

## DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO, EM TEMPO REAL, DO CONFORTO TÉRMICO INDOOR

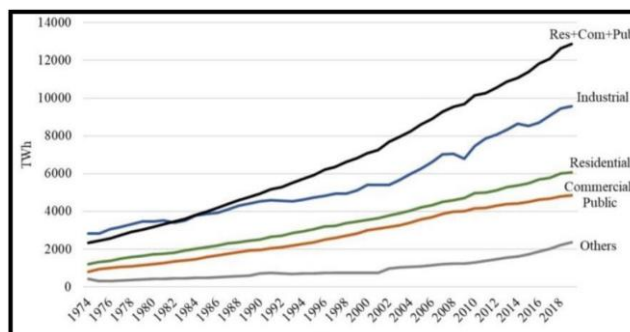
ODS (8; 9; 11; 12)

Vinicius Leite Lemes (Unesp)  
Antonio Faria Neto (Unesp)

### Introdução

A energia é um elemento essencial para o crescimento econômico global, cuja demanda vem aumentando nas últimas décadas (BJERREGAARD; MOLLER, 2019). Esse avanço está diretamente associado a preocupações ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa e o uso intensivo de recursos naturais (TIAN et al., 2020). Diante disso, torna-se indispensável adotar estratégias que reduzam o consumo e os impactos energéticos sem comprometer o desenvolvimento das nações (ZHU; REN; CAO, 2021). Entre essas estratégias, destacam-se as medidas de eficiência energética, voltadas à otimização do uso de energia em edificações e sistemas (CHENG et al., 2019). A Figura 1 ilustra o consumo mundial de energia por segmento, reforçando a importância do tema e a necessidade de soluções tecnológicas para a gestão racional da energia. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento para avaliação em tempo real do conforto térmico em ambientes internos, com base no índice Predicted Mean Vote (PMV), voltado à eficiência energética e à automação de sistemas de climatização.

Figura 1. Consumo mundial de energia por segmento



Fonte: International Energy Agency (IEA) - 2019

## **Revisão da literatura**

O desenvolvimento de dispositivos para avaliação em tempo real do conforto térmico tem se mostrado relevante tanto na automação de sistemas de climatização quanto em pesquisas comportamentais. Por se tratar de uma percepção subjetiva, o conforto térmico não pode ser medido diretamente, sendo tradicionalmente avaliado por meio de escalas psicológicas, que apresentam limitações. Estudos, entretanto, demonstram que variáveis ambientais (como temperatura, umidade e movimento do ar) e pessoais (metabolismo e vestimenta) influenciam de maneira mensurável essa sensação, permitindo a criação de índices correlacionados. Entre eles, o *Predicted Mean Vote* (PMV) é o mais utilizado, por integrar fatores ambientais e pessoais de forma objetiva. Nos últimos 20 anos, a aplicação do PMV em sistemas automatizados de climatização tem proporcionado avanços significativos em eficiência energética e melhoria do conforto ambiental.

## **Método**

Já em relação aos procedimentos metodológicos, a pesquisa engloba diversas vertentes: bibliográfica, ao revisar estudos relacionados ao PMV e dispositivos de medição; documental, pela análise de normas técnicas e manuais de componentes eletrônicos; e estudo de caso, pela aplicação prática em um ambiente real para validação do desempenho. As variáveis que influenciam o PMV incluem: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura radiante média, metabolismo e vestimenta. Os sensores escolhidos estão diretamente relacionados a essas variáveis: o DHT11 mede temperatura e umidade; o Anemômetro mede a velocidade do ar; o MLX90614 mede a temperatura radiante; o CCS811 contribui para a análise da qualidade do ar como variável complementar.

