;  $i_1$ , a corrente no primário (corrente a ser medida),  $i_2$ , a corrente no secundário,  $N_1$ , o número de voltas do primário (no caso deste sensor igual a 1),  $N_2$  o número de voltas do secundário (neste caso, 2000 espiras).

$$i_{sensor} = 0,0707A$$

O Arduino UNO só realiza, em seus pinos de entrada analógica, a leitura de níveis de tensão (entre 0V a 5V). Dessa forma, precisou-se converter o sinal de corrente alternada do SCT-013 para um valor de tensão que seja legível para o Arduino. O primeiro passo é adicionar um resistor de carga entre os polos do sensor de corrente, segundo a equação 3, foi determinado o valor de 35,4Ω, a partir da corrente alterna em torno de zero e um valor máximo de tensão de 2,5V.

$$R_{carga} = U_{sensor}/i_{sensor} \quad (3)$$

O resistor de carga ideal é de 35,4Ω para uma corrente de até 100A, nesse caso usar ia-se um resistor de 33Ω. Porém para nosso projeto, valores de corrente acima de 20A não serão medidas, neste caso, foi redimensionado para o caso específico, de 0,01414A e um resistor de 176,80Ω, segundo as equações 1 a 2. Foi adotado para o protótipo um resistor de 220Ω, devido ao resistor disponível no mercado, assim como também, porque na utilização do alicate amperímetro, foi constatado que a corrente elétrica quando o compressor está acionado fica em torno de 15A, logo tal resistor de carga não afeitaria ou adicionaria erros nas medições.

O Arduino não permite medir tensões negativas, portanto, foi necessário somar 2,5 V ao sinal (variando entre 0V a 5V). Neste caso, inicialmente, foi montado um divisor de tensão usando a alimentação de 5V que a placa Arduino. Também, foi considerando R1 e R2 iguais a 10kΩ, para que a tensão foi igual, pois os 5V provenientes do Arduino seria dividida igualmente entre as resistências. Foi adicionado um capacitor de 100 μF entre o GND e a saída de 2,5V no meio do divisor de tensão, construindo assim a saída adequada para o protótipo em valor deslocado de 2,5V.

## 3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

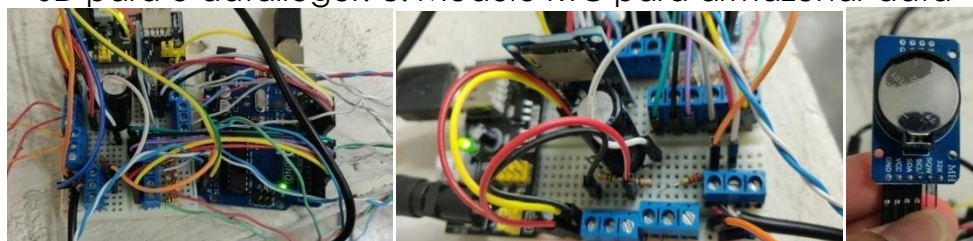
Esta seção foi dividida em duas partes, a primeira foi a preparação do aparato experimental dentro de sala de aula e a segunda parte, o “layout” e estrutura utilizada para fazer as medições na sala de aula, onde serão

coletadas as medições dos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar interno, concentração de CO<sub>2</sub>, e os parâmetros elétricos de consumo. Além disto, o custo total do protótipo de medição de parâmetros de conforto térmico.

### 3.1 Montagem Experimental do protótipo de medição baseado na plataforma Arduino

Esta subseção mostra a instalação do protótipo de medição numa sala de aula no IFPE Campus Recife para a coleta de dados de conforto térmico e dados elétricos de consumo, com o intuito de mostrar a veracidade e versatilidade do protótipo de medição. A figura 5 mostram o protótipo de medição e suas partes de armazenamento de dados.

Figura 5 – a. Montagem inicial do protótipo. b. Montagem com cartão micro SD para o datalogger. c. Módulo RTC para armazenar data



A figura 6 mostra os sensores de temperatura instalados no insuflamento e retorno do ar condicionado, sensor de corrente elétrica e sensor de medição de concentração de CO<sub>2</sub>, respectivamente.

Figura 6 – a. Sensores de temperatura no insuflamento e no retorno. b. Sensor de corrente. c. Sensor de CO<sub>2</sub> instalado em suporte a 1,50 m do chão.

