

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA**

RAFAEL TRILHA DE BARCELOS

**TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO: estimativa e métodos
alternativos de baixo custo para medições em ambientes externo e interno**

**FLORIANÓPOLIS - SC
2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA**

RAFAEL TRILHA DE BARCELOS

TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO: estimativa e métodos
alternativos de baixo custo para medições em ambientes externo e
interno

**FLORIANÓPOLIS - SC
2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA**

RAFAEL TRILHA DE BARCELOS

TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO: estimativa e métodos alternativos de baixo custo para medições em ambientes externo e interno

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Rosandro Boligon Minuzzi, Dr.

**FLORIANÓPOLIS - SC
2022**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barcelos, Rafael

TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO : estimativa e métodos
alternativos de baixo custo para medições em ambientes
externo e interno / Rafael Barcelos ; orientador, Rosandro
Bolignon Minuzzi, coorientador, Milene Puntel Osmari,
2022.

30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agrárias, Graduação em Zootecnia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Zootecnia. 2. Ambiência. 3. Conforto animal. 4.
Índice de temperatura de globo e umidade. I. Bolignon
Minuzzi, Rosandro . II. Puntel Osmari, Milene. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Zootecnia. IV. Título.

Rafael Trilha de Barcelos

TEMPERATURA DO GLOBO NEGRO: estimativa e métodos alternativos de baixo custo para medições em ambientes externo e interno

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado e adequado para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Zootecnia.

Florianópolis, fevereiro de 2022.

Prof.(a) Milene Puntel Osmari, Dr.(a)
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Rosandro Boligon Minuzzi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Diego Peres Netto, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Sérgio Augusto Ferreira de Quadros, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que estiveram presentes na minha jornada até aqui. Especialmente minha mãe, meu pai, minha irmã, meus avós e minha mulher, que me apoiaram e incentivaram tanto que sinto que esta conquista é de todos nós.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores do Centro de Ciências Agrárias por terem sido fundamentais para que este trabalho se concretizasse e, em especial, ao meu orientador, professor Rosandro, por ser um tutor exemplar com quem sempre pude contar durante a confecção do presente trabalho.

Agradeço, em especial, meus pais, Luiz e Giane, por terem me apoiado durante toda a minha trajetória no curso. Agradeço também aos meus avós, seu Félix e dona Nilza e minha irmã, Beatriz, por também me apoiarem e compartilharem comigo a empolgação com a zootecnia.

Agradeço minha mulher, Emanuelle, pelas conversas, entendimentos e parceria que foram fundamentais para este momento.

Agradeço também a todos os amigos próximos que acompanharam minha trajetória: Alexandre, Diane, Gabriel, Ismael, Léo, Marco, Marlon, Samir e todos os demais. Muito obrigado por fazerem parte da minha vida!

RESUMO

O índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) é um índice de conforto térmico obtido através de um cálculo que envolve temperatura do ar, umidade do ar e de energia térmica radiante proveniente do ambiente. Para sua determinação são necessários dados instrumentais fornecidos por um termohigrômetro (umidade do ar (UR) e temperatura do ar (T)) e de um termômetro de globo negro (temperatura do globo negro - Tg). O termômetro de globo negro é composto de um sensor envolto de uma esfera oca de cobre pintada de preto que possui um custo elevado para aquisição, ao contrário de um termômetro. Por isso, este trabalho objetivou analisar a eficiência nos registros de temperatura do globo negro e, conseqüentemente, do ITGU, com uso de três materiais alternativos pintados em preto fosco: garrafa pet (GP), bola de plástico (BP) e pote de vidro (PV). As coletas horárias de Tg com materiais alternativos e com termômetro de globo negro comercial, modelo TGD-200 da Instrutherm (considerado como padrão) foram feitas das 10:00 às 16:00 (considerado como período diurno) entre 16/09/2020 e 06/05/2021, na área da estação meteorológica do CCA/UFSC. Juntamente com registros de temperatura do ar e umidade relativa foi obtido o ITGU em ambiente externo e interno. No ambiente externo, os dados foram analisados separadamente de acordo com a nebulosidade (céu claro, parcialmente nublado e nublado) e indiferente da nebulosidade. No ambiente interno, os instrumentos comerciais (Tg, T e UR) e com materiais alternativos foram instalados dentro do abrigo meteorológico. A comparação de Tg e ITGU obtida com instrumento padrão com os materiais alternativos foi feita aplicando o teste t-Student entre as médias do período diurno e entre as médias dos valores máximos diurnos nos ambientes interno e externo. A regressão linear simples e/ou polinomial de 2º ordem foi usada visando correlacionar e, conseqüentemente, obter equações para estimativa de Tg, usando dados de temperatura do ar. Ademais, seis índices estatísticos foram usados para avaliar o desempenho das medidas de Tg com os materiais alternativos nas diferentes situações em termos de nebulosidade e ambiente interno/externo. Os resultados mostram que é possível estimar a temperatura do globo negro média para o período diurno e o seu valor máximo diário usando dados de temperatura do ar em ambiente externo e, principalmente, interno. É viável usar mini garrafa PET e/ou pote de vidro pintados de preto fosco, para medir com um 'ótimo' desempenho a temperatura do globo negro. O ITGU médio para o período diurno ou no momento mais quente do dia, pode ser calculado usando Tg com mini garrafa PET em ambiente externo, e preferencialmente, em ambiente interno.

