

5.03.04 - Construções Rurais e Ambiente

**SISTEMA EMBARCADO DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO REMOTO DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EQUIPADO COM GLOBO NEGRO FEITO EM IMPRESSÃO 3D UTILIZANDO PLÁSTICO BIODEGRADÁVEL**

Eduardo J. Santos<sup>1\*</sup>, Welington G. Vale<sup>2</sup>, Adilson M. Enes<sup>3</sup>, Patricia A. C. B. Vale<sup>4</sup>, Agnaldo S. Santos<sup>1</sup>

1. Estudante de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe (UFS-SE)

2. Professor da UFS-SE - Departamento De Engenharia Agrícola/Orientador

3. Professor da UFS-SE – Departamento de Engenharia Agrícola

4. Professor da UFS-SE – Departamento de Zootecnia

## Resumo

Índices de conforto térmico são métodos que possibilitam quantificar as condições térmicas do ambiente. A fim de extrair uma ótima produtividade dos animais, se faz necessário lhes proporcionar as condições que favoreçam o seu potencial genético. Este trabalho tem como objetivo, validar um globo negro alternativo impresso em impressora 3D utilizando plástico biodegradável e desenvolver um sistema embarcado capaz de realizar leituras automáticas das variáveis meteorológicas determinando em tempo real os índices de ITU e ITGU. Foram utilizados os sensores DS18B20 e HTU21D para temperatura e umidade do ar. O globo negro plástico mostrou-se preciso para uso em análises de ambiência. Os sensores de baixo custo implementados apresentaram excelente correlação e precisão nas análises. Foi desenvolvido um equipamento de baixo custo, capaz de monitorar variáveis climatológicas em tempo real, e disponibilizá-los em tempo real em plataformas de IOT.

**Palavras-chave:** ITU; ITGU; ZOOTECNIA DE PRECISÃO.

**Apoio financeiro:** Bolsa CNPq.

## Introdução

A fim de extrair uma ótima produtividade dos animais, se faz necessário lhes proporcionar as condições que favoreçam o seu potencial genético. O conforto térmico é essencial para o bem-estar de qualquer indivíduo, pois quando o corpo se encontra na zona de conforto térmico, não há necessidade de esforços metabólicos para aquecer ou resfriar o corpo, uma vez que a temperatura apresenta-se estável. Também há trabalhos que se utilizam dos índices de conforto térmico para avaliar a influência do ambiente no comportamento e trabalho humano (OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

Há registro do uso do globo negro para análise de ambiência desde a década de 1930, com estudos sobre aquecimento e ventilação em habitações, avaliando a carga radiante comparando o globo negro com um radiômetro, concluindo que o globo negro sente a ação dos fatores ambientais semelhantemente a pele humana e que é tão preciso em determinar a carga de radiação quanto um radiômetro. O termômetro de globo negro mostrou-se como um meio prático para mensurar a energia radiante do ambiente, sendo constituído a partir de uma esfera de cobre oca, com diâmetro e espessura aproximados, respectivamente, 150 mm e 0,5 mm, pintado externamente com duas demãos de tinta preto fosco, a fim de reduzir a reflectância, possuindo um termômetro em seu centro para leitura da temperatura (SOUZA, *et al.*, 2002).

Trabalhos como Camerini *et al.* (2011), Souza *et al.* (2002) e Coelho *et al.* (2013) testaram materiais alternativos para a confecção do globo negro, demonstrando que o uso de materiais plásticos de baixo custo como PVC são uma opção viável e possuem boa correlação em relação ao globo metálico padrão.

Este trabalho tem como objetivo, validar um globo negro alternativo impresso em impressora 3D utilizando plástico biodegradável e desenvolver um sistema embarcado capaz determinar em tempo real os índices de conforto ITU e ITGU, salvando os dados localmente e disponibilizando-os remotamente via protocolos de internet.

