UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARCELO EDUARDO DE OLIVEIRA

Desenvolvimento de sistema automatizado de monitoramento
de ambientes de produção animal, utilizando uma rede de
sensores sem fio.

VERSÃO CORRIGIDA

MARCELO EDUARDO DE OLIVEIRA

Desenvolvimento de sistema automatizado de monitoramento de ambientes de produção animal, utilizando uma rede de sensores sem fio.

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Administração do programa em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de concentração: Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rogério Bruno Tech.

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48d Oliveira, Marcelo Eduardo de
Desenvolvimento de sistema automatizado de
monitoramento de ambientes de produção animal,
utilizando uma rede de sensores sem fio. / Marcelo
Eduardo de Oliveira. : orientador Adriano Rogério
Bruno Tech. -- Pirassununga, 2015.
56 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na
Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Produção Animal. 2. Automação De Ambientes. 3.
Rede De Sensores. 4. Avicultura. 5. Climatologia
Aplicada. I. Tech, Adriano Rogério Bruno, orient.
II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Renata, por sempre acreditar em mim, no meu potencial, me impulsionando a ser sempre uma pessoa melhor, com seus conselhos e seu ombro amoroso a me acalmar, além de toda a ajuda prática na realização da minha dissertação, sem as quais eu não conseguiria atingir meus objetivos.

Aos meus filhos Matheus Fernando, Breno Felipe, a minha princesinha Manuella e ao meu lindo bebê Thor por me fazerem sentir o Pai mais feliz do mundo e por compreenderem que muitas vezes a minha ausência é a tentativa de fazer com que tenham sempre algo melhor na vida.

Ao servidor técnico-administrativo da FZEA, incentivador e amigo, Aldo Ivan Cespedes Arce, pela paciência, boa vontade e pelo auxílio na construção da presente dissertação. Sua ajuda foi imprescindível para que ela fosse possível.

A toda equipe do LAFAC pelo companheirismo, apoio e amizade, em especial ao Prof. Dr. Ernane Xavier, por ser motivador e me inspirar a buscar sempre mais.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Adriano Rogério Tech, pela oportunidade, confiança e suporte em todas as etapas envolvidas na conquista desse mestrado.

Gostaria de expressar meus mais profundos agradecimentos a todos que me auxiliaram na confecção deste trabalho, mas também gostaria de agradecer aos docentes envolvidos na criação do curso de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na Indústria Animal, principalmente ao Prof. Dr. Celso da Costa Carrer, pois sem isso, o meu sonho de realizar o curso de Mestrado não seria possível.

Ao CNPq e a Universidade de São Paulo, a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, seus funcionários pelo ambiente criativo e amigável.

“Todas as inovações eficazes são surpreendentemente simples. Na verdade, maior elogio que uma inovação pode receber é haver quem diga: isto é óbvio. Por que não pensei nisso antes?”

Peter Drucker

RESUMO

OLIVEIRA, M.E. **Desenvolvimento de sistema automatizado de monitoramento de ambientes de produção animal, utilizando uma rede de sensores sem fio.** 2015. 56f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

As redes de sensores sem fio, aplicadas à automação do controle de ambientes representam um paradigma emergente da computação, onde múltiplos nós providos de sensores, sistemas computacionais autônomos e capacidade de comunicação sem fio, conformam uma rede cuja topologia altamente dinâmica permite adquirir informações sobre sistemas complexos sendo monitorados. Um dos fatores essenciais para obter um ganho na produtividade avícola é o controle da ambiência animal. Atualmente os métodos utilizados para o monitoramento e controle ambiental não podem considerar a grande quantidade de microambientes internos nos ambientes de produção animal e também requerem infraestruturas cabeadas complexas. Dentro desse contexto o objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar um sistema automatizado de controle ambiental, através da utilização de sensores sem fio, que auxilie e proporcione maior segurança no controle de ambientes automatizados. O sistema monitora variáveis que influenciam na produtividade de aves, tais como temperatura e umidade e outras variáveis físico-químicas do aviário. A infraestrutura desenvolvida foi testada em um aviário experimental e resultou em um sistema seguro e com grande escalabilidade, que é capaz de controlar e monitorar o ambiente e ainda coletar e gravar dados. Foi utilizado o protocolo ZigBee® para gerenciar o fluxo de dados do sistema. Foram feitas análises da eficiência de comunicação do sistema no aviário, monitorando os pacotes de dados perdidos. Os testes demonstraram uma perda de dados de aproximadamente 2% dos pacotes enviados, demonstrando a eficiência das redes ZigBee® para gerenciar o fluxo de dados no interior do aviário. Desta forma, pode-se concluir que é possível e viável a implantação de uma rede ZigBee®, para automatizar ambientes de produção animal com coleta de dados em tempo real, utilizando um sistema integrado via internet, que compreende: instrumentação eletrônica, comunicação sem fio e engenharia de software”.

PALAVRAS-CHAVE: Produção Animal, Automação de Ambientes, Rede de Sensores, Avicultura.

ABSTRACT

OLIVEIRA, M.E. **Development of an automated system for monitoring animal production environments, using wireless sensor networks**. 2015. 56p. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

Wireless sensor networks, applied to automation environments control represent an emerging computing paradigm where multiple nodes equipped with sensors, autonomous computing systems and wireless communication capability, make up a network with a highly dynamic topology allows acquiring information systems complex being monitored. One of the key factors for a gain in the poultry productivity is the control of animal ambience. Currently the methods used for environmental monitoring and control may pass large amount of internal microenvironments in animal production environments and also require complex wired infrastructure. In this context the aim of this study was to develop and test an automated environmental control through the use of wireless sensors that assist and provide greater security in the control of automated environments. The system monitors variables that influence the productivity of birds, such as temperature, humidity and other physical and chemical variables of the aviary. The developed infrastructure was tested in an experimental avian and resulted in a secure and highly scalable system, which is able to control and monitor the environment and still collect and record data. The ZigBee® protocol was used to manage the system data flow. Communication efficiency analyzes were made in the aviary, monitoring the lost data packets. Tests have shown a data loss of around 2% of the packets sent demonstrating the efficiency of ZigBee® networks to manage the data flow within an avian. Thus, one can conclude that it is possible and feasible the implementation of a ZigBee® network to automate animal production environment with real-time data collection using an integrated internet system, comprising: electronic instrumentation, wireless communication and Software Engineering".