Palavras-chave: Conforto térmico. Instrumentação meteorológica. Índice de temperatura de globo. Umidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Termômetros com sensor externo a ser instalado no interior dos materiais alternativos: a) pote de vidro 400 gramas, b) bola de plástico e c) garrafa PET de refrigerante.....	18
Figura 2 - Instalação no ambiente interno a) e no ambiente externo b) do termômetro de globo negro padrão TGD-200 e dos três termômetros com materiais alternativos.....	20

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Coeficiente de determinação (R^2), valor do F e equação de regressão entre a média do período diurno de temperatura do globo negro (T_g) com a média da temperatura do ar (T) e entre a temperatura máxima do globo negro (T_{gmx}) com a temperatura máxima do ar (T_{mx}) em ambiente interno e ambiente externo em condições de céu claro, parcialmente nublado, nublado e independente da nebulosidade.....23
- Tabela 2** - Indicadores de avaliação dos registros médios diurnos de temperatura do globo negro usando materiais alternativos com mini garrafa PET (T_g -GP), bola de plástico (T_g -BP) e pote de vidro (T_g -PV).....24
- Tabela 3** - Indicadores de avaliação dos registros máximos de temperatura do globo negro usando materiais alternativos com mini garrafa PET (T_{gmx} -GP), bola de plástico (T_{gmx} -BP) e pote de vidro (T_{gmx} -PV).....26
- Tabela 4** - Diferença entre as médias do período diurno dos ITGU e extremos máximos dos ITGUm_x obtidos com T_g padrão e T_g usando materiais alternativos com mini garrafa PET (GP), bola de plástico (BP) e pote de vidro (PV).....27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BP - Bola de plástico
- C - Índice de confiança
- C - Índice de concordância de Willmott
- ea - Pressão real do vapor d'água (kPa)
- EM - Erro médio
- EPE - Erro padrão de estimativa
- EQM - Erro quadrático médio
- GP - Garrafa PET 237ml
- lk - Índice de claridade
- ITGU - Índice de temperatura de globo e umidade
- PV - Pote de vidro
- r - Coeficiente de correlação
- R² - Coeficiente de determinação
- Rg - Radiação solar global (MJ.m⁻²)
- Ro - Radiação solar extraterrestre (MJ.m⁻²)
- T - Temperatura do ar (°C)
- Tg - Temperatura de globo negro (°C)
- Tgmx - Temperatura máxima de globo negro (°C)
- Tmx - Temperatura máxima do ar (°C)
- To - Temperatura do ponto de orvalho (°C)
- UR - Umidade relativa do ar (%)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Baêta e Souza (2010), o avanço tecnológico nos sistemas produtivos animais tanto do ponto de vista genético quanto do gerencial, faz com que o meio ambiente adequado seja condição indispensável para que os animais possam expressar o seu máximo produtivo, resultante do seu bem estar.

Para manutenção da homeostase (manutenção de temperatura corporal constante), deve haver um equilíbrio entre a termogênese (processos fisiológicos de produção de calor) e a termólise (processos fisiológicos de perda de calor para o meio) (Barbosa et al., 2004).

As novas exigências mundiais de produção agrícola, dentro de processo ético, cada vez mais se voltam para os conceitos das boas práticas de produção, considerando o bem-estar animal e do trabalhador, a segurança alimentar e o respeito ao meio ambiente (Campos, 2009).

O conforto térmico de animais homeotérmicos é um ponto de equilíbrio térmico do animal em relação ao ambiente. Neste processo de troca de energia, os fatores externos do ambiente tendem a produzir variações internas no animal, influenciando a quantidade de energia trocada entre ambos, conseqüentemente, necessitando de ajustes fisiológicos para o balanço de calor (Baêta e Souza, 2010).

Para expressar o conforto do animal em determinado ambiente, vários autores têm proposto e utilizado índices de conforto térmico. Para a obtenção destes índices, geralmente são considerados dois ou mais elementos climáticos, sendo os mais comumente utilizados em razão de sua importância, **a temperatura do ar, a umidade do ar, velocidade do vento e a temperatura do globo negro (Tg)**. A temperatura indicada pelo globo, que é colocado no lugar que um animal ocuparia no espaço, provê uma estimativa dos efeitos combinados da energia térmica radiante procedente do meio ambiente em todas as direções possíveis, da temperatura do ar e da velocidade do vento, dando assim uma medida do conforto térmico proporcionado em determinado ambiente.

O instrumento é constituído de uma esfera oca de cobre, com 15 cm de diâmetro e 0,05 cm de espessura (dimensões mais comuns), pintada externamente com duas camadas de tinta preta fosca; em seu centro é instalado o elemento sensor de termopar (instrumento automático) ou termômetro para a leitura instantânea da temperatura (instrumento manual).

Apesar da importância em pesquisas ou para o monitoramento das condições de conforto térmico, a aquisição do instrumento é dificultada pelo seu elevado custo. Um termômetro de globo negro manual que fornece somente a leitura instantânea e necessita de um observador para a coleta de dados tem o seu preço médio em torno de US \$120,00 (desconsiderando impostos e frete). O instrumento com *datalogger* que possibilita que os seus dados sejam armazenados automaticamente, tem o seu preço em média de US \$230,00 (desconsiderando impostos e frete). Por este motivo, os estudos de Camerini et al. (2011) e de Coelho et al. (2013) visaram elaborar maneiras mais baratas de medir a temperatura do globo negro com a utilização de diferentes materiais alternativos ao globo.

No primeiro estudo, os autores utilizaram duas esferas de plástico (PVC) revestidas com uma camada de spray na cor preto fosco, com diferentes diâmetros e com sensores de temperatura nos seus centros. Na comparação dos registros com um termômetro de globo negro padrão, encontraram resultados com boa precisão e exatidão.

No estudo de Coelho et al. (2013), foram utilizados sete diferentes materiais (todos pintados na cor preto fosco), onde foram inseridos em seus centros, termômetros de vidro de mercúrio, ou seja, as leituras foram manuais e realizadas em cinco horários diurnos, das 9 horas às 17 horas, durante 15 dias. Os “globos negros” que utilizaram garrafa PET e de luminária foram os que tiveram registros mais próximos ao termômetro de globo negro padrão, com recomendação dos autores de ajustes nas leituras de $\pm 0,7$ °C e $\pm 0,5$ °C, respectivamente.

Percebe-se que já houve tentativas na busca por alternativas mais baratas de medição da temperatura do globo negro. Porém, no estudo de Camerini et al. (2011) o inconveniente é que o experimento foi realizado num período de apenas 50 horas em um ambiente protegido (galpão), ou seja, os instrumentos não ficaram suscetíveis às variações mais bruscas de T_g em função da radiação solar direta, justamente quando tende a haver as maiores diferenças e o desconforto térmico é maior. No estudo de Coelho et al. (2013), alguns dos materiais utilizados não resistiriam as intempéries meteorológicas se instalados em ambiente externo, além do experimento envolver instrumentos manuais, que exigem a presença de pessoas para realização das leituras.

Outra medida para obtenção de T_g e, conseqüentemente, de índices de conforto térmico é estimando os seus valores, preferencialmente a partir de

dados provindos de instrumentos de baixo custo e habitualmente encontrados nas estações meteorológicas como o termômetro.

No atual cenário de estações meteorológicas, é notável a predominância de estações automáticas em relação às estações convencionais (manuais), e esta deverá ser a tendência para o futuro, atestando a maior praticidade na utilização de instrumentos automáticos, já que, não necessitam da presença diária de observadores para a coleta de dados e podem realizar os registros numa periodicidade definida pelo usuário que varia de segundos a minutos.

Diante do exposto, este trabalho objetivou analisar o desempenho nos registros de temperatura do globo negro e, conseqüentemente, do índice de temperatura de globo e umidade, com uso de materiais alternativos, bem como, a estimativa de T_g usando dados de temperatura do ar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conforto térmico e o bem estar animal

Para manutenção da homeostase (manutenção de temperatura corporal constante), deve haver um equilíbrio entre a termogênese (processos fisiológicos de produção de calor) e a termólise (processos fisiológicos de perda de calor para o meio) (BARBOSA et al., 2004).

O conforto térmico de animais homeotérmicos é um ponto de equilíbrio térmico do animal em relação ao ambiente. Nesta situação não há necessidade de mobilização de recursos e energia para lançar mão de adaptações fisiológicas de termorregulação, afim de ajustar-se às condições ambientais e alcançar termoneutralidade (VIEIRA, 1997).

A zona de termoneutralidade tem como limites a temperatura crítica inferior e a temperatura crítica superior. Abaixo da temperatura crítica inferior, o animal entra em estresse pelo frio (hipotermia) e acima da temperatura crítica superior, sofre estresse pelo calor (hipertermia) (EMBRAPA, 2009).

Na literatura, existe grande variação no que concerne às temperaturas que delimitam faixa de termoneutralidade, pois o conforto térmico também depende da umidade relativa do ar e da adaptação e nível metabólico do animal, que passa pelo plano nutricional e nível de produção. (EMBRAPA, 2009)

Para Berton (2013), sem um ambiente adequado o animal é incapaz de demonstrar seu máximo potencial genético, de manter sua higidez (estado de perfeita saúde) e de se nutrir de forma adequada, devido ao desvio de energia para a manutenção da temperatura corporal.

Para Nóbrega et al. (2011) o conhecimento da tolerância e da capacidade das diversas espécies e raças como forma de suporte técnico a uma determinada exploração animal se faz necessário, bem como, o estudo da introdução de raças em uma nova região ou o norteamento de um programa de cruzamento, buscando desenvolver genótipos mais adequados à uma condição mais específica de ambiente.

Machado (1985) afirmou que a combinação de altos valores de temperatura e umidade relativa pode reduzir a quantidade de calor dissipado na forma latente. Com essa redução, diminui o consumo de ração e aumenta a frequência respiratória

e a temperatura retal dos animais

Oliveira et al. (2006) observaram que para aves em temperaturas ambientais de até 21°C, imperam as perdas sensíveis de calor por meio dos processos de radiação, condução e convecção. Em temperaturas mais elevadas, aumenta a perda de calor por evaporação, principalmente, pelo trato respiratório.

— Silva et.al (2002) encontraram efeitos significativos na produção de leite (7,28% a mais) em animais submetidos a salas de ordenha climatizadas com sistema de resfriação evaporativo.

2.2. Índice de temperatura de globo e umidade

O índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) foi desenvolvido por BUFFINGTON et al. (1981) como um índice ambiental para a caracterização do conforto térmico de vacas leiteiras expostas a ambientes com radiação solar direta e indireta.

Ele engloba, além da temperatura do ar, o efeito da radiação, da umidade relativa do ar, da pressão barométrica e o efeito do vento. A utilização desse índice simula o processo de sudorese. (EMBRAPA, 2009).

Pereira et al. (2018) observaram correlação significativa positiva entre aumento de ITGU e comportamento de pastejo. Foi encontrada correlação negativa entre ITGU e o comportamento de ócio dos animais. Isto pode ser explicado pelo desconforto dos animais em temperaturas elevadas. SOUSA (2014) verificou que codornas mantidas em estresse térmico (seja por frio ou calor) durante a fase inicial de criação não se recuperam ao final do ciclo de vida.

O National Weather Service/USA, em 1976, concluiu após 13 anos de estudo que os valores de ITGU até 74 podem ser considerados confortáveis para bovinos; de 74 a 78 definem situação de alerta; de 79 a 84, perigo e acima de 84, emergência (BAÊTA, 1985).

Barbosa et al., (2008) observaram através da análise de identidade de um modelo aplicado que a temperatura e a umidade do ar e o ITGU foram os que mais influenciaram dentre as demais variáveis do ambiente. A temperatura e a umidade do ar exerceram um efeito linear negativo, enquanto o ITGU um efeito linear positivo.

2.3. Materiais alternativos para a confecção de um globo negro

Coelho et al. (2002) compararam latas de 350ml e garrafa de plástico PET de dois litros de refrigerantes, latas de leite em pó 400g, caixas de leite, bolas de pingue-pongue PVC, bolas plásticas de árvore de natal com 6,5 cm de diâmetro, e luminárias em globo esférico de plástico branco e concluíram que os globos confeccionados com luminárias e garrafa PET foram os mais próximos do globo original de cobre no experimento conduzido na Universidade Federal do Espírito Santo.

Souza et al., (2002) testaram os materiais: latão oco, alumínio oco, bola de pingue pongue PVC, e plásticos PVC de 1- de plástico dotipo cloreto de polivinila (PVC), oco, com 11,5 cm e 0,15 cm de diâmetro e espessura 0,05 cm nas condições ambientais da cidade de Viçosa - MG. verificaram que os tratamentos com as bolas plásticas foram satisfatórios para montagem de experimentos em ambiência animal e vegetal.

Becegato et al. (2007) realizaram teste em Lages/SC com os seguintes materiais: esfera oca de latão com 11 cm de diâmetro e 0,5 mm de espessura e esfera oca de plástico com 11,5 cm de diâmetro e 0,5 mm de espessura e concluíram que as leituras devem ser realizadas a um intervalo mínimo de 15 minutos para estabilização dos instrumentos e que ambos os materiais apresentam respostas satisfatórias para substituição do termômetro de globo negro convencional de cobre.

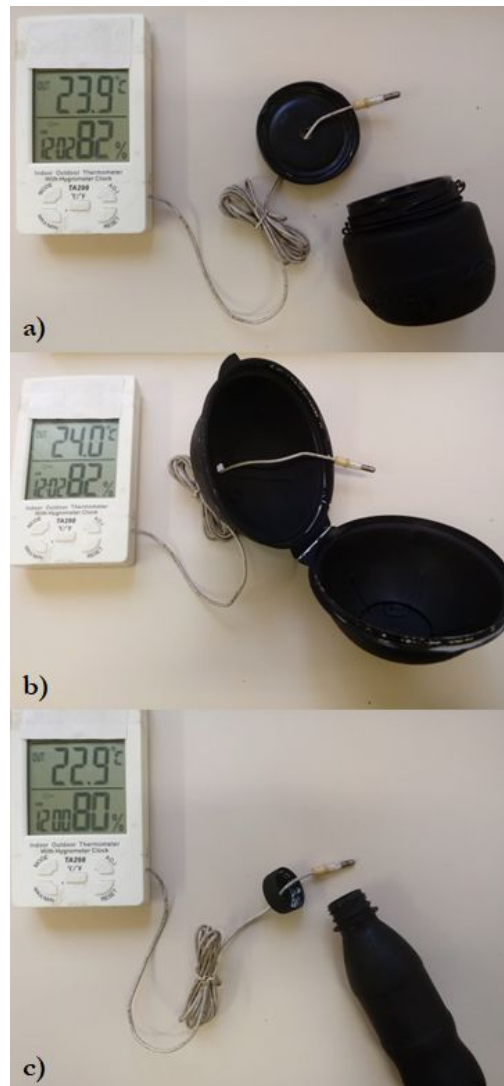
3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre agosto de 2020 e julho de 2021, na área da estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizada no bairro Itacorubi em Florianópolis (latitude: 27,57° sul; longitude: 48,50° oeste e altitude: 2 metros), Santa Catarina. O clima do município conforme a classificação climática de Köppen é Cfa, isto é, subtropical, sem estação seca e temperatura média do mês mais quente acima de 22 °C (Alvares et al., 2013).

Três materiais com um sensor externo de temperatura instalado internamente foram testados como alternativas para medida da temperatura de globo negro, sendo todos eles pintados com tinta preto fosco: pote de vidro preto com capacidade de 400 gramas, área total: 241,14 cm² e diâmetro: 8 cm (PV), bola de plástico, com área total: 452,16cm² e diâmetro 12 cm (BP) e garrafa plástica, com capacidade de 237 ml, área total: 214,94 cm² e diâmetro: 4,8 cm (GP).

