

**UNIVERSIDADE BRASIL  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO ANIMAL  
CAMPUS DESCALVADO**

**ISMAEL DOS SANTOS JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DATALOGGER, MEDIDOR DE  
AMBIÊNCIA DE BAIXO CUSTO PARA VACAS LEITEIRAS**

DEVELOPMENT OF A DATALOGGER, LOW COST ENVIRONMENT  
METER FOR DAIRY COWS

Descalvado - SP

2021

**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO ANIMAL**

**ISMAEL DOS SANTOS JUNIOR**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DATALOGGER, MEDIDOR DE  
AMBIÊNCIA DE BAIXO CUSTO PARA VACAS LEITEIRAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Produção Animal da Universidade Brasil como complementação de créditos necessários para obtenção do título de mestre em produção animal.

Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira  
**Orientador**

Profa. Dra. Käthery Brennecke  
**Coorientadora**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,  
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

S235d Santos Junior, Ismael dos  
Desenvolvimento de um datalogger, medidor de ambiência de baixo custo para vacas leiteiras / Ismael dos Santos Junior. – Descalvado: Universidade Brasil, 2021.  
55f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira.

Coorientadora: Profa. Dra. Käthery Brennecke.

1. Conforto térmico. 2. Estresse térmico. 3. Índice de temperatura e umidade. 4. Índice de temperatura de globo e umidade. I. Título.

CDD 636.214

**FOLHA DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DO TEXTO NA PÁGINA  
UNIVERSIDADE BRASIL E BANCO DE TESES DA CAPES E REPRODUÇÃO DO  
TRABALHO**



**UNIVERSIDADE  
BRASIL**

**Termo de Autorização**

**Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do  
Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES**

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://universidadebrasil.edu.br/portal/cursos/ppgpa/>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: **“Desenvolvimento de um datalogger, medidor de ambiência de baixo custo para vacas leiteiras”**

Houve alteração do Título: sim ( ) não (X)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Autor(es):

Discente: Ismael dos Santos Junior

Assinatura: Ismael dos Santos Junior

Orientador: Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira

Assinatura: [Assinatura]

Data: 17 de novembro de 2021.

Campus Descalvado

Avenida Hilário de Silva Passos, 950, Parque Universitário - Descalvado/SP | 13690-000

Central de Relacionamento com o Aluno - 08007807070

[www.ub.edu.br](http://www.ub.edu.br)

## TERMO DE APROVAÇÃO




**UNIVERSIDADE  
BRASIL**

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


**Ismael dos Santos Junior**

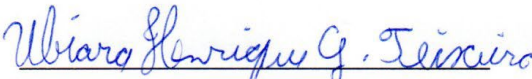
**“Desenvolvimento de um datalogger, medidor de ambiência de baixo custo para vacas leiteiras.”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

  
Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira  
(Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Produção Animal

  
Profa. Dra. Liandra Maria Abaker Bertipaglia  
Programa de Pós-Graduação em Produção Animal

  
Dr. Ubiara Henrique Gomes Teixeira  
Faculdade da Amazônia

Descalvado, 17 de novembro de 2021

  
Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira

Presidente da Banca

Houve alteração do Título: sim ( ) não ( X )

Campus Descalvado

Avenida Hilário de Silva Passos, 950, Parque Universitário - Descalvado/SP | 13690-000

Central de Relacionamento com o Aluno - 08007807070

[www.ub.edu.br](http://www.ub.edu.br)

***DEDICATÓRIA***

*A Deus e Nossa Senhora.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nossa vida não teria sentido.

As minhas filhas Natalia, Bruna Rafaela e Lavínia Vitória, pois são elas que me trazem luz e força para insistir nos meus objetivos diariamente.

Minha esposa Vanessa, por ter me dado os presentes mais lindos, que são nossas filhas e me incentivar a continuar seguindo a diante em todos os momentos difíceis.

A minha Mãe Iraceles, por ter me ajudado e me concedido a oportunidade de conquistar os meus sonhos e ao meu falecido pai Ismael.

Aos meus irmãos Iara e Ubirajara, por sempre me incentivarem na busca do conhecimento.

A meu orientador Luiz Arthur Malta Pereira, por me mostrar o caminho e a disposição e dedicação para desenvolver este equipamento de trabalho. Por ter acreditado e me ajudado nos momentos mais difíceis.

A minha co-orientadora Käthery Brennecke, por me dar a oportunidade e o conhecimento necessário para trilhar esse caminho.

Aos meus colegas de mestrado que passamos juntos horas maravilhosas adquirindo e trocando conhecimentos.

E a todas as pessoas que estiveram presente e torceram pela minha conquista.

## RESUMO

A produção animal depende dos efeitos do ambiente físico, que influenciam nos resultados produtivos e reprodutivos de vacas leiteiras. Quando relacionado ao estresse térmico, causa alterações no comportamento e reações fisiológicas nos animais. Com base nessas informações, objetivou-se o desenvolvimento de um *data logger*, medidor de ambiência de baixo custo para vacas leiteiras. Após a montagem e conexão dos dispositivos, foi desenvolvido um programa em linguagem C, responsável por capturar os dados dos sensores, sendo estes, temperatura, umidade relativa do ar, temperatura de globo negro e ponto de orvalho, possibilitando os cálculos dos índices de temperatura e umidade (ITU) e os índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), que são apresentados no display do aparelho e armazenados em um cartão micro SD. Para verificar sua funcionabilidade, o aparelho foi instalado em um galpão de descanso para vacas leiteiras, posteriormente, os cálculos dos índices gerados pelo equipamento desenvolvido foram comparados com cálculos realizados em planilha no Excel, a fim de verificar sua eficiência. Os cálculos apresentaram os mesmos valores, indicando que o equipamento desenvolvido é capaz de calcular corretamente os índices ITU e ITGU. Com a obtenção desses índices, é possível definir os métodos, tipos e a disposição do manejo e das instalações, com o objetivo de minimizar o seu efeito ou proporcionar o conforto térmico.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, Estresse térmico, Cálculos, ITU, ITGU.

## **ABSTRACT**

Animal production depends on the effects of the physical environment, which influence the productive and reproductive results of dairy cows. When related to thermal stress, it causes changes in behavior and physiological reactions in animals. Based on this information, the objective was the development of a datalogger, low-cost ambience meter for dairy cows. After the assembly and connection of the devices, a program was developed in C language, responsible for capturing the data of the sensors, these being temperature, relative humidity, black globe temperature and dew point, enabling the calculation of temperature and humidity indexes (UI) and the globe temperature and humidity index (ITGU), displayed on the display of the device and storing on a micro SD card. To verify its functionality, the device was installed in a rest shed for dairy cows, later, the calculations of the indexes generated by the equipment developed were compared with calculations performed in a spreadsheet in Excel, in order to verify its efficiency. The calculations presented the same values, indicating that the developed equipment is able to correctly calculate the ITU and ITGU indices. By obtaining these indices, it is possible to define the methods, types and layout of the management and facilities, in order to minimize its effect or provide thermal comfort.

**Keywords:** Thermal comfort, Thermal stress, Calculations, ITU, ITGU.

## DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

O estresse térmico é um dos principais fatores responsáveis pela mudança de comportamento de vacas leiteiras, conseqüentemente interfere diretamente na produção leiteira. O monitoramento do ambiente em que os animais vivem, é essencial para determinar as melhorias com o bem-estar, saúde e conseqüentemente aumento na produção. Neste sentido, objetivou-se o desenvolvimento de um *datalogger*, medidor de estresse térmico de baixo custo para gado leiteiro, para avaliar as variáveis ambientais, armazenando informações diárias de maneira fácil e direta. O equipamento foi desenvolvido para captar os dados das variáveis climáticas, sendo temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, temperatura de globo negro e ponto de orvalho. Através dos dados coletados o equipamento faz os cálculos de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), para ter uma estimativa das zonas de conforto térmico, que determinam o ambiente que o animal está inserido, com esses dados os produtores podem fazer algumas mudanças necessárias no manejo ou nas instalações, auxiliando no planejamento da propriedade ou locais específicos de manejo diário, para que os animais não entrem em estresse térmico, prejudicando a sua produção de leite, crescimento ou reprodução.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas de sobrevivência térmica.....	16
Figura 2 – Esquema do fluxo sanguíneo para ajudar na regulação.....	17
Figura 3 - Representação esquemática dissipação de calor do animal para o ambiente. ....	21
Figura 4 - Mecanismos termoregulatórios utilizados pelos bovinos, para alcançar o equilíbrio da temperatura corporal .....	23
Figura 5 – Representação do fluxo de calor em um condutor uniforme.....	24
Figura 6 - Ilustração do Arduino Uno.....	32
Figura 7 - Arduino Mega 2560.....	33
Figura 8 – Módulo DHT 22 .....	34
Figura 9 – Caneca de pintura de alumínio.....	34
Figura 10 – Módulo mini datalogger .....	35
Figura 11 - Módulo display 20x4 I2C .....	36
Figura 12 – Protótipo montado .....	37
Figura 13 - Protótipo montado e instalado na propriedade monitorada. ....	38
Figura 14 - Imagem do display do protótipo desenvolvido, realizando a medição da temperatura, umidade e temperatura do globo negro. ....	39
Figura 15 - Teste do equipamento desenvolvido na área de descanso.....	39
Figura 16 - Parte dos dados gravados no cartão SD do equipamento desenvolvido .....	40
Figura 17 - Parte dos dados importados no Excel para serem analisados .....	41
Figura 18 - Cálculos traduzidos para planilha eletrônica .....	42

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>TBS</b>	Temperatura de Bulbo Seco
<b>VA</b>	Velocidade do ar
<b>UR</b>	Umidade Relativa
<b>ITU</b>	Índice de Temperatura e Umidade
<b>ITGU</b>	Índice de Temperatura de Globo e Umidade
<b>ZCT</b>	Zona de Conforto Térmico
<b>TCI</b>	Temperatura Crítica Inferior
<b>TCS</b>	Temperatura Crítica Superior
<b>CTR</b>	Carga Térmica Radiante
<b>FR</b>	Frequência Respiratória
<b>TR</b>	Temperatura Retal
<b>TA</b>	Temperatura do Ar
<b>TPO</b>	Temperatura do Ponto de Orvalho
<b>TGN</b>	Temperatura do Globo Negro
<b>TG</b>	Temperatura do Globo
<b>FC</b>	Frequência Cardíaca
<b>PO</b>	Ponto de Orvalho

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
3.1	HOMEOTERMIA .....	13
3.2	MECANISMO DE PERDA DE CALOR (TERMÓLISE) .....	13
3.3	MECANISMO DE PRODUÇÃO DE CALOR (TERMOGÊNESE) .....	14
3.4	ZONA DE CONFORTO TÉRMICO .....	14
3.5	FATORES FISIOLÓGICOS EM FUNÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO .....	19
3.6	MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA TÉRMICA .....	20
3.7	PROCESSO NÃO EVAPORATIVO OU SENSÍVEL DE TROCA DE CALOR .....	22
<b>3.7.1</b>	<b>Radiação</b> .....	<b>22</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Condução</b> .....	<b>23</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Convecção</b> .....	<b>24</b>
3.8	PROCESSO EVAPORATIVO OU LATENTE DE PERDAS DE CALOR .....	25
<b>3.8.1</b>	<b>Evaporação</b> .....	<b>25</b>
3.9	COMPORTAMENTO .....	27
3.10	ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE (ITU) .....	27
3.11	ÍNDICE DE TEMPERATURA DE GLOBO E UMIDADE (ITGU) .....	29
<b>3.11.1</b>	<b>Termômetro de globo negro</b> .....	<b>29</b>
3.12	ESTRESSE TÉRMICO .....	30
3.13	ZOOTECNIA DE PRECISÃO .....	30
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
4.1	IDEALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO .....	31
<b>4.1.1</b>	<b>Plataforma microcontrolada</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Sensor de temperatura e umidade</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Módulo datalogger</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Display LCD</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Caixa</b> .....	<b>36</b>

<b>4.1.6</b>	<b>Protótipo montado .....</b>	<b>36</b>
4.2	LOCAL DO EXPERIMENTO.....	37
4.3	TESTE DO DISPOSITIVO .....	38
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXO A – PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM C.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente dois terços do território brasileiro está situado na região dos trópicos, onde as elevadas temperaturas e umidades proporcionam alteração dos parâmetros fisiológicos e comportamentais dos animais, favorecendo estresse térmico nos animais (MELO et al, 2016). O que colabora com uma diminuição da produtividade, conforme a ineficiente troca de calor com ambiente, gastando mais energia para equilíbrio termoregulatório quando comparado com as regiões temperadas, ocorrendo lenta taxa de crescimento e baixa produção de leite (BACCARI, 1990).

Por serem capazes de reduzir o desempenho e a produtividade animal, os efeitos climáticos são fatores de importante atenção, pois desencadeiam mecanismos termoregulatórios (BROUCEK et al, 2009). Segundo Navarini (2009), a correta identificação dos fatores que influem na vida produtiva do animal, como o estresse imposto pelas flutuações estacionais do meio ambiente, permite ajustes nas práticas de manejo dos sistemas de produção, possibilitando oferecer sustentabilidade e viabilidade econômica.

A produção animal é o resultado da interação multifatorial de genética, sanidade, manejo, nutrição e atualmente fatores ambientais. Tais aspectos resultam em animais que expressam o potencial produtivo superando as condições adversas do clima. As variáveis climáticas de radiação solar, temperatura de bulbo seco do ar ( $T_{bs}$ ), velocidade do ar ( $v$ ), umidade relativa (UR) e seus efeitos são aspectos importantes que trazem alterações fisiológicas e comportamentais e interferem diretamente na produção (BAÊTA e SOUZA, 1997).

Tendo em vista a existência de animais mais ou menos tolerantes ao calor, essas variáveis ambientais devem ser mensuradas por meio de índices, gerados por termômetros de bulbo seco e bulbo úmido, temperatura do ponto de orvalho, ITU (índice de temperatura e umidade) e ITGU (índice de temperatura de globo e umidade) e a temperatura do ponto de orvalho, elaborados para avaliação do efeito ambiental do conforto térmico de animais de produção (BAÊTA e SOUZA, 1997).

A partir do momento que passaram a ser observadas diferenças quanto a capacidade dos animais em se adaptar aos diferentes ambientes de criação, surgiram preocupações relacionadas com a melhora das condições dos ambientes de produção, a fim de assegurar aos bovinos adequadas condições de conforto, reduzindo perdas produtivas por estresse térmico. Em sistemas intensivos de produção leiteira, o ambiente térmico pode restringir a máxima eficiência produtiva dos animais, pois esses apresentam metabolismo elevado, com maior produção de calor endógeno (ÁCARO JÚNIOR et al, 2003).

A zona de conforto térmico (ZCT) onde os animais não gastam energia por estresse relacionado ao calor ou frio, porém vacas em lactação estão sujeitas a variações dependendo da adaptação da raça, manejo nutricional, produção de leite e estado fisiológico, portando a vacas se encontram em temperatura adequada para seu conforto térmico (BACCARI, 2001).

Em climas tropicais a temperatura e umidade relativa do ar sofrem altas variações, interferindo na produção e reprodução dos animais, alterando seus mecanismos fisiológicos como diminuição da ingestão de matéria seca, aumento da temperatura retal, frequência respiratória e taxa de sudação para manter o equilíbrio da temperatura ideal (BACCARI, 2015). Segundo Nãas (1998), devido à alta radiação solar no ambiente externo para vacas em lactação, recomenda-se o confinamento em construções bem planejadas para diminuir ao máximo os efeitos da temperatura ambiente, umidade relativa do ar e velocidade do vento nas regiões tropicais.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo do trabalho foi desenvolver um *datalogger*, medidor de ambiência de baixo custo para vacas leiteiras, que através da coleta de dados das variáveis climáticas, determina os índices ITU e ITGU que estão relacionados ao conforto térmico nas instalações zootécnicas.

## 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Montagem do protótipo
- Desenvolver o programa para leitura dos sensores e cálculo dos índices
- Correlacionar os cálculos realizados pelo equipamento desenvolvido com os cálculos teóricos.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 HOMEOTERMIA

A temperatura ambiental tem influência sobre a atividade de um animal, onde a temperatura corporal sofre alteração de acordo com a do ambiente em que está inserida. O controle da temperatura corporal de um animal se dá pelo equilíbrio do calor produzido pelo organismo e do ganho do ambiente (RANDALL et al., 2014).

Para dissipar ou reter calor o animal utiliza mecanismos fisiológicos e comportamentais que contribuem para a manutenção da homeotermia. Os primeiros mecanismos acionados para perda de calor são a vasodilatação, sudorese e o aumento na frequência respiratória, quando esses mecanismos não são eficientes, o calor metabólico somado com o calor recebido do ambiente torna-se maior que a quantidade de calor dissipada para o ambiente, em consequência disso pode ser notado nesses animais um aumento da temperatura retal (KNUT, 2013), enquanto os mecanismos comportamentais variam entre o aumento da ingestão de água e diminuição na ingestão de alimentos (RODRIGUES, 2021).

### 3.2 MECANISMO DE PERDA DE CALOR (TERMÓLISE)

Nos processos de termólise (perda de calor), ocorrem troca de energia entre o animal e o ambiente externo, podendo ser de forma sensível ou latente (SILVA, 2000). Existem dois mecanismos de perda de calor sendo as sensíveis pela condução, convecção e radiação, que são estabelecidas pela diferença entre a temperatura

ambiente e a temperatura corporal (ROBERTO, 2012). Já as trocas insensíveis não dependem do gradiente de temperatura entre o corpo do animal e o ambiente, ocorrendo através da evaporação da superfície corporal e pela respiração, porém, há maior gasto de energia para que essa troca seja feita e o animal mantenha sua homeostase térmica (VILELA, 2008).

### 3.3 MECANISMO DE PRODUÇÃO DE CALOR (TERMOGÊNESE)

Além da temperatura ambiente, a umidade relativa do ar elevada compromete a capacidade da vaca de dissipar calor para o ambiente, influenciando diretamente na diminuição da produção de leite. Nessa situação, a evaporação se torna lenta ou nula, com diminuição da perda de calor (termólise) e aumento da carga de calor corporal do animal (DALCIN, 2013).

Segundo Muller (1982), o calor pode ser produzido no organismo por meio de diversos mecanismos, o calor metabólico produzido pela ingestão dos alimentos, cuja intensidade de produção de calor varia conforme a qualidade do alimento ingerido, atividade muscular, prenhez e a lactação.

Segundo Hahn (1993), as respostas ao estresse térmico pelo frio, são para evitar a perda de calor corporal, o primeiro mecanismo acionado é a vasoconstrição periférica que diminui o fluxo sanguíneo na periferia do corpo do animal, seguido pela piloereção, que diminui a ação das correntes de ar sobre a superfície corporal do animal diminuindo a troca de calor por convecção.

### 3.4 ZONA DE CONFORTO TÉRMICO

Os ruminantes conseguem manter sua temperatura corporal constante através de alterações fisiológicas, por isso, são classificados como homeotermos. Se nas condições de frio ou calor a vaca não utilizar mecanismos de termorregulação para equilibrar a temperatura corporal, ela se encontra dentro da ZCT, ocorrendo um mínimo desgaste de energia, mantendo assim as condições de produção e saúde (NÄÄS, 1989; TITTO, 1998).

A caracterização do ambiente térmico animal envolve os efeitos da temperatura, umidade, radiação e do vento e pode ser feita dentro de uma única

variável, que englobe o efeito combinado de todas, chamada de temperatura efetiva (BAÊTA e SOUZA, 2010). O gasto de manutenção do animal ocorre a um nível mínimo, assim, a energia do organismo pode ser dirigida para os processos produtivos, além dos de manutenção, não ocorrendo desvio de energia para manter o equilíbrio fisiológico, o qual, em caso de estresse, pode ser rompido (MEIRELES, 2005).

Portanto, se o estresse calórico estiver acima da zona de conforto térmico, ocorrerá uma vasodilatação máxima e a evaporação cutânea, como também a frequência respiratória aumentará de maneira linear à temperatura, estas condições são responsáveis por 80% do calor corporal dissipado (PIRES e FERREIRA, 1999).

Ainda segundo dados de Pires e Ferreira (1999), a dissipação de calor pela frequência respiratória nas raças europeias é comprometida em umidades relativas de 30 a 90% associadas a temperaturas ambientais de 24 a 38°C. Já na evaporação por sudorese, em altas umidades, há uma depressão em temperaturas acima de 24°C.

O aumento da frequência respiratória por períodos longos, causa prejuízos ao organismo animal, tais como: redução no consumo de forragens, produção de calor endógeno adicional devido ao exercício da ofegação, desvio de energia para outros processos metabólicos e redução de CO<sub>2</sub> (acarretando alcalose respiratória pelos baixos níveis de ácido carbônico no sangue) (MATARAZZO, 2004).

Outra consequência do estresse térmico, é também a diminuição da atividade enzimática oxidativa, da taxa metabólica que altera a concentração de vários hormônios, o que conseqüentemente, acarreta reduções na produção e mudanças na composição do leite, pois o animal ingere menos alimentos e aumenta a ingestão de água (NARDONE, 2008). Dessa maneira, a termoneutralidade das vacas leiteiras ocorre entre diferentes faixas de temperatura, que variam conforme espécies e raças, indo da temperatura crítica inferior (TCI) até a temperatura crítica superior (TCS). Temperaturas acima da TCS ou abaixo da TCI desencadeiam reações fisiológicas e comportamentais e podem, em casos extremos, levar os animais a óbito por hipertermia ou hipotermia, respectivamente (MARTELLO, 2006), conforme apresentado na figura 1.

Figura 1 - Zonas de sobrevivência térmica



Fonte: Adaptado de (BAÊTA e SOUZA, 1997).

Dentro da zona de termoneutralidade a produção é máxima, o animal não gasta energia para fazer a termorregulação. Na zona de homeotermia, inicia-se os processos de vasodilatação, aumento da frequência respiratória e do consumo de água, visando a eliminar calor e manter a temperatura corporal constante. Na zona de sobrevivência, ocorre uma grande atividade metabólica, se este não conseguir regular a temperatura ou não for retirado desse ambiente entra em coma e pode vir a óbito (BAÊTA e SOUZA, 2010).