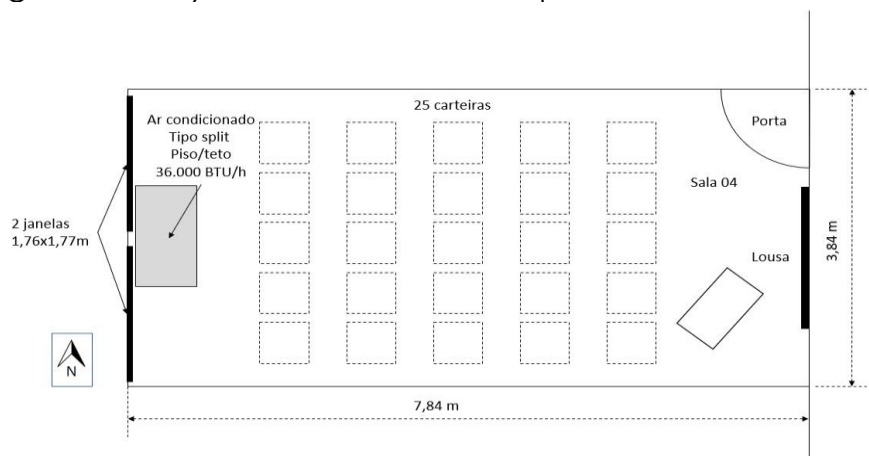


### 3.2 Layout e estrutura de sala de aula em estudo

Foram utilizados 6 sensores de temperatura e umidade DHT22 para o protótipo em questão, sendo dois para o insuflamento e dois para o retorno de ar do ar condicionado, e dois sensores para aferir a temperatura e umidade externa a sala. Optou-se em colocar dois sensores em cada ponto a ser aferido por motivos de segurança, para o caso de algum sensor apresentar falha e assim não inviabilizar as coletas realizadas. Por este mesmo motivo, para o sensor de CO<sub>2</sub> também foi colocado dois sensores. O ar condicionado instalado na sala de aula que foi realizada as coletas é de 36 mil BUTS/h do tipo piso/teto, e a sala de aula comporta 25 alunos.

A figura 7 mostra um “layout” da sala de aula que foi utilizada para fazer a coleta dos dados de conforto térmico, qualidade do ar interior e consumo elétrico do ar condicionado.

Figura 7 – “Layout” da sala de aula para coleta dos dados



Foram utilizados 6 pinos digitais do Arduino UNO para os sensores de temperatura e umidade, 4 pinos para os dois sensores de CO<sub>2</sub> que utilizaram comunicação serial através do software serial, um pino analógico para o sensor de corrente, dois pinos analógicos para o módulo de real “time” RTC, que utiliza protocolo I2C (pinos A4 e A5) e para o cartão SD armazenar os dados como um “*datalogger*”, foram utilizados 4 pinos digitais (pinos 10 a 13), dada a comunicação via interface SPI por meio dos pinos MOSI, SCK, MISO e CS. Desta forma, o Arduino UNO supre todas as necessidades para montagem do protótipo além de reduzir de forma significativa o custo de um dispositivo microncontrolado para fazer tais medições.

A tabela 4 mostra o custo total para aquisição dos itens utilizados no protótipo desenvolvido nesse artigo. Onde percebe-se que o valor total é inferior ao preço de muitos instrumentos que estão no mercado e que não realizam todas as medidas propostas aqui.

Tabela 4. Custos para montar o protótipo

Componente	Valor Unitário	Valor Total
Arduino UNO	R\$ 26,00	R\$ 26,00
Sensor de temperatura e umidade DHT22 (3 unid.)	R\$ 23,90	R\$ 71,10
Sensor de CO <sub>2</sub> MH-Z19	R\$ 95,50	R\$ 95,50
Sensor de corrente SCT-013	R\$ 38,90	R\$ 38,90
“Protoboard” 400 furos	R\$ 10,90	R\$ 10,90
Módulo cartão SD	R\$ 4,90	R\$ 4,90
Módulo real “time” RTC	R\$ 10,90	R\$ 10,90
Fonte Alimentação	R\$ 14,90	R\$ 14,90
Componentes diversos (resistores, jumpers, cabos outros)	R\$ 12,00	R\$ 12,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 285,70</b>



#### **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Para validar os dados coletados, foi utilizado um alicate amperímetro para verificar a corrente do ar condicionado com compressor ligado e desligado, assim como um Analisador de CO<sub>2</sub> ITMCO da marca "Instrutherm" que possui faixa de detecção de 0 a 6.000 ppm de CO<sub>2</sub> e que também é capaz de aferir temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo a Resolução nº 9 da ANVISA estabelece que em uma área construída de até 1.000 m<sup>2</sup>, os pontos amostrais para coleta de CO<sub>2</sub> deverão ser feitos a uma altura de 1,50 m do piso, sendo esta a altura adotada para fixação do sensor de CO<sub>2</sub> no experimento. De acordo com a NR17, do Ministério do Trabalho, a temperatura do ambiente de trabalho onde são executadas atividades intelectuais deve ficar entre 20 e 23 graus celsius, com umidade relativa inferior a 40%. Já a ISO 9241, estabelece que o ideal é manter a temperatura entre 20 e 24 graus no verão e 23 e 26 no inverno, com umidade relativa entre 40% e 80%. Através da Resolução nº 9 da ANVISA (2003), tem-se que o índice máximo para conforto humano é de 1.000 ppm de CO<sub>2</sub> e segundo a Organização Mundial de Saúde - OMS(1988), se essa concentração for por exposição prolongada, pode-se afetar a concentração do ser humano que no caso aplicado ao estudo desse artigo, interferirá no aprendizado dos alunos.

Foram realizadas várias coletas considerando dois cenários: sala de aula com capacidade parcial de ocupação e com ocupação total.

##### **4.1 Análise dos valores coletados para situação de conforto para a sala de aula com capacidade parcial de ocupação**

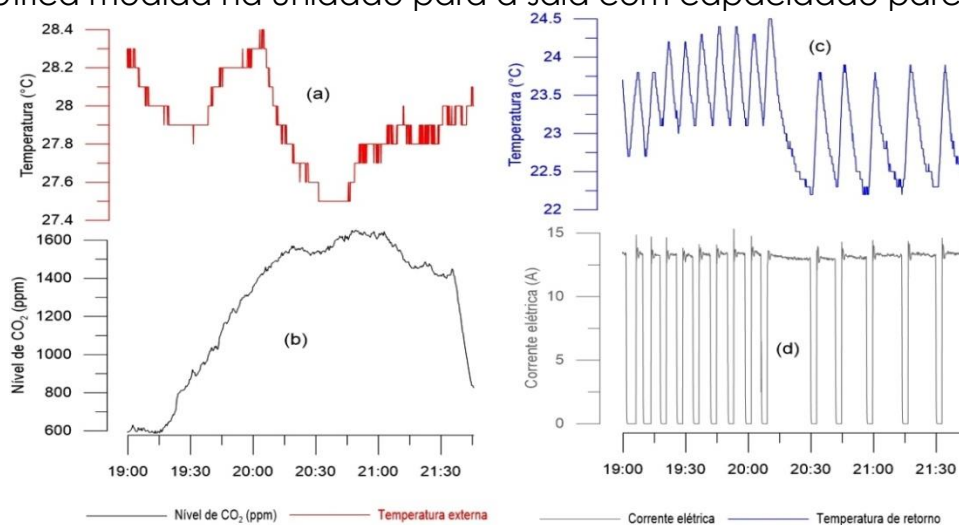
Na coleta para esse cenário, haviam 13 alunos, de um total possível de 25 alunos, com tempo de coleta de aproximadamente três horas e meia. A temperatura e umidade na sala de aula ficaram dentro dos parâmetros recomendados conforme pode ser visto nos gráficos apresentados na Figura 8.

Durante a coleta dos dados, a temperatura externa a sala oscilou entre 27,3 e 28,3°C, conforme pode ser visto na figura 8. O que evidencia a necessidade de um condicionador de ar para promover conforto térmico visando melhor aprendizado para os alunos. Os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> ultrapassaram o valor máximo recomendado de mil partes por milhão (ppm), indicando a necessidade de renovação do ar da sala durante a aula, mesmo com capacidade parcial de ocupação. O fato da concentração de CO<sub>2</sub> exceder 1.600 ppm, conforme figura 9, o que pode comprometer a qualidade da aula ministrada assim como o aprendizado por parte dos alunos que tendem a se dispersar mais facilmente.

Durante as aulas, na sala onde foi realizado o experimento, o setpoint da temperatura do ar condicionado é alterado visando o conforto térmico das pessoas que estão na mesma, porém essa ação de ligar e desligar o compressor baseado no setpoint traz consequências no consumo energético, apresentando picos de corrente toda vez que o compressor é ligado, e

consequentemente, aumentando o consumo e sobrecarregando a rede elétrica.