Os termômetros digitais com sensor externo foram usados para medição da temperatura interna nos materiais alternativos. A precisão dos termômetros é de +/-1 °C. Previamente a instalação e registro dos dados na área experimental, as temperaturas dos termômetros a serem usados com os materiais alternativos foram comparadas com a do termômetro de globo negro, estando todos os sensores no mesmo ambiente e sem os seus respectivos “globos”, como forma de eventualmente corrigir os dados registrados com os materiais alternativos de maneira que, as eventuais diferenças fossem devido somente ao material e não a precisão dos instrumentos. O sensor do termômetro foi inserido por um pequeno furo na parte superior de cada material alternativo.

Figura 1 - Termômetros com sensor externo a ser instalado no interior dos materiais alternativos: pote de vidro 400 gramas **a)**, bola de plástico **b)** e garrafa PET de refrigerante **c)**.



Fonte: próprio autor.

Como temperatura do globo negro padrão foi usado o termômetro de globo negro modelo TGD-200, da Instrutherm, que possui uma exatidão de $\pm 0,5$ °C e uma resolução de 0,1 °C.

O índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) é uma medida de conforto térmico que estima o estresse calórico decorrente da temperatura do ar e da radiação solar. Foi proposto originalmente por Buffington (1981) para estimativa de conforto térmico para vacas leiteiras.

A obtenção do índice de globo de umidade (ITGU) se dá pela equação 1:

$$ITGU = t_g + (0,36.t_o) + 41,5 \quad (1)$$

em que, t_o , a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), obtida conforme equação 2.

$$t_o = \frac{237,3 \cdot \log\left(\frac{e_a}{0,6108}\right)}{7,5 - \log\left(\frac{e_a}{0,6108}\right)} \quad (2)$$

em que, e_a é a pressão real do vapor d'água (kPa), obtida pela equação 3.

$$e_a = \frac{e_s}{100} \cdot UR \quad (3)$$

em que, UR é umidade relativa do ar (%) e e_s , é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa), dada pela equação de Tetens (equação 4).

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T}\right)} \quad (4)$$

As coletas foram feitas aleatoriamente entre os dias 16/09/2020 e 06/05/2021, totalizando 44 registros, sendo 12 em ambiente interno (instrumentos localizados no interior do abrigo meteorológico (Figura 2a) e 32 em ambiente externo (Figura 2b). Os registros foram feitos a cada hora, das 10h às 16h, onde há maior potencial de ação de carga térmica radiante oriunda da radiação solar. A maior quantidade de testes em ambiente externo se deve, principalmente, à maior influência da radiação solar nesta condição. Contudo, também foram realizados testes em ambiente interno com diferentes condições climáticas

Figura 2 - Instalação no ambiente interno **a)** e no ambiente externo **b)** do termômetro de globo negro padrão TGD-200 e dos três termômetros com materiais alternativos.



Fonte: próprio autor.

Os dados obtidos em ambiente externo foram analisados em categorias de acordo com a nebulosidade, definido pelo Índice de Claridade (I_k), que relaciona a radiação solar global (R_g) e a radiação solar extraterrestre (R_o): $0 < I_k < 0,3$ (céu nublado); $0,3 \leq I_k \leq 0,65$ (céu parcialmente nublado) e $0,65 < I_k < 1,0$ (céu claro), sendo esta última (R_o), obtida por tabela específica para a latitude do local e R_g registrada na própria estação meteorológica, assim como, a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, necessárias para o cálculo do ITGU.

A avaliação de desempenho de T_g e do ITGU obtidos com o uso de cada um dos materiais alternativos foi feita com base na média do período diurno (10h às 16h) e no valor máximo do período. Para isso, utilizaram-se os seguintes índices: erro médio (EM), os coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2) da regressão linear, o Índice de Concordância (d) e o Índice de Confiança (c).

O Índice de Concordância (d) (Willmott, 1981), descrito pela equação 5, varia de 0 a 1 e representa o quanto os valores obtidos pelos materiais alternativos se ajustam aos registros obtidos pelo instrumento padrão, sendo que, valores próximos de um indicam uma concordância perfeita.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|)^2} \right] \quad (5)$$

em que, X_i são os valores obtidos a partir do instrumento padrão; \bar{X} é a média dos valores obtidos a partir do instrumento padrão; Y_i são os valores obtidos a partir dos materiais alternativos; e N é o número de registros.

Analogamente, para a análise da confiabilidade dos valores obtidos a partir dos materiais alternativos, foi considerado o Índice de Confiança (c), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), conforme equação 6. O critério adotado para interpretar os valores de c, são os seguintes: $c \geq 0,85$ (ótimo); $0,76 < c < 0,85$ (muito bom); $0,66 < c < 0,75$ (bom); $0,61 < c < 0,65$ (mediano); $0,51 < c < 0,60$ (sofrível); $0,41 < c < 0,50$ (mau); e $c \leq 0,40$ (péssimo).

$c = r.d$

(6)

O erro quadrático médio (EQM), foi calculado utilizando-se a equação 7:

$$EQM = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

O Erro Médio (EM) representa a diferença média de Tg e ITGU (padrão) com os obtidos com materiais alternativos. Assim, o EM indica a tendência

dos valores obtidos com materiais alternativos em superestimar ($EM > 0$) ou subestimar ($EM < 0$) os valores padrões, sendo calculado conforme equação 8:

$$EM = \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i) \quad (8)$$

A diferença entre as médias do período diurno e a média dos valores máximos de Tg e ITGU (padrão) com os materiais alternativos foram avaliadas com o teste t-Student ao nível de 5%.