## Metodologia

O desenvolvimento do protótipo se deu no laboratório de máquinas e motores do departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Sergipe. Foram utilizados os módulos de desenvolvimento ESP32 DEVKIT V1, micro SD SPI, sensor de temperatura modelo DS18B20, sensor de temperatura e umidade HTU21D, RTC DS3231, tela OLED de resolução 128x64 modelo SSD1306, três placas de fenolite perfuradas de dimensões 7x9 cm, a fim de acomodar toda a prototipagem para a conexão dos módulos e botões de interação com o instrumento.

Para o desenvolvimento do software, foi utilizado o editor de código VISUAL STUDIO CODE junto à extensão PLATFORMIO IDE, utilizando o *framework* de desenvolvimento ARDUINO CORE FOR THE ESP32.

Para o desenvolvimento do desenho industrial do globo negro e da interface de usuário do protótipo, foi utilizada a plataforma AUTODESK TINKERCAD. O globo negro foi modelado com diâmetro e espessura, respectivamente, 150 mm e 4 mm. Para impressão das modelagens foi utilizada a impressora 3D modelo CREALITY ENDER 3 PRO, com auxílio do software fatiador ULTIMAKER CURA versão 4.9.

Os sensores DS18B20 e HTU21D foram submetidos a uma calibração junto ao termo-higrômetro digital HIKARI modelo HTH-241.

Ao final da prototipagem, o dispositivo possibilitou a leitura das temperaturas de bulbo seco, globo negro e umidade relativa do ar, calculando a temperatura do ponto de orvalho e os índices de temperatura e umidade (ITU) e temperatura de globo negro e umidade (ITGU), salvando-os em um arquivo CSV no cartão de memória micro SD, em intervalos de 10 minutos. Também foi implementado o protocolo de comunicação com a internet MQTT, utilizando a interface de conexão *wireless* disponibilizada pelo ESP32, a fim de enviar os valores das variáveis de ambiente em tempo real para plataformas online de *Internet of things* (IOT).

Para comparar e validar o globo negro de plástico PLA, verificou-se a correlação entre as medições realizadas pelo dispositivo com os dois globos – metálico e plástico – considerando as medidas de temperatura de globo negro, ITU e ITGU. A coleta de dados foi realizada em duas propriedades rurais nos municípios de Nossa Senhora da Glória - SE e Carira – SE, respectivamente, entre 22/02/2021 até 08/04/2021 e 11/04/2021 até 15/05/2021, totalizando 79 dias de dados coletados para realização da análise estatística.

## Resultados e Discussão

Na tabela 1 são apresentados os valores do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) entre cada par de temperatura e umidade do termo-higrômetro com os sensores aferidos e, entre parênteses, os valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Verifica-se que, de acordo com os valores observados, há uma correlação muito forte entre os sensores (1 DS18B20, 2 DS18B20 e HTU21D) e o termo-higrômetro. Todas as correlações se apresentaram significantes ( $p < 0,01$ ). Ainda, destaca-se na tabela 2 que o maior coeficiente de determinação encontrado foi entre o sensor 1 DS18B20 com o 2 DS18B20, o que também pode ser observado no estudo de Obando Vega *et al.* (2020), onde comparando 6 sensores de temperatura diferentes, concluiu que o sensor de temperatura modelo DS18B20 apresentou ótimo desempenho em termos de precisão e tempo de resposta.

Para a verificação de concordância entre os valores de temperatura e umidades registradas pelos sensores do presente trabalho, com o termo-higrômetro, utilizou-se a análise gráfica de Bland e Altman (1986). Os GRÁFICOS 1, 2, 3 e 4, apresentam essas análises entre, respectivamente, o sensor 1 DS18B20 com o termo-higrômetro, o sensor 2 DS18B20 com o termo-higrômetro, o sensor HTU21D com o termo-higrômetro e entre os sensores 1 DS18B20 e 2 DS18B20.

A análise dos gráficos de Bland e Altman, que avaliam a concordância entre os valores de temperatura registrados pelo sensor 1 DS18B20 e o termo-higrômetro, e do sensor 2 DS18B20 e o termo-higrômetro, respectivamente, permitiu verificar que a maior parte dos valores se encontra dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença de +0,01 °C e -0,1 °C entre os valores registrados pelo termo-higrômetro digital e os sensores 1 DS18B20 e 2 DS18B20, respectivamente, um resultado excelente de concordância.

Com relação à mesma análise realizada entre os valores de umidade registrado pelo sensor HTU21D e o termo-higrômetro, pode-se verificar que a maior parte dos valores se encontra dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença de  $\pm 0,5\%$  UR entre os valores registrados pelo termo-higrômetro e o sensor HTU21D, um resultado excelente de concordância.

Já a mesma análise realizada entre os valores de temperatura registrado pelo sensor 1 DS18B20 o sensor 2 DS18B20, mostra que todos os valores se encontram dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença de  $\pm 0,1$  °C entre os valores registrados pelo sensor 1 DS18B20 o sensor 2 DS18B20, um resultado excelente de concordância.

A Tabela 2 resume os resultados da análise de regressão simples para testar se existe viés de proporção, ou seja, se os valores da média das diferenças de temperatura e umidade, entre os sensores e o termo-higrômetro registrado, distribuem de maneira homogênea nos valores acima e abaixo da média das diferenças entre os mesmos.

A Tabela 3 e 4, respectivamente, mostra os resultados das análises do globo negro nos testes em Nossa Senhora da Glória e em Carira.

Na análise comparativa, o globo negro plástico PLA mostrou-se preciso para uso em análises de ambiência quando comparado com o globo negro metálico padrão, pois apresentou bom coeficiente de

correlação e boa concordância no teste de BLAND e ALTMAN, mostrando-se satisfatório para o uso. Resultados parecidos podem ser observados nos trabalhos de Coelho et al. (2013), e Souza et al. (2002), que testaram diversos materiais alternativos para substituir o globo negro metálico e concluíram que todos os materiais alternativos de baixo custo testados apresentavam bons coeficientes de correlação.

O dispositivo em ambiente de ordenha em obteve uma média de temperatura (Gráfico 5) do ar de 24,4°C (dispositivo com globo metálico) e 23,7°C (dispositivo com globo de PLA). Para as medidas de ITGU foram obtidas médias (Gráfico 6) de 50,1 (dispositivo com globo metálico) e 60,9 (dispositivo com globo de PLA). Em ambiente de pasto obteve-se uma média de temperatura do ar de 26,6°C (dispositivo com globo metálico) e 26,9°C (dispositivo com globo de PLA). Para as medidas de ITGU foram obtidas médias de 77,7 (dispositivo com globo metálico) e 78,1 (dispositivo com globo de PLA).

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação (e seus respectivos coeficientes de determinação) entre os pares de sensores de temperatura e umidade.

Sensor	Temperatura (°C)		Umidade (%)	
	Higrômetro	Sensor 1 DS18B20	Sensor 2 DS18B20	Sensor HTU21D
Sensor 1 DS18B20	0,93* (0,87)	-	0,98* (0,99)	-
Sensor 2 DS18B20	0,95* (0,91)	0,98* (0,99)	-	-
Higrômetro	-	0,93* (0,87)	0,95* (0,91)	0,95* (0,91)

\*Coeficiente de correlação linear de Pearson (r) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de t.

**Tabela 2.** Resultado da análise de concordância das médias de temperatura e umidade relativa do ar entre os sensores DS18B20, HTU21D e o termo-higrômetro digital.

Termo	Erro <sup>1</sup> Padrão	Valor-P
Média Temperatura (Termo-higrômetro + Sensor 1 DS18B20)/2	0,088	0,80*
Média Temperatura (Termo-higrômetro + Sensor 2 DS18B20)/2	0,057	0,59*
Média Temperatura (Sensor 1 DS18B20 + Sensor 2 DS18B20)/2	0,033	0,15*
Média Umidade (Termo-higrômetro + Sensor HTU21D)/2	0,136	0,13*

\*Valor de  $p > 0,005$  significa que não existe viés de proporção, pela análise de regressão simples. <sup>1</sup>Erro padrão de coeficiente.

**Tabela 3.** Resultado da análise de correlação da temperatura de globo negro e ITGU registrada entre o globo de cobre e o globo de PLA, em Nossa Senhora da Glória.

Equação	r <sup>2</sup>
$Tg = 1,00 * Tg_{PLA} - 0,3931$	0,992
$ITGUg = 1,00 * ITGUg_{PLA} - 0,4214$	0,990

**Tabela 4.** Resultado da análise de correlação da temperatura de globo negro e ITGU registrada entre o globo de cobre e o globo de PLA, em Carira.

Equação	r <sup>2</sup>
$Tg = 1,04396 * Tg_{PLA} - 1,6230$	0,999
$ITGUg = 1,04257 * ITGUg_{PLA} - 3,762$	0,999

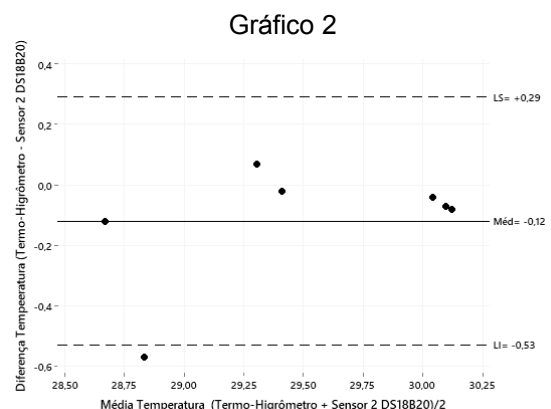
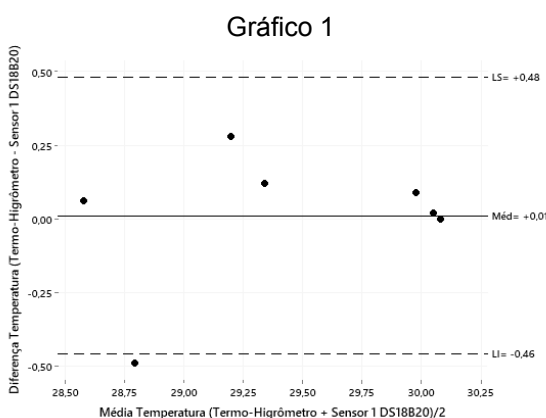