Keywords: Animal Production, Environment Automation, Sensor Networks, Poultry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Módulo UBee.	24
Figura 2 - Esquema do sistema de instrumentação em ambiente monitorado de produção animal.	25
Figura 3 – Módulo Arduino UNO Rev. 3.	26
Figura 4 – Aviário Experimental	28
Figura 5 – Planta baixa do aviário e Fachada Principal	29
Figura 6 – Fachada Secundária e Corte AA.	29
Figura 7 – Fachadas Laterais direita e esquerda; e Cortes BB e CC do aviário.	30
Figura 8 – Arquitetura de um modelo de Rede de um e-Science Grid.	31
Figura 9 - O controle ambiental através de sensores e atuadores.	32
Figura 10 – Circuito divisor de tensão com o LDR.	32
Figura 11 - Esquemas dos nós sensores. Fonte: Autoria própria.	33
Figura 12 - Diagrama de blocos do nó atuador.	33
Figura 13 - Diagrama de Fluxo do sensor (A) e o atuador (B) do firmware.	34
Figura 14 – Arquitetura do Software Supervisor.	35
Figura 15 - Contexto Nível DFD- para o software supervisor.	35
Figura 16 - DFD nível 1: Sistema Gestor.	36
Figura 17 - DFD nível 2: Sensores de monitoramento do processo.	37
Tabela 1 - Intervalos de temperatura de acordo com a idade dos frangos de corte	38
Figura 18 – Nó sensor.	40
Figura 19 - Protótipo nó sensor encapsulado.	40
Figura 20 - Esquema elétrico desenvolvido para o nó sensor.	41
Figura 21 – Nó atuador.	42
Figura 22 – Protótipo nó atuador encapsulado.	42
Figura 23 – Esquema elétrico do nó atuador.	43
Figura 24 - Tela de registro da idade dos animais.	44
Figura 25 - Janela principal do Sistema e-LAFAC. (TECH, 2011).	45
Figura 26 – Tela do software de coleta de dados.	45
Figura 27 – Tela do sistema de controle de ambiente (sensores e atuadores).	46
Figura 28 - Imagens do experimento e infraestrutura desenvolvida.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μA	Microampère
$^{\circ}\text{C}$	Grau Centígrado
CE	Fluidodinâmica Computacional
CH_4	Gás metano
CO_2	Dióxido de carbono
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
Eq.	Equação
FFD	Full-Function Devices
GHZ	Gigahertz
IDE	Integrated Development Environment
Kg	Kilograma
LAFAC	Laboratório de Física Aplicada e Ciência Computacional
LAN	Local Area Network
LDR	Light Dependent Resistor
m^2	Metro Quadrado
ms	Micro Segundos
mA	Miliampère
NH_3	Amônia
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-shift Keyng
RFD	Reduced-Function Devices
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
s	Segundos
UCG	Unidade Central Geral
USB	Universal Serial Bus

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. AMBIÊNCIA AVIÁRIA	13
2.2. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO.....	14
2.2.1. ENTALPIA	14
2.3. CONFORTO TÉRMICO PARA AVES DE CORTE.....	15
2.3.1. BEM-ESTAR ANIMAL.....	15
2.3.2. ESTRESSE POR CALOR.....	16
2.4. FATORES CLIMÁTICOS, CONDIÇÕES FISIOLÓGICAS E DESEMPENHO.....	17
2.5. COMPORTAMENTO ANIMAL	19
2.5.1 COMPORTAMENTO DAS AVES.....	19
2.6. INFLUÊNCIA DAS INSTALAÇÕES NO CONFORTO TÉRMICO ANIMAL.....	20
2.7. REDES DE SENSORES SEM FIO	21
2.8. PROTOCOLO ZIGBEE®	22
2.9. MÓDULO U-BEE	23
2.10. INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA.....	24
2.11. ARDUINO	25
3. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	27
3.1. OBJETIVOS GERAIS	27
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1. MODO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA.....	44
6. CONCLUSÕES.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1. Introdução

Um dos desafios do setor produtivo de carne é atender as novas exigências dos consumidores e também atender os critérios e normas da União Europeia, como a resolução CE 820/97, que foi posteriormente substituída pela resolução nº 1760/2000 do Parlamento Europeu. Pensando na qualidade e produtividade da carne consumida, vem à tona uma questão de suma importância: o bem-estar animal (PARLAMENTO EUROPEU, 2015).

A União Brasileira de Avicultura (UBABEF, 2015) afirma que em 2011 a produção brasileira atingiu a marca histórica de 13,058 milhões de toneladas, garantindo ao Brasil uma posição entre os três maiores produtores mundiais de carne de frango, com Estados Unidos e China. Segundo Bellaver (2003), é crescente a produção avícola pelo alto consumo da carne e dos ovos, mas, para que se consiga uma grande produtividade e qualidade no produto é necessária a utilização de sistemas que otimizem o bem-estar animal.

Como a ave apresenta a função de homeotermia, ou seja, tem a característica de manter a temperatura corpórea constante, a temperatura ambiente passa a ser o principal fator que pode afetar essa função. Assim, é necessário que se tenha controle da temperatura nos galpões, principalmente nas fases iniciais de criação, onde o risco de estresse por frio é maior (TINÔCO, 2001).

Segundo Carlos Perdomo (1997), a ave tem melhor desempenho em estações frias, por possuir um sistema termorregulador, que absorve calor melhor do que perde. Principalmente por esse motivo, Zancanaro (2000) utilizou a automação com o objetivo de controlar a climatização dos galpões para engorda de aves, através do acionamento automático de cortinas, ventiladores e nebulizadores.

Os atuais sistemas de monitoramento automatizado monitoram apenas alguns itens da ambiência animal, tomando decisões menos complexas, apenas ligando ou desligando ventiladores, de acordo com a temperatura ambiente ou abrindo e fechando cortinas com a intensidade de variação da luminosidade.

O desenvolvimento proposto neste trabalho é de um sistema automatizado para monitoramento e controle ambiental de galpões de produção animal, utilizando

sensores sem fio, que pode ser utilizado para gerenciar, controlar e monitorar os diferentes ambientes que atuam sobre o desenvolvimento animal (ambientes térmico, aéreo, biológico, físico, acústico e social).

Através da coleta de dados feita pela rede de sensores sem fio, o sistema gestor tomará decisões iniciando ou finalizando o funcionamento de atuadores para criar condições ideais para a produção animal. O sistema gestor a partir de sua base de dados envia os resultados coletados através da web e telefones celulares, permitindo aos gestores a tomada de decisão, em tempo real e de qualquer localização.

Desta forma foi testada a viabilidade da implantação de uma rede ZigBee® para automatizar ambientes de produção animal com coleta de dados em tempo real, utilizando um sistema integrado via internet, que compreende: instrumentação eletrônica, comunicação sem fio e engenharia de software.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Ambiência aviária

Dentre os mais diversos setores produtivos de carne, destaca-se o setor avícola, que se encontra em crescente produção, pelo alto consumo da carne e dos ovos. Na última década, a preocupação com o conforto animal vem crescendo notoriamente, principalmente em relação às respostas fisiológicas como indicadoras da condição de conforto animal (SILVA, 2001).

Conforme Tinôco (2001), a avicultura industrial brasileira passou de uma situação de quase indiferença aos princípios do acondicionamento térmico do ambiente, para uma situação em que cada empresa deve ter políticas próprias relativas à adoção de concepções arquitetônicas e manejos inovadores associados aos sistemas de acondicionamento natural ou artificial.

Segundo Teeter e Belay (1993), se os fatores combinados de temperatura e umidade relativa ultrapassarem os limites da faixa de conforto ambiental, denominada zona termoneutra, a habilidade das aves em dissipar calor é altamente reduzida.