A regressão linear simples ou polinomial de 2º ordem foi utilizada para correlacionar nos ambientes interno e externo a Tg obtida pelo instrumento padrão com a temperatura do ar, visando obter equações que possibilitem a estimativa de Tg, a partir de temperatura do ar, desde que, as regressões sejam estatisticamente significativas ao nível de 5% com o uso do teste F de Snedecor. Assim, nas regressões, a Tg medida com o instrumento padrão foi considerada a variável dependente (Y) e a temperatura do ar na estação meteorológica foi a variável independente (X).

Na análise em ambiente externo, as regressões foram feitas considerando todos os dias de registros e dividindo-os em três grupos de acordo com a nebulosidade. O software Past 4.1 foi utilizado para realizar as análises de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados de regressão linear que correlacionaram à média do período diurno (10h às 16h) da temperatura do globo negro (T_g) com a temperatura do ar (T), assim como, a temperatura máxima do globo negro (T_{gmax}) com a temperatura máxima do ar (T_{mx}). Analisando a média do período diurno, no ambiente externo, as correlações foram menores quanto maior a nebulosidade, a ponto de, em condições de céu nublado não haver correlação estatisticamente significativa entre as duas variáveis. Em compensação, dias com céu parcialmente nublado e, principalmente, dias de céu claro, é viável estimar T_g a partir da temperatura do ar. Em ambiente interno a correlação foi praticamente perfeita, onde a temperatura média do ar diurna, explicou 99% ($R^2=0,99$) da variação da temperatura do globo negro.

Tabela 1 - Coeficiente de determinação (R^2), valor do F e equação de regressão entre a média do período diurno de temperatura do globo negro (T_g) com a média da temperatura do ar (T) e entre a temperatura máxima do globo negro (T_{gmx}) com a temperatura máxima do ar (T_{mx}) em ambiente interno e ambiente externo em condições de céu claro, parcialmente nublado, nublado e independente da nebulosidade.

	R^2	Valor F	Equação de regressão
Céu claro	0,96*	109,96	$T_g = -0,1102.T^2 + 7,489.T - 81,59$
Parcialmente nublado	0,74*	28,02	$T_g = 0,7326.T + 0,7459$
Nublado	0,08 ^{ns}	0,21	$T_g = 0,1408.T^2 - 6,315.T + 96,5$
Sem distinção de nebulosidade	0,63*	51,43	$T_g = 1502.T - 2,967$
Ambiente interno	0,99*	9848	$T_g = 0,9547.T + 0,8867$
Céu claro	0,97*	153,03	$T_{gmx} = 0,6106.T_{mx} + 3,013$
Parcialmente nublado	0,84*	54,65	$T_{gmx} = 0,9381.T_{mx} + 10,73$
Nublado	0,56*	7,76	$T_{gmx} = 0,4172.T_{mx} + 10,56$
Sem distinção de nebulosidade	0,78*	109,76	$T_{gmx} = 1,445.T_{mx} - 0,2036$
Ambiente interno	0,99*	775,78	$T_{gmx} = 0,9532.T_{mx} + 1,534$

^{ns} = não significativo; * significativo ao nível de 5% pelo teste F de Snedecor.

O resultado das regressões envolvendo os extremos de T_{gmx} e T_{mx} seguem o mesmo comportamento ao obtido na análise das médias do período diurno, isto é, as correlações diminuíram a medida que aumentou a nebulosidade. No entanto, os coeficientes foram maiores, de maneira que mesmo na situação de céu nublado, a

regressão foi estatisticamente significativa ao nível de 5%. Assim, no momento do dia mais propício ao estresse térmico por excesso de calor é possível estimar a temperatura do globo negro a partir da temperatura máxima do ar, inclusive em ambiente interno que novamente teve os resultados mais expressivos. d'Ambrosio Alfano et al. (2013) também encontraram bons resultados ao apresentarem equação para estimativa de T_g e ITGU em função da velocidade do vento, diâmetro dos globos e temperatura do ar.

A avaliação do desempenho nas medidas de temperatura média diurna do globo negro usando os materiais alternativos para os ambiente interno e externo são apresentados na Tabela 2. No contexto geral, seja no ambiente externo quanto, principalmente, em ambiente interno, os melhores resultados foram com o uso da mini garrafa PET (GP) e do pote de vidro (PV) que em todas as situações tiveram um 'ótimo' desempenho. Em média, no ambiente interno e no externo (independente da nebulosidade) a temperatura do globo medida usando GP e o PV apresentaram uma tendência de superestimar em 0,78 °C e 0,99 °C (interno) e de 0,07 °C e 0,67 °C (externo), respectivamente, a temperatura do globo negro padrão. Outra informação extraída do EM usando GP e PV é que em nenhuma condição de nebulosidade e, ou, ambiente, houve diferença significativa entre as médias de T_g padrão com a T_g obtida com os referidos materiais alternativos. Os menores valores do EQM encontrados com o uso desses dois materiais demonstram que as T_g não foram muito dispersas em relação ao T_g padrão.

Tabela 2 - Indicadores de avaliação dos registros médios diurnos de temperatura do globo negro usando materiais alternativos com mini garrafa PET (Tg-GP), bola de plástico (Tg-BP) e pote de vidro (Tg-PV).

Céu claro	Tg x Tg-GP	Tg x Tg-BP	Tg x Tg-PV
EQM	1,46	2,47	1,47
d	0,96	0,99	0,99
EM	0,38 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,84 ^{ns}
r	0,95	0,95	0,96
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Parcialmente nublado			
EQM	1,31	4,8	1,04
d	0,99	0,80	0,98
EM	0,62 ^{ns}	4,49*	0,38 ^{ns}
r	0,97	0,97	0,97
Desempenho	Ótimo	Muito bom	Ótimo
Nublado			
EQM	1,46	2,47	1,47
d	0,96	1,00	1,00
EM	0,38 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,84 ^{ns}
r	0,95	0,95	0,96
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Sem distinção de nebulosidade			
EQM	1,25	5,1	1,13
d	0,99	0,96	0,99
EM	0,07 ^{ns}	4,46*	0,67 ^{ns}
r	0,98	0,98	0,99
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Ambiente interno			
EQM	0,82	1,05	1,05
d	0,99	0,98	0,98
EM	0,78 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}
r	0,99	0,99	0,99
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo

r=coeficiente de correlação; d=índice de concordância; EM= erro médio;

^{ns}=não significativo; * diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% pelo teste t-Student.

Outro indicador que atesta os resultados satisfatórios foi o índice de concordância de Willmott. Como foram próximos a 1 (um), isto é, como este índice é dado por uma aproximação matemática que avalia a exatidão, a dispersão e o afastamento dos registros obtidos com materiais alternativos em relação aos registrados com instrumento padrão, pode-se afirmar que, principalmente, o uso da garrafa de plástico e do pote de vidro pintados de preto fosco registraram a temperatura mais próxima a obtida pelo instrumento padrão.

O desempenho nos registros dos valores máximos de Tg usando materiais alternativos foram semelhantes aos obtidos na análise das médias diurnas, isto é, principalmente com a GP e o PV e, em ambiente interno, tiveram os melhores desempenhos, assim como, superestimaram aos valores registrados pelo Tg padrão (Tabela 3). Esses resultados indicam que seja na média do período diurno quanto no momento mais quente do dia e em ambientes interno quanto externo (independente da nebulosidade), é perfeitamente viável usar esses materiais para obter a temperatura do globo negro. Um detalhe que chama a atenção foi a menor dispersão dos registros obtidos com materiais alternativos em relação ao padrão (indicados pelo EQM e EM) quanto maior a nebulosidade. Algo compreensível quando considera-se uma situação no momento mais quente do dia e as diferentes características que os materiais possuem em termos de condutividade térmica e calor específico que torna-se mais relevante em situações de maior incidência de radiação solar ou de menor nebulosidade. Nikolopoulou et al. (1999) também verificaram a maior dificuldade em obter semelhanças nas estimativas de Tg com diferentes materiais em ambiente externos, devido a “radiação heterogênea”.

Tabela 3 - Indicadores de avaliação dos registros máximos de temperatura do globo negro usando materiais alternativos com mini garrafa PET (Tgmx-GP), bola de plástico (Tgmx-BP) e pote de vidro (Tgmx-PV).

Céu claro	Tgmx x Tgmx-GP	Tgmx x Tgmx-BP	Tgmx x Tgmx-PV
EQM	2,86	8,91	1,72
d	0,94	0,70	0,98
EM	1,41 ^{ns}	8,16*	1,38 ^{ns}
r	0,91	0,97	0,99
Classificação	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Parcialmente nublado			
EQM	2,24	9,15	2,29
d	1,00	0,99	1,00
EM	0,53 ^{ns}	7,81*	1,24 ^{ns}
r	0,86	0,80	0,92
Classificação	Ótimo	Muito bom	Ótimo
Nublado			
EQM	1,00	2,41	0,94
d	0,99	1,00	1,00
EM	0,06 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,29 ^{ns}
r	0,98	0,99	0,98
Classificação	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Sem distinção de nebulosidade			
EQM	2,21	7,69	1,76
d	0,99	0,94	0,99
EM	0,71 ^{ns}	6,53*	1,05 ^{ns}
r	0,69	0,96	0,98
Classificação	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Ambiente interno			
EQM	0,83	1,03	1,04
d	1,00	1,00	1,00
EM	0,78 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,98 ^{ns}
r	1,00	1,00	1,00
Classificação	Ótimo	Ótimo	Ótimo

r=coeficiente de correlação; d=índice de concordância; EM= erro médio; EPE= erro padrão de estimativa.

^{ns}=não significativo; * diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% pelo teste t-Student.

Com as Tg médias e máxima do período diurno registradas com instrumento padrão e com os materiais alternativos foi calculado o ITGU baseado nesses registros. A diferença média entre o ITGU para os ambientes externo e interno é apresentada na Tabela 4. Considerando que para fins do presente estudo, as condições ideais sejam de igualdade entre as médias, a melhor situação para o

ambiente externo e, principalmente, o interno, é a obtenção de ITGU usando Tg com a garrafa de plástico. No entanto, para o ambiente interno o ITGU pode ser obtido recorrendo a qualquer um dos materiais alternativos, tendo em vista que, as diferenças foram parecidas entre si, sendo inferiores a 1,42.

