



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

# MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA CONFORTO TÉRMICO E QUALIDADE DO AR VIA MÓDULO COM INTERFACE IOT

## PAPER 31

### RESUMO

Este trabalho trata de uma metodologia de sensoriamento utilizando um módulo eletrônico aplicado em ambientes climatizados de uso residencial e comercial, onde possuem equipamentos individuais de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) considerados vilões do consumo energético em edificações nos períodos de temperaturas elevadas. Utilizando um módulo de aquisição de dados, baseado em circuito microcontrolado com prototipagem eletrônica de hardware livre e sensoriamento com módulo de interface Wi-fi, será realizado o monitoramento de parâmetros psicrométricos como: altitude/pressão barométrica, temperatura, umidade relativa e CO<sub>2</sub>, com objetivo de otimizar o uso do sistema de renovação de ar conforme demanda de CO<sub>2</sub> e assim proporcionar eficiência energética destes equipamentos mantendo os parâmetros dentro dos limites de conforto previstos pela ASHRAE 55, sem abdicar das necessidades dos usuários, automatizando processos que beneficiam o conforto e qualidade do ar nos mais diversos sistemas instalados, utilizando ferramentas de transferência de dados via servidor web.

**Palavras-chave:** Sensores. Qualidade do ar. Eficiência energética. Climatização.

### ABSTRACT

This work deals with a sensing methodology using an electronic module applied in air-conditioned environments for residential and commercial use, where they have individual equipment for Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) considered villains of energy consumption in buildings in periods of high temperatures. Using a data acquisition module, based on a microcontrolled circuit with free hardware electronic prototyping and sensing with a Wi-fi interface module, the monitoring of psychrometric parameters such as: altitude/barometric pressure, temperature, relative humidity and CO<sub>2</sub> will be carried out, with the objective of optimize the use of the air renewal system according to CO<sub>2</sub> demand and thus provide energy efficiency for these equipment, keeping the parameters within the comfort limits provided by ASHRAE 55, without abdicating the needs of users, automating processes that benefit the comfort and quality of the air in the most diverse systems installed, using data transfer tools via web server.

**Keywords:** Sensors. Air quality. Energy efficiency. Air conditioning.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema eficiência energética tem cada vez mais tomado parte do nosso dia-a-dia, não só voltado aos processos industriais, como também nas residências e comércios, seja por apoiar a economia financeira do usuário de equipamentos eletroeletrônicos e, conseqüentemente, da região ou do país, como também contribuir para a matriz energética local diminuindo desperdícios. Em climas mais quentes, como no Brasil,

climatização é o mais importante uso de energia em edificações. Neste caso temperaturas externas terão grande impacto sobre as necessidades de climatização, como também as horas de incidência solar e da intensidade que a luz solar penetra a edificação. Ganhos de calor por pessoas e equipamentos presentes também aumentam a necessidade de climatização. Alguns elementos influenciam a performance energética de uma edificação, dentre os principais deles estão o envoltório da edificação e o Sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). (LAUSTSEN, 2008).

O objetivo principal é aplicar uma metodologia para adquirir dados para controle das variáveis de um ambiente climatizado, visando a eficiência energética do sistema com menor ajuste do usuário, mas mantendo a interatividade. Essas variáveis estão relacionadas ao conforto (temperatura, umidade, pressão barométrica) e também à qualidade do ar (nível de dióxido de carbono, nível de compostos orgânicos voláteis). Os objetivos específicos desta pesquisa podem ser detalhados como:

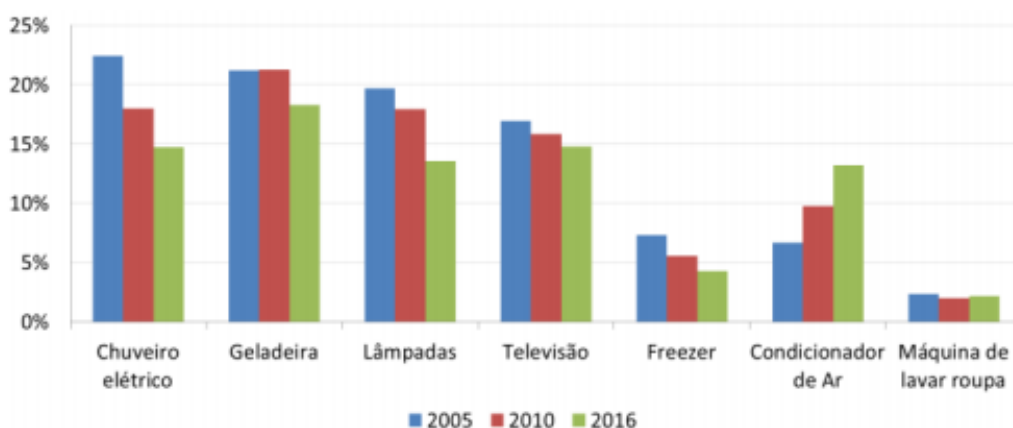
- Otimizar utilização do equipamento de AVAC;
- Monitorar variáveis de conforto térmico;
- Monitorar variáveis de qualidade do ar;
- Efetuar o acionamento do sistema de renovação de ar via wi-fi.

Entre as melhorias obtidas, podem ser citadas: a garantia de valores mais próximos de aceitação do usuário aos parâmetros configurados no equipamento; o trabalho do módulo junto a um sistema de renovação que garante menores níveis de CO<sub>2</sub> no ambiente; melhoria na experiência do usuário em relação a interação com funcionalidades dos equipamentos.

### **1.1 Mercado Nacional de sistemas de AVAC individuais**

Segundo estudo da EPE/MME (2017), a participação de ar-condicionado no consumo de eletricidade nos lares brasileiros tem aumentado, passando de 6,7% para 16,9% de 2005 até 2016, sendo muitos desses equipamentos adquiridos do modelo split em substituição aos mais antigos modelos de Ar condicionado de Janela, porém ainda com participação expressiva no mercado nacional. (GOMES; COSTA; JANNUZZI, [s. d.]).

Figura 1 - Participação dos equipamentos no consumo residencial de eletricidade



Fonte: EPE /MME, 2017

Como vemos em alguns dados históricos de 2015 apresentados, os aparelhos de ar condicionado residencial e comercial individuais mais adquiridos estão em uma proporção de: 88,4% dos aparelhos vendidos foram split e 11,6% janela. (GOMES; COSTA; JANNUZZI, [s. d.]) Percebemos então a importância dos aparelhos split de ar condicionado no mercado nacional e como sua eficiência energética impacta na matriz nacional.

Quadro 1 - Venda de ar-condicionado em 2015 (1000 unidades).

	2015	%
<b>Split</b>	<b>4.243,4</b>	<b>88,4</b>
<b>Janela</b>	<b>555,4</b>	<b>11,6</b>
<b>Total</b>	<b>4.798,8</b>	<b>100</b>

Fonte: (GOMES; COSTA; JANNUZZI, [s. d.])

Os países em geral buscam cada vez mais a utilização de novas fontes de energia, mas também buscam utilizar essa mesma energia de maneira adequada, onde encontra-se o conceito de eficiência energética, sendo definida como eficiente um sistema que oferece mais trabalho com mesma entrada de energia, ou o mesmo trabalho por menos consumo de energia, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA). Dentre algumas certificações conhecidas na área de eficiência energética, como LEED, BREEAM, VERDE, CASBEE e QUALITEL, todas consideram os equipamentos de climatização da edificação como preponderantes nos parâmetros para avaliação da eficiência energética da edificação. (GUILLÉN MENA et al., 2015)

## 1.2 Conforto Térmico

Conforto térmico é definido como uma condição em que a mente do usuário expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE,2010). Padrões de conforto térmico são necessários para ajudar projetistas a determinar um

ambiente interno em que ocupantes da edificação se sentirão confortáveis, além de determinar consumo de energia e sustentabilidade da edificação (THAPA; KR. PANDA, 2015). Alguns estudos na área de conforto térmico estão sendo desenvolvidos voltados para set point de temperatura e eficiência energética, baseados em características térmicas da edificação e temperatura interna do ambiente, também utilizando índices térmicos ambientais (HAN et al., 2019). Outros estudos tentam identificar o impacto energético, caso os equipamentos comercializados no país fossem tão eficientes quanto países modelos, como Coreia do Sul e Japão. (GOMES; COSTA; JANNUZZI, [s. d.]

Existem discussões em que, para cada aplicação específica, o valor de set point e sua seleção pode ser otimizada para minimizar o consumo de energia, foi demonstrado em estudos experimentais que a seleção de set point pode afetar o consumo de energia em até 49% para a mesma temperatura desejada, considerando também a histerese no controle. (FAYAZBAKHS; BAGHERI; BAHRAMI, 2015).

## **2 DESENVOLVIMENTO**

A elaboração do protótipo do módulo de aquisição de dados compreende um microcontrolador e o sensoriamento, além da programação em plataforma específica. Para criação de produtos, é de extrema importância a utilização de módulos com Wi-fi integrados, já disponíveis no mercado, alguns dispõem tanto de comunicação Wi-fi como Bluetooth integrados, além de ser necessário determinar boas capacidades de processamento, porém o foco deste artigo é a prototipagem do conceito, não propriamente o produto.

### **2.1 Periféricos de Sensoriamento e outros**

As medições das grandezas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa (% RH – Relative Humidity) ocorrem através de circuito integrado de relativo baixo consumo de energia, por volta de  $150\ \mu\text{A}$  em corrente ativa, larga escala de operação de tensão para circuitos microeletrônicos da família CMOS, de 1,9V a 3,6V. Para medições de umidade relativa: precisão de  $\pm 3\%$  RH na escala de 0-80%, escala total de medição de 0-100% RH; para medições de temperatura: precisão de  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$  na escala de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , escala total de medição de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ ; possibilidade de comunicação através de protocolo I2C (DATASHEET Si7021). Também será utilizado um sensor de temperatura NTC 10k encapsulado, comum no sensoriamento da área AVAC, que regula sua resistência em função da temperatura ambiente, usado como temperatura globo para parâmetros de temperatura radiante, ligado diretamente na entrada analógica.

As medições da grandeza de pressão (Pa) ocorrem através de um circuito integrado com consumo de energia por volta de  $2,7\ \mu\text{A}$ , escala de pressão entre 300Pa a 1100hPa, equivalente a +9000 a -500m acima ou abaixo do nível do mar, dentro da escala de temperatura ambiente de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ ; precisão relativa, em parâmetros intermediários, de  $\pm 0,12\text{hPa}$ , equivalente a  $\pm 1$  metro de altitude; precisão absoluta típica, também em parâmetros intermediários, de  $\pm 1\ \text{hPa}$ . (DATASHEET BMP 280). A vantagem de dispor de

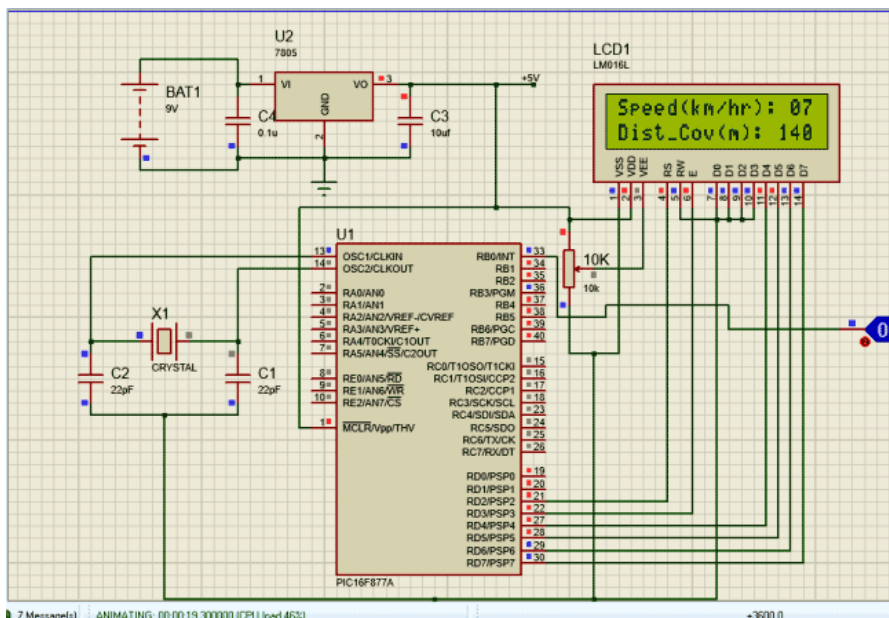
um sensoriamento de pressão é a possibilidade de medir altitude, importante para determinar fatores nos cálculos psicrométricos, como também a possibilidade de traçar uma carta psicrométrica comparando parâmetros externos com os parâmetros internos onde ocorre o processo de AVAC. Parâmetros externos podem ser obtidos através de uma unidade de medição meteorológica externa, como também podem ser obtidos através de dados na internet.