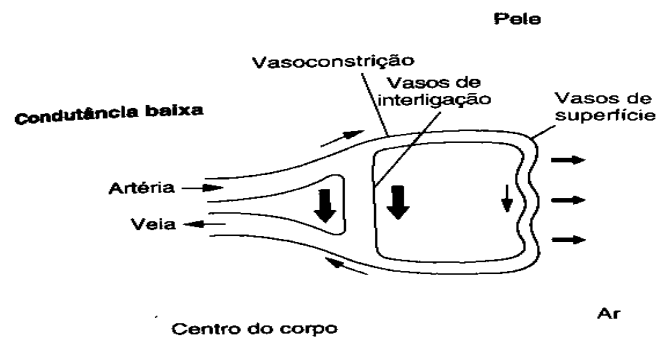
Quando a vaca está na zona de homeotermia, é necessário que haja equilíbrio entre a produção de calor (termogênese) ou absorção e as perdas de calor (termólise), conseguido por alterações fisiológicas, metabólicas e comportamentais, de modo a sustentar a homeostase orgânica e minimizar as consequências adversas da hipo ou hipertermia, dependendo da circunstância (BERTIPAGLIA, 2007).

Nas temperaturas efetivas ambientais situadas na faixa limitada pelos pontos A e D, o animal está estressado pelo frio e nas A' e D', por calor (BAÊTA e SOUZA, 2010). Entretanto, neste processo de ajustes, funções menos vitais do organismo, como o desempenho (produção e reprodução), comportamento e o bem-estar podem ser atingidas quando a intensidade e a duração dos estressores ambientais excedem

a capacidade compensatória dos animais, geneticamente determinada (BERTIPAGLIA, 2007).

A temperatura efetiva ambiental correspondente ao ponto B é denominada temperatura crítica inferior (TCI). Abaixo desta, o animal aciona os mecanismos termoregulatórios, para compensar a perda de calor para o ambiente frio, através do aumento na produção de calor e retenção de calor corporal (BAÊTA e SOUZA, 2010). Neste caso, ocorrem a vasoconstrição, diminuição da frequência respiratória, aumento da ingestão de alimentos e piloereção (AZEVEDO et al., 2009). A figura 2 demonstra esquema do fluxo sanguíneo no auxílio da regulação.

Figura 2 – Esquema do fluxo sanguíneo para ajudar na regulação



Fonte: Randall et al (2014)

Para temperaturas efetivas ambientais abaixo da definida pelo ponto C, o animal não consegue mais balancear a sua perda de calor para o ambiente, e a temperatura corporal começa a declinar rapidamente, acelerando o processo de resfriamento, se o processo não for contido o animal atinge o nível letal D, pois pode morrer por hipotermia (BAÊTA e SOUZA, 2010).

A temperatura efetiva ambiental do ponto B' é denominada Temperatura Crítica Superior (TCS). Acima dessa temperatura o animal aciona seus mecanismos termoregulatórios para aumentar a dissipação de calor corporal para o ambiente, como a vasodilatação geral, a sudorese e a ofegação, assim a taxa de calor metabólico aumenta juntamente com a temperatura corporal. Quando a temperatura ambiental atinge o ponto C', os mecanismos termoregulatórios não conseguem fazer o resfriamento necessário para manter o equilíbrio homeotérmico e a temperatura

corporal aumenta cada vez mais. Na temperatura ambiental do ponto D', o animal morre por hipertermia (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Havendo excesso de TCS, os mecanismos não evaporativos tornam-se ineficazes, aumentando a taxa de sudação e frequência respiratória (PIRES e FERREIRA, 1999).

Abaixo da temperatura crítica inferior, o animal entra em estresse pelo frio e acima da temperatura crítica superior, sofre estresse pelo calor. Na Tabela 1, são apresentados alguns valores de temperatura crítica inferior, superior e de conforto térmico para bovinos.

Tabela 1 - Valores comuns de temperatura efetiva crítica inferior (TCI), temperatura crítica superior (TCS) e conforto térmico (TC), para espécies de bovinos.

ANIMAL	TCI	TC	TCS
<b>Recém-nascido</b>			
Bovino	10	18 a 21	26
<b>Adulto</b>			
Bovino europeu	-10	- 1 a 16	27
Bovino indiano	0	10 a 27	35

Fonte: Adaptada por Hafez (1973); Curtis (1981)

Quando um animal está submetido a uma temperatura abaixo da TCI, está em estresse por frio. Quando em uma temperatura acima da TCS, ocorre estresse por calor (SILVA, 2000). Segundo Baêta e Souza (1997), um limite de faixa ideal para Zona de Conforto Térmico (ZCT) entre  $-1$  e  $16$  °C para vacas holandesas adultas entre  $10$  e  $27$  °C para zebuínos adultos e entre  $18$  e  $21$  °C para bovinos recém-nascidos. Segundo Muller (1982), a faixa ideal de temperatura para a produção de leite para vacas holandesas está entre  $-5$  e  $21$  °C, para vacas Jersey o limite de  $24$  °C e para raças Zebuínas limite de  $29$  °C.

Para as raças leiteiras, os limites que oferecem máxima eficiência para produção e reprodução, estão entre  $10$  e  $20$  °C (PIRES e FERREIRA, 1999). Segundo Nããs (1989) e Martello et al. (2004) a faixa de  $13$  a  $18$  °C como confortável para a maioria dos ruminantes, durante o período de lactação das vacas, os limites ideais de

temperatura ficaram em torno de 4 e 24 °C, podendo restringir esses limites a 7 °C a 21 °C, em razão da umidade relativa e da radiação solar.

### 3.5 FATORES FISIOLÓGICOS EM FUNÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO

Segundo Rocha (2008) a correlação dos parâmetros ambientais com parâmetros fisiológicos contribui para uma melhor avaliação do estresse térmico em propriedades de exploração leiteira, uma vez que o conhecimento das interações ambientais com o desempenho animal é essencial para o ajuste das práticas de manejo alimentar e reprodutivo e, conseqüentemente, a melhoria do sistema de produção.

Os animais podem se ajustar ao ambiente térmico por meio de modificações posturais. Nas épocas quentes, tendem a deitar-se com os membros estirados para aumentar a superfície de contato com o piso frio, adotam uma postura de relaxamento e minimizam as atividades físicas (PIRES et al., 1998).

Quando a temperatura efetiva está acima do limite da zona de conforto térmico, em intervalo sem esforço para dissipação de calor através dos mecanismos termorreguladores, ocorre um excedente de calor produzido em relação ao dissipado, acionando a forma evaporativa de troca de calor, aumento da frequência respiratória, temperatura corporal e sudorese. Estas condições caracterizam o estresse calórico (BAETA et al., 1997; PIRES e FERREIRA, 1999).

A medida da temperatura retal (TR) é usada frequentemente como índice de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento mostra que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes (MOTA, 1997). Segundo Kolb (1987), a temperatura retal média para bovinos com mais de um ano de idade é de  $38,5 \pm 1,5$  °C. Enquanto para Silva et al. (2000), animais da raça holandesa (7/8 HO) que gera grande produção de calor metabólico, como consequência da maior produção de leite, apresentaram TR 39,15 °C, mostrando um limite superior de sensibilidade ao calor.

### 3.6 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA TÉRMICA

Entende-se por termorregulação o conjunto de estratégias empregadas pelos seres vivos para regular sua temperatura corporal, sendo este mecanismo fundamental para a adaptação dos animais a diferentes tipos de habitats (SOUZA e BATISTA, 2012). Os animais são como sistemas físicos, capazes de gerar energia térmica e que conseguem regular a temperatura corporal diante de certos limites de temperatura.

As condições climáticas podem ser determinantes para a produção de leite, principalmente em sistemas intensivos de produção. O estresse térmico em bovinos tem potencial comprometedor em suas atividades, esse fato acaba induzindo mudanças metabólicas (redução nas suas taxas/atividades), como aumento da frequência respiratória, elevação de perdas energéticas, redução do consumo alimentar e hídrico, consumo seletivo, os animais ingerem menor quantidade de matéria seca, diminuindo assim a produção de calor, altera o crescimento/desenvolvimento, a produção de leite e reprodução. Esse estresse age ainda no comportamento destes animais, atividades físicas, postura corporal, busca por sombra (AZEVEDO e ALVES, 2009).

A produção de calor por uma vaca aumenta quando ela está no estado metabólico da lactação, isto ocorre devido a alguns fatores como o aumento no consumo de ração, que aumenta o calor de fermentação e metabolismo de nutrientes, e pela produção de um produto renovável diário (leite), cuja síntese gera calor dentro do corpo. Ambas as fontes de calor metabólico devem ser dissipadas do corpo, o que torna mais difícil quando o ambiente tem um alto ITU (STAPLES et al., 2011).

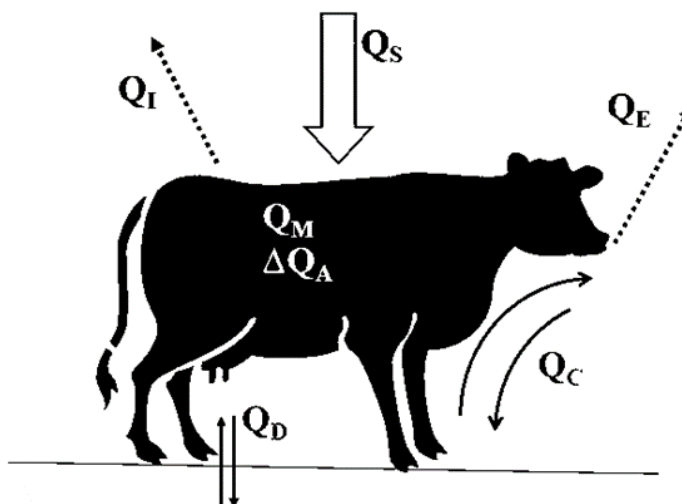
Quando a temperatura se altera de tal modo a atingir o ponto crítico de desconforto, a UR é importante para os mecanismos evaporativos de dissipação de calor, pois em condições de umidade elevada há inibição de evaporação pela pele e pelo trato respiratório, aumentando as condições estressantes ao animal. As melhores condições de temperatura e umidade relativa para criar animais, em termos gerais, estão em torno de 13 a 18 °C e 60 a 70%, respectivamente (PIRES e FERREIRA, 1999).

Para gado europeu, as condições adequadas se encontram em regiões com uma faixa de temperatura abaixo de 20 °C associada a uma umidade relativa em torno de 50 a 80%.

Os animais mantêm a homeotermia por meio de trocas de calor com o meio ambiente, utilizando mecanismos fisiológicos, metabólicos e comportamentais. Entre esses mecanismos, destaca-se a vasodilatação periférica, que é responsável pelo redirecionamento do fluxo sanguíneo dos órgãos internos para a superfície corporal, facilitando a dissipação de calor por meios não evaporativos, como a condução, convecção e radiação (JOHNSON, 1987).

Segundo Ferreira (2005), o calor perdido ou ganho ocorre pela forma sensível e latente. O calor não evaporativo ou sensível, é transmitido por condução através da cobertura (pelos) e tecido epitelial (pele), por convecção entre o ar e superfície corporal e por radiação. O calor evaporativo ou latente, incluem a perda de calor por evaporação de água nas vias respiratórias no processo de respiração, superfície da pele por sudorese. A figura 3 apresenta de forma esquemática a troca de calor do animal com ambiente.

Figura 3 - Representação esquemática da dissipação de calor do animal para o ambiente.



$Q_s$ : Radiação solar incidente;  $Q_i$ : radiação emitida mais a refletida;  $Q_e$ : dissipação de calor por meio da respiração e transpiração;  $Q_c$ : troca térmica por convecção;  $Q_d$ : troca térmica por condução;  $Q_m$ : calor metabólico e  $\Delta Q_A$ : variação efetiva do calor armazenado no corpo.

Fonte: Adaptado de Sentelhas, et al (2007).

Local de acesso: <https://slideplayer.com.br/slide/1242000/>

### 3.7 PROCESSO NÃO EVAPORATIVO OU SENSÍVEL DE TROCA DE CALOR

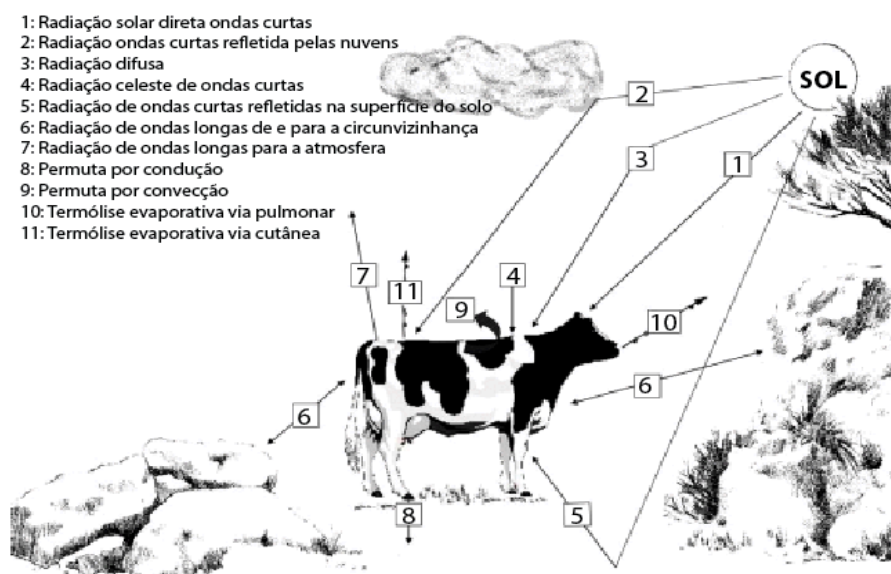
#### 3.7.1 Radiação

A radiação pode ser definida como a transferência de energia de um corpo a outro através de ondas eletromagnéticas sem que este se aqueça. Já a perda por radiação, ocorre quando o animal emite radiação para o meio ambiente (CUNNINGHAN, 1999). Nesta transferência, o fluxo de calor não depende da temperatura do ar, mas da temperatura corporal que pode refletir a energia incidente, absorber e transmitir para outros objetos (BAÊTA e SOUZA, 1997). Têm-se como exemplo os animais de pele clara que irradiam mais calor do que os de pele escura (GLASER, 2003).

Quando materiais físicos são expostos a diferentes temperaturas, o calor flui da temperatura mais elevada para a mais baixa, e ocorre na ausência de contato direto entre os objetos. Essa transferência de calor ocorre por condução e radiação, um corpo só pode perder calor se o meio, ou parte desse, esteja a uma temperatura mais baixa que a superfície do corpo (KNUT, 2013).

O calor é transferido entre um animal e seu meio ambiente de vários modos. A irradiação térmica infravermelha e a luz do sol direta ou refletida transferem calor para o animal, enquanto a irradiação e a evaporação transferem calor para o ambiente, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 – Mecanismos termoregulatórios utilizados pelos bovinos, para alcançar o equilíbrio da temperatura corporal



Fonte: <https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/ambiencia-em-rebanhos-leiteiros-como-manejar-o-estresse-calorico>

### 3.7.2 Condução

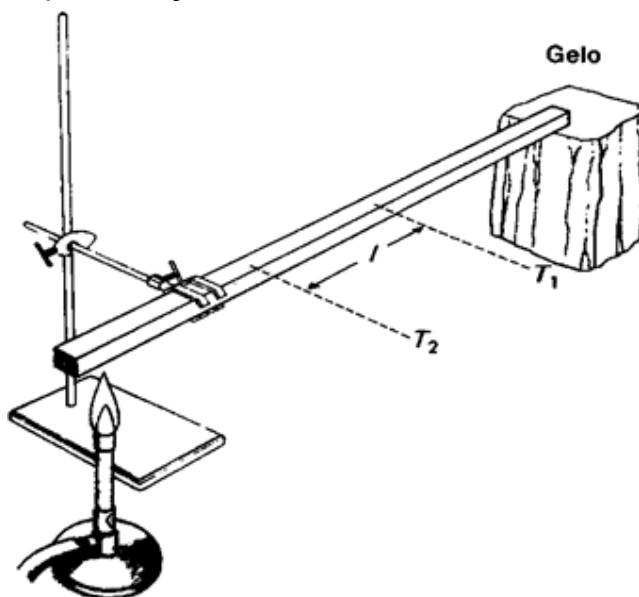
A condução de calor ocorre entre corpos físicos que estão em contato direto do tecido com superfícies sólidas ou líquidas. Nota-se esta forma de transferência quando do contato de tecidos com superfícies externas e quando da passagem de calor do centro à periferia do organismo pelo contato das partículas com os tecidos. A condução é responsável também pela sensação de temperatura nos animais e pode ser reduzida também por camadas de gordura e de ar no pelame (GLASER, 2003).

Na condução, a perda de calor se dá por contato entre superfícies, dois corpos que se tocam ou mesmo partes diferentes de um corpo que estejam a temperaturas diferentes. Essa é a única forma de transportar calor do interior do organismo até a periferia e pode ocorrer nos dois sentidos Muller (1982), ou seja, também pode ser uma forma de ganhar calor.

Segundo Knut (2013), o fluxo de calor em um condutor uniforme depende da sua secção transversal do gradiente de temperatura sendo frio ou calor e do material

do qual é feito. A condução não é limitada ao fluxo de calor dentro de uma dada substância, ela pode existir também entre duas fases, como o fluxo de calor da pele para o ar ou água em contato com a superfície corporal (RANDALL et al., 2014). Conforme apresentado na figura 5.

Figura 3 – Representação do fluxo de calor em um condutor uniforme.



Fonte: Knut (2013)

A condução não é limitada ao fluxo de calor dentro de uma dada substância, ela pode existir também entre duas fases, como o fluxo de calor da pele para o ar ou água em contato com a superfície corporal (RANDALL et al., 2014).

A eliminação do calor corporal, para superfícies mais frias, com as quais o animal está em contato é um processo de condução térmica, nesse processo ele pode perder ou ganhar calor dependendo da temperatura da superfície externa que o animal está em contato, no piso frio, ele dissipa o excesso de calor, dependendo da condutividade térmica do material. A troca de calor também pode ocorrer no aparelho digestivo após o animal ingerir água e outros alimentos frios (TAKAHASH et al., 2009).

### 3.7.3 Convecção

Consiste na transferência de energia pela movimentação do ar, partindo as moléculas de corpos mais quentes para corpos mais frios. Nota-se convecção na troca

de calor da circulação do sangue quente na periferia corporal pela passagem de ar frio através da pelagem (GLASER, 2003).

Na transferência de calor por convecção, a perda de calor ocorre pela circulação de moléculas, devendo um dos corpos envolvidos na troca de calor ser sólido e o outro fluido. Nesse tipo de troca térmica, dois fatores de grande importância são a movimentação do ar e a extensão da superfície (NÃÃS, 1989).

A dissipação do calor através das correntes aéreas, onde o vento com menor temperatura que a superfície corporal, passa sobre ele e leva o calor através de perdas conectivas entre o animal e o meio ambiente. O aquecimento do ar inspirado, no interior do aparelho respiratório, rouba calor do organismo (TAKAHASH et al., 2009).

A movimentação do fluido pode também acontecer por forças externas, como vento, correntes de água, ventiladores elétricos entre outros. Quando ocorrer alterações de densidade, denomina-se convecção forçada (KNUT, 2013). Segundo Silva (2000), a influência do vento é muito maior que resistência térmica da quantidade e tamanho dos pelos na superfície corporal do animal, quando a velocidade do vento é maior.

Na perda de calor por convecção, ocorre a circulação de moléculas, com a reposição da camada mais quente de ar por uma mais fria. Tal perda pode ser facilitada pelo uso de ventiladores ou orientação adequada do eixo central da instalação, favorecendo a ventilação natural (CUNNINGHAN, 1999).

### 3.8 PROCESSO EVAPORATIVO OU LATENTE DE PERDAS DE CALOR

#### 3.8.1 Evaporação

A evaporação é o meio mais eficiente de remover o excesso de calor corporal. Algumas espécies usam água do ambiente espalhadas por várias áreas do corpo, permitindo sua evaporação à custa do calor corporal, outros usam sudorese ou o ofego para produzir o resfriamento evaporativo (RANDALL et al., 2014).

Quando um animal é exposto a um meio quente, ele se resfria pela evaporação do suor da superfície geral do corpo (KNUT, 2013), no entanto, se a temperatura e a umidade estiverem altas, há uma condensação imediata de água na superfície da pele ocorrendo a troca de calor inversa que mantém o calor dentro do corpo.

A evaporação elimina o calor corporal, através do suor, saliva ou secreções das vias respiratórias. A umidade do ar elevada prejudica essa eliminação e o vento favorece a troca que ocorre tanto na superfície corporal quanto no interior do aparelho respiratório. A troca de calor latente é um mecanismo fundamental para sobrevivência em altas temperaturas, ocorre a dissipação do calor por processo evaporativo (DALCIN, 2013).

Segundo (MARTELLO, 2006), o aumento ou diminuição da frequência respiratória pode resultar da intensidade e duração da exposição ao estresse térmico que os animais estão submetidos. O primeiro mecanismo que é acionado pelos bovinos visando a perda de calor frente ao estresse térmico é a vasodilatação periférica, o segundo é a sudorese e logo depois a respiração, sendo o aumento da frequência respiratória o primeiro sintoma perceptível.

Segundo Robertshaw (2006), o aumento da frequência respiratória pode estar relacionado à exposição ao calor e sua elevação pode ocorrer antes do aumento da temperatura retal. A frequência respiratória comum em bovinos adultos está entre 12 e 36 movimentos por minuto (STOBER, 1993), mas pode exibir valores mais extensos, entre 24 e 36 movimentos por minuto (TERRA, 1993).

Em ambientes tropicais o mecanismo de perda de calor considerado como sendo o mais eficiente é o evaporativo, portanto frente ao estresse calórico ocorre aumento no consumo de água, sendo este o principal substrato para que haja termólise evaporativa através de respiração e sudação, quando a temperatura do ar se eleva acima de 30°C, com baixa umidade relativa do ar, podendo ser responsável por até de 80% do fluxo total de calor latente (BAÊTA e SOUSZA, 2010).

É fundamental destacar que a perda de calor por meio da evaporação na superfície cutânea não ocorre somente pelo suor produzido pelas glândulas sudoríparas (sudação), há também o processo de perspiração, que é a difusão do vapor dos fluidos derivados dos tecidos abaixo da epiderme, ou seja, é a difusão da água por meio da epiderme, contribuindo na dissipação de calor (SILVA, 2000). Assim, as taxas de evaporação cutânea normalmente referem-se a um volume de água maior

que o secretado apenas pelas glândulas sudoríparas separadamente (SILVA e STARLING, 2003).

### 3.9 COMPORTAMENTO

As vacas em lactação diminuem suas atividades nas horas mais quentes do dia, procurando pastar mais à noite e buscando sombra ou imersão em água durante o dia, utilizando sempre todos os recursos disponíveis no seu ambiente. Um dos grandes problemas da ambiência na produção de leite é que existem vários modelos relacionados aos sistemas de climatização, entretanto, sua maioria, foi desenvolvida em condições ambientais distintas dos países tropicais (MATARAZZO et al., 2006).

Para a adaptação ao clima em que o animal está sendo submetido, há uma mudança de comportamento e de respostas neuroendócrinas e fisiológicas para manutenção da homeostase (PIRES e FERREIRA, 1999; GLASER, 2003). A ativação de mecanismos autônomos que resultam na liberação de hormônios pode produzir aceleração no metabolismo das reservas de energia. Mecanismos de aclimação, que são mais lentos que os outros dois processos, frequentemente causam elevação do metabolismo basal e produção de calor associada (RANDALL et al, 2014).

Quando os bovinos consomem predominantemente forragens, a produção de calor metabólico é mais elevada e, conseqüentemente eleva a temperatura corporal do animal. Em condições climáticas caracterizadas por temperaturas ambientais elevadas, as vacas reduzem voluntariamente o consumo de alimentos volumosos, diminuindo a produção e qualidade do leite (HUBER, 1990).

### 3.10 ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU), foi desenvolvido por Thom (1959) como um índice de conforto térmico empregado também para humanos, esse índice é bastante utilizado por combinar os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar em um único valor. Esse índice tem a finalidade de definir melhor as condições

ambientais em que a produtividade e o bem-estar dos animais provavelmente não serão comprometidos (STAPLES et al., 2011).

O índice de temperatura e umidade (ITU) é determinado a partir da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa do ar (UR), esta mensurada em função da temperatura do ponto de orvalho (Tpo), conforme fórmula de Thom (1959), descrita abaixo:

$$ITU = TBS + 0,36 Tpo + 41,5$$

Onde: Ta - temperatura do ar em °C e Tpo - temperatura do ponto de orvalho em °C.

A caracterização de efeitos advindos do estresse térmico conforme a variação do ITU foram classificados por Perissinotto e Moura (2007), que estabeleceu as classes do ITU, para vacas holandesas em lactação confinadas, se o ITU for abaixo de 72 representar um ambiente com ausência de estresse por calor, entre 72 e 77.1, representa variação nula ou pode ocorrer estresse pelo calor, de 77.1 a 80.3, representa que a vaca está em situação de perigo, maior que 80.3 representa emergência e pode ocorrer a morte do animal. Segundo Silva (2000), o valor do ITU acima de 72, as vacas Holandesas iniciam o declínio na produção de leite.

Pires e Campus (2004), sugerem a seguinte classificação: menor ou igual a 70 como sendo uma faixa normal, sem gasto de energia para seu desempenho produtivo, 70 a 72 como alerta desempenho produtivo adequado, 73 a 78 como alerta e acima do limite crítico para produção, 79 a 82 como perigo, providencias devem ser tomadas para evitar perdas desastrosas, acima de 82 como emergência, o animal não consegue controlar a temperatura e pode vir a óbito.

A sensação de conforto térmico é muito boa quando a temperatura está abaixo de 22°C, independente dos valores de umidade relativa do ar, sendo possível afirmar que as vacas leiteiras no Brasil estão, em grande parte do ano e por várias horas por dia, submetidas ao estresse térmico, já que constantemente são registradas temperaturas superiores a 30°C (PERISSINOTTO e MOURA, 2007).

No entanto, apesar do ITU ser uma ferramenta útil para a avaliação do estresse térmico, observar as próprias respostas do animal ao tempo quente podem indicar um grau mais verdadeiro de estresse térmico, como por exemplo, o aumento da

temperatura corporal, que é um indicador de inabilidade do animal em dissipar completamente sua carga de calor (STAPLES et al., 2011).

### 3.11 ÍNDICE DE TEMPERATURA DE GLOBO E UMIDADE (ITGU)

O ITGU foi desenvolvido por Buffington et al. (1981) a partir das fórmulas do ITU, substituindo a temperatura ambiente, ou de bulbo seco, pela temperatura de globo negro. O Índice de Temperatura, de Globo Negro e Umidade têm maior precisão ao ITU por ter direta relação com a temperatura retal e a frequência respiratória (BAÊTA e SOUZA, 1997). Segundo Matarazzo (2004), a produção de leite apresentou correlação mais alta com o ITGU do que com o ITU sob radiação solar direta e indireta.

Conforme Takahash et al. (2009), este índice é bastante utilizado na bioclimatologia zootécnica, pois leva em consideração, por meio da temperatura de globo negro, colocado na disposição em que o animal ocuparia no ambiente, combinados a radiação solar, conforme fórmula abaixo:

$$\text{ITGU} = \text{TG} + 0,36 \text{ Tpo} + 41,5$$

em que, Tpo - Temperatura do ponto de orvalho em °C e TG - Temperatura do globo negro em °C.

Quanto à classificação do desconforto em relação ao ITGU em relação ao ITU, existem divergências para valores críticos, isso em virtude da localização, da raça entre outros.

#### 3.11.1 Termômetro de globo negro

O termômetro de globo negro consiste em uma esfera oca, com diâmetro aproximado de 0,15 m e 0,0005 m de espessura e pintado com duas camadas de tinta preta fosca, a fim de absorver o máximo a radiação solar e um termômetro em seu interior para mensurar a temperatura que avalia os efeitos da energia radiante, temperatura e velocidade do ar. As primeiras pesquisas com bovinos usando esse

termômetro levaram à conclusão que, para estudar o ambiente no qual o animal está sendo submetido, deve-se instalá-lo à altura corporal do animal (SOUZA et al., 2002).

### 3.12 ESTRESSE TÉRMICO

Segundo Pires (2006), o estresse térmico é o conjunto das alterações que ocorrem no organismo animal na tentativa de reagir às condições ambientais como as altas temperaturas, alta umidade do ar e excesso de radiação solar. Os sinais de estresse térmico para vacas leiteiras representam a transpiração aumentada, boca aberta e a língua estendida, aumento do consumo de água, necessidade do animal sair a procura de água e sombra e aumento da salivação.

Tendo em vista os demais efeitos ocasionados pelo estresse térmico, como sudorese elevada, que ocasiona altas perdas de minerais a maior influência do estresse pelo calor sobre a produção de leite é a diminuição no consumo de matéria seca, que acaba refletindo fortemente nas perdas de produção leiteira (PERISSINOTTO et al., 2006). Vale ressaltar que o estresse térmico não interfere somente na produção de leite, mas também altera o crescimento/desenvolvimento e a reprodução e age ainda no comportamento destes animais, atividades físicas e postura corporal (AZEVEDO et al., 2009).

### 3.13 ZOOTECNIA DE PRECISÃO

Tecnologias de produção animal de precisão abrangem métodos para medir eletronicamente os componentes críticos do sistema, que indicam a eficiência da utilização de recursos, tecnologias de software destinado a interpretar as informações capturadas e controle de processos para garantir a máxima eficiência do uso de recursos e produtividade animal. A Zootecnia de Precisão pode desempenhar um papel potencial para assegurar que no conhecimento existente seja implantado efetivamente em fazendas, para melhorar o retorno aos produtores, qualidade de produtos, bem-estar de animais e de sustentabilidade do meio ambiente e da fazenda (BANHAZI e BLACK, 2009).

Os primeiros equipamentos utilizados eram sensores e atuadores, em seguida vieram os biosensores, dispositivos eletrônicos que permitem o registro de dados

fisiológicos dos animais, análise de imagens e ruído. Atualmente, outros equipamentos, técnicas e ferramentas vêm sendo incorporadas: a geoestatística, redes sem fio (wireless), inteligência artificial, visão computacional por meio de softwares matemáticos, termografia e CFD (*computational fluid dynamics*). Todas essas inovações introduzidas nos estudos de ambiência têm permitido aos pesquisadores o aprofundamento no conhecimento dos fatores que interferem no ambiente de criação, levando à maior precisão nas correções e ajustes desses sistemas (DAMASCENO et. al, 2010).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 IDEALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento foi desenvolvido com a utilização de uma plataforma microcontrolada e com sensores que medem as condições ambientais locais. Para os cálculos dos índices de ITU e ITGU, foram inseridas na programação as fórmulas descritas abaixo.

$$ITU = t_a + 0,36 \times t_{po} + 41,5.$$

Onde:  $t_a$  - temperatura do ar (°C) e  $t_{po}$  - temperatura de ponto de orvalho (°C).

$$ITGU = T_{gn} + 0,36 \times t_{po} + 41,5.$$

Onde:  $T_{gn}$  - temperatura de globo negro (°C) e  $t_{po}$  - temperatura do ponto de orvalho.

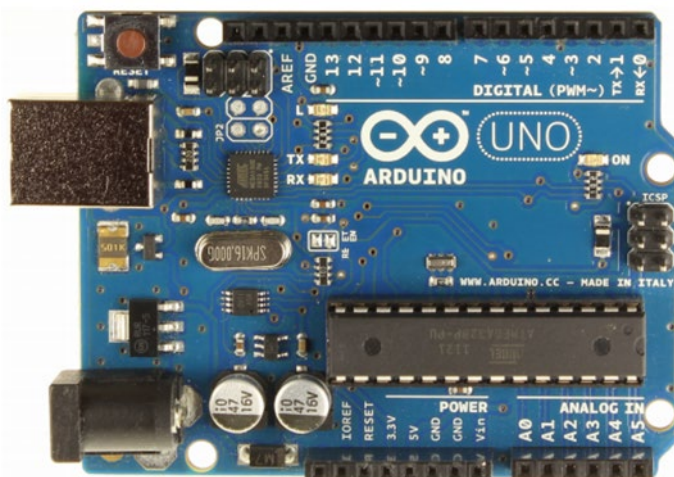
#### 4.1.1 Plataforma microcontrolada

Foi utilizado uma plataforma microcontrolada, principalmente por sua facilidade de programação e montagem de circuitos eletrônicos. A plataforma Arduino, desenvolvida em 2005 com o objetivo de elaborar um equipamento funcional, barato e de fácil programação, destinada a estudantes e projetistas amadores. Adota o conceito de hardware livre, o que significa que qualquer pessoa pode montar,

modificar, melhorar ou até personalizar esta plataforma (PORTAL EMBARCADOS, 2020).

É composta por microcontrolador da marca Atmel, circuitos eletrônicos de entrada e saída de dados, além de outros componentes que facilitam o desenvolvimento de aplicações eletrônicas. Possui uma porta USB que permite conexão fácil a um computador, o que possibilita programá-lo de acordo com o projeto a ser desenvolvido, utilizando uma IDE (*Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) gratuita, que utiliza linguagem baseada em C/C++ (PORTAL EMBARCADOS, 2020). A figura 6 apresenta a placa Arduino Uno.

Figura 6 - Ilustração do Arduino Uno.



Fonte: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/129235.pdf> (2020)

A plataforma Arduino possui várias versões de kits específicos, como o Arduino Uno, Arduino Leonardo, Arduino Due, Arduino Mini, Arduino Micro, Arduino Nano entre muitos outros. Além das placas de expansão (*shields*) que podem ser conectadas aos kits visando a expansão de funcionalidades (PORTAL EMBARCADOS, 2020).

Tendo em vista a necessidade de utilização de vários sensores e componentes, optou-se pela placa Arduino Mega 2560, trata-se de uma versão mais encorpada do Arduino Uno, por possuir vantagens sobre este modelo, versão mais popular. Possui maior número de pinos (entradas/saídas) e alta capacidade de memória flash para armazenamento do programa a ser recebido (PORTAL EMBARCADOS, 2020).

O Arduino Mega utiliza microcontrolador ATmega2560, microcontrolador muito mais poderoso que o encontrado na versão Uno, possui 54 pinos digitais, destes, 15

podem ser utilizados para PWM (modulação por largura de pulso), possui ainda 16 pinos analógicos. Em relação as memórias internas, possui 256 KB de memória flash, 8 KB de memória SRAM e 4 KB de memória EEPROM e possui clock interno de 16 MHz (PORTAL EMBARCADOS, 2020).

Com essas propriedades, o Arduino Mega é indicado para projetos que necessitem de espaço maior para a programação e que necessitem de muitos pinos digitais ou analógicos, além disso, possui 4 “portas” seriais que podem ser usadas individualmente (PORTAL EMBARCADOS, 2020). O Arduino Mega é apresentado na figura 7.

Figura 7 - Arduino Mega 2560.



Fonte: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/129235.pdf> (2020)

#### 4.1.2 Sensor de temperatura e umidade

A opção escolhida foi o sensor DHT22, integra um sensor de umidade e um sensor de temperatura em um só módulo. Ele fornece tanto temperatura quanto umidade do ar instantaneamente, para isso, utiliza um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir o ar circundante. Permite medir temperaturas de - 40 a 80° Celsius, e umidade na faixa de 0 a 100 %. Sua faixa de precisão para temperatura é de 0,1 graus e para umidade é de 0,1%. A figura 8 apresenta o sensor de temperatura e umidade DHT 22.

Figura 8 – Módulo DHT 22



Fonte: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/129235.pdf> (2020)

Houve a necessidade de se estudar uma adaptação que representasse o globo negro acoplado ao sensor desenvolvido, uma vez que, o globo negro existente no mercado é uma esfera de cobre de diâmetro de 0,15 m e espessura de 0,5 mm, portanto, muito grande e com peso excessivo para a estrutura do aparelho desenvolvido.

Foram testados vários modelos e materiais, até ser encontrada uma caneca de pintura de alumínio que foi revestida com tinta spray preta fosca, conforme figura 9, em seu interior foi adaptado um sensor DHT22 que se adequou aos resultados do globo negro comercialmente utilizado.

Figura 9 – Caneca de alumínio com pintura preto fosca

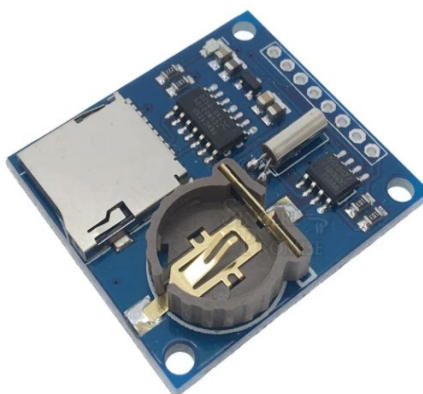


Fonte: Autoria própria

### 4.1.3 Módulo datalogger

Para o armazenamento das informações coletadas dos sensores, foi utilizado um módulo datalogger mini. Este módulo além de permitir a gravação de dados em um cartão de memória *micro SD*, também possui um RTC (*Real Time Clock*, ou Relógio de Tempo Real), dessa forma, além de permitir a gravação em um cartão de memória *micro SD*, também foi possível implantar data e hora ao equipamento. A figura 10 apresenta o módulo mini *datalogger*.

Figura 10 – Módulo mini datalogger



Fonte: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/129235.pdf> (2020)

### 4.1.4 Display LCD

Para a exibição dos dados colhidos e resultados, foi utilizado um *display* LCD 20x4 I2C, este componente permite a exibição de 4 linhas de 20 caracteres em cada linha. Sua comunicação é simplificada, pois o I2C ligado ao display, é uma placa microcontrolada que facilita a integração do display ao arduino, sem a utilização desse protocolo, normalmente utiliza-se 14 pinos para o controle do display, enquanto que com a utilização do protocolo I2C, apenas 2 pinos de comunicação são necessários e mais 2 pinos de alimentação 5V e terra. A figura 11 apresenta o display utilizado.

Figura 11 - Módulo display 20x4 I2C



Fonte: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/5/Artigos/129235.pdf> (2020)

#### 4.1.5 Caixa

Para acomodar todos os componentes que envolvem o projeto, uma caixa foi desenhada com a utilização do software ThinkerCad, que permite desenhos em três dimensões. Essa caixa foi desenhada já com a furação necessária para o display e para as placas. Após o desenho, a caixa foi impressa em impressora 3D com a utilização de PLA.

#### 4.1.6 Protótipo montado

Após a impressão da caixa do protótipo, os componentes display, arduino mega e o mini *data logger* foram fixados na estrutura desta, onde o display I2C foi ligado a placa Arduino mega através dos pinos (5V, GND, SCL, SDA).

A placa mini *data logger* foi ligada a placa arduino através dos pinos (5V, GND, CS, MISO, MOSI, SCK, SCL, SDA). Os módulos sensores de temperatura e umidade DHT 22 possuem três pinos, sendo dois de alimentação (5V e GND) e um de dados, desta forma, o sensor instalado na caneca de alumínio (globo negro) foi interligado na placa arduino através dos pinos (GND, 5V e 6) e o sensor de ambiente foi interligado pelas portas (GND, 5V e 7).

A Figura 12 apresenta o protótipo desenvolvido, ressalta-se que os módulos foram interligados por jumpers, onde utilizou-se os jumpers da cor preta para ligação GND (terra), nas cores vermelha VCC (5V) e os de cor azul os cabos de dados.

Figura 12 – Protótipo montado



Fonte: Autoria própria.

## 4.2 LOCAL DO EXPERIMENTO

O presente trabalho foi conduzido na Cabanha Venceslau, localizada no Município de Vilhena Rondônia, na latitude 12°44'26" S e longitude 60°08'45" W, altitude de 612 metros, no período entre 06 de outubro a 06 de novembro de 2020. O protótipo foi fixado na coluna do galpão de descanso das vacas leiteiras, portando sendo essa a mais utilizada durante o dia pelos animais. O clima é tropical com estação seca, quente e úmido. A sua condição climática média anual segundo a classificação de Koppen, corresponde a valores de temperatura do ar de 25,8 °C e umidade relativa do ar de 69,21 %.

### 4.3 TESTE DO DISPOSITIVO

Para verificar a funcionabilidade do equipamento, este foi instalado em na área de descanso com cobertura. Utilizando os dados da temperatura, umidade, temperatura de globo negro e ponto de orvalho medidos pelo equipamento, também foram calculados, com a ajuda de uma planilha eletrônica, os resultados do ITU e ITGU para as variáveis colhidas, posteriormente esses cálculos foram comparados aos cálculos internos do equipamento desenvolvidos armazenados em um cartão micro SD, a fim de verificar sua eficiência.

Após a montagem e conexão dos dispositivos, desenvolveu-se um programa em linguagem C responsável por capturar os dados, fazer os cálculos e apresentar os resultados na tela. A programação desenvolvida é apresentada no anexo A. As figuras 13 e 14 apresentam o protótipo desenvolvido em funcionamento.

Figura 13 - Protótipo montado e instalado no galpão de descanso da propriedade monitorada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14 - Imagem do display do protótipo desenvolvido, realizando a medição da temperatura, umidade e temperatura do globo negro.



Fonte: Autoria própria.

O protótipo foi fixado na coluna do corredor no galpão, onde se localiza os canzils de trato dos animais e a área de descanso, portando, sendo essa a mais utilizada durante o dia pelos animais, conforme a figura 15 apresentada abaixo.

Figura 15 - Teste do equipamento desenvolvido no galpão de descanso.



Fonte: Autoria própria.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os dados coletados e calculados pelo equipamento foram armazenados em um cartão *micro* SD, inserido no módulo mini datalogger do equipamento desenvolvido. Esses dados são gravados em um arquivo texto, conforme trecho apresentado na figura 16.

Figura 16 - Parte dos dados gravados no cartão SD do equipamento desenvolvido.

```
06/10/2020;10:47:23;23.50;80.00;23.60;60.60;-3.00;63.92;64.02;
06/10/2020;10:47:40;23.50;79.10;23.60;61.30;-3.00;63.92;64.02;
06/10/2020;10:47:56;23.50;79.20;23.60;61.90;-3.00;63.92;64.02;
06/10/2020;10:48:12;23.50;79.00;23.60;62.60;-3.00;63.92;64.02;
06/10/2020;10:48:28;23.50;80.40;23.70;63.00;-3.00;63.92;64.12;
06/10/2020;10:48:44;23.50;80.10;23.60;63.20;-3.00;63.92;64.02;
06/10/2020;10:49:00;23.50;79.10;23.70;64.40;-3.00;63.92;64.12;
06/10/2020;10:49:16;23.60;79.80;23.70;65.50;-3.00;64.02;64.12;
06/10/2020;10:49:32;23.60;79.20;23.70;66.40;-3.00;64.02;64.12;
06/10/2020;10:49:48;23.60;79.10;23.70;67.30;-3.00;64.02;64.12;
06/10/2020;10:50:04;23.60;78.10;23.70;68.00;-3.00;64.02;64.12;
06/10/2020;10:50:20;23.60;78.80;23.70;68.80;-3.00;64.02;64.12;
06/10/2020;10:50:36;23.70;79.90;23.70;69.70;-3.00;64.12;64.12;
06/10/2020;10:50:52;23.70;81.50;23.70;70.40;-3.00;64.12;64.12;
06/10/2020;10:51:08;23.70;80.60;23.80;70.70;-3.00;64.12;64.22;
06/10/2020;10:51:24;23.80;80.70;23.70;71.20;-3.00;64.22;64.12;
06/10/2020;10:51:40;23.80;79.30;23.80;71.90;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:51:56;23.80;78.90;23.80;72.60;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:52:12;23.80;79.00;23.80;73.20;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:52:28;23.80;79.10;23.80;73.70;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:52:44;23.80;80.00;23.80;74.10;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:53:00;23.80;79.60;23.80;74.30;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:53:16;23.80;80.00;23.80;74.50;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:53:32;23.80;80.00;23.80;74.70;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:53:48;23.80;78.70;23.80;74.90;-3.00;64.22;64.22;
06/10/2020;10:54:04;23.80;79.50;23.90;75.30;-3.00;64.22;64.32;
06/10/2020;10:54:20;23.90;79.90;23.90;75.50;-3.00;64.32;64.32;
06/10/2020;10:54:36;23.90;79.30;23.90;75.60;-3.00;64.32;64.32;
```

Fonte: Autoria própria.

Os dados do arquivo texto foram importados para uma planilha eletrônica do Excel para serem analisados e revisados. A figura 17 apresenta os dados importados.

Figura 17 - Parte dos dados importados no Excel para serem analisados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Data	Hora	Temp	Umidade	Temp Glo	Umid. Glo	P. O.	ITU	ITGU
2	06/10/2020	10:46:51	23.70	79.00	24.20	58.30	-3.00	64.12	64.62
3	06/10/2020	10:47:07	23.50	80.50	23.60	59.90	-3.00	63.92	64.02
4	06/10/2020	10:47:23	23.50	80.00	23.60	60.60	-3.00	63.92	64.02
5	06/10/2020	10:47:40	23.50	79.10	23.60	61.30	-3.00	63.92	64.02
6	06/10/2020	10:47:56	23.50	79.20	23.60	61.90	-3.00	63.92	64.02
7	06/10/2020	10:48:12	23.50	79.00	23.60	62.60	-3.00	63.92	64.02
8	06/10/2020	10:48:28	23.50	80.40	23.70	63.00	-3.00	63.92	64.12
9	06/10/2020	10:48:44	23.50	80.10	23.60	63.20	-3.00	63.92	64.02
10	06/10/2020	10:49:00	23.50	79.10	23.70	64.40	-3.00	63.92	64.12
11	06/10/2020	10:49:16	23.60	79.80	23.70	65.50	-3.00	64.02	64.12
12	06/10/2020	10:49:32	23.60	79.20	23.70	66.40	-3.00	64.02	64.12
13	06/10/2020	10:49:48	23.60	79.10	23.70	67.30	-3.00	64.02	64.12
14	06/10/2020	10:50:04	23.60	78.10	23.70	68.00	-3.00	64.02	64.12
15	06/10/2020	10:50:20	23.60	78.80	23.70	68.80	-3.00	64.02	64.12
16	06/10/2020	10:50:36	23.70	79.90	23.70	69.70	-3.00	64.12	64.12
17	06/10/2020	10:50:52	23.70	81.50	23.70	70.40	-3.00	64.12	64.12
18	06/10/2020	10:51:08	23.70	80.60	23.80	70.70	-3.00	64.12	64.22
19	06/10/2020	10:51:24	23.80	80.70	23.70	71.20	-3.00	64.22	64.12
20	06/10/2020	10:51:40	23.80	79.30	23.80	71.90	-3.00	64.22	64.22
21	06/10/2020	10:51:56	23.80	78.90	23.80	72.60	-3.00	64.22	64.22
22	06/10/2020	10:52:12	23.80	79.00	23.80	73.20	-3.00	64.22	64.22
23	06/10/2020	10:52:28	23.80	79.10	23.80	73.70	-3.00	64.22	64.22
24	06/10/2020	10:52:44	23.80	80.00	23.80	74.10	-3.00	64.22	64.22
25	06/10/2020	10:53:00	23.80	79.60	23.80	74.30	-3.00	64.22	64.22

Fonte: Autoria própria.

A coluna A registra a data da mensuração, a coluna B registra a hora da medição, a coluna C registra a temperatura, a coluna D registra a umidade, a coluna E registra a temperatura de globo negro, a coluna F registra a umidade no interior do globo negro, porém, cabe ressaltar que esse último dado não é utilizado no cálculo dos índices. A coluna G registra o cálculo do ponto de orvalho e as colunas H e I são os cálculos de ITU e ITGU.

Utilizou-se o Excel para cálculo teóricos dos índices de ITU e ITGU a partir das variáveis coletadas no aparelho. O cálculo foi traduzido para comandos da planilha

eletrônica para confirmação dos dados calculados pela configuração do equipamento, conforme indicado na figura 18.

Figura 18 - Cálculos traduzidos para planilha eletrônica.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Data	Hora	Temp	Umidade	Temp Glo	Umid. Glo	P. O.	ITU	ITGU		
2	06/10/2020	10:46:51	23.70	79.00	24.20	58.30	-3.00	64.12	64.62	64.12	64.62
3	06/10/2020	10:47:07	23.50	80.50	23.60	59.90	-3.00	63.92	64.02	63.92	64.02
4	06/10/2020	10:47:23	23.50	80.00	23.60	60.60	-3.00	63.92	64.02	63.92	64.02
5	06/10/2020	10:47:40	23.50	79.10	23.60	61.30	-3.00	63.92	64.02	63.92	64.02
6	06/10/2020	10:47:56	23.50	79.20	23.60	61.90	-3.00	63.92	64.02	63.92	64.02
7	06/10/2020	10:48:12	23.50	79.00	23.60	62.60	-3.00	63.92	64.02	63.92	64.02
8	06/10/2020	10:48:28	23.50	80.40	23.70	63.00	-3.00	63.92	64.12	63.92	64.12
9	06/10/2020	10:48:44	23.50	80.10	23.60	63.20	-3.00	63.92	64.02	63.92	64.02
10	06/10/2020	10:49:00	23.50	79.10	23.70	64.40	-3.00	63.92	64.12	63.92	64.12
11	06/10/2020	10:49:16	23.60	79.80	23.70	65.50	-3.00	64.02	64.12	64.02	64.12
12	06/10/2020	10:49:32	23.60	79.20	23.70	66.40	-3.00	64.02	64.12	64.02	64.12
13	06/10/2020	10:49:48	23.60	79.10	23.70	67.30	-3.00	64.02	64.12	64.02	64.12
14	06/10/2020	10:50:04	23.60	78.10	23.70	68.00	-3.00	64.02	64.12	64.02	64.12
15	06/10/2020	10:50:20	23.60	78.80	23.70	68.80	-3.00	64.02	64.12	64.02	64.12
16	06/10/2020	10:50:36	23.70	79.90	23.70	69.70	-3.00	64.12	64.12	64.12	64.12
17	06/10/2020	10:50:52	23.70	81.50	23.70	70.40	-3.00	64.12	64.12	64.12	64.12
18	06/10/2020	10:51:08	23.70	80.60	23.80	70.70	-3.00	64.12	64.22	64.12	64.22
19	06/10/2020	10:51:24	23.80	80.70	23.70	71.20	-3.00	64.22	64.12	64.22	64.12
20	06/10/2020	10:51:40	23.80	79.30	23.80	71.90	-3.00	64.22	64.22	64.22	64.22

Fonte: Autoria própria.

A coluna H apresenta o índice ITU e a coluna I o ITGU calculados pelo equipamento. A coluna J apresenta o cálculo realizado pela fórmula inserida no excel para o índice de temperatura e umidade ( $ITU = C + 0,36 * G + 41,5$ ) e a coluna K apresenta o cálculo realizado pela fórmula inserida no excel para o índice de temperatura de globo negro e umidade ( $ITGU = E + 0,36 * G + 41,5$ ).

Nota-se que ambos os cálculos apresentaram os mesmos valores, indicando que o equipamento desenvolvido é capaz de calcular corretamente os índices de ITU e ITGU. A partir destes conhecimentos, podem ser definidos os métodos, tipos e a disposição do manejo e das instalações, com o objetivo de minimizar o seu efeito ou proporcionar o conforto térmico.

## **6 CONCLUSÃO**

O objetivo do trabalho foi concluído com o desenvolvimento de um equipamento datalogger, medidor de ambiência de baixo custo para vacas leiteiras, capaz de calcular os índices de ITU e ITGU. Dados importantes para definir o manejo dos animais e das instalações, proporcionando uma estimativa das zonas de conforto térmico, que auxilia no sistema de produção.

Ressalta-se que apesar de comprovado que o cálculo dos índices de ITU e ITGU estão corretos, antes da comercialização do equipamento, ainda é necessário comparar as medições das variáveis com equipamentos comerciais, o que será realizado em trabalho futuro.

## REFERÊNCIAS

- ÁCARO, J. I.; ÁCARO, J. R. P.; POZZI, C. R.; FAGUNDES, H.; MATARAZZO, S. V.; OLIVEIRA, C. A. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Nova Odessa, V. 7, n. 2, p. 350-354, 2003.
- AZEVEDO, D. M. M. R.; ALVES, A. A. Bioclimatologia aplicada a produção de bovinos leiteiros nos trópicos. **Documentos Embrapa Meio-Norte**, Teresina, p. 12-70, 2009.
- BACCARI, J. F. A temperatura corporal dos bovinos. **Revista do gado Holandês**, São Paulo, n. 152, p. 15-19, 1990.
- BACCARI, J. F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Editora UEL. Londrina: UEL, 2001.
- BACCARI, J. F. A vaca leiteira e as mudanças climáticas globais. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**. Alexandria, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2015.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em Edificações Rurais: conforto térmico animal**. Viçosa: UFV, 1997.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2010.
- BANHAZI, T. M.; BLACK, J. L. Precision livestock farming: A suite of electronic systems to ensure the application of best practice management on livestock farms. **Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering**, Roseworthy, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2009.
- BERTIPAGLIA, E. C. A. **Efeitos das características do pelame e da taxa de sudação sobre parâmetros reprodutivos em vacas da raça Braford**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2007.
- BROUCEK, J.; KISAC, P.; UHRINCAT, M. Effect of hot temperatures on the hematological parameters, health and performance of calves. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 15, p. 201-208, 2009.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. BlackGlobe-Humidity Index (BGHI) as comfort equations for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, p. 711-14, 1981.
- CURTIS, S. E. Environment management in animal agriculture. **Animal Environment Services**, Illinois, p. 430, 1981.
- CUNNINGHAM, J. G. Tratado de fisiologia veterinária. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.
- DALCIN, V. C. **Parâmetros fisiológicos em bovinos leiteiros submetidos ao estresse térmico**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DAMASCENO, F. A.; GOMES, R. C. C.; TINOCO, I. F. F.; SOUZA, F. F. Mudanças climáticas e sua influência na produção avícola. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Maringá, v. 4, n. 28, ed. 133, art. 901, 2010.

FERREIRA, R. A. **Maior Produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2005.

GLASER, F.D. **Aspectos comportamentais de bovinos da raça Angus a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

HAFEZ, E. S. E. **Adaptacion de los animales domésticos**. Barcelona: Labor, 1973.

HAHN, G. L. Bioclimatologia e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados. Jaboticabal: FUNEP, 1993.

HUBER, J. T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: **Bovinocultura Leiteira**. Piracicaba: FEALQ, 1990, p: 33-48.

JOHNSON, H. D. **Bioclimatology and adaptation of livestock**. Amsterdam: Elsevier, 1987.

KNUT, S. N. **Fisiologia animal: adaptação e meio ambiente**. 5. ed. São Paulo: Santo, 2013.

KOLB, E. **Fisiologia veterinária**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987.

MARTELLO, L. S.; JÚNIOR, H. S.; SILVA, S. L.; TITTO, E. A. L. Respostas Fisiológicas e Produtivas de Vacas Holandesa em Lactação Submetidas a Diferentes Ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004.

MARTELLO, L. S. **Interação animal - ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em freestall**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

MATARAZZO, S. V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento do tipo freestall para vacas em lactação**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; PERISSINOTTO, M.; FERNANDES, S. A. A. Intermitência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo por aspersão em instalação para vacas em lactação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 654-662, 2006.

MEIRELES, I. P. **Influência do sombreamento artificial em parâmetros fisiológicos e produtivos de vacas mestiças (holandês X zebu)**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetininga, 2005.

MELO, A. F.; MOREIRA, J. M.; ATAÍDES, D. S.; GUIMARÃES, R. A. M.; LOIOLA, J. L.; SARDINHA, H. C. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira: revisão. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Maringá, v. 10, n. 10, p. 721-730, 2016.

MOTA, L. S. **Adaptação e interação genótipo-ambiente em vacas leiteiras**. Tese (Doutorado em Genética) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 1997.

MULLER, P. B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. Porto Alegre: Sulina, 1982.

NÃÃS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989.

NÃÃS, I. A. Biometeorologia e construções rurais em ambiente tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., 1998, Goiânia **Anais**, Goiânia, p. 63-73, 1998.

NARDONE, A. Thermoregulatory capacity among selection objectives in dairy cattle in hot environment. parameters, feed intake and plasma thyroid hormones concentration in Alentejana, Mertolenga, Frisian and Limousine cattle breeds. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 52, p.199-208, 2008.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 508-517, 2009.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; LIMA, K. A. O. Efeito da utilização de sistemas de climatização nos parâmetros fisiológicos do gado leiteiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticaba, v. 26, n. 3, p. 663-671, 2006.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia e Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

PIRES, M. F. A.; VILELA, D.; VERNEQUE, R. S.; TEODORO, R. L. Reflexos do estresse térmico no comportamento das vacas em lactação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, Produção de leite em clima quente, **Anais**, Piracicaba: FEALQ, v. 1, p. 68-102, 1998.

PIRES, M. F. A.; FERREIRA, A. M. Estresse calórico em bovinos de leite. **Caderno Técnico de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, n. 29, p. 23-37, 1999.

PIRES, M. F. A.; CAMPOS, A. T. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite. **Comunicado Técnico**, Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, n. 42, p. 1-6, 2004.

PIRES, M. F. A. Manejo nutricional para evitar o estresse calórico. **Comunicado Técnico**, Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, n. 52, p. 1-4, 2006.

PORTAL EMBARCADOS – **Entendendo as entradas analógicas do Arduino**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-entradas-analogicas/>. Acesso 5 jul de 2020).

PORTAL EMBARCADOS - **Introdução à Arduino MEGA 2560**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso 5 jul de 2020).

RANDALL, D.; BURGGREN, W.; FRENCH, K. **Fisiologia animal: mecanismos e adaptações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

ROBERTO, J. V. B. **Efeito do ambiente térmico e uso de termografia de infravermelho em caprinos Saanen e seus mestiços com o boer no semiárido Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Pró-reitoria de pós-graduação e pesquisa centro de saúde e tecnologia rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2012.

ROBERTSHAW, D. **Regulação da temperatura no ambiente térmico**. In: Dukes, H. H. Fisiologia dos Animais Domésticos. 13. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

ROCHA, D. R. **Avaliação de estresse térmico em vacas leiteiras mestiças (bos taurus x bos indicus) criadas em clima tropical quente subúmido no estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias do Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

RODRIGUES, E. **Conforto Térmico das Construções. Fisiologia da Homeotermia**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/34861295-3-fisiologia-da-homeotermia.html> . Acesso 20 de out de 2021.

SENTELHAS, P. C; ANGELOCCI, L.R. LCE 306 Meteorologia Agrícola. Temperatura do ar como fator agrônômico. Aula 10. ESALQ/USP, 2007. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1242000/>. Acesso 20 de out de 2021.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 2000.

SILVA, R. G.; STARLIG, J. M. C. Evaporação Cutânea e Respiratória em Ovinos sob Altas Temperaturas Ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1956-1961, 2003.

SOUZA, C.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F.C.; FERREIRA, W. P. M.; SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. **Ciências Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 157–164, 2002.

SOUZA, B. B.; BATISTA, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre o desempenho animal. **Agropecuária Científica no Semiárido**. Campina Grande, v. 8, n. 3, p. 6-10, 2012.

STAPLES, C. R.; THATCHER, W. W. HEAT STRESS: **Effects on Milk Production and Composition**. In: Fuquay J. W, Fox P. F, Mcsweeney P. L. H. Encyclopedia of Dairy Sciences. 2. ed. Mississippi :ELSEVIER; 2011.

STOBER, M. **Identificação, anamnese, regras básicas da técnica de exame clínico geral**. In: Dirksen G, Grunder H. D, Stober M. Exame clínico dos bovinos. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.

TAKAHASH, L. S.; BILLER, J. D.; TAKAHASH, K. M. **Bioclimatologia Zootécnica**. 1. ed. Jaboticabal: Unesp, 2009.

TERRA, R. L. **História, exame físico e registro dos ruminantes**. In: Smith B. P. **Tratado de medicina interna dos grandes animais**. São Paulo: Manole, 1993.

THOM, E. C. **The discomfort index**. Washington: Weather Bureal; 1959.

TITTO, E. A. L. Clima: Influência na Produção de Leite. Piracicaba, SP, 1998. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, Produção de leite em clima quente, **Anais**, Piracicaba: FEALQ, v.1, p. 10-23, 1998.

VILELA, R. A. **Comportamento e termorregulação de vacas holandesas lactantes frente a recursos de ventilação e nebulização em estabulação livre**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

## ANEXO A – PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM C

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <DS1307.h>
#include <Time.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Time.h>
#include "RTClib.h"

const int chipSelect = 10;
File file;

float matriz[13][10] = {
  {-6.5, -1, -3.5, 8.5, 13.5, 18.5, 23.5, 28, 33, 38.5},
  {-7.5, -2, -2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27, 32, 37.5},
  {-8, -3.2, 6.5, 11.5, 16, 5, 21, 28, 31, 36},
  {-8.5, -3.5, 1, 5.5, 10.5, 15.5, 20, 25, 30, 35},
  {-9.5, -4.5, 0, 4.5, 9, 14.5, 19, 23.5, 28, 33.5},
  {-10, -5.5, -1, 3, 8, 13, 17.5, 22, 27, 32},
  {-11, -6.5, -2.2, 7, 12, 16.5, 20.5, 25.5, 30.5},
  {-11.5, -7.5, -3, 1, 5.5, 10.5, 15, 19.5, 24, 29},
  {-13, -8.5, -4.5, -0.5, 4, 9, 13.5, 18, 22.5, 27},
  {-14.5, -9.5, -6, -1.5, 2.5, 7, 12, 16, 20.5, 25.5},
  {-16, -11, -7.5, -3.5, 1, 5.5, 9.5, 14, 18, 23},
  {-18, -12, -8.5, -5, -1, 3, 7.5, 12, 16.5, 21},
  {-19, -14.5, -10.5, -7, -3, 1.5, 5.5, 9.5, 13.5, 18}
};

#define frequencia 1

String Data, Hora, segundos;
int seg, passar = 0;

//globo negro T2 pino0
DHT dht1 (7, DHT22);
DHT dht2 (6, DHT22);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
RTC_DS1307 rtc;

//SD2Card SDcard;
//SDVolume volume;

void printDateTime()
{
  Data = "";
  Hora = "";
  DateTime now = rtc.now();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Relogio Interno");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Data:");
  if (now.day()<10) lcd.print("0");
  lcd.print(now.day(), DEC);
  lcd.print("/");
  if (now.month()<10) lcd.print("0");
  lcd.print(now.month(), DEC);
  lcd.print("/");
  if (now.hour()<10) lcd.print("0");
  lcd.print(now.hour(), DEC);
  if (now.minute()<10) lcd.print("0");
  lcd.print(now.minute(), DEC);
  if (now.second()<10) lcd.print("0");
  lcd.print(now.second(), DEC);

  delay(500);

  if (now.day()<10) Data = Data + "0";
  Data = Data + now.day();
  Data = Data + "/";
  if (now.month()<10) Data = Data + "0";
  Data = Data + now.month();
  Data = Data + "/";
  if (now.year()<10) Data = Data + "0";
  Data = Data + now.year();

  if (now.hour()<10) Hora = Hora + "0";
  Hora = Hora + now.hour();
  Hora = Hora + ":";
  if (now.minute()<10) Hora = Hora + "0";
  Hora = Hora + now.minute();
  Hora = Hora + ".";
  if (now.second()<10) Hora = Hora + "0";
  Hora = Hora + now.second();
}

void inicia_SD()
{
  if (!SD.begin(53))
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Cartao SD");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("ERRO CARTAO!!!");
    delay(4000);
  }
  else
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Cartao SD");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Iniciado");
    delay(2000);
  }
}

//Grava dados no cartao SD
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.print("Iniciando ....");
  lcd.init();
  dht1.begin();
  dht2.begin();

  lcd backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("UNIVERSIDADE BRASIL");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("MestradoProfissional");

  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print(" Producao Animal");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print(" Monitor - Ambiencia");

  delay (8000);

  //rtc.adjust(DateTime(2020, 07, 16, 16, 57, 0));

  if (!rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print ("Ajustando Relogio");
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    // following line sets the RTC to the date &
    time this sketch was compiled
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__),
    F(__TIME__)));
    //This line sets the RTC with an explicit date &
    time, for example to set
    // January 21, 2014 at 3am you would call:
    // rtc.adjust(DateTime(2020, 07, 01, 14, 30,
    0));
  }
  inicia_SD();
}

void loop()
{
  lcd.clear();
  printDateTime();
  delay(2000);

  float t1 = dht1.readTemperature();
  float h1 = dht1.readHumidity();
  float t2 = dht2.readTemperature();
  float h2 = dht2.readHumidity();

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print (" Variaveis Ambiencia");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("Temperatura : ");
  lcd.print (t1);
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print ("Umidade : ");
  lcd.print (h1);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("Globo Negro : ");
  lcd.print (t2);

  delay (5000);

  int m1,m2;
  if (t1<=-2.5) m1 = 0;
  if (t1>=-2.5 && t1<2.5) m1 = 1;
  if (t1>=2.5 && t1<7.5) m1 = 2;
  if (t1>=7.5 && t1<12.5) m1 = 3;
  if (t1>=12.5 && t1<15.5) m1 = 4;
  if (t1>=15.5 && t1<17.5) m1 = 5;
  if (t1>=17.5 && t1<22.5) m1 = 6;

  if (t1>=22.5 && t1<27.5) m1 = 7;
  if (t1>=27.5 && t1<32.5) m1 = 7;
  if (t1>=32.5 && t1<37.5) m1 = 8;
  if (t1>=37.5) m1 = 9;
  if (h1>=87.5) m2 = 0;
  if (h1>=82.5 && h1<87.5) m2 = 1;
  if (h1>=77.5 && h1<82.5) m2 = 2;
  if (h1>=72.5 && h1<77.5) m2 = 3;
  if (h1>=67.5 && h1<72.5) m2 = 4;
  if (h1>=62.5 && h1<67.5) m2 = 5;
  if (h1>=57.5 && h1<62.5) m2 = 6;
  if (h1>=52.5 && h1<57.5) m2 = 7;
  if (h1>=47.5 && h1<52.5) m2 = 8;
  if (h1>=42.5 && h1<47.5) m2 = 9;
  if (h1>=37.5 && h1<42.5) m2 = 10;
  if (h1>=32.5 && h1<37.5) m2 = 11;
  if (h1<32.5) m2 = 12;

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print (" Calculo Ambiencia");

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("P. Orvalho : ");
  float PO = matriz[m1][m2];
  lcd.print (PO);

  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print ("ITU : ");

  float ITU = t1 + (0.36 * PO) + 41.5;
  lcd.print (ITU);

  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print ("ITGU : ");

  float ITGU = t2 + (0.36 * PO) + 41.5;
  lcd.print (ITGU);

  delay(5000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print ("Abrindo Arquivo...");
  String dataString = "";
  dataString = Data + "/" + Hora + "/" + t1 + "/" +
  h1 + "/" + t2 + "/" + h2 + "/" + PO + "/" + ITU + "/" +
  ITGU + "/";
  File dataFile = SD.open("datalog.txt",
  FILE_WRITE);
  if (dataFile)
  {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print ("Gravando : ");
    lcd.print ("Gravado");
  }
  else {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Erro arquivo");
  }

  delay(3000);
}

```