Como a temperatura ambiente é o fator que mais afeta as aves, porque interfere em seu processo homeotérmico, então, ela deve ser ajustada de acordo com a sua idade (BAÊTA; SOUZA, 1997). A temperatura ambiental nos parâmetros de bem-estar de aves aumenta a qualidade e produtividade do sistema de produção (MENEGALI, 2010; NÄÄS et al., 2007).

Moura (2001) afirmou que a produtividade ideal, na avicultura de corte, pode ser obtida, quando a ave é submetida à temperatura efetiva adequada, sem nenhum desperdício de energia, tanto para compensar o frio, como para acionar seu sistema de refrigeração.

Sartori et al. (2001a) estudaram os efeitos da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição do músculo flexor longo de frangos de corte independente do programa de alimentação, e observaram que houve efeito de temperatura para ganho de peso, consumo de ração e conversão

alimentar. Ou seja, a temperatura ambiente afeta o desempenho dos frangos de corte.

De acordo com o projeto de Irene Menegali (2005), o controle do ambiente no interior do aviário é necessário para que se tenha o bem-estar animal associado à qualidade no produto. Com temperaturas dentro dos limites ideais, o consumo de alimentos e água pelos frangos tem melhores resultados.

Para garantir o bem-estar animal é necessário o uso de ventilação, que remove o excesso de umidade, calor e apresenta função relevante, principalmente higiênica, por tirar os gases indesejáveis de dentro do aviário (NÄÄS et al., 2001).

2.2. Índices de conforto térmico

Para determinar níveis de conforto térmico para o ambiente aviário em relação às condições ambientais, diversos índices vêm sendo desenvolvidos. Segundo Moura e Nääs (1993), os índices de conforto térmico apresentam em uma única variável os fatores que caracterizam tanto o ambiente térmico quanto o estresse que tal ambiente pode exercer sobre ele.

2.2.1. Entalpia

A entalpia é um índice físico que pode ser usado para correlacionar temperatura de bulbo seco e umidade relativa a um determinado ambiente, em que para cada estágio de crescimento a produção das aves tem uma situação ideal (ARADAS, 2001).

Segundo Savastano Junior et al. (1997), quanto maior a entalpia maior é o calor existente no ambiente e mais desconfortante é o dia. Assim, o uso do conceito de entalpia para seleção de períodos críticos, permite a avaliação correta da produção e da mortalidade, no caso de situações completamente adversas à zona de termoneutralidade (NÄÄS et al., 1995).

2.3. Conforto Térmico para aves de corte

Os produtores de frangos de corte das regiões tropicais e subtropicais têm enfrentado problemas causados pelo calor, durante os meses quentes do ano. À medida que a ave se desenvolve, diminui sua resistência ao calor (MACARI et al., 2002).

2.3.1. Bem-estar animal

A grande procura dos consumidores por produtos diferenciados e de qualidade superior vem gerando mudanças nos sistemas de criação de frangos (VERCOE et al., 2000). Segundo Blokhuis (2004), o tema bem-estar animal tem sido discutido cada vez mais entre os consumidores europeus. O regime de confinamento total causa estresse intenso, resultando em respostas fisiológicas e comportamentais, que podem causar problemas à saúde e ao bem-estar dos animais (MARIN et al., 2001).

De acordo com o Farm Animal Welfare Council's (FAWC, 1992), os cinco níveis de bem-estar animal dos animais domésticos são:

- Estar livre de fome, sede ou má-nutrição;
- Estar livre de desconforto;
- Estar livre de dor, injúria ou doença;
- Estar livre para expressar seu comportamento normal;
- Estar livre de medo e estresse

O regime de confinamento total, que aperfeiçoa a produção por área, gera um ambiente desfavorável ao bem-estar das aves, podendo promover declínio nos índices produtivos (BOLIS, 2001).

Nas condições brasileiras é comum uma densidade de 12 frangos/m², em média, que são abatidos ao redor de 42 dias de idade com, aproximadamente,

2,30kg. Isso significa 27,60kg de frango/m² no sistema de criação convencional (LIMA, 2005). Moreira et al. (2004) constataram que o aumento da densidade populacional de 10 para 16 aves/m² causa redução no ganho e peso, principalmente na fase final de criação, apesar de não haver diferenças entre as densidades 13 e 16 aves/m².

McInermey (2004) desenvolveu um modelo com parâmetros para avaliação da produtividade em relação ao bem-estar animal, ressaltando o bem-estar como uma necessidade básica do ser vivo.

Hellmeister Filho et al. (2003) declaram que, em um sistema de criação, o bem-estar e a saúde do animal devem ser considerados como critérios principais, pois a produtividade depende diretamente desses fatores.

2.3.2. Estresse por calor

De acordo com Von Borell (1995), estresse é um termo geral que implica em ameaça ao animal, que necessitará realizar ajustes em seu organismo para manter sua homeotermia.

Na zona termoneutra (variável para cada fase de crescimento), o animal alcança seu potencial máximo e a temperatura corporal é mantida com o mínimo uso dos mecanismos de termorregulação. Em condições de estresse térmico, as aves tentam compensar sua reduzida habilidade de dissipar calor latente ativando os processos fisiológicos, responsáveis pela dissipação de calor para o ambiente externo (MOURA, 2001).

Com umidade relativa muito alta, a ave não suporta a elevada temperatura ambiente, o que pode elevar a temperatura corporal e promover a prostração do animal. Mas, quando a temperatura corporal alcança 47°C terá sido alcançado o limite máximo fisiológico vital da ave (NÄÄS, 1994 e RUTZ, 1994). A preocupação aumenta na medida em que a ave envelhece, especialmente nas linhagens mais pesadas, pois a área superficial necessária para a dissipação de calor diminui proporcionalmente com a idade e o peso corporal.

Segundo Lima (2005), aves submetidas a temperaturas ambientais fora da zona de termoneutralidade respondem com comportamentos alimentares e atitudes físicas características como, por exemplo, queda na ingestão de alimento e abertura das asas para aumento da área de superfície corporal, o que facilita as perdas de calor por convecção. Para facilitar a dissipação do calor, um maior fluxo de sangue é desviado para os tecidos periféricos, transportando o calor interno até a superfície da ave, mas apenas 10% do seu corpo não é coberto por penas, sendo esses a crista, a barbeta, as canelas e os pés.

O consumo médio de água, geralmente, corresponde a duas vezes o consumo alimentar. Entretanto, essa relação aumenta para temperaturas extremamente altas. O consumo alimentar é mais crítico no calor, em razão dos níveis mais baixos de ingestão, o que reduz o consumo ideal de nutrientes (LANA et al., 2000).

Resumidamente, as consequências mais importantes na presença do estresse térmico por calor são: queda no consumo de alimentos, menor taxa de crescimento, queda na produção de ovos, maior incidência de ovos com casca mole e menos densa, diminuição da eclodibilidade e maior taxa de mortalidade.

2.4. Fatores climáticos, condições fisiológicas e desempenho

O clima é o fator mais importante a ser considerado na criação dos animais de produção. As adversidades climáticas alteram as condições fisiológicas e ocasionam o declínio na produção animal, principalmente no período de menor disponibilidade de alimentos.

Pereira (2007) apud (BERTOL, 2004) afirmam que fatores ambientais relacionados ao clima e às instalações, técnicas de manejo, nutrição e genética definem o ambiente que circunda o animal, bem como determinam sua capacidade de responder aos estímulos ambientais, que agem de forma interativa e, potencialmente, afetam a qualidade da carne. De acordo com Lima (2005), as condições de criação do frango de corte, como temperatura, estresse calórico e densidade de criação, podem afetar a capacidade de retenção de água da carne.

De acordo com Bermudez (2003), as doenças causadas por agentes infecciosos são complexas e dependentes de vários fatores, dentre os quais está a condição ambiental da granja. Períodos de estresse estão sempre relacionados com a duração e a severidade das doenças, sejam elas de origem genética, metabólica ou infecciosa.

Temperaturas ambientais muito elevadas associadas a altos valores de umidade relativa do ar causam redução no desempenho produtivo. Mas, o distanciamento de temperatura ambiente dos valores próximos à região termoneutra dos animais, perturba o mecanismo termodinâmico das aves de se protegerem dos extremos climáticos, levando ao desperdício de energia (ABREU; ABREU, 2003).

Borges et al. (2003) relatam que entre as respostas fisiológicas compensatórias das aves quando expostas ao calor, inclui-se a vasodilatação periférica. Assim, na tentativa de dissipar mais calor, a ave consegue aumentar sua área superficial mantendo as asas afastadas do corpo, eriçando as penas e intensificando a circulação periférica. A perda de calor não evaporativo, também pode ocorrer com o aumento da produção de urina, se esta perda de água for compensada pelo maior consumo de água fria. A perda de água pode resultar em perda de massa corporal (MACARI et al., 2002).

Outra resposta ao estresse por calor é o aumento da concentração de glicose no sangue em resposta direta à maior secreção de adrenalina, noradrenalina e glicocorticoides (BORGES, 2001).

Na medida em que a temperatura ambiente aumenta, as perdas de calor sensível dos animais por condução, convecção e radiação ficam comprometidas. Segundo Moura (2001), quando a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal das aves (41°C), a eficiência dos meios “secos” de troca de calor decresce.

Borges et al. (2003) concluem que a exposição de frangos de corte à temperatura ambiental elevada resulta em alcalose respiratória, provocando queda de desempenho zootécnico. As aves passam a utilizar a gordura corporal como fonte de energia, já que esta produz menor incremento calórico, que o metabolismo de proteínas e carboidratos presentes na ração. A redução no consumo afeta

diretamente a produtividade do lote, culminando em redução do ganho de peso das aves (MOURA, 2001).

O estresse causado pelo ambiente térmico influencia a produtividade dos animais por alterar sua troca de calor com o ambiente e modificar a taxa de consumo de alimentos, a taxa de ganho de peso e, conseqüentemente, as exigências nutricionais (CURTIS, 1987).

Para Swenson e Reece (1996), muitos fatores podem causar variações na temperatura corporal dos homeotérmicos, como, por exemplo: idade, sexo, temperatura ambiente, alimentação, digestão e ingestão de água.

Quando os animais são expostos a altas temperaturas ambientais, eles são estressados não só pelo aumento da temperatura corporal, mas também pela complexidade dos processos dissipadores de calor, que requerem energia para climatização do ambiente aviário.

2.5. Comportamento animal

Um campo extenso a ser pesquisado e discutido é o do comportamento como ferramenta para indicar o estado de bem-estar dos animais em sistemas de produção. Duncan e Mench (1993) apud Pereira (2007) propuseram que o comportamento pode ser utilizado para identificar estados de sofrimento do animal e, em particular, estados de febre, prostração e dor em vários sistemas de produção.

Um trabalho desenvolvido para avaliação de ferramentas e estratégias para medição do comportamento de animais foi descrito por Donát (1991). Neste trabalho, o autor relata o poder das novas tecnologias e ferramentas disponíveis, tais como câmeras, computadores e softwares, para um considerável aumento da eficiência de trabalhos experimentais para análise de comportamento dos animais.

2.5.1 Comportamento das aves

Tradicionalmente, a avaliação e o controle do ambiente térmico e, conseqüentemente do conforto dos animais criados em condições de confinamento,

são baseados em valores pré-estabelecidos de temperatura e umidade relativa. Entretanto, esta forma tradicional de quantificar o estado de conforto ou desconforto ao qual um animal está submetido não é suficiente para se obter as reais necessidades dos animais (XIN; SHAO, 2005). Para Ferrante et al. (2001), o comportamento animal está ligado ao ambiente de criação e a melhora desse ambiente pode beneficiar a produção.

Durante o estresse térmico, as aves alteram seu comportamento para auxiliar na manutenção da temperatura corporal dentro dos limites normais. Ajustes de comportamento podem ocorrer rapidamente a um custo menor do que os ajustes fisiológicos (PEREIRA et al., 2002).

A observação do comportamento com câmeras de vídeo é uma alternativa barata e eficiente. Os dados podem ser analisados a qualquer tempo, sem os erros cometidos na observação direta e subjetiva de um indivíduo e, sobretudo, sem a interferência no comportamento do animal pela presença humana, como citado por Sergeant et. al. (1998).

Pandorfi (2002) avaliou o comportamento de leitões em diversos sistemas de aquecimento no escamoteador, utilizando o sistema de monitoramento por câmeras de vídeo e, também, por sistema de identificação por radiofrequência e transponders. O autor concluiu que o sistema de monitoramento por radiofrequência apresentou um erro 21% menor na detecção da presença dos animais, em relação às câmeras de vídeo.

2.6. Influência das instalações no conforto térmico animal

Para Nääs et al. (2001), climatizar é adaptar o ambiente interno da construção às condições ideais de alojamento da ave, tendo sempre como parâmetro de referência as condições externas. Atingir o conforto térmico no interior das instalações, face às condições climáticas inadequadas, torna-se um desafio, visto que situações extremas de calor ou frio afetam a produção. A climatização torna-se, então, uma saída estratégica para se criar certa independência do clima externo.

De acordo com PEREIRA (2007), as instalações prediais, maior volume de investimento inicial fixo, são construídas em razão dos custos e facilidades para o

produtor, ficando negligenciado o conforto animal. Uma instalação zootécnica deve visar o controle de elementos climáticos, como: temperatura, umidade relativa, ventilação, insolação, higiene, alimentação e bem-estar, favorecendo assim, a produção e consequentemente o bem estar animal.

O acondicionamento térmico natural, sem o uso de equipamentos para ventilação, nebulização e resfriamento adiabático, tem como recursos: a adequada localização e orientação do galpão, a ventilação natural e o uso de materiais que resistam às mudanças bruscas de temperaturas. Este tipo de acondicionamento por ser mais barato, deve ser buscado antes dos equipamentos de acondicionamento térmico artificial (TINÔCO, 1995).