A medição de nível de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de compostos orgânicos voláteis (COV) para monitoramento da qualidade do ar são feitas com circuito integrado; escala de medição de CO<sub>2</sub> entre 400 e 8192 ppm (partes por milhão); escala de medição de compostos orgânicos voláteis de 0 a 1187 partes por bilhão (ppb). A medição de compostos orgânicos voláteis não é relevante para este estudo, porém em ambientes hostis pode ser aplicado. (DATASHEET CCS811).

Um dos parâmetros rejeitados neste artigo é a velocidade do ar, item presente na ASHRAE 55, podendo ser objeto em futuros estudos envolvendo sensoriamento para condições de conforto, principalmente em países de temperaturas quentes, onde os ganhos com ventilação podem melhorar troca térmica.

Foi utilizado também um display LCD 16x2 para verificação das unidades de grandeza estimadas e interação com o usuário através de interface local no módulo de aquisição de dados. A figura abaixo demonstra um exemplo de aplicação do circuito do display LCD 16x2. A montagem do display LCD na plataforma do controlador ocorre via encaixe.

Figura 02 - Diagrama eletrônico exemplificando utilização do Display LCD 16x2.



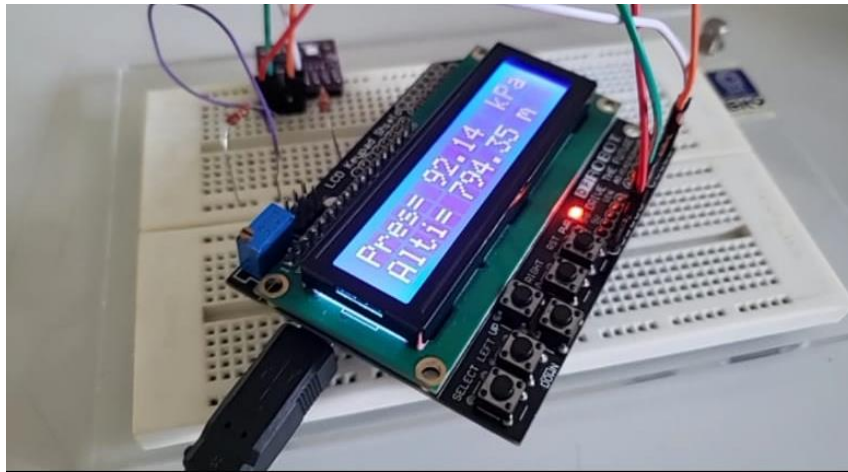
Fonte: Retirado de CircuitDigest.com

## 2.2 A montagem do circuito

O circuito foi montado de forma a receber as informações desta placa integrada de medição de grandezas, citadas acima, e do sensor NTC. A utilização de bibliotecas facilita a utilização de tais periféricos, a comunicação entre o microcontrolador e a placa de sensoriamento é feita através do protocolo I2C (Inter Integrated Circuit).

Nas figuras a seguir o funcionamento do protótipo em condições de teste. O protótipo foi montado na placa de ensaios de matriz de contatos (protoboard), com display LCD 16x2 para teste das grandezas, conforme figura 03. Na figura 04, foi realizado o teste de grandezas medidas em função de monitoramento.