## **Materiais**

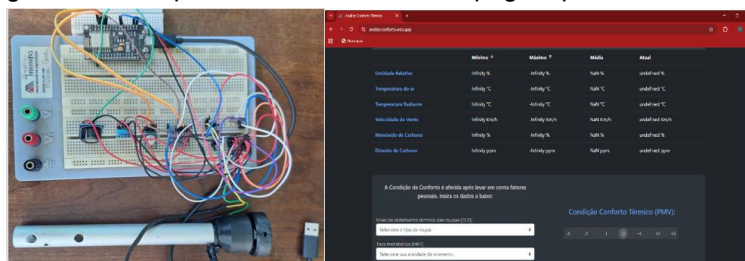
A seção descreve os sensores e componentes utilizados no desenvolvimento do dispositivo para avaliação do PMV, detalhando os componentes, funcionalidade, faixas de medições e especificações com o microcontrolador NodeMCU.

Componente	Função	Faixa de Medição/Especificação
MQ7	Detecção de monóxido de carbono (CO)	20-2000 ppm
DHT11	Medição de temperatura e umidade	Temperatura: 0°C a 50°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )
Anemômetro	Medição da velocidade do vento	Reed Switch
MLX90614	Medição de temperatura por infravermelho sem contato	-70°C a 380°C
CCS811	Medição de compostos orgânicos voláteis (VOC) e CO <sub>2</sub> , equivalente	VOC e CO <sub>2</sub> , equivalente
Bateria Li-Ion 18650	Alimentação do sistema	3,7V
Carregador TP4056	Gerenciamento de recarga da bateria	Proteção contra sobrecarga e descarga
Módulo MT3608	Conversor step-up (elevação de tensão)	Entrada: 2,5V a 28V
NodeMCU ESP8266	Microcontrolador Wi-Fi para processamento e transmissão de dados	17 GPIOs, 4 PWM, entrada analógica, 3,3V, consumo 170mA, autonomia $\pm$ 20h (bateria 1000mAh)

## Resultados e discussão

O desenvolvimento de um sistema automático para o cálculo do PMV permitirá, num primeiro momento, a ampliação de pesquisas parametrizadas pelo conforto térmico. Para ilustrar a arquitetura do sistema, é possível visualizar na Figura 2 o protótipo em sua 1ª versão juntamente da página onde podemos visualizar os valores das variáveis coletadas e o cálculo do PMV.

Figura 2: Protótipo em sua 1ª Versão e a página para coleta de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor

## Considerações Finais

Este projeto está solidamente fundamentado nas teorias clássicas do conforto térmico e da eletrônica digital, particularmente no que diz respeito ao sensoriamento e a sua comunicação via internet.

Conclui-se que este trabalho não apenas contribui para a área de conforto térmico, mas também abre caminhos para pesquisas futuras em automação de edificações, eficiência energética e integração de sistemas IoT. Os próximos passos incluem a otimização do protótipo, a ampliação dos testes em diferentes cenários e a produção de artigos científicos com os resultados obtidos.

Já foram adquiridos todos os sensores necessários para a medição dos parâmetros ambientais chave. Além disso, o candidato possui experiência prévia na integração desses sensores com sistemas digitais de aquisição de dados, o que reduz significativamente os riscos técnicos.

O desenvolvimento desta pesquisa seguirá uma abordagem modular, seguindo um cronograma bem estruturado, o que permitirá a verificação amíúde da evolução do projeto permitindo que ações corretivas possam ser tomadas tão logo ocorram problemas.

## Referências

1. **YE, Guodong et al.** A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET\*). *Building and Environment*, [S.l.], v. XX, n. X, p. XX-XX, 2002. Received 7 February 2001; revised 7 January 2002; accepted 9 January 2002.
2. **KUMAR, Anuj; SINGH, I. P.; SUD, S. K.** Thermal comfort feelings assessment based on digital signal processor. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, [S.l.], v. 1, n. 5, p. 159, May 2009.
3. **PRICE, D. J. S.** *Little Science, big science*. 1. ed. New York: Columbia University Press, 1963.
4. **CURTIUS, H. C.** The adoption of building-integrated photovoltaics: barriers and facilitators. *Renewable Energy*, v. 126, p. 783-790, 2018.
5. **Creswell, J. W., & Creswell, J. D.** (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications