



ANDERSON BERNARDO DOS SANTOS

**SISTEMA EMBARCADO PARA
DETERMINAÇÃO REMOTA DE ÍNDICES DE
CONFORTO TÉRMICO**

LAVRAS – MG

2013

ANDERSON BERNARDO DOS SANTOS

**SISTEMA EMBARCADO PARA DETERMINAÇÃO REMOTA DE
ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Instrumentação, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Coorientador

Dr. Alessandro Torres Campos

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Santos, Anderson Bernardo dos.

Sistema embarcado para determinação remota de índices de conforto térmico/ Anderson Bernardo dos Santos. – Lavras : UFLA, 2014.

79 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.

Bibliografia.

1. Ambiência. 2. Sistema Embarcado. 3. Índice de temperatura do Globo e Umidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.0831

ANDERSON BERNARDO DOS SANTOS

**SISTEMA EMBARCADO PARA DETERMINAÇÃO REMOTA DE
ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Instrumentação, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de setembro de 2013

Dr. Alessandro Torres Campos UFLA

Dr. Antônio Carlos Neri UFLA

Dr. Luiz Henrique Andrade Correia UFLA

Dr. André Luiz Zambalde UFLA

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Orientador

LAVRAS – MG

2013

A minha querida esposa, Mariza, e ao meu filho, Daniel, pelo amor incondicional que nos une e ao apoio que me foi dado para que eu concluísse com êxito mais uma etapa da minha vida.

“Amor incondicional é o amor pleno, completo, absoluto, que não impõe condições ou limites para se amar”.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nilson Bernardo dos Santos e Antônia das Graças Santos, pelo amor e empenho, em sempre me oferecer uma educação de qualidade. Esta nova titulação é resultado direto da dedicação de meus pais.

A minha irmã, Adriana, e ao meu irmão, Matheus, pelo apoio, amizade e carinho.

A minha cunhada, Maria, e minha sogra.

Aos meus orientadores, Giovanni Francisco Rabelo e Alessandro Torres Campos, por acreditar e apoiar meu trabalho e sobretudo pela amizade e dedicação.

Aos meus colegas da Diretoria de Gestão de Tecnologia da Informação, e ao diretor e amigo Erasmo, que não mediu sacrifícios para que houvesse tempo para que eu realizasse meus estudos.

Aos meus colegas de estudos, Regina, Daiane e Alessandro Veloso, sempre atenciosos e dispostos a me ajudar na solução dos problemas acadêmicos.

À secretaria da PPGEA, Greice, Hellen e Gilson, sempre atenciosos e passando informações valiosas sobre normas acadêmicas.

Um especial agradecimento ao professor Luiz Henrique Andrade Correia que é minha referência em profissionalismo, competência e ética.

Ao reitor da UFLA, José Roberto Soares Scolforo, por apoiar os técnicos administrativos da UFLA a realizar cursos de pós-graduação.

À Universidade Federal Lavras e ao Departamento de Engenharia pelo ambiente e infraestrutura e apoio na realização de minha pesquisa.

A todos que contribuíram por mais essa importante conquista,

Muito Obrigado!

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um dispositivo para monitoramento remoto do índice de conforto térmico do ambiente, baseado no índice de temperatura do globo e umidade (ITGU); este sistema foi denominado SISDERECT (Sistema de Determinação Remota de Conforto Térmico). O sistema desenvolvido utiliza microcontrolador e sensores de baixo custo com uma precisão superior aos métodos atualmente utilizados na determinação deste índice. Por ser um dispositivo de aquisição e processamentos de dados automáticos, é possível a coleta de dados em um intervalo de tempo menor e com um maior número de amostras. O sistema de determinação automática de índices de conforto térmico é conectado a módulos coletores, composto por sensores de umidade relativa e temperatura. Este sistema permite o armazenamento local de dados, através de cartão de memória (*Secure Digital Card*) e transmissão de dados via rede ethernet para um servidor responsável por armazenar e permitir acesso aos dados coletados em tempo real via internet e permitindo também produção de relatórios dos dados coletados. O sistema foi desenvolvido utilizando uma placa de prototipagem Arduino e módulos periféricos conectados através de placas de expansão conhecidas como *Shields*. Os dados coletados ao SISDERECT foram comparados a métodos tradicionais de determinação de ITGU utilizando o pluviômetro e a métodos semiautomáticos com o uso de *datalogger* através do HOBOS datalogger. O SISDERECT permite que o conforto térmico de um ambiente seja acompanhado de forma remota e que os dados sejam armazenados em banco de dados para posterior geração de relatórios. Estatísticas demonstraram a viabilidade do uso do SISDERECT para a determinação do índice de conforto térmico quando comparado com métodos utilizados para a determinação desse índice.

Palavras-chaves: Ambiência. Sistema Embarcado. Índice de temperatura do Globo e Umidade.

ABSTRACT

The objective of this study is the development of a device for remote monitoring of the environment thermal comfort index, based on the index globe temperature and humidity (WBGT).-This system was called SISDERECT System (Remote Determination of Thermal Comfort). The developed system uses microcontroller and low-cost sensors more accurately than the methods currently used in the determination of this index. Since it is an acquisition device and a data processing machine, is it possible to collect data in a shorter time and with a larger number of samples. The system of automatic determination of thermal comfort index is connected to collector modules, comprising sensors for relative humidity and temperature. This system allows local data storage via SD memory card and data transmission via ethernet to a network server, responsible for storing and allowing access to the data collected in real time via the Internet, also allowing to produce reports from the data collected. The system was developed using an Arduino prototyping board and peripheral modules connected via expansion cards, known as Shields. The data collected by SISDERECT was compared with traditional determination methods, using the WBGT gauge and semiautomatic methods, using datalogger through HOBOS datalogger. The SISDERECT System now allows the thermal comfort of an environment to be studied remotely and data is stored in a database for later reporting. Statistical analysis demonstrated the feasibility of using SISDERECT for determining the thermal comfort index, as compared to methods used for the determination of this index.

Keywords: Ambience. Embedded System. Temperature index Globe and humidity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Variações da temperatura corporal de um animal homeotérmico em função da temperatura ambiente, (BRIDI, 2011).....	25
Figura 2	Termômetro de Globo Negro, (PAULA, 2010).....	27
Figura 3	Instalação de um Termômetro de Globo Negro (SOUZA, 1992).....	29
Figura 4	Diagrama de blocos do Sistema Automático de determinação de Índices de Ambiência, (autor).....	41
Figura 5	Circuito de Relógio de Tempo Real (RTC) para o Arduino, (autor).....	43
Figura 6	Módulo Coletor de dados, (autor).....	44
Figura 7	Placa de desenvolvimento Arduino Duemilanove, (autor)....	45
Figura 8	Sensor Analógico de Temperatura LM35, (NATIONAL, 2011)..	47
Figura 9	Faixa de temperatura sensor LM35, (NATIONAL, 2011).....	48
Figura 10	Sensor LM35, tempo de estabilização (NATIONAL, 2011)..	48
Figura 11	Conexão LM35 na portada analógica do Arduino, (autor)....	49
Figura 12	Precisão do sensor SHT11, (SENSIRION, 2004).....	51
Figura 13	Ligação entre o sensor SHT11 e o microcontrolador (SENSIRION, 2004).....	52
Figura 14	Inicialização do sensor de umidade relativa SHT11, (SENSIRION, 2004).....	52
Figura 15	Padrão de comunicação do sensor SHT1, (SENSIRION, 2004)..	53
Figura 16	Diagrama de alimentação módulo de gravação MMC, (autor)..	55
Figura 17	Conexão do módulo gravador de cartão de memória com o microcontrolador Atmega 382, (autor).....	56
Figura 18	Interface de desenvolvimento de software para o microcontrolador 328, (autor).....	57
Figura 19	Interface web do sistema de coleta de dados, (autor).....	58
Figura 20	Interface de Administração do banco de dados, (autor).....	58
Figura 21	Padrão de comunicação estabelecido para os módulos coletores, (autor).....	59
Figura 22	Troca de dados internamente no sistema embarcado, (autor)..	60
Figura 23	Acesso aos dados coletados, (autor).....	60
Figura 24	Gráfico de temperatura (°C) e umidade Relativa (%) dos dados obtidos pelo SISDERECT, (autor).....	65
Figura 25	Gráfico de temperatura (°C) e umidade Relativa (%) dos dados obtidos pelo HOBO, (autor).....	65
Figura 26	Gráfico de temperatura (°C) , comparando SISDERECT e HOBO, (autor).....	66

Figura 27	Gráfico de Umidade Relativa , comparando SISDERECT e HOBO, (autor).....	67
Figura 28	Gráfico da função de autocorrelação de temperatura para o SISDERECT, (autor).....	68
Figura 29	Gráfico de autocorrelação de temperatura para o HOBO, (autor).....	70
Figura 30	Gráfico de autocorrelação de umidade para o SISDERECT, (autor).....	71
Figura 31	Gráfico de autocorrelação de umidade para o HOBO, (autor).	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comandos do sensor SHT11.....	53
Tabela 2	Coeficientes para cálculo do ponto de Orvalho.....	54
Tabela 3	Dados coletados pelo SISDERECT e HOBO, (autor).....	61
Tabela 4	Tabela de autocorrelação de temperaturas coletadas pelo SISDERECT.....	69
Tabela 5	Tabela de autocorrelação de temperaturas coletadas pelo HOBO.....	70
Tabela 6	Tabela de autocorrelação de umidade coletadas pelo SISDERECT.....	72
Tabela 7	Tabela de autocorrelação de umidade coletadas pelo HOBO.	73
Tabela 8	Tabela de autocorrelação de temperaturas entre os equipamentos, (autor).....	74
Tabela 9	Tabela de autocorrelação de temperaturas entre os equipamentos, (autor).....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Motivação e desafio.....	14
2.2	Organização do trabalho.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	Ambiência.....	17
3.2	O bem-estar animal.....	19
3.3	Avaliações do bem-estar animal.....	21
3.4	Homeotermia e regulação da temperatura corporal.....	24
3.5	Índices de ambiência.....	27
3.6	Zootecnia de precisão.....	32
3.7	Microcontroladores e Sistemas Embargados.....	34
4	METODOLOGIA.....	39
4.1	Desenvolvimento do SISDERECT.....	39
4.1.1	Projeto de hardware.....	39
4.1.2	Projeto de software.....	39
4.1.3	Teste de homologação do sistema.....	40
4.2	Funcionamento do SISDERECT.....	40
4.2.1	Diagrama de blocos.....	42
4.3	Placa de desenvolvimento.....	45
4.4	Sensores de temperaturas e umidade.....	46
4.4.1	Sensor de temperatura LM35.....	46
4.4.2	Sensor de umidade SHT11.....	50
4.5	Cartão de memória SD e interface de rede.....	54
4.6	Desenvolvimento do software.....	57
4.7	Acesso remoto ao sistema.....	57
4.8	Sistema de comunicação de dados.....	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5.1	Coleta de dados HOBOS e SISDERECT.....	61
5.2	Análise dos dados coletados.....	67
6	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A determinação de índices de conforto térmicos de ambiência é uma das principais ferramentas utilizadas em pesquisas de ambiência. Entre os diversos índices existentes para a determinação do conforto térmico, o mais utilizado é o Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU).

A determinação do índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade é feita com o auxílio do termômetro de globo negro. O globo negro é constituído de uma esfera de cobre onde é adaptado um termômetro de precisão. O uso desse tipo de termômetro permite medir quantitativamente a energia radiante do ambiente.

O uso do globo negro para a determinação de índice de conforto térmico já é consolidado em pesquisas científicas. Todavia, o termômetro de globo negro não é instrumento comumente encontrado no mercado, fazendo-se necessário o uso de métodos para estimativa dos valores de ITGU. A utilização desses métodos inclui o auxílio de instrumentos como pluviômetros e termômetros.

Os métodos utilizados na determinação do ITGU em sua grande maioria são aplicados de forma manual, onde as leituras são realizadas individualmente em determinados períodos de tempo em cada instrumento. Esses dados são tabulados e, após a realização de todas as leituras, o índice é calculado.

Esse método de determinação do ITGU, além de susceptível a erros, pode ser impreciso devido à utilização de diversos instrumentos de medida. O método se torna trabalhoso quando as leituras são realizadas em pequenos intervalos de tempo. O uso de diversos tipos de instrumentos, geralmente de fabricantes distintos, também pode afetar na precisão de como este índice é determinado.

Uma alternativa para esse método é a realização das leituras de forma automática com o uso de sensores e *dataloggers*. Este método apresenta como

vantagem em relação ao método manual a maior precisão nas leituras e a facilidade em realizar leituras em curtos intervalos de tempo. O uso de *dataloggers* e sensores industriais, embora aumentem a precisão na determinação do ITGU, não permitem a determinação deste índice de forma direta. O custo elevado na aquisição de *datalogger* e sensores pode inviabilizar o experimento.

Uma alternativa aos métodos atuais foi o desenvolvimento de um sistema automático de aquisição de índices de conforto térmico, com objetivo de melhorar a precisão e permitir um monitoramento remoto dos dados de ambiência, facilitando ao pesquisador obter o Índice de Temperatura do Globo Negro em tempo real. Outra vantagem deste sistema é a possibilidade de obter as leituras de vários globos negros, possibilitando que uma maior área seja monitorada. A determinação do índice de ITGU em tempo real também permite que a pesquisa científica seja realizada de forma mais rápida e com maior precisão.

Com um custo relativamente baixo quando comparado a *dataloggers* disponíveis no mercado foi desenvolvido um sistema automático para medição de índices de ambiência utilizando microcontrolador e sensores digitais e globos negros.

A inexistência desse tipo de dispositivo com as vantagens acima mencionadas foi a motivação para o desenvolvimento do Sistema para Determinação Remota de Índices de Conforto Térmico, denominado SISDERECT.

O SISDERECT foi desenvolvido no laboratório de protótipos do CEDIA (Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária) do Departamento de Engenharia da UFLA.

2 OBJETIVOS

A medida de conforto térmico, baseado no ITGU, um dos índices mais utilizados em pesquisas científicas sobre ambiência, possui limitações devido ao cálculo ser realizado de forma indireta e baseado em vários instrumentos como termômetros e psicômetros e termômetros colocados no interior do globo negro.

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema embarcado para realizar a leitura automática dos valores de umidade relativa e temperatura do globo negro e calcular em tempo real o valor do ITGU para a determinação do conforto térmico do ambiente de forma remota através da rede ethernet.

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- A determinação remota do índice de conforto térmico de forma automática através do SISDERECT.
- Verificar se a redução da intervenção humana na coleta dos dados irá diminuir erros de leituras e proporcionar maior exatidão nos dados adquiridos.
- Verificar se a coleta de dados de forma automática irá melhorar a periodicidade dos dados coletados e facilitará a repetição de experimentos.

2.1 Motivação e desafio

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho é a inexistência de dispositivos de coleta de dados de conforto térmico de forma automática, em tempo real, sem a intervenção humana e de forma única e sincronizada. Além disso, na metodologia atual os dados coletados são obtidos de instrumentos separados e sem sincronismo e com cálculos manuais para a

determinação de ITGU. Logo, o desenvolvimento de um dispositivo que colete dados e calcule o ITGU de forma automática pode contribuir com as pesquisas sobre ambiência.

O principal desafio considerado neste trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo que permitisse a coleta de dados de temperatura e umidade em tempo real, além do cálculo de forma automática dos índices de ambiência. Esses dados poderão ser monitorados em tempo real e armazenados em banco de dados para posterior consulta.

2.2 Organização do trabalho

No capítulo 2 são apresentados trabalhos relacionados para os cálculos dos índices de conforto térmico e os conceitos sobre ambiência e bem-estar animal. Além disso, são descritos métodos de avaliação sobre o bem-estar animal, encontrados na literatura, demonstram a importância do ITGU como índice de conforto térmico. Outros índices de ambiências também são apresentados como alternativa para o cálculo de conforto térmico. São descritas as técnicas e ferramentas que possibilitam o monitoramento automático e contínuo dos animais e dos processos físicos relacionados. São mostrados os componentes necessários para o desenvolvimento de um sistema embarcado para a coleta, monitoração e cálculo do índice de conforto térmico.