Para controlar o ambiente de um aviário, a melhor opção é através de sensores acoplados a um sistema eletrônico, pois o controle manual é impreciso e sujeito a erros. A utilização de controle eletrônico minimiza prejuízos, como de gastos desnecessários com energia elétrica, pois os equipamentos de controle seriam ativados somente quando houvesse necessidade (ZANCANARO, 2000).

2.7. Redes de sensores sem fio

O monitoramento e controle de variáveis, tais como: temperatura, umidade, níveis de gases CO₂ e CH₄, níveis de iluminação, dentre outras é fundamental no processo produtivo (Nääs et. al., 2007). Atualmente, o monitoramento e controle dessas variáveis do ambiente aviário é feito por sistemas distribuídos ou barramentos com muitas fiações elétricas, estruturas complexas, altos custos, baixa escalabilidade e difícil manutenção, como descrito por Wang et al. (2006).

As redes de sensores sem fio possibilitam o monitoramento e controle de diversos tipos de ambientes (SILVA, 2005). Estudos indicaram que esta tecnologia pode ser aplicada na produção animal e em outros ambientes agrícolas, onde a característica de processamento ubíquo e a mobilidade dos nós aumentam a precisão da informação sintetizada.

Uma rede de sensores wireless (Wireless Sensor Network WSN) é um conjunto de sensores e dispositivos de transmissão telemétricos, chamados de nós (MIN, 2002). A vantagem do emprego do protocolo Zigbee® é sua alta

escalabilidade, pois possui alta aceitabilidade de nós e necessita de pouca energia para seu funcionamento, por isso, o emprego dessa tecnologia se torna cada vez mais atrativa para as aplicações industriais.

Assim, as redes de sensores sem fio, além de serem alternativas menos dispendiosas, possibilitam o monitoramento e controle de diversos tipos de ambientes, e o emprego já foi largamente estudado para várias áreas de aplicação. Sua viabilidade em ambientes de criação animal se justifica pela característica de processamento ubíquo e mobilidade dos nós deste tipo de rede, com isso a coleta dos dados efetuada por vários sensores simultaneamente garante a precisão da informação (SILVA, 2005).

Uma RSSF é uma rede de pequenos nós computacionais com sensores e dispositivos de comunicação telemétricos, devidamente acoplados (MIN et al., 2002). Um nó sensor em uma RSSF é comumente composto de um microcontrolador, um sistema de transmissão e recepção, usando radiofrequência, uma fonte de alimentação e um ou mais sensores acoplados (ASADA et al., 2000).

O projeto de uma infraestrutura de RSSF é influenciado por muitos fatores dependentes da aplicação como: custo do sistema, ambiente de operação, topologia da rede, consumo de energia, etc. (RUIZ; NOGUEIRA; LOUREIRO, 2003).

2.8. Protocolo ZigBee®

A coexistência dos nós sensores e o fluxo de dados nas redes de sensores sem fio podem ser gerenciados pelo protocolo ZigBee®, que permite a comunicação segura de dados a baixo custo. Este protocolo também dá uma alta escalabilidade à rede de sensores sem fio, porque permite adicionar novos nós sensores sem configurações adicionais (ZigBee Alliance, 2009).

O protocolo ZigBee® baseado no padrão IEEE802.15.4 suporta dois tipos de dispositivos: full – function devices (FFD) e reduced-function devices (RFD). A diferença é que FFD pode agir como roteador para trocar pacotes de dados com outros nós da rede e o RFD é um dispositivo final, que é extremamente simples. Existe também um dispositivo coordenador, normalmente acoplado a uma porta de

entrada do computador. Este protocolo, também confere uma alta escalabilidade à rede de sensores, já que possibilita a inclusão de novos nós sensores sem necessidade de configurações adicionais (KINNEY, 2003).

Protocolo de comunicação é um conjunto de procedimentos, regras ou especificações, que determinam um comportamento ou uma linguagem específica. Em uma rede de dados esse protocolo determina como os nós devem se comportar ou comunicar-se um com os outros. Entre outras coisas, o protocolo é responsável por formatar, garantir a integridade e a transmissão dos dados (GALLO, 2003).

O protocolo ZigBee® permite que uma rede sem fio seja capaz de transmitir os dados de maneira que cada um dos nós da rede possa retransmitir informações provenientes de outros nós, até que essa informação chegue ao destino, ou seja, ele garante a comunicação entre o emissor e o receptor. Por não haver necessidade de atingir grandes distâncias na transmissão de dados, o sistema não necessita de alta potência de transmissão de dados, permitindo que, o equipamento tenha tamanho reduzido e um menor consumo de energia. Nesse equipamento o alcance mínimo de cada nó é de aproximadamente, 10 metros.

Esse protocolo possibilita a aplicação das redes de sensores sem fio, para estabelecer comunicação de dados segura a baixo custo e em diversos tipos de ambientes, dentre os quais podem ser inclusos os de criação animal.

2.9. Módulo U-Bee

O módulo de RF Ubee é um módulo Zigbee que foi desenvolvido para trabalhar sob a especificação IEEE 802.15.4, atendendo às necessidades de baixo custo, baixo consumo de energia e monitoramento de sensores em redes sem fio. O módulo requer mínimo consumo para operação e oferece comunicação e troca de dados entre dispositivos de forma segura. O Ubee trabalha na banda de frequência ISM 2,4GHz. (FRACTUM, 2015). A Figura 1 mostra o módulo Ubee, utilizado neste projeto.

Figura 1 - Módulo UBee.

Fonte: Fractum (2015).

2.10. Instrumentação Eletrônica

Para o monitoramento de ambiente aviário, técnicas de instrumentação eletrônica são essenciais para desenvolver dispositivos capazes de transformar variáveis físicas do ambiente em sinais elétricos que podem ser medidos (NORTHROP, 2005).

A Instrumentação eletrônica, definida como a ciência da medição e controle (EREN, 2006), desenvolve e pesquisa métodos e utilizações possíveis para os instrumentos, que são dispositivos essenciais para medir variáveis físicas em diversas aplicações, tais como: operações industriais, produtos de consumo, monitoramento ambiental, pesquisa e desenvolvimento dentre outros. É responsável por criar dispositivos capazes de transformar as variáveis físicas do ambiente em sinais elétricos, que possam ser mensurados (NORTHROP, 2005). Um sistema de medição tipicamente utilizado em ambientes de produção é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema do sistema de instrumentação em ambiente monitorado de produção animal.

Fonte: Autoria própria

No esquema da Figura 2, o sensor inserido no ambiente do aviário, converte a grandeza física (temperatura, umidade, etc.) em tensão ou corrente elétrica. Este sinal elétrico resultante é normalmente de baixa amplitude e contém artefatos originados por interferências eletromagnéticas e mecânicas, portanto, tem que ser acondicionado, isto é, amplificado e filtrado. Após o acondicionamento, o sinal é digitalizado por um sistema embarcado e transmitido através da rede Zigbee até um servidor, que armazena os dados em um banco de dados e que dispõe de um algoritmo computacional de controle que analisa as medições enviadas pelo instrumento. A resposta programada no sistema de controle pode ser o acionamento de dispositivos atuadores inseridos no processo através da rede Zigbee ou simplesmente, o armazenamento dos dados coletados (NORTHROP, 2005).

2.11. Arduino

Neste projeto foi utilizado o Arduino, como um sistema computacional embarcado, cuja função foi medir a temperatura e a umidade relativa do ar através dos sensores e acionar dispositivos de controle de ambiência por meio dos atuadores.

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source*, que se baseia em hardware e software livre, flexíveis e fáceis de usar. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem *Wiring*, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente *Processing*. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização de várias tarefas, com uso de software específico (ex: *Flash*, *Processing*, *MaxMSP*) (ARDUINO, 2015). A Figura 3 mostra a foto de uma placa Arduino, na versão UNO, semelhante a que foi utilizada neste projeto.

Figura 3 – Módulo Arduino UNO Rev. 3.

Fonte: Arduino (2015).

3. Objetivos da Pesquisa

Este projeto teve por objetivo testar a seguinte hipótese:

É possível e viável a implantação de uma rede ZigBee® para automatizar ambientes de produção de frangos de corte com coleta de dados em tempo real, utilizando um sistema integrado via internet.

3.1. Objetivos Gerais

- Implementar e testar uma rede de sensores ZigBee® para monitoração de um ambiente experimental de produção de frangos de corte.

3.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver um software supervisor para gerenciamento de uma rede ZigBee®.
- Desenvolver o hardware da rede de sensores sem fio.
- Desenvolver o firmware para os nós sensores.
- Integrar o hardware dos nós sensores com os sensores e sistemas atuadores, que são responsáveis por controlar os sistemas de iluminação, temperatura e umidade;
- Testar a rede desenvolvida em um ambiente de criação experimental de frangos de corte.
- Aprimorar o e-Science zootécnico desenvolvido pelo Laboratório de Física Aplicada e Computacional (LAFAC) para proporcionar acesso ao sistema de controle através da internet.

4. Material e Métodos

O Sistema desenvolvido neste experimento vem a integrar o e-Science científico em desenvolvimento no Laboratório de Física Aplicada e Computacional (LAFAC), da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Foram utilizadas tecnologias de comunicação sem fio (wireless) e o protocolo ZigBee®, para implementação de uma rede de sensores sem fio, que permite a aquisição de dados e o controle do ambiente de um aviário experimental.

O sistema foi implantado em um aviário experimental de 5,05 x 6,05 m, com pé direito de 4m, provido de 3 janelas de ventilação de 1,50 x 2,30 m, providas de cortinas de lona retráteis. O aviário utilizado está localizado nas dependências da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, onde todo objeto de estudo desta pesquisa foi aplicado e testado.

O aviário possui a capacidade para alojar 320 pintinhos, sendo que os mesmos são alocados em 40 gaiolas metabólicas de arame galvanizado (0,9m x 0,7m x 0,5m), com bebedouro automático tipo “nipple” reguláveis, comedouro tipo calha e bandeja para coleta de excretas.

A Figura 4 mostra a foto do aviário onde foi desenvolvido o experimento.

Figura 4 – Aviário Experimental

Fonte: Autoria Própria

As Figuras 5, 6 e 7 mostram a planta baixa do aviário, a fachada principal, a fachada secundária e as fachadas laterais, direita e esquerda.

Figura 5 – Planta baixa do aviário e Fachada Principal

Fonte: Prefeitura do Campus USP "Fernando Costa" (PUSP-FC)

Figura 6 – Fachada Secundária e Corte AA

Fonte: Prefeitura do Campus USP "Fernando Costa" (PUSP-FC)

Figura 7 – Fachadas Laterais direita e esquerda; e Cortes BB e CC do aviário.

Fonte: Prefeitura do Campus USP "Fernando Costa" (PUSP-FC)

Segundo Tech (2011), e-Science pode ser definido como a colaboração global em áreas fundamentais da ciência através do compartilhamento, geração de pesquisas, discussões de resultados e ideias de uma maneira mais específica e efetiva, permitindo a integração entre as diversas área do saber.

Na Figura 8 pode ser observado um ambiente colaborativo e-Science, onde os dados são disponibilizados em uma nuvem para serem acessados por vários pesquisadores, utilizando tecnologias variadas.

Segundo Tech (2011), “este sistema é composto por três ferramentas básicas, que são: o repositório de dados (Data Warehouse), um editor de Metadados e uma ferramenta de busca, além da possibilidade de inserção de uma quarta ferramenta, o Data Mining, que permite a extração de padrões escondidos”. Portanto, e-Science tem como premissa básica a colaboração global entre áreas da ciência, permitindo a geração, análise, compartilhamento e discussões de insights e resultados obtidos em experimentos.

Figura 8 – Arquitetura de um modelo de Rede de um e-Science Grid.

Fonte: Adaptado de: Lican, Zhaohui e Yunhe (2003).

O desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle ambiental do aviário consiste de uma rede de sensores sem fio ZigBee®, com nós FFD, que coletam dados de temperatura, umidade e iluminação. O sistema pode interferir sobre o ambiente monitorado através de ventiladores, cortinas automatizadas, aquecedores elétricos e um sistema de nebulização. Todos estes dispositivos são controlados por nós atuadores ZigBee® FFD, que respondem a comandos enviados por um nó coordenador da rede, como mostra a Figura 9.

Foram utilizados nós sensores UBEE da Fractum® (FRACTUM, 2015) para desenvolver o hardware de rede. Esses nós usam tecnologia *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) e também, a tecnologia *Offset Quadrature Phase-shift Keying* (O-QPSK) modulação sobre faixa de 2,4 GHz.

A Figura 9 descreve o modelo proposto e desenvolvido nesta pesquisa.

Figura 9 - O controle ambiental através de sensores e atuadores.

Fonte: Tech (2011).

Para mensurar a iluminação do ambiente foi utilizado um LDR (*light dependent resistor*), que é um componente passivo, cuja resistência varia em função da intensidade luminosa que incide sobre sua superfície. O LDR foi ligado em um circuito divisor de tensão, cuja voltagem de saída é variável, em função da iluminação, sendo que a mesma foi acoplada ao conversor analógico/digital de 10 bits, em uma placa Arduino, modelo UNO. A Figura 10 mostra o circuito divisor de tensão utilizado para acoplar o LDR.

Figura 10 – Circuito divisor de tensão com o LDR.

Fonte: Autoria própria

Para medir a temperatura e a umidade no interior do aviário foi utilizado o sensor DHT22, que é um componente que possui internamente um sensor de umidade capacitivo e um termistor. O DHT22 efetua medições de temperatura entre -40 e 125°C, e umidade entre 0 e 100%. O sensor foi escolhido por ser de baixos custo e consumo de corrente (2,5 mA, durante as medições entre 100 e 150 μ A em standby). Nesse sensor, o intervalo recomendado entre medições é de 2 segundos, segundo o *datasheet* Eletroschematics (2015).