Gráfico 3

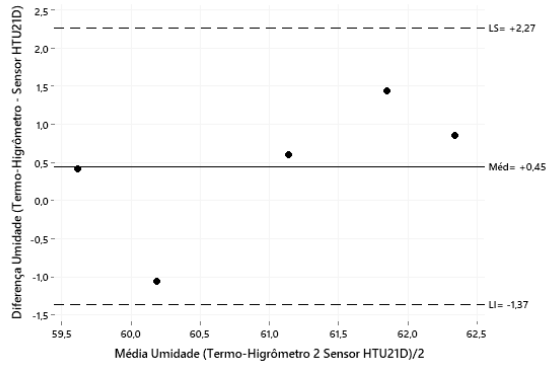


Gráfico 4

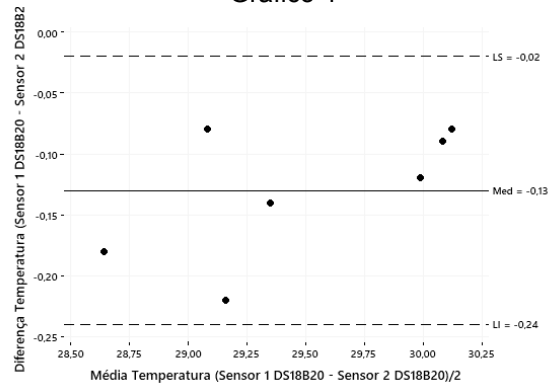


Gráfico 5

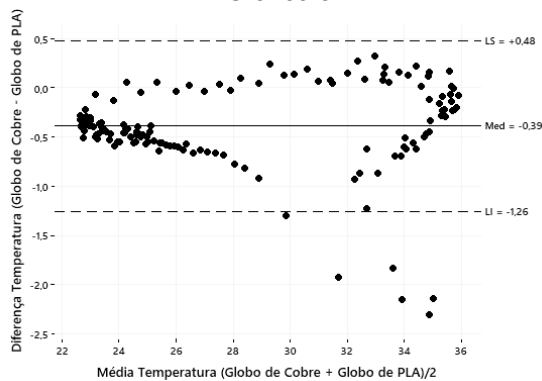
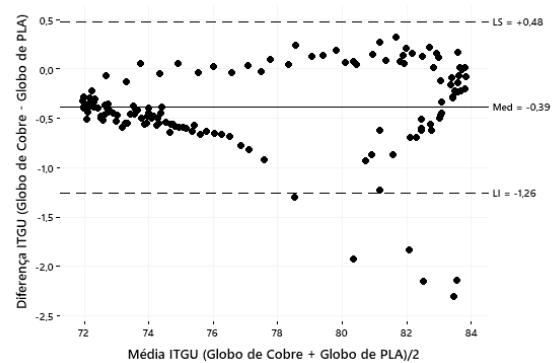


Gráfico 6



## Conclusões

O globo negro feito a partir de impressão 3D utilizando plástico biodegradável PLA, provou-se preciso para uso em análises de ambiência quando comparado com o globo negro metálico padrão de uso em análises de ambiência, apresentando bom coeficiente de correlação e boa concordância no teste de BLAND e ALTMAN, mostrando-se satisfatório para o uso.

Os sensores de baixo custo implementados – DS18B20 e HTU21D – apresentaram excelente correlação e precisão nas análises.

Foi desenvolvido um sistema embarcado de baixo custo, de boa precisão, capaz de monitorar variáveis climatológicas em tempo real, calcular índices a fim de medir o stress térmico, e disponibilizá-los em tempo real para plataformas de *Internet of things* (IOT), utilizando-se de rede *wireless* e protocolo de conexão MQTT.

O dispositivo desenvolvido se mostra como uma alternativa acessível para aqueles que desejam monitorar variáveis climáticas de forma remota e online, uma vez que equipamentos semelhantes possuem custo elevado, não calculam os índices diretamente, não possuem conexão com a internet, e não possibilita o monitoramento constante do ambiente de produção.

## Referências bibliográficas

Camerini, Nerandi Luiz; Mendonça Motta, Jeane Karla; Mendes, Luciano Barretos; Nascimento, José Wallace Barbosa. AVALIAÇÃO DE INSTRUMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS ALTERNATIVOS PARA O MONITORAMENTO DA AMBIÊNCIA EM GALPÕES AVÍCOLAS. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 19, n. 2, p. 125–131, 2011.

COELHO, R.B.; PAULA, M. O.; RAMIREZ, M. A.; Caetano, S. P.; Vieira, D. F. D. Estudo de Materiais Alternativos Empregados na Confecção do Termômetro de Globo Negro Utilizado para Cálculo de ITGU e CTR. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 21, n. 6, p. 597–604, 2013.

Obando Vega, Felipe Andrés; Montoya Ríos, Ana Paola; Osorio Saraz, Jairo Alexander; Vargas Quiroz, Luis Gonzalo; Alves Damasceno, Flávio. Assessment of black globe thermometers employing various sensors and alternative materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 284, n. August 2019, p. 107891, 2020.

OLIVEIRA JÚNIOR, Arilson José. Dispositivo móvel para análise de conforto térmico e ambiência. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP)**, Botucatu. 2016.

SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; FERREIRA, W. P. M.; SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. **Cienc. Agrotec.**, Lavras, v.26, n.1, p.157-164, jan./fev., 2002.