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho é apresentada no capítulo 3. São mostrados os requisitos do projeto de hardware e software bem como os componentes de hardware para coleta, armazenamento e sensoriamento de dados. É apresentada uma descrição de como é realizada a transmissão de dados remotamente para um servidor de rede, os programas para comunicação remota de dados entre o sistema embarcado e o servidor de armazenamento.

No capítulo, são apresentados como os experimentos foram realizados e os resultados obtidos. A discussão dos resultados apresentados é realizada através de estudos estatísticos. Análises estatísticas dos resultados são acompanhadas de uma discussão.

Finalmente, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

Ao final têm-se as referências bibliográficas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo descreve a literatura relacionada a estudos de ambiência e índice de conforto térmico para pesquisa de materiais que tornem o ambiente apropriado para a criação de animais e exploração econômica de animais em um ambiente apropriado.

3.1 Ambiência

Fatores ambientais externos e o microclima dentro das instalações exercem efeitos diretos e indiretos sobre a produção animal em todas as fases de produção e acarretam redução na produtividade, com consequentes prejuízos econômicos.

O conhecimento das respostas ou adaptações fisiológicas dos animais relacionados ao ambiente térmico nos permite a tomada de medidas e/ou alteração de manejo, da nutrição, instalações e equipamentos objetivando a maximização da atividade (BRIDI, 2011).

Conhecendo condições ótimas de conforto e condições climáticas do local, é possível determinar quais são as condições ambientais críticas serem consideradas no projeto para que a produção animal apresente produtividade e rentabilidade adequada (PAULA, 2010).

O ambiente pode ser definido como a soma dos impactos dos circundantes biológicos e físicos e constitui-se em um dos responsáveis pelo sucesso ou fracasso da produção animal. Ambiência é a definição de conforto baseada no contexto ambiental, quando se analisa as características de meio ambiente em função da zona de conforto térmico da espécie, associado às características fisiológicas que atuam na regulação da temperatura interna do

animal. Também, a ambiência leva em conta o bem-estar dos animais (minimização dos fatores estressantes como densidade animal, conforto e possibilidade de realizar seu comportamento nato, ausência de poluição sonora e ambiental, como ausência de gases tóxicos). (BRIDI, 2011)..

O conhecimento das freqüências de ocorrência de determinados níveis de temperatura do ar em uma região serve de base para determinar em que medida as características médias do clima se afastam das condições de conforto (PAULA, 2010).

Para determinar o conforto térmico dos animais, muitos estudos foram elaborados utilizando equações ou índices. Os trabalhos que desenvolvem equações de conforto têm como propósito estabelecer relações entre as variáveis, como temperatura do ar e atividades animais bem como isolamento térmico dos mesmos, e desenvolvem ou pressupõem ótimas condições de conforto térmico.

Segundo BRIDI (2011) essas equações têm utilidade prática por oferecer parâmetros para a construção de galpões de ambiente controlado e em climas naturais no sentido de avaliar condições bioclimatológicas.

Pelo menos três devem ser observadas para um ótimo conforto térmico sob o ponto de vista fisiológico:

1. considerar que existe um balanço calórico entre os animais e o meio ambiente;
2. estabelecimento de uma importante relação entre a temperatura média da pele e a atividade do animal na zona de conforto;
3. estabelecimento de perda de água por evaporação e a atividade do animal na zona de conforto.

Essas relações nos possibilitam elaborar diagramas que reflitam a região de conforto térmico dos animais.

Normalmente, os índices de conforto térmico consideram os parâmetros ambientais de temperatura, umidade, vento e de radiação, sendo que cada parâmetro possui um determinado peso dentro do índice, conforme sua importância relativa ao animal.

Os índices mais usados são índice de temperatura e umidade (ITU), que associa a temperatura de bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido; e o índice de umidade e temperatura do globo (ITGU) que considera em um único valor os efeitos da temperatura de bulbo seco da umidade do ar, do nível de radiação e da movimentação do ar.

3.2 O bem-estar animal

Um dos assuntos mais discutidos em produção animal atualmente é o bem-estar. Porém, o próprio conceito de bem-estar está ainda em formulação, o que faz com que a tarefa de assegurar o bem-estar dos animais seja considerada complicada. Assim, a *Farm Animal Welfare Council* (FAWC) propôs as chamadas “cinco liberdades”, para serem utilizadas como base para que se possa assegurar o bem-estar dos animais. De acordo com a proposta, os sistemas de produção devem prover os animais de liberdade contra medo e estresse, liberdade contra dor, ferimentos e doença, liberdade contra fome e sede, liberdade contra desconforto e liberdade para expressar seus comportamentos normais.

O termo bem-estar é amplamente entendido como um estado de condição satisfatória de um indivíduo. Considera-se que os requisitos mais importantes para o bem-estar são a saúde, o fornecimento de recursos adequados que permitam o funcionamento biológico completo do organismo e, sobretudo, a satisfação física e fisiológica do indivíduo em seu ambiente, (HURNIK, 1995). Dessa forma, o oposto ao bem-estar seria a não satisfação desses requisitos, em

função da presença de doenças, da restrição do funcionamento biológico e dos efeitos adversos do ambiente que cerca o animal, caracterizando um estado de sofrimento.

Dessa forma, o termo estresse é comumente utilizado para indicar uma condição que é adversa para o bem-estar do animal. De acordo com HAFEZ (1973), o estresse pode ser climático, nutricional, social ou devido a desordens fisiológicas, a patógenos e toxinas. Assim, o animal sob essas condições é considerado como anormal e a condição em que ele se encontra, indesejável.

A maioria das definições de bem-estar destaca a necessidade da harmonia entre o indivíduo e o ambiente. O ambiente de um animal consiste em numerosos componentes ou fatores que podem ser geralmente definidos por estímulos. As reações comportamentais à presença ou ausência de estímulos podem servir como indicadores imediatos dos estados fisiológicos dos animais e da qualidade de seu ambiente (HURNIK, 1995).

Determinar qual sistema de produção provê melhor qualidade de vida não é uma questão simples. Cada sistema de criação pode satisfazer alguns requisitos relacionados ao bem-estar que outro pode não oferecer. Para HURNIK (1995), um bom princípio seria oferecer condições para uma vida saudável, sendo essas condições consideradas como necessidades.

Sendo assim, as necessidades dos animais podem ser divididas em 3 categorias:

1. necessidades essenciais ou para sustento da vida, que quando não satisfeitas levam à morte rápida ou imediata do organismo;
2. necessidades essenciais para sustento da saúde, que quando não satisfeitas levam o animal ao adoecimento, deterioração progressiva e à eventual morte;

3. necessidades essenciais para o conforto, as quais tampouco satisfeitas resultam na ocorrência de estereotípias e outros desvios comportamentais frequentemente inapropriados ou desnecessários, chamados de comportamentos não funcionais.

Quando as necessidades de conforto são frustradas, o bem-estar do animal pode ser adversamente afetado ou pela inabilidade de realizar as atividades que são necessárias ao bem-estar ou por causa da realização de comportamentos que levam à injúria própria ou de outros.

Baseando-se nesta categorização, pode-se assumir que a satisfação desta terceira categoria, enquanto importante, é menos crítica do que as necessidades determinadas na 1ª e na 2ª categorias. Contudo, o julgamento do peso de cada categoria também apresenta sua dificuldade.

A persistência na falha em satisfazer uma necessidade de conforto pode ter consequências piores para um indivíduo do que uma falha temporária no atendimento da necessidade de sustentação da saúde. Assim, para alcançar e manter padrões elevados de bem-estar é necessário o atendimento das três categorias de necessidades (HURNIK, 1995).

3.3 Avaliações do bem-estar animal

Dada a complexidade de fatores envolvidos no atendimento das necessidades dos animais, torna-se importante reconhecer que as avaliações do bem-estar devem envolver uma série de fatores. Assim, o relatório do Comitê Científico Veterinário para Saúde e Bem-estar Animal (EUROPEAN COMMISSION, 2001) determinou a utilização de quatro abordagens diferentes que, combinadas, podem melhor determinar o bem-estar animal:

Produtividade: o conceito consiste em que, se o animal cresce bem, se reproduz, produz em quantidades ótimas, o seu bem-estar é aceitável. Porém, esta é uma maneira considerada insensível para medir o bem-estar, sendo encarada como um critério demasiadamente estreito.

Saúde e doença: o bem-estar de um animal fica comprometido se ele estiver doente. Isto pode estar relacionado com o tipo de sistema de produção. A aparência externa e as condições do empenamento das aves têm um impacto considerável na interpretação de sua saúde e bem-estar, principalmente quando o interesse é avaliação dos sistemas de criação. Dessa forma, os métodos de avaliações do *score* têm sido frequentemente utilizados como forma de avaliar os efeitos dos manejos direcionados às aves, tais como: as condições do alojamento, composição da dieta, genótipo, de bicagens, programas de luz etc.

Além da condição das plumagens, as condições dos pés e pele também são avaliadas.

Fisiologia: a fisiologia descreve o funcionamento do organismo do animal. Embora o corpo normalmente tente manter um estado de equilíbrio (homeostase), ele possui mecanismos que permitem a quebra deste equilíbrio como resposta a estímulos variados. Fatores de estresse como o clima, mudança de ambiente, ruído, elevada densidade de animais etc., levam à liberação de hormônios que podem identificar o nível de estresse do animal.

O problema reside no fato de que muitos indicadores fisiológicos do bem-estar utilizados são, na verdade, mais indicativos de atividade ou excitação, do que realmente das condições de bem-estar do animal, variando naturalmente em função do horário do dia, da temperatura e das condições de alojamento. Há, ainda, a inconveniência de alguns métodos, por serem invasivos ou causarem perturbação ao animal no ato de adquirir tais medidas, contrariarem os objetivos das análises de bem-estar.

Comportamento: estudos indicam que a observação do comportamento do animal pode fornecer respostas mais confiáveis quanto ao seu bem-estar, uma vez que o comportamento está intimamente relacionado ao meio em que o indivíduo vive. O conhecimento da organização comportamental do animal deve ser incorporado ao do sistema de produção, utilizando-se a etologia aplicada como contribuidora para identificar e resolver problemas de bem-estar (WECHSLER et al. ,1997). De acordo com Becker (2002), na prática da etologia, o bem-estar é avaliado por meio de indicadores fisiológicos e comportamentais. O comportamento do animal é mudado em resposta às dificuldades ambientais enfrentadas, sendo este um componente das respostas regulatórias e emergenciais. Algumas medidas de respostas comportamentais às dificuldades são as ações que auxiliam o animal a enfrentar o problema, enquanto outras são patologias do comportamento que podem não ter efeito benéfico (BROOM, 1988).

Porém, um comportamento anormal é aquele que difere do padrão, da frequência ou do contexto do que é mostrado pelos demais membros da espécie em condições naturais. Mesmo podendo ajudar um animal a enfrentar um problema, ainda assim, o comportamento anormal é um indicador de bem-estar “pobre”. Além disso, alguns comportamentos são considerados importantes para o bem-estar, e a falta de oportunidade de exercê-los pode levar o animal à frustração.

Alguns parâmetros de avaliação do bem-estar fornecem apenas evidências de que este se encontra comprometido. Assim, para a determinação das condições de bem-estar, tornam-se necessárias a avaliação e a interpretação de um conjunto de fatores que possam ser analisados concomitantemente. Apesar de uma medida poder indicar que um indivíduo está tendo severas dificuldades em relação a seu ambiente, para uma adequada avaliação do sistema de criação é essencial que uma variedade de indicadores de bem-estar seja

usada, uma vez que os indivíduos variam na forma como se relacionam com o ambiente. Simples medidas de comportamento podem dar informações válidas sobre o bem-estar dos animais, mas a combinação de medidas de comportamento, fisiológicas, injúrias, doenças e do desenvolvimento do animal podem permitir uma avaliação mais completa (BROOM, 1988).

3.4 Homeotermia e regulação da temperatura corporal

Os principais animais de produção de carne, leite, lã, pele e ovos são homeotérmicos. Os animais homeotérmicos mantêm a temperatura corporal dentro de certos limites relativamente estreitos, mesmo que a temperatura ambiente flutue e que sua atividade varie intensamente (BRIDI, 2011).

Para os animais homeotérmicos manterem a temperatura corporal relativamente constante, eles necessitam, através de variações fisiológicas, comportamentais e metabólicas, produzir calor (para aumentar a temperatura corporal quando a temperatura diminui) ou perder calor para o meio (diminuir a temperatura corporal no estresse calórico), de acordo com o gráfico da Figura 1.

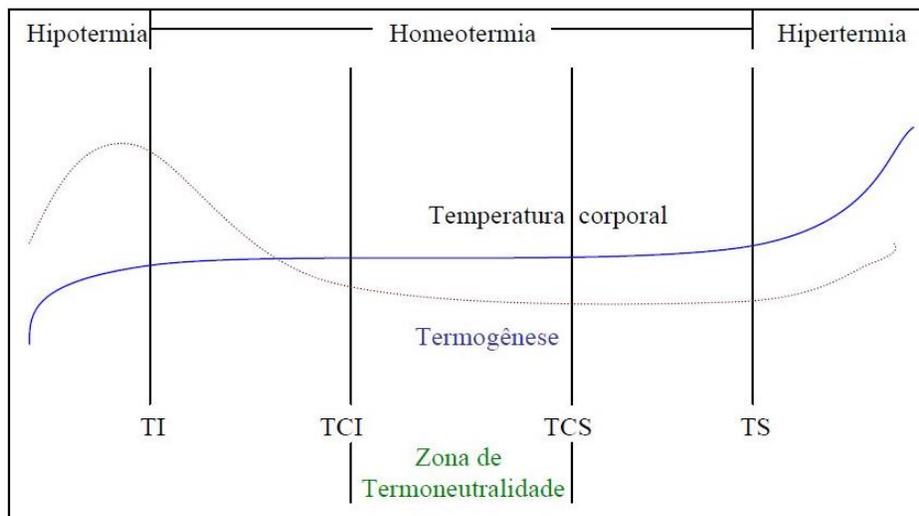


Figura 1 Variações da temperatura corporal de um animal homeotérmico em função da temperatura ambiente, (BRIDI, 2011).

Os animais homeotérmicos possuem uma zona de termoneutralidade, ou seja, uma faixa de temperatura ambiente em que o animal não precisa produzir ou perder temperatura corporal e seu metabolismo é mínimo. Essa zona de temperatura é onde os animais estão em conforto térmico (entre temperatura mínima e temperatura máxima) e podem expressar seu máximo potencial genético. A zona de termoneutralidade é limitada em ambos os extremos pela Temperatura Crítica Inferior (**TCI**) e Temperatura Crítica Superior (**TCS**), (BRIDI, 2011).

A zona de conforto térmico é dependente de diversos fatores, sendo alguns ligados ao animal, como peso, idade, estado fisiológico, tamanho do grupo, nível de alimentação e genética e outros ligados ao ambiente como a temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, tipo de piso.

Além disso, existe uma zona de temperatura ambiental em que o animal consegue manter a sua homeotermia (entre **TI** e **TS**), ou seja, manter a sua temperatura interna relativamente estável, independente da temperatura

ambiental. Entretanto, o animal necessitará de ajustes fisiológicos para manter a temperatura corporal constante. Quando a temperatura ambiente encontra-se abaixo da temperatura de conforto, o animal precisa produzir calor corporal (termogênese). Já, quando a temperatura ambiente encontra-se acima da zona de conforto térmico (termólise), o animal precisa perder calor para o ambiente.

Abaixo da **TI** o animal não consegue aporte de energia térmica suficiente para compensar as perdas, e acima de **TS** o organismo é incapaz de impedir a elevação de sua temperatura interna, ocorrendo hipotermia ou hipertermia, respectivamente. (BRIDI, 2011).