Figura 8 – Temperatura de retorno do ar e externa, níveis de CO<sub>2</sub>, e corrente elétrica medida na unidade para a sala com capacidade parcial.



Pelo gráfico de temperatura de retorno, pode-se observar a faixa de temperatura para acionamento do compressor feita pelo controlador do ar condicionado fica em torno de 1,5 °C. Durante a aula foi alterado o setpoint de 24°C para 22°C no terço final da aula. Região no gráfico de corrente do ar condicionado que possui maior período com o compressor ligado, visando atender o setpoint estabelecido dado a carga térmica na sala de aula.

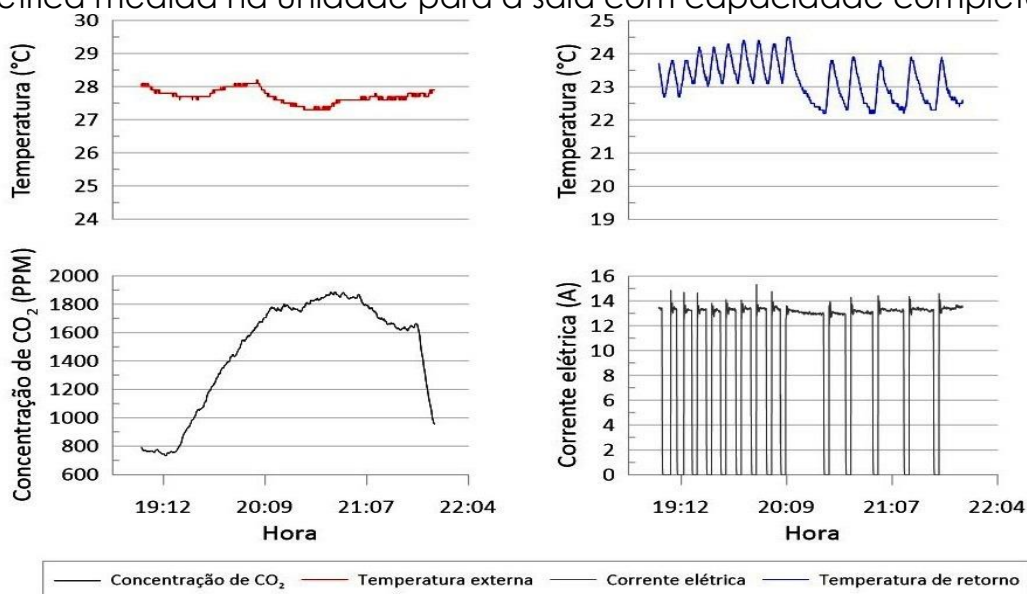
#### 4.2 Análise dos valores coletados para situação de conforto para a sala de aula com capacidade total de ocupação

Para a coleta realizada na sala de aula com 25 alunos, capacidade máxima da sala, para um período de coleta de aproximadamente três horas, o setpoint estabelecido desde o começo da aula foi de 18°C. Porém, a temperatura da sala de aula ficou próxima a 22,5°C, conforme pode ser visto na figura 9, mesmo com o compressor acionado em quase toda a aula. Isto é um problema tanto do ponto de vista energético como operacional do equipamento, evidenciando que o mesmo está trabalhando no limite de sua capacidade para atender a carga térmica da sala com capacidade completa.

Para esse cenário, o elemento de maior relevância foi a concentração de CO<sub>2</sub> que ultrapassou níveis de 2.500 ppm, o que compromete a qualidade de aprendizado. De acordo com o trabalho apresentado em Prestrelo, 2017, os valores encontrados nas salas de aula analisadas apresentaram concentração média de 1.902 ppm.

Isto, leva à alerta da necessidade de renovação de ar para as salas de aula do instituto, independentemente na capacidade o sistema de climatização.

Figura 9 – Temperatura de retorno do ar e externa, níveis de CO<sub>2</sub>, e corrente elétrica medida na unidade para a sala com capacidade completa.



## 5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do protótipo de baixo custo, cerca de R\$ 280 reais, proposto nesse artigo, foi possível analisar de maneira automática parâmetros de conforto térmico, qualidade do ar e consumo energético de um ar condicionado instalado numa sala de aula de uma instituição de ensino, permitindo expor a necessidade da renovação de ar na sala para assim se adequar as normas da ANVISA e garantir uma melhor qualidade no ensino e aprendizado. Como proposta para trabalhos futuros, esse dispositivo que integra várias medidas fundamentais para estabelecer o conforto térmico, a qualidade do ar e o consumo energético, deve-se ter associado um dispositivo que realize a renovação de ar de salas de aula.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa - Universal 402323/2016-5 e também à FACEPE/Cnpq pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa APQ-0151-3.05/14. Os autores agradecem ao IFPE pelas instalações e estrutura para executar o projeto.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE: 2017. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/>>.

ALI, A.S.; ZANZINGER, Z.; DEBOSE, D.; STEPHENS, B. Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Building and Environment*, v. 100, n. 1, p. 114-126, 2016. ISSN 0360-1323. Doi: 10.1016/j.buildenv.2016.02.010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em

ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2003. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/resol/2000/176\\_00.htm](http://www.anvisa.gov.br/resol/2000/176_00.htm)>.

HOSSEINI, S.H. SHOKRYB, E., AHMADIAN, A.J., HOSSEINIC, A., AHMADID, G., CALAUTITE, J.K. Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers: Simulation of conditions in Yazd City, Iran. *Energy for Sustainable Development*, v. 35, n. 1, p. 7-24, 2016. ISSN 0973-0826. doi: 10.1016/j.esd.2016.09.005

JASON M.Y. TSE; PHILLIP JONES. Indoor environmental quality perception and users' satisfaction of conventional and green buildings in Brazil. *Sustainable Cities and Society*, v. 156, n. 1, p. 191-202, 2019. ISSN 0360-1323. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.04.025

KARAMI, M.; MCMORROW, G.V.; WANG, L. Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system. *Journal of Building Engineering*, v. 19, n. 1, p. 412-419, 2018. ISSN 2352-7102. Doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.148.

KIMMLING, M.; HOFFMANN, S. Preliminary study of thermal comfort in buildings with PV-powered thermoelectric surfaces for radiative cooling. *Energy Procedia*, v. 121, n. 1, p. 87-94, 2017. ISSN 1876-6102. Doi: 10.1016/j.energy.2019.03.004.

LADHA-SABUR, A.; BAKALIS, S.; FRYER, P.J.; LOPEZ-QUIROGA, E. Design and validation of a low cost indoor environment quality data logger. *Energy and Buildings*, v. 158, n. 1, p. 1751-1761, 2018. ISSN 0378-7788. Doi: 10.1016/j.enbuild.2017.11.051.

MARINO, C., NUCARA, A., PIETRAFESA, M. Thermal comfort in indoor environment: Effect of the solar radiation on the radiant temperature asymmetry. *Solar Energy*, v. 144, n.1, p. 295-309, 2017. ISSN 0038-092X. doi: 10.1016/j.solener.2017.01.014

PRETELO, Luciano Torres, Influência dos níveis de CO<sub>2</sub> sobre o conforto ambiental: Estudo de caso em salas de aula com climatização artificial, sem renovação de ar. 67 p. Dissertação (Mestrado profissional em Tecnologia Ambiental). Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2017.

SALAMONE, F.; BELUSSI, L.; DANZA, L.; GHELLERE, M.; MERINE, I. How to control the Indoor Environmental Quality through the use of the Do-It-Yourself approach and new pervasive technologies. *Energy Procedia*, v. 147, n. 1, p. 649-653, 2018. ISSN 18766102. Doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.148.

SANT'ANNA, D. O.; DOS SANTOS, P. H.; VIANNA, N. S.; ROMERO, M. A. Indoor environmental quality perception and users' satisfaction of conventional and green buildings in Brazil. *Sustainable Cities and Society*, v. 43, n. 1, p. 95-110, 2018. ISSN 2210-6707. doi: 10.1016/j.scs.2018.08.027

YU, F.W., HO, W.T., CHAN, K.T., SIT, R.K.Y. Theoretical and experimental analyses of mist precooling for an air-cooled chiller. *Applied Thermal Engineering*, v. 130, n.1, p. 112-119, 2018. ISSN 1359-4311. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.11.046

YU, F.W.; HO, W.T.; CHAN, K.T.; SIT, R.K.Y. Probabilistic analysis of mist cooler effectiveness for air-cooled chiller systems. *Energy and Buildings*, v. 158, n. 1, p. 1553-1563, 2018. ISSN 0378-7788. Doi: 10.1016/j.enbuild.2017.11.061.

<http://www.aosong.com>

<https://www.winsensor.com>

<http://www.yhdc.com>