Figura 03: Montagem do protótipo com módulo de sensoriamento



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 04: Teste de grandezas em modo de monitoramento

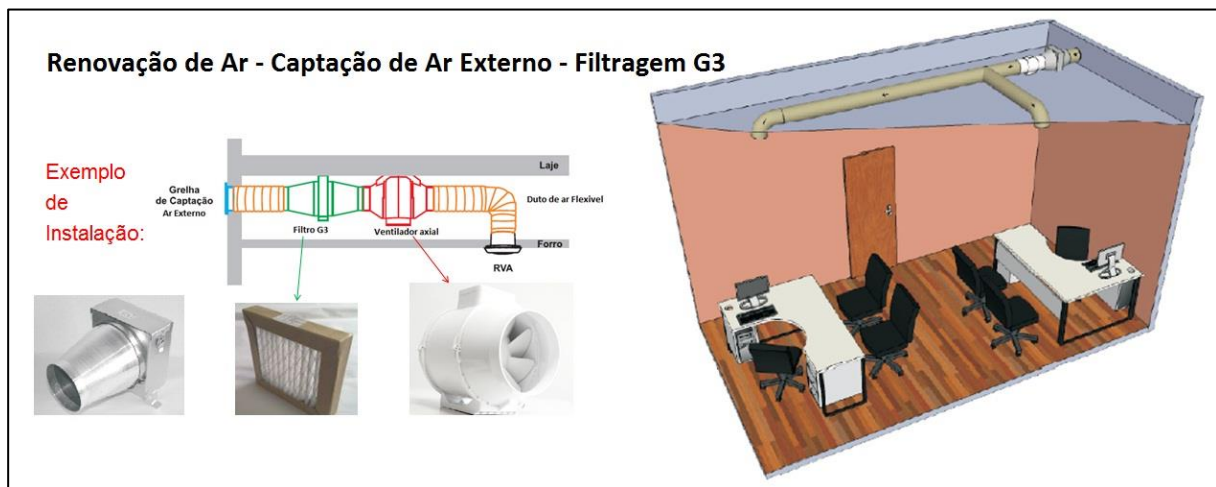
```
COM4
[Enviar]
BMP280 => Temperature = 33.05 °C, Pressure = 919.09 Pa,
SI702x => Temperature = 33.03 °C, Humidity = 55.63
CCS811 => CO2 = 478ppm
BMP280 => Temperature = 33.08 °C, Pressure = 919.07 Pa,
SI702x => Temperature = 33.08 °C, Humidity = 55.62
CCS811 => CO2 = 470ppm
BMP280 => Temperature = 33.06 °C, Pressure = 919.09 Pa,
SI702x => Temperature = 33.08 °C, Humidity = 55.54
CCS811 => CO2 = 478ppm
BMP280 => Temperature = 33.10 °C, Pressure = 919.05 Pa,
SI702x => Temperature = 33.11 °C, Humidity = 55.59
CCS811 => CO2 = 439ppm
BMP280 => Temperature = 33.11 °C, Pressure = 919.04 Pa,
SI702x => Temperature = 33.14 °C, Humidity = 55.60
CCS811 => CO2 = 470ppm
[Auto-rolagem] [Show timestamp] [Nova-linha] [9600 velocidade] [Deleta a saída]
```

Fonte: Elaborado pelos autores

## 2.3 Aplicação do módulo de sensoriamento no controle da renovação de ar

O módulo de sensoriamento será instalado na parede interna do ambiente climatizado e permitirá ao usuário visualizar os dados de altitude/pressão barométrica, temperatura, umidade relativa e CO<sub>2</sub> na tela do display. Na caixa de renovação de ar que atende o ambiente, será instalada uma placa eletrônica de comunicação com o módulo de sensoriamento via rede wi-fi, que fará o controle do acionamento do ventilador através de um contator de comando, conforme demanda de CO<sub>2</sub> informada pelo módulo de sensoriamento, vide exemplo de instalação.

Figura 7 - Sistema de renovação de ar



Fonte: Projetoclima,2021

Com esta estratégia de funcionamento otimizada e eficiente do sistema de renovação é possível obter ganhos de eficiência energética com a implantação deste tipo de solução.

## 3 CONCLUSÕES

Neste estudo, é possível encontrar uma maneira distinta de monitoramento das variáveis ambientais, dadas as condições de tecnologia e desenvolvimento atuais, não mais é suficiente o controle exclusivo de temperatura de retorno para o equipamento de AVAC, sendo que variáveis como nível de CO<sub>2</sub>, temperatura globo, umidade, dentre outras, são importantes para a saúde e o conforto do usuário.