Dentro de uma instalação, a primeira condição de conforto térmico é que o balanço térmico seja nulo, ou seja, o calor produzido pelo organismo animal somado ao calor perdido pelos animais (radiação, convecção, condução, evaporação e do calor contido nas substâncias eliminadas) (BRIDI, 2011).

As trocas de energia térmicas do animal para o meio se dão na forma de calor sensível: condução, convecção, radiação e por troca de calor latente: evaporação cutânea e respiratória. A troca de calor entre o animal e o meio ambiente através do fluxo de calor sensível depende da existência de gradiente de temperatura entre o animal e o meio, da velocidade do vento e da umidade relativa do ar. Já a perda de calor latente (evaporação) depende da porcentagem de umidade relativa do ar ((BRIDI, 2011).

Os mecanismos de dissipação de calor são influenciados não só pelos fatores climáticos e do meio circunvizinho, mas também pelos fatores intrínsecos ao próprio animal, como área da superfície corporal, cobertura pilosa, cor, emissividade, vaporização da pele e pulmão, condutividade térmica através de tecidos e fluxos periféricos, troca térmica através da água de bebida ou excretada (PAULA, 2010).

A produtividade ideal pode ser obtida quando os animais estiverem submetidos a essa zona de termo neutralidade, sem nenhum desperdício de

energia para compensar o frio, como para acionar seu sistema de refrigeração, a fim de resistir ao calor ambiente. Quando o organismo precisa produzir energia para compensar o frio ou dissipar calor para diminuir a temperatura corporal ocorrerão perdas na produção ((BRIDI, 2011).

3.5 Índices de ambiência

Atualmente, vários pesquisadores têm usado esferas metálicas pintadas de preto, Figura 2, como receptores para quantificação da carga radiante incidente sobre animais e plantas, em estudos referentes ao nível de conforto térmico, sob as mais diversas situações ambientais, embora o início da utilização desse instrumento date dos anos 30, quando foram utilizados termômetros de globo negro em estudos sobre aquecimento e ventilação em habitações (BEDFORD;WARNER, 1934).



Figura 2 Termômetro de Globo Negro, (PAULA, 2010).

Um estudo realizado em 1948 sobre aquecimento e resfriamento de ambientes, concluiu que a pele do ser humano sente a ação dos fatores ambientais da mesma forma que um globo metálico de seis polegadas de diâmetro, pintado externamente de preto, considerando-se proporções similares entre área da superfície corporal e volume corporal (BOND; KELLY, 1955).

Em um experimento na Califórnia, com objetivo de determinar a carga de radiação sob dois tipos idênticos de cobertura, utilizando em uma o globo negro e na outra um radiômetro, ambos a 1,50 m acima do solo, concluíram que o globo negro foi tão preciso quanto o radiômetro (BOND; KELLY, 1955).

O globo negro é um meio prático de se quantificar os componentes da energia radiante do ambiente, a partir da chamada temperatura de globo negro. A temperatura de globo negro é obtida pelo termômetro de globo negro, Figura 3, instrumento de fácil confecção, que consiste em uma esfera oca, de cobre, com aproximadamente 0,15 m de diâmetro e 0,0005 m de espessura, pintada externamente com duas camadas de tinta preta fosca para maximizar a absorção de radiação solar; em seu interior é instalado um termopar ou termômetro, para a leitura da Temperatura (CAMPOS, 1986).

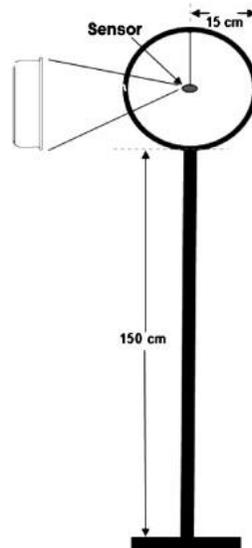


Figura 3 Instalação de um Termômetro de Globo Negro (SOUZA, 1992).

O termômetro de globo negro (Figura 3) indica, por meio do valor lido de temperatura, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, três importantes fatores que afetam o conforto térmico. Constitui meio prático e barato de separar e determinar quantitativamente a componente energia radiante do ambiente, de uso já consolidado nas pesquisas atuais (BOND;KELLY, 1955).

Estudos referentes à obtenção de parâmetros de conforto térmico ambiental para animais foram iniciados nos anos de 1960. As primeiras pesquisas foram conduzidas com bovinos e suínos e, desde então, considerou-se que, para estudos do ambiente animal, o termômetro de globo negro deveria ser instalado à altura aproximada do centro de massa do animal considerado. Estudos realizados para buscar indicações de alternativas para substituição do globo de cobre na confecção do globo-termômetro obtiveram boas conclusões sobre a utilização da bola de pingue-pongue (PEREIRA et al., 1967).

A teoria do globo negro, isto é, a troca de calor na superfície de um globo termômetro em equilíbrio com seu ambiente, derivou uma fórmula para relacionar o diâmetro e a emissividade de um globo com a troca de calor de uma espécie específica de animal com seu ambiente, considerando-a análogo ao do globo Negro (KUEHN et al., 1970).

Estudos referentes às trocas térmicas animal-ambiente e, portanto, ao conforto térmico, envolvem, em sua maioria, medidas da temperatura de globo negro e determinações consequentes de índices que expressem o grau de conforto. Os índices de conforto térmico mais comumente utilizados são o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica Radiante (CTR) (SOUZA, 1992).

O índice mais preciso para se medir o conforto térmico para animais é o ITGU, que é calculado a partir da temperatura de globo negro. O valor absoluto do ITGU engloba os efeitos da temperatura de bulbo seco, da velocidade do ar, da umidade e da radiação (BUFFINGTON et al., 1981).

De acordo com Campos (1986), o ITGU pode ser calculado pela equação:

$$\text{ITGU} = \text{tgn} + 0,36 \cdot \text{tpo} - 330,08 \quad (1)$$

em que:

ITGU = Índice de Temperatura de Globo e Umidade;

tgn = Temperatura de globo negro, K; e

tpo = Temperatura do ponto de orvalho, K.

Atualmente, existem limites de ITGU definidos para diversas espécies de animais, especialmente os de interesse zootécnico, mas, já em 1976, o NATIONAL WEATHER SERVICE – USA - concluiu, após treze anos de

estudo, que valores de ITGU até 74 definem situação de conforto para bovinos; de 74 a 78, situação de alerta; de 79 a 84, situação perigosa, e acima de 84, emergência (BAÊTA,1985).

Apesar da eficiência do ITGU na caracterização do ambiente térmico, Esmay (1978) fez referência a outro indicador de conforto térmico denominado Carga Térmica de Radiação (CTR), com base no fato de que a radiação constitui um dos mais importantes fatores térmicos na definição do bem-estar do animal.

A CTR quantifica a radiação total recebida pelo animal de todo o espaço circundante, podendo também ser calculada a partir da leitura de temperatura de globo negro, (BOND;KELLY, 1955),.

A CTR pode ser calculada pela equação de Stefan-Boltzmann, (CAMPOS, 1986):

$$CTR = \alpha \times TRM \quad (2)$$

em que:

CTR: Carga Térmica de Radiação, W.m⁻²;

α : Constante de Stefan Boltzmann, 5,67x10⁻⁸ W.m⁻².K⁻⁴;

TRM: Temperatura Radiante Média, K.

A temperatura Radiante Média (TRM) é a temperatura ambiente de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra para eliminar o efeito de reflexão, com a qual o corpo (globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto a do ambiente atual considerado (BOND;KELLY, 1955).

A TRM pode ser determinada pela seguinte equação:

$$TRM = 100 \left[2.51 \times \sqrt{v} (tgn - tbs) + \left(\frac{tgn}{100} \right)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

em que:

TRM: Temperatura Radiante Média, K;

v: Velocidade do vento, m.s-1, e

tbs: Temperatura de bulbo seco (do ar), K.

3.6 Zootecnia de precisão

Nas últimas décadas novas ferramentas e técnicas têm sido introduzidas na produção animal (fazendas, granjas e indústrias) como suporte à decisão, especialmente para o gerenciamento, implantação de estratégias de alimentação, controle de fertilidade, e técnicas para promover saúde/conforto animal. Sistemas computacionais específicos foram desenvolvidos para o manuseio das variáveis acima relatadas visando fornecer ao gerente/fazendeiro ferramentas adequadas e poderosas, e dispositivos indicadores de condições/situações específicas.

A Zootécnica de Precisão pode ser encarada como a gestão da produção animal baseada nos princípios e na tecnologia da Engenharia de Processos e é considerada como o principal meio através do qual ocorrerá a utilização de sensores ‘inteligentes’ em produção animal.

Baseia-se no monitoramento automático e contínuo dos animais e dos processos físicos relacionados. Trata a produção animal como um conjunto de processos interligados, que atuam em conjunto numa rede complexa.

O controle e o monitoramento da produção animal são menos desenvolvidos quando comparados com os utilizados na indústria. Muitos sistemas contendo alguns elementos de sistemas de monitoramento integrados já estão disponíveis comercialmente para suínos, aves e produção leiteira. Esses

sistemas têm o potencial de aumentar a eficiência na produção e no controle de qualidade nas fazendas e tornar os produtores mais capacitados a responderem às pressões do comércio sobre seus produtos (FROST et al., 1997).

Com o avanço da microeletrônica as possibilidades de sua utilização na produção animal são crescentes, promovendo a redução de perdas pela utilização de métodos de tomada de decisão mais avançados. A tecnologia dos biosensores tem grande potencial para a melhoria do bem-estar animal, saúde e produção eficiente (NÄAS, 2002).

As principais aplicações dos dispositivos eletrônicos em uma instalação rural são a identificação de animais, as medidas do peso e da temperatura dos animais, controle de parâmetros ambientais úteis, tais como temperatura e umidade, além do registro de eventos, tais como vacinação, cio, parto etc.

O futuro do comércio de proteína animal depende principalmente de como a indústria conduzirá os seguintes conceitos: honestidade, disponibilidade de informações detalhadas, rastreabilidade, segurança/qualidade e flexibilidade para mudanças. O consumidor final estará procurando por produtos de boa qualidade, no lugar certo e na hora certa (HOLROYD, 2000). Indo de encontro a tudo isto surge um novo conceito na produção de alimentos: Produção Animal de Precisão ou Zootecnia de Precisão (NAÄS; FIALHO, 1998).

Entende-se por Zootecnia de Precisão a utilização de técnicas especiais e ferramentas que possibilitem manejos específicos em situações específicas que ocorrem no campo. O uso de tais técnicas e/ou ferramentas é direcionado para tomada de decisão e ações mais precisas do que aquelas baseadas em “valores médios” ou “valores típicos”.

Portanto, cada vez mais é notada a presença de equipamentos/sistemas na produção animal, tais como medidores de temperatura, pressão, umidade, PH, tensão, luminosidade etc, todos visando a melhoria da qualidade dos produtos. Estes equipamentos/sistemas devem interagir, gerando e trocando dados, com

um equipamento central (hospedeiro), o qual possibilita a rastreabilidade animal, bem como acompanhamento de dados relativos à saúde e ao conforto.

Diante disso, a utilização de novas tecnologias e ferramentas, como a informática (softwares), microeletrônica, análise de imagem, sensores e atuadores, podem melhorar o trabalho experimental, favorecendo uma acurácia das pesquisas até então não alcançada pelos métodos tradicionais de observação.

Apesar do desenvolvimento da Zootecnia de Precisão estar atrelado a utilização de biosensores, outras técnicas e ferramentas que vêm sendo empregadas em produção animal devem ser consideradas, uma vez que estas têm facilitado a aquisição de dados para análises mais apuradas, contribuindo para o avanço e velocidade das pesquisas. O uso da lógica Fuzzy no tratamento dos dados obtidos auxilia na tomada de decisão e determinação de estratégias apropriadas, devendo também ser incorporado ao conceito da zootecnia de precisão. Tais ferramentas podem ser úteis ao próprio produtor, dando suporte para o gerenciamento, implantação de estratégias e controle de processos da produção animal.

3.7 Microcontroladores e Sistemas Embarcados

Sistemas automatizados de medidas são utilizados para fazer a leitura do sinal elétrico do sensor e enviá-la a uma memória. Desse modo, é de fundamental importância o uso de um microcontrolador para desempenhar este papel. Entretanto, é importante ressaltar que um microprocessador também é capaz de realizar este procedimento, porém o que difere um do outro é que o microprocessador, para ser usado, deve ser acoplado a outros componentes.

Em resumo, isso significa que o microprocessador é o verdadeiro coração do sistema automatizado de dados, por outro lado o microcontrolador foi projetado para ter todos os componentes em um único circuito integrado.

Desse modo, não existe a necessidade de outros componentes externos nestas aplicações, uma vez que todos os periféricos necessários já estão contidos no microcontrolador, poupando tempo e espaço na construção dos dispositivos (MATIC; ANDRIC, 2003).

De modo análogo, é importante o uso de microcontroladores para realizar operações em sequência sem intervenção humana. Segundo o autor, muitas vezes conhecidos como computadores embutidos em circuito integrado (ANGNES, 2003). Assim, a grande vantagem de utilizar microcontroladores é que estes chegam a custar muitas vezes menos que um transistor e, por se tratar de um circuito integrado (CI), possui uma poderosa Unidade Central de Processamento (CPU) capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos em um curtíssimo espaço de tempo (REBELLO JUNIOR, 2004).

Sistemas embarcados consistem em uma combinação de Hardware, Software e possíveis componentes adicionais mecânicos, desenvolvidos para a execução de uma função dedicada (LI, STALLINGS, 2008). Esses sistemas computacionais aplicados diferem de sistemas computacionais de propósito geral, como computadores pessoais (PC - *Personal Computer*) ou supercomputadores, apresentando maiores limitações de funcionalidades de hardware e de software (NOERGAARD, 2005).

O adjetivo embarcado reflete o fato de esses sistemas serem usualmente parte integrante de um sistema maior. No entanto, apesar de muitos sistemas embarcados poderem coexistir em um sistema, eles podem, por si só, representar o sistema completo e operarem individualmente (LI, 2003).

O uso de sistemas embarcados vem aumentando drasticamente em nosso dia-a-dia. De forma não imaginada nas décadas passadas, sistemas embarcados estão transformando o modo de vida, trabalho e diversão das pessoas. (BUTTAZZO, 2006; LI, 2003).

Atualmente, é difícil encontrar na vida diária segmentos que não envolvam sistemas embarcados de alguma forma. Eles estão espalhados em diferentes áreas como indústria automotiva, eletrônica de consumo, aviônica, controle industrial, instrumentos médicos e dispositivos de rede (*hubs, gateways, roteadores etc.*) (LI, 2003); (NOERGAARD, 2005); (STALLINGS, 2008).