Tabela 4 - Diferença entre as médias do período diurno dos ITGU e extremos máximos dos ITGU_{mx} obtidos com Tg padrão e Tg usando materiais alternativos

	ITGU x ITGU- GP	ITGU x ITGU- BP	ITGU x ITGU- PV
Céu claro	8,94 ^{ns}	16,5*	9,32 ^{ns}
Parcialmente nublado	4,98 ^{ns}	11,72*	6,33*
Nublado	2,09 ^{ns}	4,14 ^{ns}	2,7 ^{ns}
Sem distinção de nebulosidade	4,48*	8,84*	5,14*
Ambiente interno	1,12 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,42 ^{ns}
	ITGU _{mx} x ITGU _{mx} -GP	ITGU _{mx} x ITGU _{mx} -BP	ITGU _{mx} x ITGU _{mx} -PV
Céu claro	6,54*	15,71*	7,97*
Parcialmente nublado	4,86*	14,37*	8,62*
Nublado	2,45 ^{ns}	5,43 ^{ns}	4,34 ^{ns}
Sem distinção de nebulosidade	3,81 ^{ns}	9,53*	5,15*
Ambiente interno	0,97 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,59 ^{ns}

^{ns}=não significativo; * significativo ao nível de 5% pelo teste t-Student

Para o ITGU calculado para o momento mais quente do dia, o uso da garrafa de plástico novamente apresentou os melhores resultados. No entanto, em média há diferença estatisticamente significativa do ITGU máximo usando qualquer um dos materiais alternativos nas condições externas para dias de céu claro ou parcialmente nublado. Em contrapartida, no ambiente interno, sem a influência direta da radiação solar, novamente os resultados foram satisfatórios com diferenças em média, inferior a 1 (um), como do ITGU usando dados de Tg obtidos com garrafa de plástico (0,97) e o pote de vidro (0,59).

Nota-se que é perfeitamente viável estimar a Tg em ambientes externos e interno usando dados de temperatura do ar, que é um dado meteorológico de fácil aquisição ou medir a Tg usando uma mini garrafa PET ou pote de vidro pintados de preto fosco, seja para obter a média do período diurno quanto no momento mais quente do dia em que as condições normalmente são mais propícias para o desconforto térmico em humanos e animais. De posse destes materiais alternativos,

os registros podem ser facilitados com o uso de termômetros com sensor externo que possuam datalogger, ou seja, permitindo que os registros de Tg sejam armazenados automaticamente numa periodicidade de tempo a critério do usuário que varia de 1 a 60 minutos. Ressalta-se que qualquer que seja o sensor de temperatura que venha a ser utilizado deve-se, previamente as medições com o material alternativo, fazer uma correção (calibração). Atualmente, o preço de um termômetro com sensor externo e datalogger está em torno de US \$20,00 (desconsiderando impostos e frete), ou seja, praticamente é o custo que haverá para obter Tg de maneira automática. Além disso, a garrafa de plástico e o pote de vidro são fabricados com materiais que resistem tranquilamente as intempéries do tempo, ainda mais se estiverem sendo usados internamente que é o ambiente mais indicado para a obtenção de Tg e, conseqüente, de índices de conforto térmico, pois leva em consideração todos os tipos de radiação que são emitidos por um ambiente fechado (Verno e Warner, 1932 apud Vega et al., 2020). Além disso, apesar de haver uma sugestão nas dimensões do globo (150 mm, que é a mesma ao do TGD-200 usado como padrão nesse estudo), o sensor de temperatura e o material do globo não são definidos (Vega et al., 2020).

Como no período noturno as condições são menos propícias para uma condição de estresse térmico por excesso de calor, acredita-se que a obtenção de Tg com materiais alternativos ou a sua estimativa com uso da temperatura do ar também seja possível, pois se enquadraria numa condição como as obtidas para o período diurno em ambiente interno, isto é, sem o efeito direto da radiação solar. Porém, logicamente o ideal é que haja mais estudos para verificar esta hipótese.

5. CONCLUSÕES

- Pode-se estimar a temperatura do globo negro média para o período diurno e o seu valor máximo diário usando dados de temperatura do ar em ambiente externo e, principalmente, interno.

- É viável usar mini garrafa PET e/ou pote de vidro pintados de preto fosco, para medir com um 'ótimo' desempenho a temperatura do globo negro.

- O ITGU médio para o período diurno ou no momento mais quente do dia, pode ser calculado usando T_g com mini garrafa PET em ambiente externo e, preferencialmente, em ambiente interno.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES CA et al. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6): 711-728.

BAÊTA, FC; SOUZA CF (2010). **Ambiência em edificações rurais**: conforto animal. 2 ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 269p.

BARBOSA OR et al. (2004). Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26(1): 115-122.

CAMARGO AP; SENTELHAS PC (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 5(1): 89-97.

CAMERINI NL et al. (2011). Avaliação de instrumentos agrometeorológicos alternativos para o monitoramento da ambiência em galpões avícolas. **Engenharia na Agricultura**, 19(2): 125-131.

CAMPOS JA (2009). **Bem-estar de suínos confinados associado a comportamento, sistema imunológico e desempenho**. Departamento de Engenharia Agrícola Universidade Federal de Viçosa (Tese), Viçosa. 79p.

COELHO RB et al. (2013). Estudo de materiais alternativos empregados na confecção do termômetro de globo negro utilizado para cálculo de ITGU e CTR. **Revista Engenharia na Agricultura**, 21(6): 597-604.

D'AMBROSIO ALFANO FR et al. (2013). Notes on the implementation of the IREQ model for the assessment of extreme cold environments. **Ergonomics**, 56(4): 707–724.

NIKOLOPOULOU M et al. (1999). Improvements to the globe thermometer for outdoor use. **Architetur Science Review**, 42(1): 27–34.

VEGA FAO et al. (2020). Assessment of black globe thermometers employing various sensors and alternative materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, 284: 107891.

WILLMOTT CJ (1981). On the validation of models. **Physical Geography**, 2: 184-194.