A Figura 11 mostra o diagrama de blocos do nó sensor FFD desenvolvido.

Figura 11 - Esquemas dos nós sensores.

Fonte: Autoria própria

Os nós atuadores foram desenvolvidos, utilizando dispositivos Ubee ZigBee®, uma placa Arduino e um relê acionado por 12VDC e corrente máxima nos contatos de saída de 10A. A Figura 12 mostra o diagrama de blocos do nó atuador.

Figura 12 - Diagrama de blocos do nó atuador.

Fonte: Autoria própria

O nó coordenador é um nó especial, que foi acoplado ao servidor web. Foram utilizados dispositivos de hardware USBee e UBEE da Fractum (FRACTUM, 2011). O módulo USBee é uma interface que permite conectar um módulo Ubee a uma porta USB do computador, fazendo o papel de estação base. Neste projeto, o módulo USBee foi acoplado à porta USB de um computador, onde foi configurado um servidor Web Apache e, onde foi instalado o software supervisor da rede Zigbee.

Também foram desenvolvidos os softwares embarcados e o supervisor. Utilizou-se o IDE Arduino para desenvolver o firmware embarcado para os microcontroladores atmega328 das placas Arduino, cujo diagrama de fluxo é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Diagrama de Fluxo do sensor (A) e o atuador (B) do firmware.

Fonte: Autoria própria

O software supervisor consiste de uma interface visual desenvolvida usando a IDE NetBeans 8.0.2. A linguagem de programação orientada a objetos Java foi usada para dar escalabilidade ao projeto de software. O banco de dados MySQL armazena os dados recebidos a partir dos nós sensores, o estado dos dispositivos atuadores e os parâmetros de configuração do sistema. A Figura 14 ilustra a arquitetura do software supervisor.

Figura 14 – Arquitetura do Software Supervisor.

Fonte: Tech (2011).

Como mostrado na Figura 14, o software supervisor foi estruturado em quatro camadas: camada de comunicação, camada de visualização, camada de análise de dados e camada de persistência.

A camada de comunicação possibilita a comunicação entre o software supervisor e os softwares embarcados nos nós sensores, através do módulo USBee acoplado à porta USB do computador. A camada de visualização implementa a interface gráfica do sistema. A coerência dos dados recebidos (enviados pelos nós sensores) é analisada pela camada de análise de dados e a camada de persistência é responsável pelo armazenamento dos dados recebidos no banco de dados MySQL.

A Figura 15 mostra o Contexto Nível DFD- para o software supervisor.

Figura 15 - Contexto Nível DFD- para o software supervisor.

Fonte: Tech (2011).

Neste contexto, o sistema monitora o ambiente em estudo e age sobre as alterações observadas, a fim de satisfazer uma necessidade programada. Ele também interage com o usuário ou operador através de um conjunto de entradas digitadas no painel de controle.

A informação obtida a partir da análise dos modelos existentes nos requisitos é refinada, gerando, assim, mais detalhes e processos existentes para serem controlados e implementados. Assim, novos DFD's são gerados com especificações mais detalhadas sobre os processos existentes.

Os níveis DFD 1 e 2 nos permitem entender melhor a unidade central geral (UCG) e o desempenho do processo dos nós sensores, como indicado nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 - DFD nível 1: Sistema Gestor.

Fonte: Tech (2011).

Figura 17 - DFD nível 2: Sensores de monitoramento do processo.

Fonte: Tech (2011).

Dessa forma, avaliando o DFD nível 2, referente ao monitoramento dos sensores, pode-se observar que os dados provenientes da coleta chegam ao sistema UCG por um caminho de entrada e deixam-no por dois caminhos distintos ou saída, conforme Figura 17.

Para o dimensionamento e melhor controle do sistema sobre o ambiente monitorado foi necessário incorporar ao software a capacidade de configuração do módulo de controle, o qual é responsável por configurar as temperaturas e umidades no ambiente, de acordo com a idade das aves alojadas nesse aviário, para que o sistema possa controlar e garantir com isso, um conforto térmico ideal para que elas possam alcançar a máxima produtividade.

Segundo Abreu e Abreu (2011), os parâmetros de controle devem estar dentro dos limites ideais para a produção avícola, conforme Tabela 1, que variam de acordo com a idade dos animais, ou seja, para cada estágio de vida têm-se a necessidade de reconfiguração do sistema, para a adequação do melhor conforto.

Tabela 1 - Intervalos de temperatura de acordo com a idade dos frangos de corte.

Idade (semanas)	Temperatura (°C)
1	32 – 35
2	29 – 32
3	26 – 29
4	23 – 26
5	20 – 23
6	20
7	20

Fonte: Abreu e Abreu (2001).

Segundo Agrocerees (1997), a umidade relativa deve permanecer entre 50 e 70%, sendo que durante os 10 primeiros dias de criação, ela deve permanecer em entre 65-70%, o que ajudará a prevenir a desidratação das mucosas dos pintos, bem como reduzir os riscos de doenças cardíacas ou pulmonares. Umidade acima de 80% pode causar problemas como o aumento de fezes, que ocasionam escurecimento das penas e aumentam a concentração de gases e odores no interior do aviário.

O sistema desenvolvido utiliza ventilação natural e ventilação forçada através de ventiladores e nebulizadores; todos com controle automático por meio do software gestor.

Uma vez coletados os dados, o sistema interage com o ambiente e controla a temperatura, umidade e iluminação através dos atuadores, que servem como reguladores do meio ambiente, permitindo assim, que o sistema ligue ou desligue um aquecedor, um ventilador ou até mesmo, abra ou feche uma cortina.

Para testar o desempenho da rede no ambiente do aviário foram feitos alguns experimentos envolvendo a transmissão de pacotes de dados. Um aviário experimental com infraestrutura comum foi equipado com o sistema desenvolvido. A perda de pacotes de dados foi monitorada e o bom funcionamento do equipamento ligado aos nós atuadores foi conferido.

O problema de colisão de pacotes foi estudado a partir da probabilidade de acontecer tal colisão. Para isso foram transmitidos vários pacotes de 8 bytes de dados, com um tempo de transmissão de 600ms por pacote e intervalo de 5,6s entre

as transmissões. A probabilidade de colisão ($C_{colisão}$) entre dois transmissores pode ser estimada pela Eq. (1).

$$C_{colisão} = \frac{600 \text{ ms}}{5,6 \text{ s}} = 0,107 \quad (1)$$

5. Resultados e Discussões

A Figura 18 mostra o protótipo do nó sensor utilizado em laboratório para efetuar os ensaios de comunicação; a Figura 19 mostra o nó sensor encapsulado para instalação no aviário e a Figura 20, o esquema elétrico desenvolvido para a construção do módulo.

Figura 18 – Nó sensor.

Fonte: Autoria própria

Figura 19 - Protótipo nó sensor encapsulado.

Fonte: Autoria própria

Figura 20 - Esquema elétrico desenvolvido para o nó sensor.