Segundo Buttazzo (2006), e Berger (2002), a maioria dos sistemas embarcados divide propriedades importantes:

- Recursos limitados: muitos sistemas embarcados são desenvolvidos sobre restrições de espaço, peso e energia, impostos pela aplicação.
- Sensíveis a custo: frequentemente apresentam também restrições de custo devido à produção em massa e grande competição industrial.
- Conseqüentemente, aplicações embarcadas tipicamente operam em pequenas unidades de processamento com grande limitação de memória e potencial computacional, sendo que para obtenção de custos efetivos é mandatório o uso altamente eficiente dos recursos computacionais.
- Limitações de tempo real: a maioria dos dispositivos embarcados interage com o ambiente e deve reagir a eventos externos e executar atividades computacionais dentro de restrições precisas de tempo, sendo necessária a previsibilidade e garantia *off-line* dos requisitos de desempenho.
- Comportamento dinâmico: consistem de dezenas ou centenas de tarefas concorrentes que interagem entre si para o uso de recursos compartilhados.
- Diferentes processadores: sistemas embarcados são suportados por uma grande quantidade de processadores e arquiteturas de

processadores. Friedrich (2009) define onze qualidades que definem requisitos não funcionais utilizados para julgar a operação dos sistemas embarcados. São elas:

- Recursos limitados de computação: os recursos computacionais devem ser utilizados de maneira eficiente.
- Requisitos de tempo real: sistemas embarcados interagem com o ambiente, necessitando reagir corretamente dentro de requisitos estritos de tempo.
- Portabilidade: diferentes tipos de CPU's (Unidade de processamento central), periféricos e memórias podem ser usados em sistemas embarcados.
- Alta confiabilidade: sistemas embarcados são usados remotamente e em aplicações críticas, o que torna a correção de falhas problemática, extremamente cara e até mesmo impossível de correção.
- Robustez e estabilidade do sistema: o sistema deve operar fora de condições nominais e evitar interrupções na operação.
- Tratamento de falhas: os sistemas devem identificar e tratar erros e garantir tolerância a falhas da aplicação.
- Operação segura: os sistemas devem prevenir ferimentos, perdas de vida e danos a propriedades e ao ambiente.
- Segurança de informações: os sistemas devem evitar que informações internas sejam usadas ou alteradas por usuários não autorizados.
- Privacidade: os sistemas devem possuir a habilidade de isolar e revelar seletivamente informações.
- Escalabilidade: o sistema deve ser capaz de gerenciar o aumento na carga de trabalho e possibilitar a expansão.

- Atualização: os sistemas devem permitir que a especificação seja aprimorada, adicionando ou substituindo componentes.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida no laboratório de protótipos do CEDIA - Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária, localizado no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras - MG.

4.1 Desenvolvimento do SISDERECT

Para o desenvolvimento do sistema embarcado, SISDERECT, foram consideradas as seguintes etapas: o projeto de hardware, o projeto de software e o teste de homologação do sistema.

4.1.1 Projeto de hardware

As fases para o projeto e desenvolvimento do SISDERECT foram:

- escolha dos microcontroladores adequados para o projeto;
- escolha dos sensores de Temperatura e Umidade;
- desenvolvimento de Interface para o circuito de *datalogger* destinado ao armazenamento de dados em cartões de memória SD;
- desenvolvimento de Interface de rede padrão IEEE 802.3;
- projeto esquemático de Hardware.

4.1.2 Projeto de software

As fases para o projeto e desenvolvimento do software foram:

- desenvolvimento de um programa (firmware) para o microcontrolador, utilizando a linguagem C++;
- interface Web para monitoramento remoto e conFiguração dos parâmetros de leitura.

4.1.3 Teste de homologação do sistema

A homologação do sistema e os estudos estatísticos foram realizados nas seguintes etapas:

- desenvolvimento de protótipo;
- monitoramento de ambiente com o uso dos dispositivos: SISDERECT, HOBOS *datalogger* e psicrômetro.
- estudos estatísticos que comprovem a viabilidade do sistema desenvolvido nesta pesquisa.

4.2 Funcionamento do SISDERECT

O funcionamento do SISDERECT é baseado na interligação de vários módulos, apresentados na Figura 4.

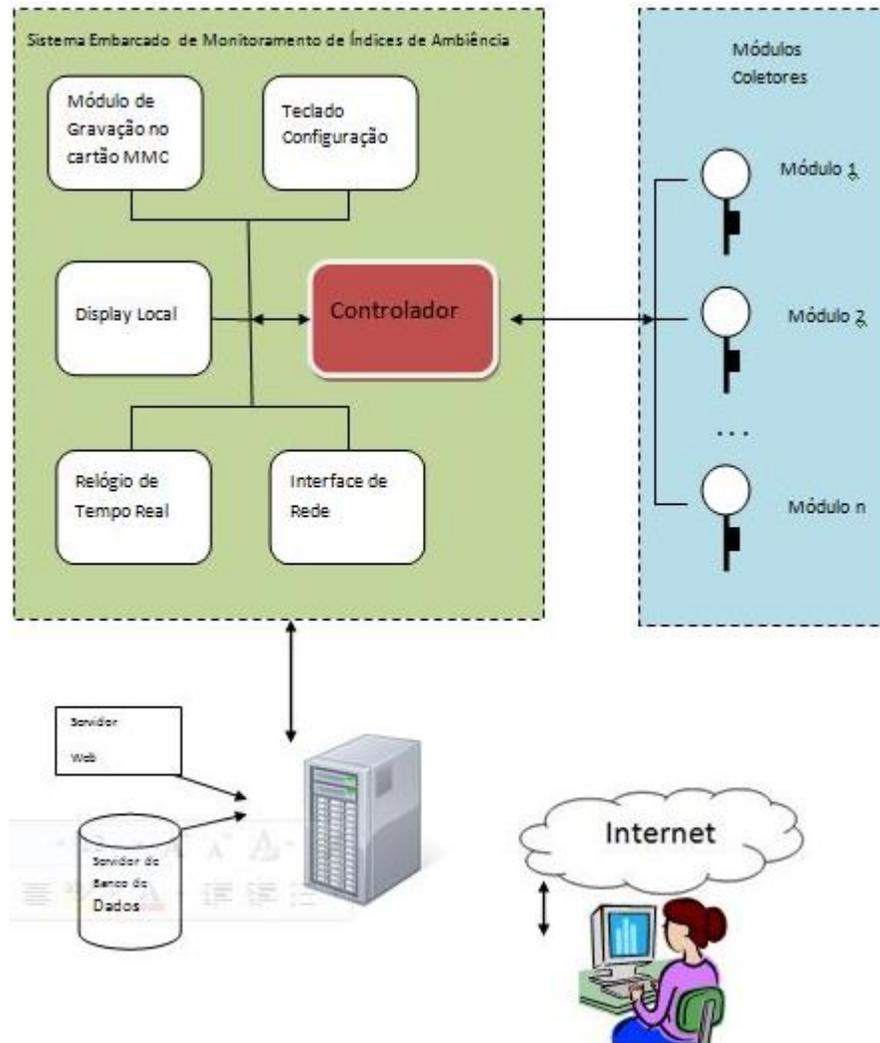


Figura 4 Diagrama de blocos do Sistema Automático de determinação de Índices de Ambiência, (autor).

As principais funcionalidades que foram atribuídas ao SISDERECT são apresentadas a seguir.

4.2.1 Diagrama de blocos

O funcionamento básico do sistema é composto dos seguintes blocos:

a) Sistema Embarcado

O Sistema Embarcado é onde se encontra o microcontrolador que realiza a leitura dos sensores e gravação dos dados. Este componente também é responsável pela transmissão de dados através da rede de computadores para o servidor central. O sistema embarcado é composto dos seguintes módulos:

Módulo de gravação de cartão de memória: gravar os dados coletados em um cartão de memória MMC. Este dados são uma cópia dos dados enviados através da rede e podem ser lidos diretamente em computador que possua leitor de cartão de memória.

Teclado para configuração: permite realizar configurações de endereço de rede, números de sensores, configuração do relógio de tempo real e configuração dos parâmetros de rede.

Display local: permite a visualização através de um mostrador LCD (Display de Cristal Líquido) das principais funções que estão sendo executadas pelo sistema embarcado.

Relógio de Tempo Real: este circuito é composto de uma bateria e um RTC (ds1307) e permite que o microcontrolador determine com exatidão variáveis de tempo, como data, hora, minutos e segundo.

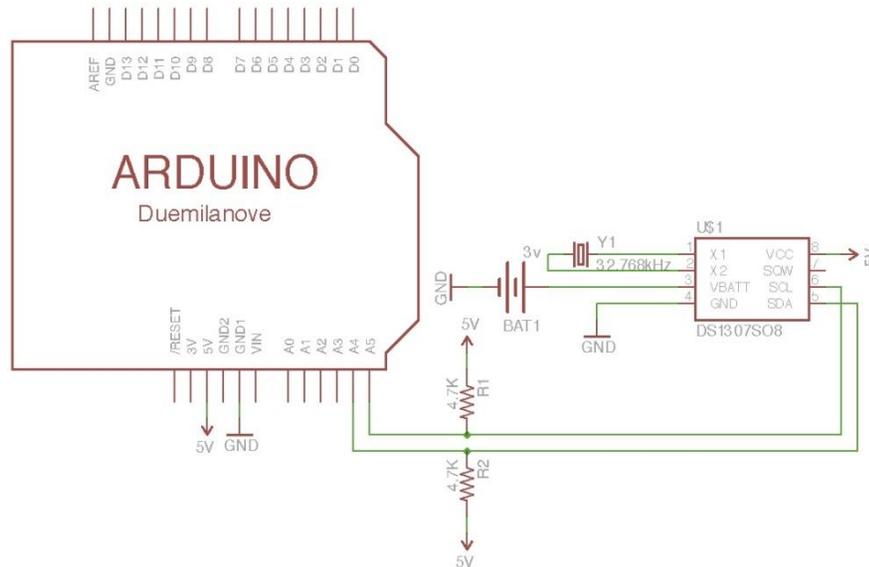


Figura 5 Circuito de Relógio de Tempo Real (RTC) para o Arduino, (autor).

Interface de rede: realiza a conexão do sistema embarcado com a rede local de computadores e, conseqüentemente, com a Internet, permitindo que sejam monitorados os índices de conforto térmico através de qualquer dispositivo conectado a rede de computadores.

Controlador: exerce todo o controle sobre o sistema embarcado através do microcontrolador Atmega 328. Este controle pode ser alterado através da rede de computadores utilizando o servidor de rede. O microcontrolador possui 5 portas de entrada e saída onde poderão ser ligados uma série de até 5 coletores.

b) Módulo Coletor

Este módulo é composto dos sensores de umidade relativa do ar, temperatura do ambiente e temperatura do globo negro. O SISDERECT tem a

possibilidade de adicionar até 5 coletores através das portas disponíveis no microcontrolador com intervalo mínimo de leitura de 1 segundo para cada coletor.

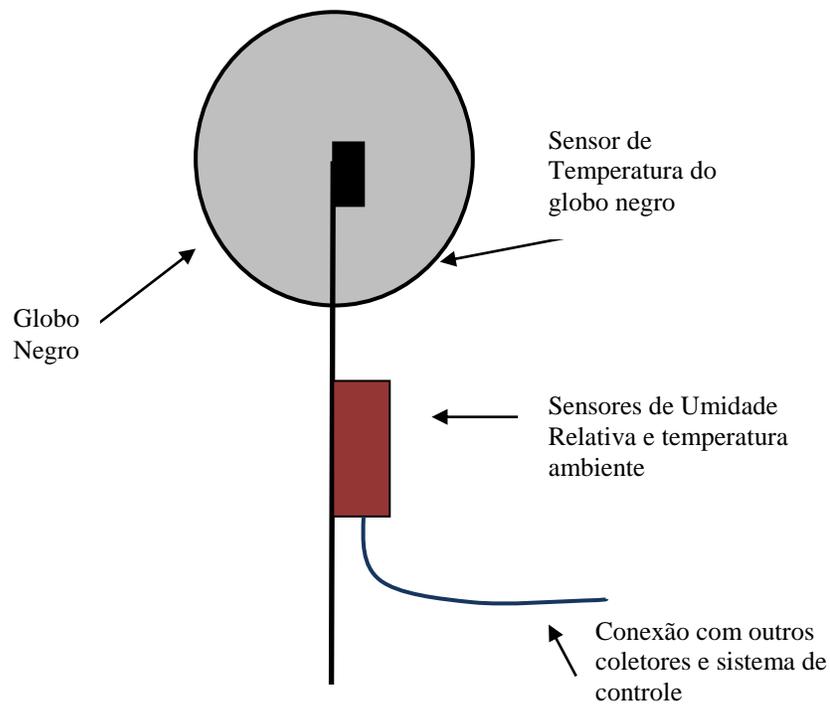


Figura 6 Módulo Coletor de dados, (autor).

c) O servidor de rede

O servidor de rede permite acessar os dados coletados a partir da internet, através de um navegador web. Para que isto ocorra, foi instalado um servidor web (apache) em um sistema operacional Linux e desenvolvida uma interface web utilizando a linguagem PHP.

Os dados enviados para este servidor são armazenados em um banco de dados para posterior consulta e geração de relatórios. Embora os dados possam ser enviados para o servidor de rede através da rede ethernet, é possível importar

os dados para o servidor através do cartão de memória SD previamente gravado pelo sistema embarcado. O banco de dados utilizado foi MySQL.

4.3 Placa de desenvolvimento

O protótipo do sistema foi desenvolvido através de uma placa de desenvolvimento arduino duemilanove, baseada no microcontrolador ATMEGA 328.

Esta placa de desenvolvimento é facilmente encontrada no mercado nacional, possuindo vasta documentação de projetos disponível na Internet. Os periféricos, que podem ser associados a esta placa de desenvolvimento, e os *Shields* também podem ser encontrados no mercado nacional.

O uso da placa de prototipagem arduino permite que o SISDERECT seja remontado através da aquisição de um novo arduino e os respectivos Shields utilizados neste projeto ou através do projeto da placa de circuito impresso PCB.

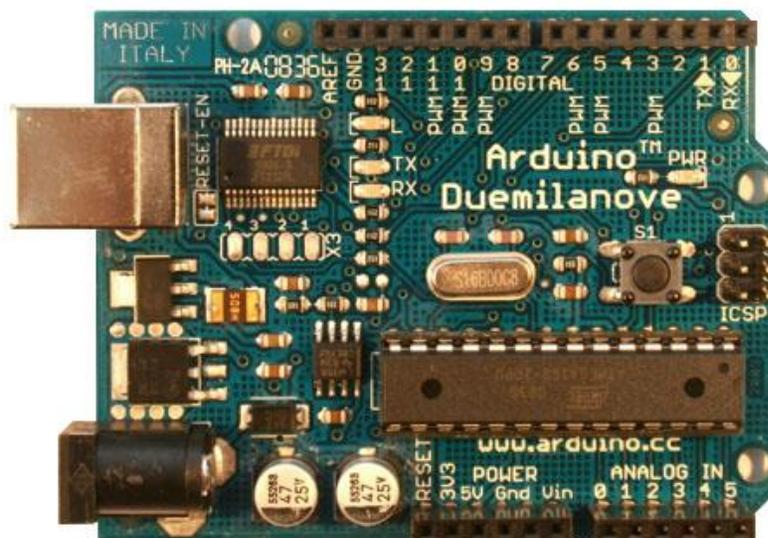


Figura 7 Placa de desenvolvimento Arduino Duemilanove, (autor).

A esta placa de prototipagem foi adicionado o *Ethernet Shield W510*; esta placa contém todos os circuitos básicos necessários para interligar o arduino a rede ethernet e com isso estabelecer a conexão de rede com o servidor remoto.

O *Ethernet shield W5100*, além de realizar a conexão do arduino com a rede ethernet, também possui interface com cartão de memória MMC/SD. Esta interface foi utilizada para o desenvolvimento de um *datalogger* o qual permite que, mesmo com a indisponibilidade de acesso à rede, o sistema salve localmente os dados coletados em cartão de memória, permitindo que os dados sejam analisados posteriormente.

4.4 Sensores de temperatura e umidade

O baixo custo, precisão e disponibilidade no mercado nacional foram fatores decisivos para escolhas dos tipos de sensores de temperatura e umidade utilizados.

O sensor que apresentou melhor custo benefício e disponibilidade no mercado nacional foi o LM35.

O sensor analógico foi ligado a uma porta do microcontrolador que possui conversor analógico digital de 10 bits de resolução, sendo que o seu custo é menor quando comparado a um sensor de temperatura digital.

4.4.1 Sensor de temperatura LM35

O sensor de temperatura LM35 é um sensor analógico de baixo custo e encontrado com facilidade no mercado nacional. Um dos objetivos deste projeto foi o de desenvolver um sistema embarcado de baixo custo. Sendo assim, optou-se então pela utilização deste tipo de sensor no projeto, que atende a este requisito e apresenta uma boa precisão.

O circuito integrado LM35, Figura 7, é um sensor de temperatura cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus Celsius. Esta é uma vantagem em relação a sensores de temperatura linearmente calibrados em Kelvin. Não é necessária nenhuma calibragem externa para definir sua precisão, que é de $\frac{1}{4}$ de grau Celsius a temperatura ambiente e de aproximadamente $\frac{3}{4}$ grau Celsius na faixa de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

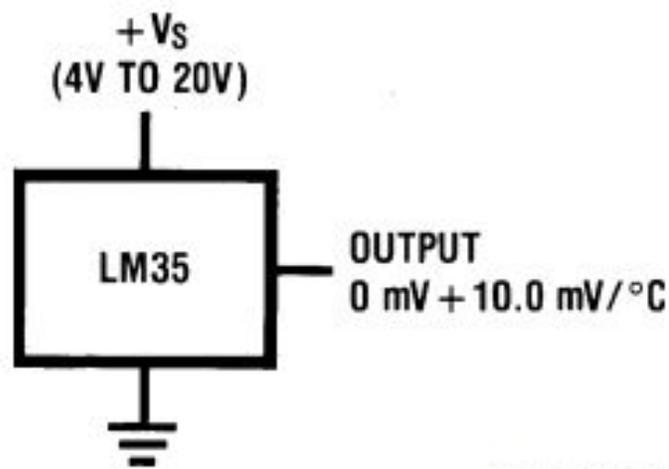


Figura 8 Sensor Analógico de Temperatura LM35, (NATIONAL, 2011)

A baixa impedância de saída, saída linear e calibração inerente permite que o LM35 seja facilmente utilizado em sistemas embarcados. Como consome apenas 60 mA de alimentação, ele tem baixo auto aquecimento, menos de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ em pequena corrente de ar.

O LM35 pode opera na faixa de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura, Figura 8, enquanto o LM35C opera na faixa de temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. A série LM35 é fornecida em embalagens herméticas TO-46 (transistor).

Este sensor utiliza tensão de alimentação de 5 volts e será ligado ao grupo de portas analógicas do arduino. Este grupo de portas está ligado internamente ao conversor analógico digital de 10 bits. Isto permite que sejam ligados até 5 sensores de temperatura LM35 de forma simultânea, formando 5 conjuntos coletores.

O sensor LM35 possui escala linear de 1°C para cada 10 mv de saída e faixa de leitura de -55°C a 155°C . A tensão lida no pino de saída (Vout) é associada ao conversor analógico do arduino (pinos analógicos de 1 a 5).

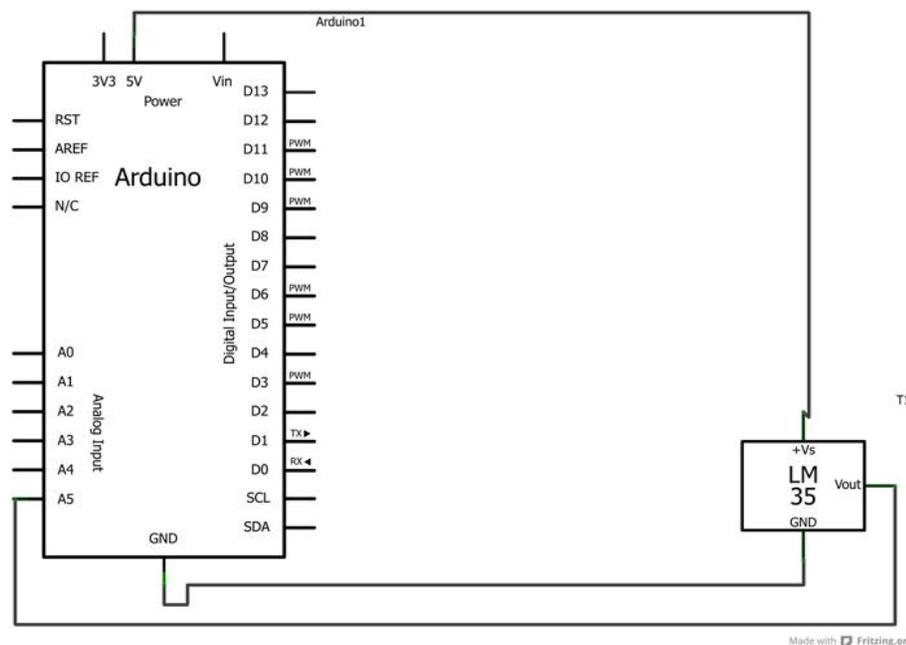


Figura 11 Conexão LM35 na portada analógica do Arduino, (autor).

A seguinte equação foi utilizada na conversão do sinal analógico para o digital:

$$TGN = (VL * (5/1023)) * 100 \quad (4)$$

TGN = Temperatura do Globo Negro

VL= Tensão lida do sensor LM35, pino Vout (em mv).

O sensor LM35 foi posicionado internamente no centro do globo negro e a temperatura

4.4.2 Sensor de umidade SHT11

Semelhante à metodologia adotada com na escolha dos sensores de temperatura, o sensor de umidade relativa que apresentou melhor custo benefício foi o sensor SHT11; este sensor pertence à mesma linha do sensor de umidade relativa utilizado no datalogger

Para o cálculo de ITGU, precisa-se do valor de temperatura interna do Globo Negro como o sensor de umidade é instalado na área externa do Globo Negro não é possível utilizar a temperatura fornecida pelo sensor de umidade relativa para cálculo do ITGU.

O sensor de umidade relativa possui saída digital e resolução típica de 0,05 de %RH e medida de temperatura ambiente com precisão típica de 0,04 °C, permitindo leitura na faixa de 0 a 100% de umidade relativa e de temperatura na faixa de -20 °C a 100 °C.

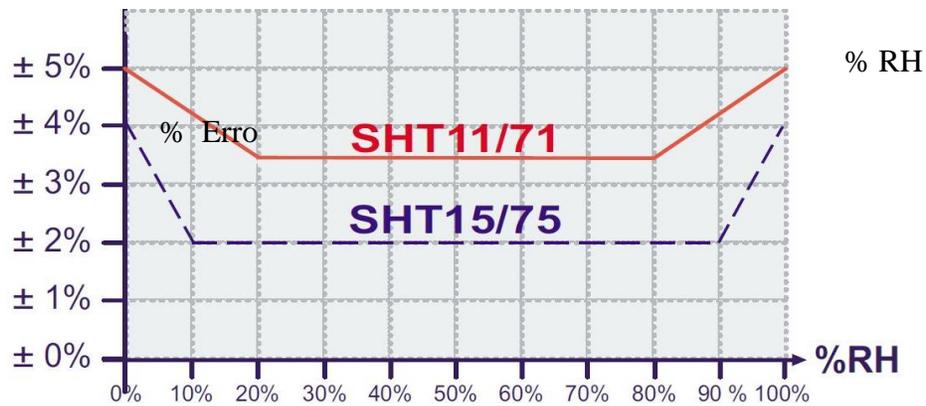


Figura 12 Precisão do sensor SHT11, (SENSIRION, 2004).

Este sensor pode ser conectado a qualquer uma das portas digitais do microcontrolador e possui tensão de alimentação 5V compatível com a tensão de alimentação do Arduino.

O *datalogger* HOBO modelo U12-013 utiliza o sensor SHT75 que possui alto custo quando comparado ao modelo SHT11 e não é encontrado no mercado nacional.

O sensor SHT75 apresenta uma precisão próxima de 2% na faixa de 10% a 90%, apresentando uma precisão melhor que o sensor SHT11 utilizado no SISDERECT que apresenta uma precisão próxima de 3,5% na faixa de 20% a 80%.

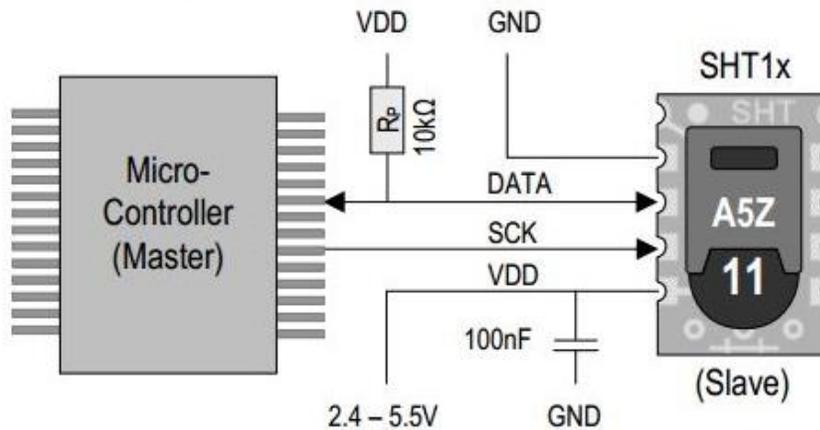


Figura 13 Ligação entre o sensor SHT11 e o microcontrolador (SENSIRION, 2004).

Embora este sensor deva ser conectado em um barramento I2C, ele não possui todas as funcionalidades deste protocolo, não sendo possível a conexão de vários sensores no mesmo barramento.

Após o sensor SHT11 ser alimentado, o microcontrolador deve gerar um pulso com nível lógico baixo durante 11 ms. Durante este período nenhum comando deve ser enviado para o sensor enquanto este é inicializado.

Para iniciar a comunicação com o sensor, uma sequência de pulsos deve ser enviada para o sensor através das linhas de dados (data) e do oscilador (sck).

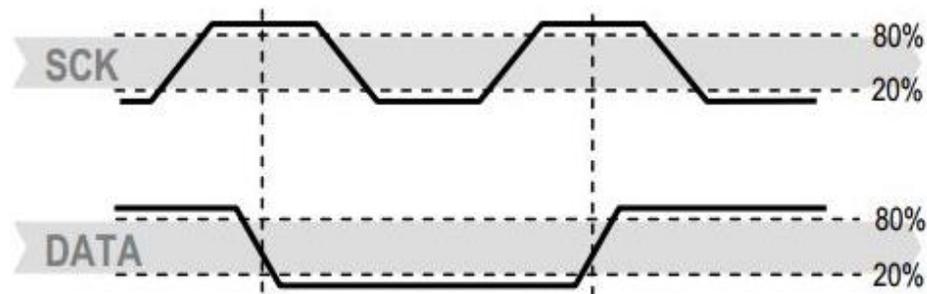


Figura 14 Inicialização do sensor de umidade relativa SHT11, (SENSIRION, 2004).

Após a sequência de inicialização, o microcontrolador pode enviar comandos e obter a leitura de umidade relativa e temperatura; também é possível enviar comando para mudar a resolução do sensor.

Registradores informam a situação atual do sensor com informações sobre a baixa tensão de alimentação e resolução de leitura.

Tabela 1 Comandos do sensor SHT11.

Comando	Código
Reservado	0000x
Mensurar Temperatura	00011
Mensurar Umidade Relativa	00101
Lê Registradores de <i>status</i>	00111
Escrever Registradores de <i>status</i>	00110
Reservado	0101x-1110x
<i>Soft Reset</i> reinicia a interface, limpa os valores dos registradores. Aguarda no mínimo antes do Próximo comando	11110

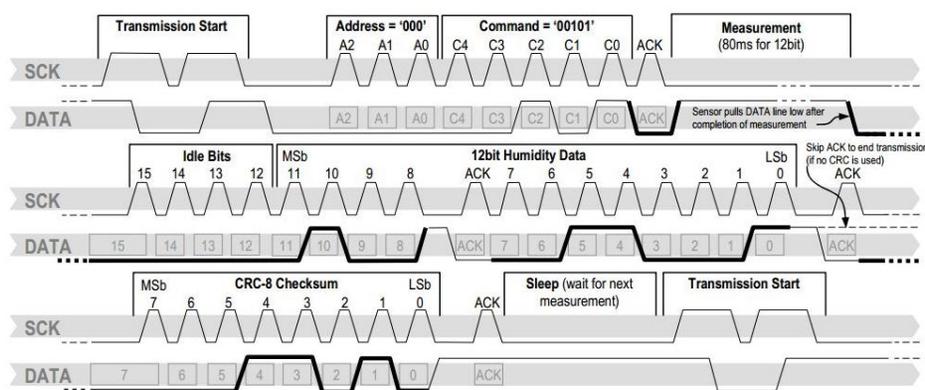


Figura 15 Padrão de comunicação do sensor SHT1, (SENSIRION, 2004).

Linhas de dados em negrito são controladas pelo sensor, enquanto simples Linhas são controladas pelo microcontrolador.

A determinação da temperatura do ponto de orvalho é importante para a

determinação ITGU e pode ser calculada de forma indireta através da fórmula Eq.5

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}} \quad (5)$$

Tabela 2 Coeficientes para cálculo do ponto de Orvalho.

Faixa de Temperatura	Tn(°C)	M
Água – Líquida (0 a 50°C)	243,12	17,62
Água – Sólida (-40 a 0°C)	272,62	22,46

4.5 Cartão de memória SD e interface de rede

A MultiMedia Card (MMC), Figura 14, é um cartão de memória fabricado em tecnologia *Flash*. O tamanho padrão dos cartões é de 24 × 32 × 1,4 mm. Cartões MMC foram substituídos por cartões Secure Digital (SD cards) ultimamente, mas eles ainda são muito populares e amplamente utilizados porque podem ser utilizados com a maior parte dos dispositivos que suportam cartões SD.

Ambos tipos de cartões são usados como memória de armazenamento de dados em dispositivos portáteis como câmeras, *players* de áudio digital, telefones celulares etc.

A maioria dos computadores modernos é fornecida com um *slot* MMC / SD que pode ler tanto cartões MMC e SD. A placa MMC / SD adicional permite que os dados de leitura / gravação entre um microcontrolador e cartões MMC / SD.

A transferência de dados é realizada através de um periférico padrão *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Devido ao alto-conversores de nível de tensão, tais como 74LVCC3245, estes cartões podem ser utilizados tanto com 3,3 V e 5 V microcontroladores.

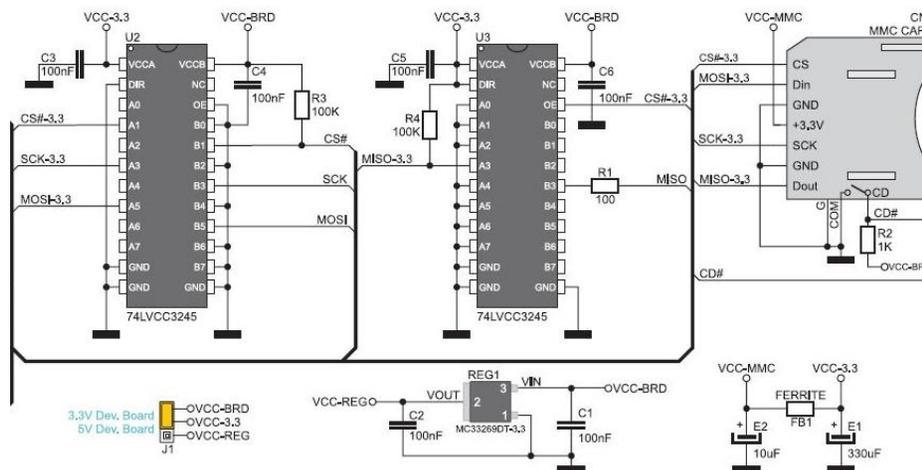


Figura 16 Diagrama de alimentação módulo de gravação MMC, (autor).

O *shield W5100* realiza a interface do arduino com a rede ethernet e permite a gravação e leitura de dados no cartão de memória SD.

O uso de cartão de memória é uma maneira eficiente, simples e econômica de armazenar localmente os dados de umidade relativa, temperatura e ITGU.

Embora os dados coletados por esse sistema embarcado sejam transmitidos via rede de computadores para um servidor remoto, existe uma redundância no armazenamento de dados com a gravação local no cartão de memória, permitindo que o usuário tenha acesso a esses dados mesmo que ocorra uma falha na rede de dados.

Atualmente os computadores pessoais já apresentam interface para

cartões SD, pois seu uso tornou-se popular em câmeras fotográficas e filmadoras. Isto permite que as informações de ITGU, umidade relativa e temperatura, sejam facilmente importadas para os computadores pessoais mesmo que estejam armazenados em cartões de memória.

A comunicação entre o microcontrolador e a interface de cartão SD é feita utilizando a comunicação serial padrão SPI. Este padrão de comunicação é o mesmo utilizado com a interface de rede ethernet ligada ao microcontrolador.

No mercado estão disponíveis cartões SD com capacidade de até 32Gb, porém como o sistema de arquivos utilizado neste projeto é padrão FAT 16 o tamanho máximo a ser utilizado será de no máximo 4 GB.

A interface de rede ENC28J60 permite interligar o microcontrolador a rede de dados, Figura 36. Esta funcionalidade é importante para este projeto, pois permite que o sistema embarcado envie os dados coletados para um servidor remoto e que estes dados sejam armazenados para uma posterior análise e geração de relatórios.

A comunicação entre o microcontrolador e a interface de rede é feita através de comunicação serial padrão SPI.



Figura 17 Conexão do módulo gravador de cartão de memória com o microcontrolador Atmega 382, (autor).

4.6 Desenvolvimento do software

O desenvolvimento do software para o microcontrolador foi realizado através do ambiente integrado de desenvolvimento (IDE - *Integrated Development Environment*). Este ambiente fornece ferramentas e bibliotecas que otimizam o desenvolvimento de *software*.

```

mikroPascal PRG for AVR v3.0.0.0 - C:\Users\Anderson\Documents\BigAVR2\shimikroei\shimikroei.mppar
File Edit View Project Build Run Tools Help
shimikroei.mpas Sensor_temperatura - ADS1820.mpas 1024x768
shimikroei.mpas
. Lcd_Out(1, 1, ' Temperatura: ');
.
. Lcd_Chr(2,13,178); // Print degree character, 'C' for Centigrades
. Lcd_Chr(2,14,'C'); // different LCD displays have different char code for degree
. // if you see greek alpha letter try typing 178 instead of 223
.
. ddr:=0xff;
.
100
. //--- main loop
. while (TRUE) do
. begin
. //--- perform temperature reading
. Ow_Reset(PORTE, 0);
. Ow_Write(PORTE, 0, 0x0C); // Issue command SKIP_ROM
. Ow_Write(PORTE, 0, 0x44); // Issue command CONVERT_T
. Delay_us(120);
.
. Ow_Reset(PORTE, 0);
110
. Ow_Write(PORTE, 0, 0x0C); // Issue command SKIP_ROM
111
. Ow_Write(PORTE, 0, 0x8E); // Issue command READ_SCRATCHPAD
. Delay_ms(400);
.
. temp := Ow_Read(PORTE, 0);
. temp := (Ow_Read(PORTE, 0) shl 8) + temp;
.
. //--- Format and display result on Lcd
. Display_Temperature(temp);
120
. Delay_ms(500);
.
. end;
. end.
Stat. 32
C:\Users\Anderson\Documents\BigAVR2\Sensor_temperatura - ADS1820.mpas

```

Figura 18 Interface de desenvolvimento de software para o microcontrolador 328, (autor).

4.7 Acesso remoto ao sistema

O acesso ao sistema pode ser feito remota acessando a página web que está disponível em um servidor web. O página web possui ferramentas que permite a configurar o número de coletas, intervalo de tempo e dados do projeto. Após a configuração do projeto, o sistema embarcado inicia automaticamente a coleta e armazenamento dos dados.

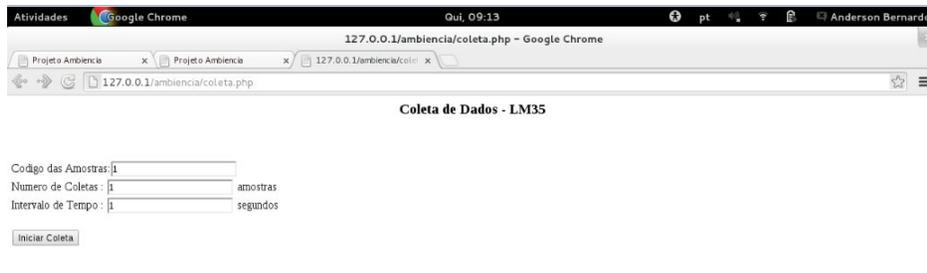


Figura 19 Interface web do sistema de coleta de dados, (autor).

Os dados coletados são armazenados em um banco de dados, e novas análises e relatórios podem ser executados a qualquer momento. Um histórico sobre o conforto térmico do ambiente é armazenado isto permite que novas pesquisas possam ser realizadas a partir desses dados.

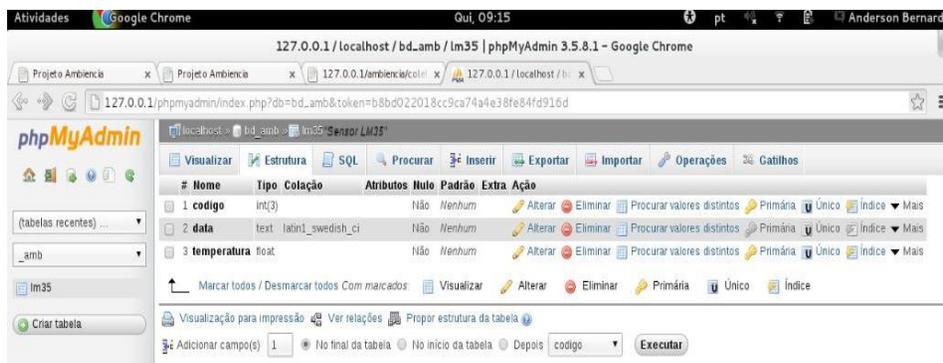


Figura 20 Interface de Administração do banco de dados, (autor).

4.8 Sistema de comunicação de dados

O SISDERECT utilizará módulos coletores, Figura 20, para obter informações de temperatura do globo negro e umidade relativa, em determinados pontos de uma área.

Após a coleta, essas informações serão manipuladas, armazenadas e transferidas para um servidor remoto.

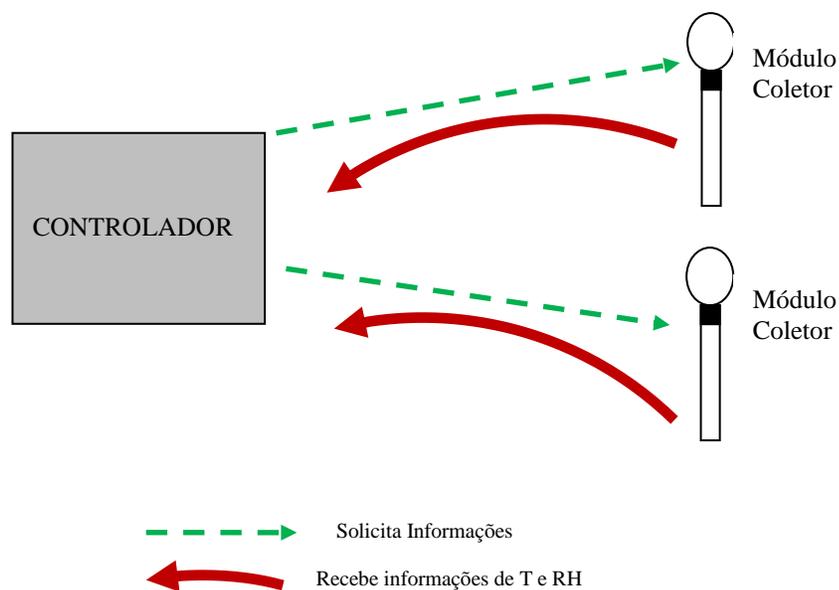


Figura 21 Padrão de comunicação estabelecido para os módulos coletores, (autor).

Para que os módulos coletores forneçam as informações de temperatura e umidade relativa, o controlador central deve enviar uma solicitação de informação.

Ao receber essas informações dos módulos coletores, o controlador executa o processamento dessas informações e o valor de ITGU é calculado. As informações de cada módulo coletor são repassadas para um display de LCD e em seguida é realizada a gravação desses dados em um cartão de memória.

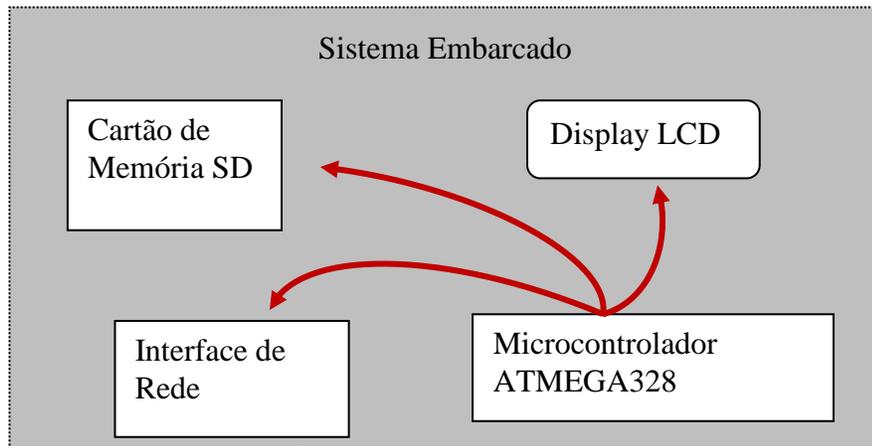


Figura 22 Troca de dados internamente no sistema embarcado, (autor).

Após os dados serem enviados para o display LCD e realizada a gravação no cartão de memória SD, eles são enviados para um servidor remoto (Servidor WEB e Servidor de Banco de Dados). A partir desse momento os dados sobre conforto térmico poderão ser visualizados através de qualquer dispositivo que possua um navegador e esteja conectado a rede Ethernet.

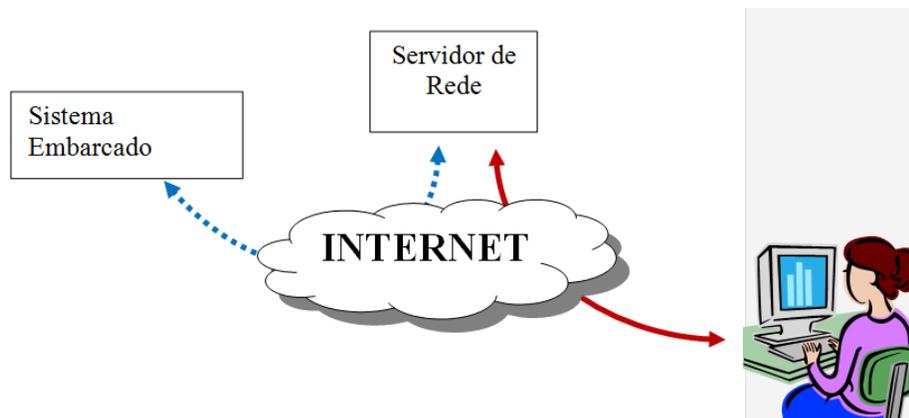


Figura 23 Acesso aos dados coletados, (autor).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados através do *datalogger* HOBO foram comparados com os dados coletados com o SISDERECT. Análises estatísticas foram realizadas sobre os dados coletados.

Foi utilizada também a coleta de dados manuais, porém o número de amostras foi inferior ao dos métodos automáticos devido a limitação em realizar leitura com intervalos de tempo pequenos.

5.1 Coleta de dados HOBOS e SISDERECT

Os dados foram coletados no dia 03/10/2013 no período de 10h30min horas às 16h21min com intervalo de tempo de 3 minutos. O ensaio foi realizado no CEDIA/UFLA.

Ambos os equipamentos foram configurados para realizar as leituras de forma automática a cada 3 minutos e um total de 118 amostras foram aquisitadas em ambos os aparelhos. Na Tabela 3, estão relacionados as leituras (amostras) com os valores de temperatura em graus Celsius obtida pelo SISDERECT (TC-SISDERECT) a temperatura obtida pelo *datalogger* HOBO (TC-HOBO), a umidade relativa obtida pelo SISDERECT (UR%-SISDERECT) e a umidade relativa obtida pelo HOBO (UR%-HOBO).

Tabela 3 Dados coletados pelo SISDERECT e HOBO, (autor).

Leitura	TC-SISDERECT	UR%- SISDERECT	TC-HOBO	UR%- HOBO
1	25,58	66,2	25,331	62,804
2	26,53	63,4	24,726	64,166
3	26,25	63,82	24,315	65,278
4	26,49	64,02	24,363	65,619
5	26,9	61,76	24,557	64,563
6	27,08	61,36	24,629	63,207
7	27,12	60,2	24,702	62,456

8	27,3	61,65	24,532	64,134
9	27,25	60,92	24,46	64,364
10	27,42	60,71	24,436	64,481
11	27,55	60,16	24,484	64,095
12	27,37	59,24	24,532	62,245
13	27,28	60,26	24,75	61,852
14	27,81	60,16	25,162	61,52
15	28,28	59,17	25,598	60,914
16	28,6	57,9	25,89	59,91
17	28,9	57,39	26,036	59,407
18	29,03	56,93	26,207	58,905
19	28,96	57,57	26,231	58,474
20	28,96	57,03	26,256	58,166
21	28,61	57,76	26,158	58,618
22	28,75	57,55	26,231	58,318
23	29,02	57,54	26,378	58,869
24	29,22	57,51	26,598	58,249
25	29,25	56,25	26,646	56,788
26	29,28	56,7	26,475	57,95
27	29,33	56,33	26,549	57,024
28	29,14	56,92	26,598	56,969
29	29,41	57,02	26,793	56,559
30	29,87	56,54	27,235	56,812
31	30,1	55,03	27,284	55,404
32	30,12	55,79	27,21	56,589
33	30,02	54,78	27,186	56,837
34	29,7	55,45	27,063	55,341
35	29,76	55,84	27,136	56,17
36	30,07	56,36	27,284	56,003
37	30,5	56,36	27,579	57,146
38	30,86	55,44	27,801	55,952
39	30,42	54,35	28,023	53,769
40	30,48	56,11	27,974	54,682
41	30,98	54,59	27,949	55,942
42	31,26	53,35	27,998	55,76
43	31,91	53,15	28,245	55,701
44	31,92	52,94	28,072	54,632
45	31,32	52,03	27,85	54,664
46	31,26	53,45	27,579	56,046
47	31,24	53,13	27,604	56,238
48	31,14	52,7	27,481	55,559
49	31,03	53,73	27,186	55,925
50	30,75	52,9	26,989	56,87
51	30,76	53,77	26,842	56,566
52	30,58	56,19	26,891	58,138
53	30,51	55,63	26,94	57,114

54	30,63	53,81	26,622	56,878
55	30,53	53,74	26,573	60,327
56	30,48	53,73	26,598	59,152
57	30,48	53,76	26,695	60,377
58	30,42	54,14	26,818	61,663
59	30,33	54,88	26,842	57,005
60	30,05	54,85	26,867	59,256
61	30,05	55,68	26,916	58,391
62	30,2	57,71	27,014	58,125
63	30,33	55,47	27,21	58,405
64	30,2	55,7	27,284	57,697
65	30,32	55,72	27,259	57,787
66	30,48	55,11	27,259	55,873
67	30,71	55,42	27,136	56,672
68	30,74	54,46	27,038	55,621
69	30,89	54,47	27,063	57,101
70	30,84	55,54	27,014	55,9
71	30,71	52,92	27,014	56,278
72	30,46	52,44	26,94	54,44
73	30,37	54,93	26,94	55,229
74	30,41	53,93	26,965	56,05
75	30,34	52,98	26,965	56,584
76	30,2	52,65	27,063	57,132
77	30,13	54,24	27,161	53,014
78	30,16	53,62	27,186	54,822
79	30,21	53,63	27,21	54,352
80	30,3	54,15	27,284	53,982
81	30,45	53,41	27,431	54,446
82	30,59	52,67	27,456	55,082
83	30,56	51,76	27,53	52,365
84	30,7	51,81	27,53	52,11
85	30,85	52,66	27,456	51,238
86	30,89	53,3	27,456	51,206
87	30,91	51,27	27,554	52,081
88	30,75	50,98	27,628	53,301
89	30,73	50,13	27,579	54,024
90	30,56	50,53	27,554	54,432
91	30,68	51,74	27,579	53,517
92	30,81	52,31	27,579	50,935
93	30,83	52,41	27,628	52,378
94	30,72	53,07	27,677	52,162
95	30,82	52,59	27,653	52,159
96	30,79	49,64	27,628	52,824
97	30,94	51	27,53	52,811
98	30,97	50,51	27,554	53,164

“ Tabela 3, conclusão”

99	30,95	50,51	27,554	52,05
100	30,9	51,62	27,628	51,549
101	30,83	51,5	27,727	51,85
102	30,67	52,05	27,727	51,626
103	30,67	50,68	27,628	51,868
104	30,78	51,12	27,579	52,404
105	30,91	50,71	27,456	53,245
106	30,99	50,93	27,456	53,372
107	30,92	50,85	27,382	53,489
108	30,91	51,23	27,259	53,472
109	30,82	51,82	27,21	53,465
110	30,76	51,99	27,014	53,501
111	30,67	52,05	26,891	54,18
112	30,58	51,72	26,842	54,615
113	30,43	51,95	26,842	54,679
114	30,25	52,04	26,769	54,573
115	30,11	52,85	26,72	51,936
116	30	53,18	26,671	51,643
117	30	53,11	26,5	53,398
118	29,99	53,04	26,378	54,486

O seguinte gráfico mostra a temperatura lida com a umidade calculada. Como existe uma relação direta entre a umidade e a temperatura calculada, é possível verificar essa relação através das leituras obtidas. TC-SISDERECT refere-se a temperatura em graus Celsius obtida pelo SISDERECT. A umidade relativa é representada através do gráfico por UR%-SISDERECT.

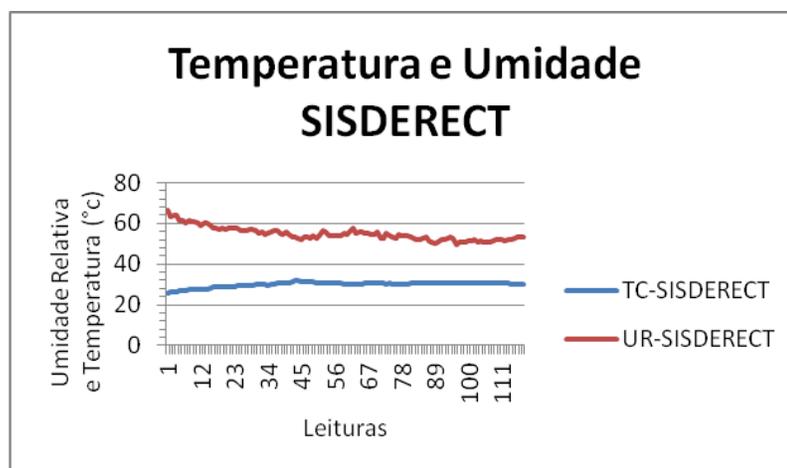


Figura 24 Gráfico de temperatura (°C) e umidade Relativa (%) dos dados obtidos pelo SISDERECT, (autor).

A Figura 28 mostra a temperatura adquirida com a umidade calculada. Como existe uma relação direta entre a umidade e a temperatura calculada, é possível verificar essa relação através das leituras obtidas. TC-HOBO refere-se a temperatura em graus Celsius obtida pelo HOBO. A umidade relativa é representada através do gráfico por UR%-HOBO, figura 25.

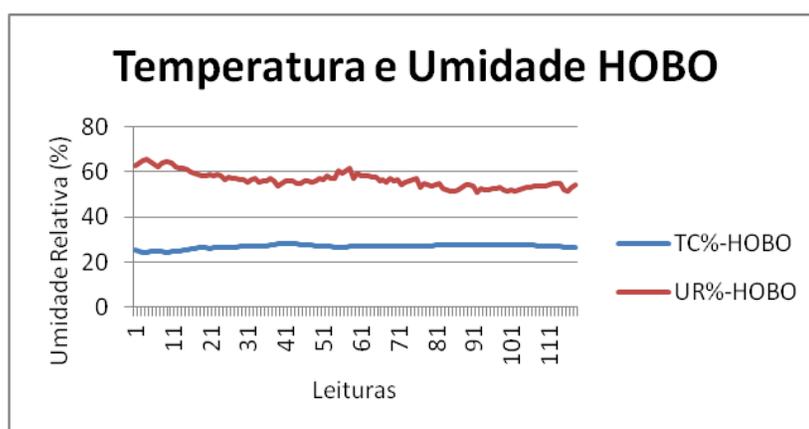


Figura 25 Gráfico de temperatura (°C) e umidade Relativa (%) dos dados obtidos pelo HOBO, (autor).

O mesmo padrão observado pelo SISDERECT entre a temperaturas e a umidade relativa do ar também pode ser confirmado no datalogger HOBO, demonstrando que ambos os equipamentos obtiveram dados que confirmam a tendência inversamente proporcional existente entre temperatura e umidade relativa do ar.

A Figura 26 mostra a relação entre as temperaturas coletadas pelo SISDERECT e HOBO. O mesmo padrão de comportamento em relação à temperatura é o observado em ambos os equipamentos. A diferença entre as leituras de cada equipamento está relacionada à precisão dos sensores utilizados em cada equipamento.

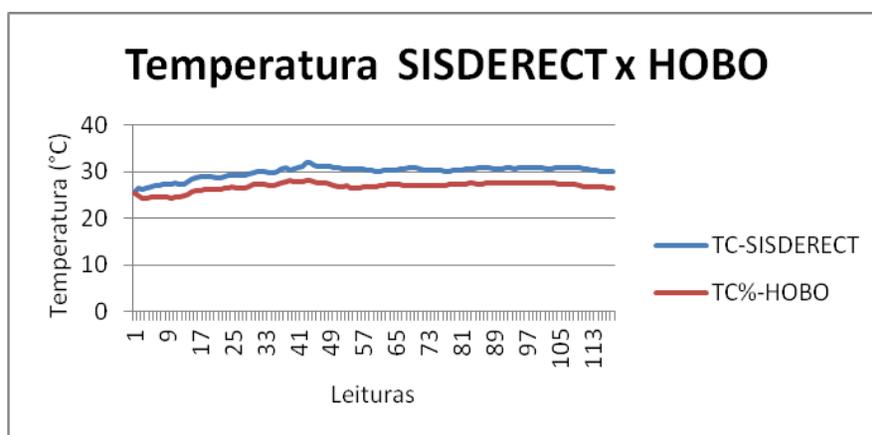


Figura 26 Gráfico de temperatura (°C) , comparando SISDERECT e HOBO, (autor).

A Figura 27 mostra a relação entre as umidades relativas coletadas pelo SISDERECT e HOBO. O mesmo padrão de comportamento em relação à umidade é o observado em ambos os equipamentos.

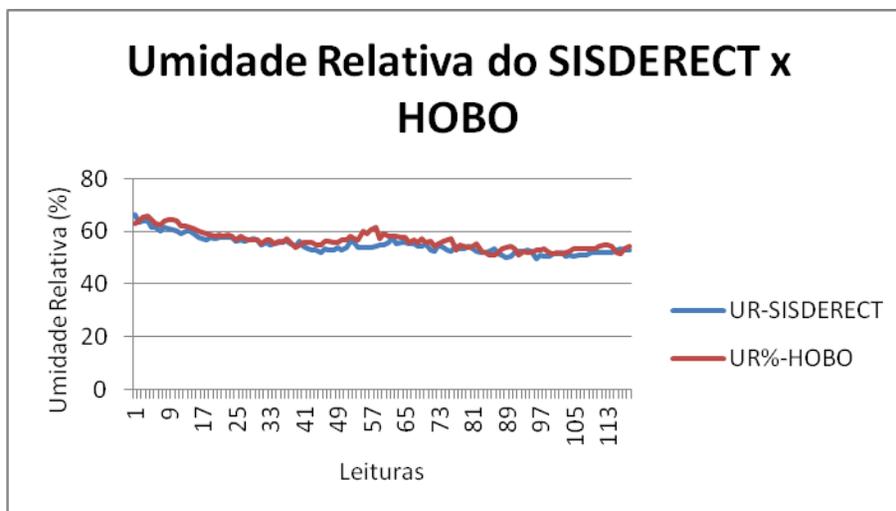


Figura 27 Gráfico de Umidade Relativa , comparando SISDERECT e HOBO, (autor).

5.2 Análise dos dados coletados

Utilizando um software de análise estatística Gretl, foi realizada uma análise de série temporais para os equipamentos HOBO e SISDERECT. O estudo mostrou existir uma tendência entre as leituras obtidas por cada equipamento. A análise indica que uma leitura está correlacionada com a anterior.

Considerando que os dados obtidos por ambos os equipamentos são diferentes devido ao tipo de sensor utilizado, optou-se por realizar análises de correlação entre os dados obtidos por cada aparelho com as leituras anteriores.

Uma alta correlação entre os valores determina que cada equipamento não está realizando medições e obtendo valores aleatórios.

A Figura 28 demonstra o valor de correlação existente entre as leituras de temperatura coletadas pelo SISDERECT. A autocorrelação analisa a leitura atual em relação a anteriores. As primeiras leituras apresentam pequena correlação com a anterior, a correlação aumenta na medida em que um número

maior de dados são analisados e isto pode ser verificado no gráfico da 28 quando a curva de correlação estabiliza.

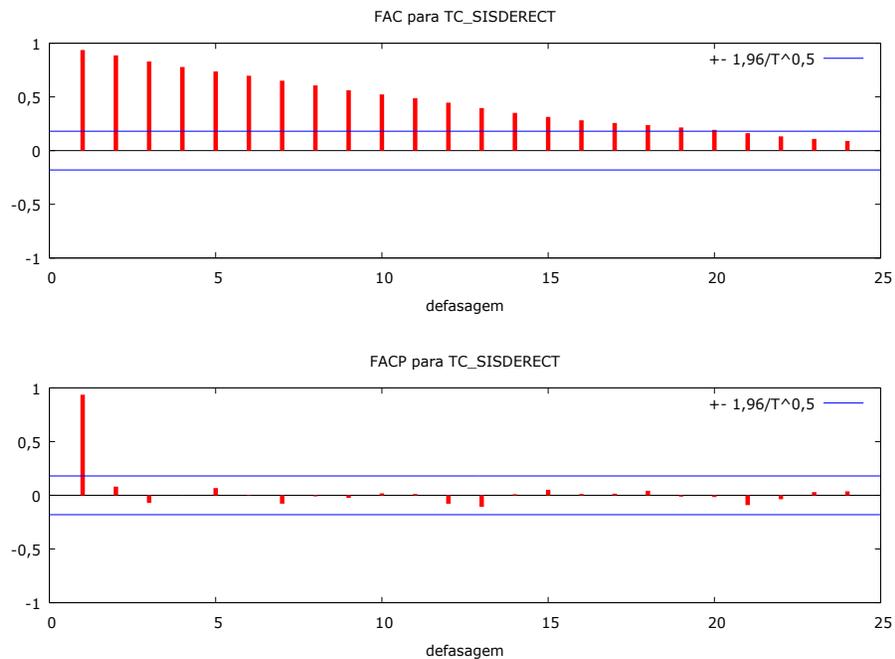


Figura 28 Gráfico da função de autocorrelação de temperatura para o SISDERECT, (autor).

A Tabela 4 mostra os valores de autocorrelação existente entre as temperaturas obtidas pelo SISDERECT. Esta tabela demonstra a autocorrelação entre os valores de temperatura obtidas pelo SISDERECT, determinando que as últimas leituras estão altamente correlacionadas com as anteriores e que o SISDERECT não está obtendo valores aleatórios.

Tabela 4 Tabela de autocorrelação de temperaturas coletadas pelo SISDERECT.

Defas.	FAC		FACP		Estat. Q	[p-valor]
1	0,9363	***	0,9363	***	106,1020	[0,000]
2	0,8866	***	0,0807		202,0655	[0,000]
3	0,8300	***	-0,0713		286,8937	[0,000]
4	0,7784	***	-0,0006		362,1459	[0,000]
5	0,7374	***	0,0677		430,2751	[0,000]
6	0,6970	***	-0,0031		491,7011	[0,000]
7	0,6508	***	-0,0781		545,7302	[0,000]
8	0,6073	***	-0,0103		593,2127	[0,000]
9	0,5620	***	-0,0239		634,2479	[0,000]
10	0,5230	***	0,0182		670,1092	[0,000]
11	0,4881	***	0,0114		701,6403	[0,000]
12	0,4462	***	-0,0787		728,2398	[0,000]
13	0,3961	***	-0,1078		749,3994	[0,000]
14	0,3512	***	0,0096		766,1976	[0,000]
15	0,3137	***	0,0512		779,7269	[0,000]
16	0,2821	***	0,0116		790,7764	[0,000]
17	0,2571	***	0,0154		800,0439	[0,000]
18	0,2374	**	0,0423		808,0234	[0,000]
19	0,2151	**	-0,0125		814,6425	[0,000]
20	0,1931	**	-0,0161		820,0319	[0,000]
21	0,1622	*	-0,0911		823,8701	[0,000]
22	0,1325		-0,0369		826,4587	[0,000]
23	0,1087		0,0299		828,2214	[0,000]
24	0,0895		0,0367		829,4293	[0,000]

A Figura 29 demonstra o valor correlação existente entre as leituras de temperatura coletadas pelo HOBO. Assim como ocorreu com o SISDERECT, o *datalogger* HOBO também apresentou uma alta correlação entres as leituras indicando que o HOBO não obteve leituras de temperatura com valores aleatórios.

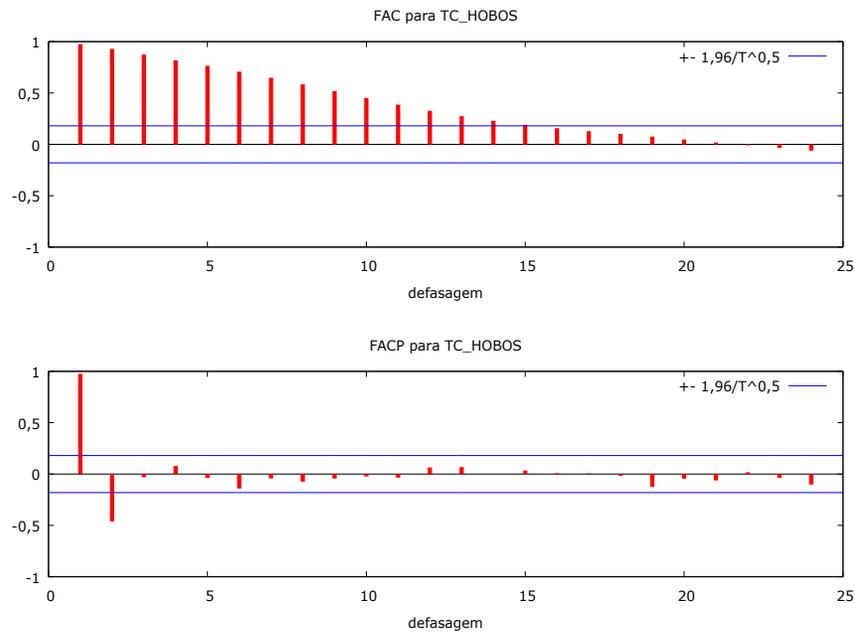


Figura 29 Gráfico de autocorrelação de temperatura para o HOBO, (autor).

Tabela 5 Tabela de autocorrelação de temperaturas coletadas pelo HOBO.

Defas.	FAC		FACP		Estat. Q	[p-valor]
1	0,9756	***	0,9756	***	115,1831	[0,000]
2	0,9295	***	-0,4613	***	220,6374	[0,000]
3	0,8738	***	-0,0305		314,6599	[0,000]
4	0,8184	***	0,0796		397,8478	[0,000]
5	0,7645	***	-0,0383		471,0906	[0,000]
6	0,7081	***	-0,1405		534,4807	[0,000]
7	0,6484	***	-0,0431		588,1171	[0,000]
8	0,5846	***	-0,0740		632,1122	[0,000]
9	0,5185	***	-0,0433		667,0330	[0,000]
10	0,4523	***	-0,0234		693,8501	[0,000]
11	0,3870	***	-0,0348		713,6722	[0,000]
12	0,3269	***	0,0642		727,9448	[0,000]
13	0,2745	***	0,0681		738,1057	[0,000]
14	0,2293	**	0,0000		745,2651	[0,000]
15	0,1909	**	0,0342		750,2775	[0,000]
16	0,1574	*	0,0082		753,7185	[0,000]
17	0,1282		0,0053		756,0218	[0,000]
18	0,1023		-0,0164		757,5041	[0,000]

“Tabela 5, conclusão”

19	0,0756	-0,1251	758,3208	[0,000]
20	0,0478	-0,0453	758,6504	[0,000]
21	0,0182	-0,0614	758,6987	[0,000]
22	-0,0095	0,0174	758,7122	[0,000]
23	-0,0350	-0,0382	758,8943	[0,000]
24	-0,0615	-0,1018	759,4632	[0,000]

A Figura 30 demonstra o valor de correlação existente entre as umidade relativas do ar coletadas pelo HOBO.

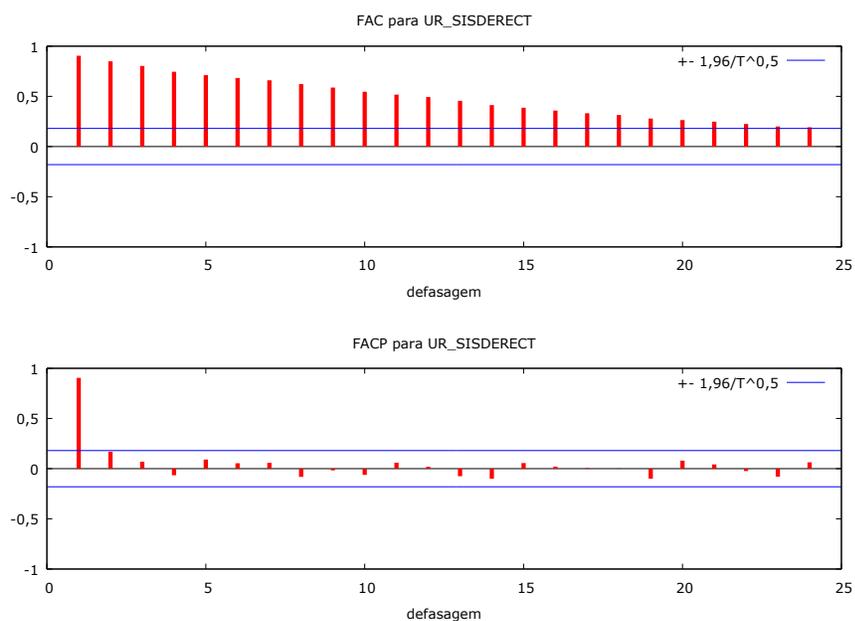


Figura 4 Gráfico de autocorrelação de umidade para o SISDERECT, (autor).

A Tabela 6 mostra os valores de autocorrelação existente entre as umidades relativas obtidas pelo HOBO.

Tabela 6 Tabela de autocorrelação de umidade coletadas pelo SISDERECT.

Defas.	FAC		FACP		Estat. Q	[p-valor]
1	0,9046	***	0,9046	***	99,0275	[0,000]
2	0,8490	***	0,1694	*	187,0207	[0,000]
3	0,8033	***	0,0690		266,4787	[0,000]
4	0,7449	***	-0,0651		335,4084	[0,000]
5	0,7114	***	0,0911		398,8310	[0,000]
6	0,6828	***	0,0538		457,7727	[0,000]
7	0,6600	***	0,0579		513,3328	[0,000]
8	0,6222	***	-0,0819		563,1681	[0,000]
9	0,5877	***	-0,0166		608,0396	[0,000]
10	0,5457	***	-0,0620		647,0770	[0,000]
11	0,5172	***	0,0595		682,4753	[0,000]
12	0,4932	***	0,0183		714,9668	[0,000]
13	0,4552	***	-0,0750		742,9161	[0,000]
14	0,4128	***	-0,1005		766,1217	[0,000]
15	0,3865	***	0,0562		786,6561	[0,000]
16	0,3586	***	0,0202		804,5035	[0,000]
17	0,3317	***	0,0061		819,9242	[0,000]
18	0,3144	***	0,0022		833,9217	[0,000]
19	0,2788	***	-0,1007		845,0368	[0,000]
20	0,2638	***	0,0799		855,0935	[0,000]
21	0,2483	***	0,0417		864,0934	[0,000]
22	0,2247	**	-0,0235		871,5436	[0,000]
23	0,2001	**	-0,0803		877,5095	[0,000]
24	0,1919	**	0,0633		883,0562	[0,000]

A Figura 31 demonstra o valor correlação existente entre as leituras de umidade coletadas pelo HOBO.

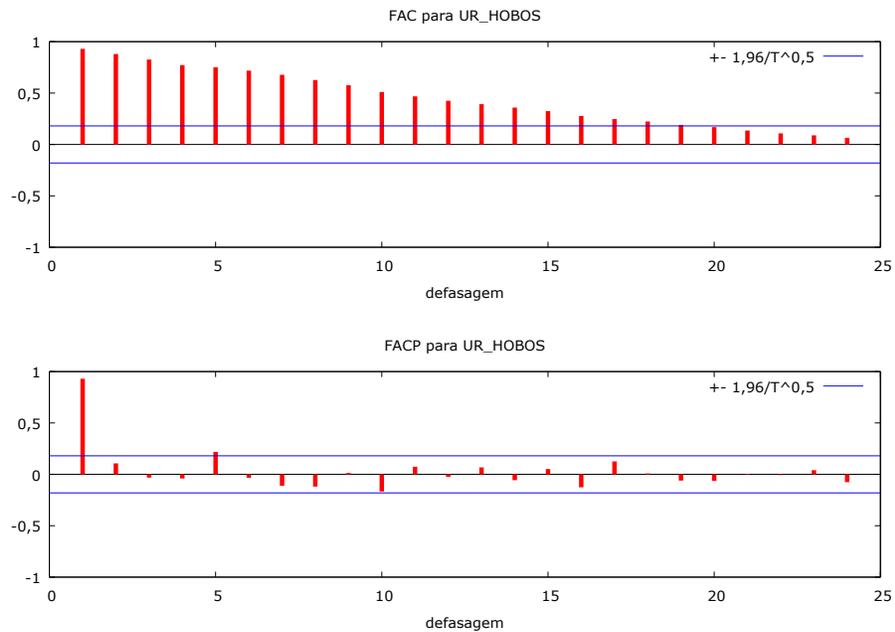


Figura 31 Gráfico de autocorrelação de umidade para o HOBOS, (autor).

A Tabela 7 mostra os valores de autocorrelação existente entre as leituras de umidades relativas obtidas pelo HOBOS.

Tabela 7 Tabela de autocorrelação de umidade coletadas pelo HOBOS.

Defas.	FAC		FACP		Estat. Q	[p-valor]
1	0,9303	***	0,9303	***	104,7314	[0,000]
2	0,8798	***	0,1068		199,2080	[0,000]
3	0,8262	***	-0,0314		283,2502	[0,000]
4	0,7716	***	-0,0398		357,2092	[0,000]
5	0,7505	***	0,2182	**	427,7863	[0,000]
6	0,7184	***	-0,0336		493,0340	[0,000]
7	0,6775	***	-0,1108		551,5894	[0,000]
8	0,6269	***	-0,1191		602,1727	[0,000]
9	0,5762	***	0,0132		645,3061	[0,000]
10	0,5107	***	-0,1666	*	679,4960	[0,000]
11	0,4682	***	0,0738		708,5107	[0,000]
12	0,4252	***	-0,0238		732,6589	[0,000]
13	0,3917	***	0,0674		753,3496	[0,000]

“Tabela 7, conclusão”

14	0,3587	***	-0,0569	770,8669	[0,000]
15	0,3241	***	0,0519	785,3064	[0,000]
16	0,2775	***	-0,1262	795,9959	[0,000]
17	0,2470	***	0,1259	804,5516	[0,000]
18	0,2234	**	0,0086	811,6190	[0,000]
19	0,1903	**	-0,0609	816,7999	[0,000]
20	0,1685	*	-0,0642	820,9016	[0,000]
21	0,1353		0,0047	823,5735	[0,000]
22	0,1082		-0,0070	825,2988	[0,000]
23	0,0886		0,0407	826,4700	[0,000]
24	0,0643		-0,0760	827,0924	[0,000]

A análise de correlação de temperaturas, analisada entre os equipamentos, indicou uma correlação de aproximadamente 87% entre os dados de temperatura, como pode ser observado pela Tabela 8.

Tabela 8 Tabela de autocorrelação de temperaturas entre os equipamentos, (autor).

	<i>Temperatura SISDERECT</i>	<i>Temperatura HOBO</i>
Temperatura SISDERECT	1	
Temperatura HOBO	0,877523364	1

A análise de correlação de umidade relativa, analisada entre os equipamentos, indicou uma correlação de aproximadamente 93% entre os dados de umidade, como pode ser observado pela Tabela 9.

Tabela 9 Tabela de autocorrelação de temperaturas entre os equipamentos, (autor).

	<i>Umidade SISDERECT</i>	<i>Umidade HOBO</i>
Umidade SISDERECT	1	
Umidade HOBO	0,932528997	1

6 CONCLUSÃO

Através do desenvolvimento de um sistema embarcado para determinação remota de índices de conforto térmico foi possível apresentar uma alternativa aos métodos tradicionais de cálculo deste índice de conforto térmico.

O sistema proposto permite realizar o monitoramento em tempo real e remotamente, com o cálculo automático de ITGU, sendo mantido um histórico do conforto térmico de determinado experimento.

Os resultados mostraram uma correlação entre o SISDERECT e o datalogger HOBOS. Indicando existir uma autocorrelação entre os dados obtidos por cada equipamento.

As análises de autocorrelação mostram que embora os dados entre cada equipamento sejam diferentes os dois seguem a mesma tendência. A aferição dos equipamentos em um ambiente controlado de temperatura e umidade poderá indicar o grau de precisão de cada equipamento.

O SISDERECT permitiu que fosse monitorado o índice de conforto térmico, em tempo real, através de uma rede Ethernet.

O desenvolvimento de módulos coletores sem fio irá permitir uma maior flexibilidade no momento do experimento. Tecnologias, como ZigBee, poderão ser utilizadas para o desenvolvimento desses módulos coletores sem fio.

A aferição do SISDERECT em laboratório homologado poderá ser utilizada para determinar a real precisão do equipamento.

REFERÊNCIAS

ANGNES, D.L. **Introdução ao microcontrolador BASIC Step**. São Paulo: Tato Equipamentos Eletrônicos, 2003. Disponível em: <<http://www.tato.ind.br/files/Microcontroladores%20BASIC%20Step1.pdf>>. Acesso em: abr. 2013.

BAÊTA, F.C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season**. 1985. 218 f. Thesis (Ph.D.) -University of Missouri, Columbia, 1985.

BECKER, B.G. Comportamento de aves e sua aplicação prática. In: CONFERÊNCIA APINCO, DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2002, Campinas. **Anais ...** Campinas: APINCO, 2002. p. 81-90.

BEDFORD, T.; WARNER, C. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. **Journal of Hygiene**, Cambridge, v. 34, n. 4, p. 458-473, Dec. 1934.

BOND, T.E.; KELLY, C.F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, California, v. 36, n. 5, p. 251-255, Apr. 1955.

BRIDI, A. M. Instalações e ambiência em produção animal. 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/InstalacaoAmbienciamProducaoAnimal.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

BROOM, D.M. The scientific assessment of animal welfare. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 20, n.1, p. 5-19, July 1988.

BUFFINGTON, C. S.; Collazo-Arocho, A.; Canton, G. H.; Pitt, D.; Thatcher, W. W.; Collier, R. J. **Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows**. **Transactions of the ASAE**, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

BUTTAZZO, G. Research trends in real-time computing for embedded systems. **ACM SIGBED Review**, New York, v. 3, n. 3, p. 1-10, July 2006.

CAMPOS, A.T. **Determinação dos índices de conforto térmico e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa - MG.** 1986. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment.** Westport: AVI, 1978. 358 p. (Environmental engineering in agriculture and food series).

EUROPEAN COMMISSION. **The welfare of cattle kept for beef production.** 2001. 150 p. Disponível em: <<http://www.uni-kassel.de/fb11/tierreg/text/beef-welfare.pdf>>. Acesso em: abr. 2013.

FROST, A.R. et al. Review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.17, n. 2, p.139-159, May 1997.

HAFEZ, E.S.E. **Adaptación de los animales domésticos.** Barcelona: Labor, 1973. 563 p.

HOLROYD, P. Tendências do mercado de carne no novo milênio. Tendency of meat market for the new milenium. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CINCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2000, Campinas. **Anais ...** Campinas: Facta, 2000. p. 93-109.

HURNIK, J.F. Poultry welfare. In: HUNTON, P. (Ed.). **Poultry production.** Amsterdam: Elsevier, 1995. Chap. 23, p. 561-578.

KUEHN, L.A.; STUBBS, R.A.; WEAVER, R.S. Theory of the globe thermometer. **Journal of Applied Physiology**, Ontario, v.29, n.5, p.750-757, Nov. 1970.

LI, Q. **Real Time concepts for Embedded Systems**. San Francisco: CMPBooks, 2003. 294 p.

MATIC, N.; ANDRIC, D. **The PIC microcontroller**. 2000. v. 1. 252 p.
Disponível em: <<http://www.imagazine.com.br/imagazine/picbook/livropic.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2012.

NÄÄS, I.A.; CURTO, F.P.F. Avicultura de precisão. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 1-30.

NÄÄS, I. A.; FIALHO, F. B. Zootecnia de precisão: aplicação na produção de leite. In: SILVA, Iran José Oliveira da. (Org.). **Ambiência na produção de leite em clima quente**. Piracicaba: FEALQ, 1998. v. 1, p. 1-9.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. LM35
PrecisionCentrigradeTemperatureSensors. 2009. 12 p. Disponível em:
<<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/5/LM35.pdf>>.
Acesso em: nov. 2011.

NATIONAL WEATHER SERVICE. National oceanic and atmospheric administration. 1976. Disponível em: <<http://www.weather.gov/livropic.htm>>. Acesso em: 7 jul. 2013.

NOERGAARD, T. **Embedded System Architecture: a comprehensive Guide for Engineers and Programmers**. Oxford: Elsevier, 2005.

PAULA, M. O. P. **Construções rurais e ambiência: índices de conforto térmico**. Alegre: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010. p.2-32.

PEREIRA, N.; BOND, T.E.; MORRISON, S.R. “Pingpong” ballintoblack-globethermometer. **AgriculturalEngineering**, St. Joseph, v.10, n.48, p.341-342, June 1967.

REBELLO JUNIOR, C.J. **Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos baseado no microcontrolador “BASIC Step”**. 2004. 53 p. Trabalho Acadêmico (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SENSIRION THE SENSOR COMPANY. **Humidity & temperature sensor**. 2004. 9 p. Disponível em: <<https://www.eol.ucar.edu/system/files/sht75.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

SOUZA, C.F. **Eficiência de diferentes tipos de bezerreiros, quanto ao conforto térmico, na primavera e no verão em Viçosa - M.G.** 94 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

STALLINGS, W. **Operating systems: internals and design principles**. Boston: Prentice Hall, 2008.

WECHSLER, B. et al. The contribution of applied ethology in judging animal welfare in farm animal housing systems. **Applied Animal Behaviour Science**, Hannover, v. 53, n. 1/2, p. 33-34, May 1997.