O módulo de sensoriamento traz uma diminuição nos custos de fabricação, com isso os fabricantes devem ficar atentos com a possibilidade de trazer novas funcionalidades, mesmo os de pequeno porte, dando possibilidade de maior interação ao usuário e eficiência energética para o sistema de AVAC. Os ambientes também poderiam dispor de atuadores para renovação do ar, sendo necessário que mesmo os equipamentos de menor porte possam oferecer essa disponibilidade, dado também ao agravamento da pandemia

do novo coronavírus, onde a circulação do ar externo favorece um ambiente mais saudável.

Também é importante que os equipamentos estejam adequados para se comunicar em plataformas diversas, via IoT (Internet of Things – Internet das coisas), dado a grande disponibilidade de equipamentos ligados a internet, a interação com o equipamento se torna mais favorável, interativa e intuitiva com softwares específicos do fabricante, podendo ter um controle maior do equipamento e informações mais precisas, onde o controle remoto já não é suficiente para a experiência do usuário.

## 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

\_\_\_\_\_. ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada- RDC nº 9**, de 16 de janeiro de 2003. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009\\_16\\_01\\_2003.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html)> Acessado em: 16/12/2020.

\_\_\_\_\_. ASHRAE Standard 55, "**Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**," 2010.

BOSCH SENSORTEC; **BMP280: Datasheet** Revision 1.14. 2015. Disponível em <<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>>. Acessado em 14/03/2021.

CIRCUITDIGEST. **Digital Speedometer and Odometer Circuit using PIC Microcontroller**, RAJ, A. 2017 Disponível em <<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/digital-speedometer-odometer-circuit-using-pic16f877a>> Acessado em 18/04/2021

EPE/MME. 2017. **Monitorando O Progresso Da Eficiência Energética No Brasil: Indicadores E Análises Setoriais**. Série 'Estudos de Eficiência Energética'. Nota Técnica DEA 025/17." Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%20025-17%20-%20Indicadores%20de%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>> Acessado em: 16/04/2021.

FAYAZBAKSH, M. A.; BAGHERI, F.; BAHRAMI, M. **Gray-box model for energy-efficient**



**selection of set point hysteresis in heating, ventilation, air conditioning, and refrigeration controllers.** *Energy Conversion and Management*, vol. 103, p. 459–467, 1 Oct. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.071>.

GOMES, R.; COSTA, F.; JANNUZZI, G. **Impactos da melhoria na eficiência de ar-condicionado, Projeto Kigali, Iniciativa Eficiência (MP-18-00257).** [S. l.: s. n.], [s. d.].

GUILLÉN MENA, V.; QUESADA MOLINA, F.; LÓPEZ CATALÁN, M.; ORELLANA VALDÉS, D.; SERRANO, A. **Energetic efficiency in residential buildings.** *Estoa*, vol. 4, no. 7, p. 59–67, 23 Aug. 2015. DOI 10.18537/est.v004.n007.07. Disponível em: <<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/estoa/article/view/841>> Acessado em: 18/07/2020.

HAN, J.; BAE, J.; JANG, J.; BAEK, J.; LEIGH, S.-B. **The Derivation of Cooling Set-Point Temperature in an HVAC System, Considering Mean Radiant Temperature.** *Sustainability*, vol. 11, no. 19, p. 5417, 30 Sep. 2019. DOI 10.3390/su11195417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5417>> Acessado em: 18/07/2020.

LAUSTSEN, M. J. **Energy Efficiency requirements in Building codes, Energy efficiency for new buildings IEA Information paper in support of the G8 Plan of Action.** [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-requirements-in-building-codes-policies-for-new-buildings>> Acessado em: 18/07/2020.

MILLER, D; **Adafruit CCS811 Air Quality Sensor**, DATASHEET, Disponível em <<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ccs811-air-quality-sensor.pdf>> Acessado em 14/03/2021.

PROJETOCLIMA; **Renovação de ar**, 2021. Disponível em <<https://projetoclima.com.br/renovacao-de-ar/>> Acessado em: 18/04/2021.

SILICON LABS. **Si7021-A20. I2C Humidity and temperature sensor** Rev. 1.2 8/16 DATASHEET Disponível em <<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7021-A20.pdf>> Acessado em 14/03/2021.

THAPA, S.; KR. PANDA, G. **Energy Conservation in Buildings – a Review.** *International Journal of Energy Engineering*, , p. 95–112, 26 Agosto 2015. <https://doi.org/10.5963/ijee0504001>.