Fonte: Autoria própria

A Figura 21 mostra o protótipo montado em laboratório para testar o circuito dos nós atuadores (ventoinha simulando um ventilador) e a Figura 22 mostra o protótipo encapsulado do módulo, referente ao atuador, pronto para ser instalado no avião.

Figura 21 – Nó atuador.

Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Protótipo nó atuador encapsulado.

Fonte: Autoria própria

5.1. Modo de operação do sistema

Inicialmente, o usuário deve registrar os parâmetros para o ciclo de produção. Isto pode ser feito através de uma interface visual (Figura 24) no software supervisor, que permite a inserção de parâmetros de temperatura, umidade e iluminação. Estes parâmetros são diferentes, de acordo com a fase de produção (idade das aves).

Uma vez que o software supervisor foi configurado, a rede ZigBee® é inicializada e o coordenador permite que todos os nós registrem suas funções específicas, ou seja, o software supervisor registra o código do nó e verifica se o nó é um sensor ou atuador. Depois disso, o algoritmo de controle envia comandos de “requisição de dados” para os nós sensores e comandos "liga ou desliga" para os nós atuadores.

Figura 24 - Tela de registro da idade dos animais.

A interface 'FAIXA DE IDADE' apresenta os seguintes elementos:

- Dois campos de texto rotulados 'Idade' com sub-rotulagem 'Início' e 'Término'.
- Dois campos de texto rotulados 'Unidade' e 'Temperatura'.
- Um campo de texto rotulado 'Umidade'.
- Um menu suspenso rotulado 'Tipo de animal'.
- Três botões de ação: 'Salvar', 'Limpar' e 'Sair'.

Fonte: Autoria própria

A Figura 24 mostra a tela de cadastro do software gestor, onde são cadastradas informações como idade, umidade e temperatura.

Um ponto interessante do sistema é o controle automático do ambiente, que pode ser configurado utilizando os parâmetros cadastrados no sistema gestor com o conforto térmico desejado, isto é, o gestor informa ao sistema quais as condições necessárias para manter ou promover um aumento da produtividade.

A Figura 25 mostra o portal web que permite acesso remoto ao software supervisor, que faz parte do sistema e-LAFAC (TECH, 2011).

Figura 25 - Janela principal do Sistema e-LAFAC. (TECH, 2011).

Fonte: Autoria própria

A Figura 26 mostra a tela inicial do software desenvolvido para controlar a temperatura e a umidade do local e pode ser acessada através da web. Na tela constam informações coletadas em tempo real no ambiente monitorado.

Figura 26 – Tela do software de coleta de dados.

Fonte: Autoria própria

A Figura 27 ilustra a tela de controle dos nós sensores e dos atuadores, permitindo de maneira fácil, controlar o ambiente monitorado.

Figura 27 – Tela do sistema de controle de ambiente (sensores e atuadores).

Fonte: Autoria própria

Os dados foram coletados e automaticamente armazenados pelo software, bem como identificado o sensor responsável pela coleta.

Cada dado recebido foi registrado no banco de dados, contendo a medida realizada pelo nó sensor ou o estado do atuador e seus respectivos códigos de identificação, que permitem determinar sua localização geográfica, dentro do aviário.

A Figura 28 mostra as fotografias tiradas do ambiente monitorado, durante o experimento.

Figura 28 - Imagens do experimento e infraestrutura desenvolvida.

Fonte: Autoria própria

Durante o teste de colisão de pacotes, mais de 98% dos pacotes de dados foram corretamente recebidos e a redundância garantiu o funcionamento dos atuadores e sensores com segurança.

A instalação dos nós sensores e atuadores, dentro do aviário experimental foi bastante simples, uma vez que foram utilizados pontos de alimentação de energia elétrica que já estavam disponíveis no ambiente. Quanto aos dispositivos de controle ambiental (ventiladores e nebulizadores), bastou ligar um nó atuador à tomada elétrica, onde tais aparelhos eram alimentados e o sistema de atuadores estava pronto para uso.

6. Conclusões

A tecnologia desenvolvida notoriamente simplificou as tarefas de instalação e manutenção e permitiu otimizar o nível de automação do ambiente de produção animal, o que pode resultar em uma diminuição de custo operacional.

Implementando pequenas alterações no sistema pode-se adicionar outros tipos de sensores para monitorar variáveis importantes, como níveis de NH_3 e de CO_2 , fazendo com que o sistema possa ser adaptado para automatizar outros ambientes de produção animal.

Concluimos que a tecnologia ZigBee® pode ser aplicada em ambientes de produção animal e pode aumentar a produtividade do sistema produtivo, uma vez que os dados coletados no ambiente de produção são precisos. De acordo com a demanda, facilmente pode-se anexar mais sensores e atuadores ao sistema de ventilação, umidade e iluminação.

Esta solução computacional está sendo incorporada ao e-Science Zootécnico (e-Lafac) e, posteriormente, será testada em ambientes de produção de frangos em grande escala. Também serão integradas tecnologias de monitoramento remoto e armazenamento em nuvem para criar um ambiente colaborativo e-Science de climatologia aplicada, cujo foco será objeto de estudo em projetos futuros.

7. Referências Bibliográficas

ABREU; V. M. N.; ABREU, P. G. **Diagnóstico bioclimático para a produção de aves no Oeste paranaense**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Anais... Foz do Iguaçu: UNIOESTE/SBEA, 2001. 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/agraria/article/view/12513/8654>> . Acesso em: 21 de dezembro de 2015.

ABREU, V. M. A. & ABREU, P. G. **Diagnóstico Bioclimático para Produção de Aves na Meso-região Centro Sul Baiano**. Embrapa Suínos e Aves, dezembro de 2003.

ARADAS. M. E. C., **Avaliação do controle do ambiente em galpões de frangos de corte criados em alta densidade**. 2001. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Univesidade Estadual de Campinas, 2001.

AGROCERES, **Manejo dos pintos**. In: Manual de manejo de frango de corte AGROSS, Rio Claro - SP, p. 9-13, 1997.

ARDUINOECIA. (2015, dez 15). **Sensor de temperatura e umidade DHT22**. Disponível em <<http://www.arduinoecia.com.br/2015/02/sensor-de-temperatura-e-umidade-dht22.html>>

ASADA, G. et al. **Wireless integrated network sensors (WINS)**. Proc. of SPIE, no. 3673, p.11-18, 2000.

BAÊTA, F. C., SOUZA, C.F., **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 246 p. 1997.

BELLAVER, C., 2003 **Visão do produtor de rações sobre a qualidade dos grãos destinados à produção de carne de frangos**. Disponível em <<http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Tese%20de%20Irene%20Menegali2005.pdf>>.

BERMUDEZ, A. J. **Priciples of disease prevention: diagnosis and control**. In: SAIF, Y. M. Diseases of poultry. 11. Ed. Ames: Iowa State Press, p. 3-55. 2003.

BERTOL, T. M. **Estresse pré-abate: consequências para a sobrevivência e a qualidade da carne em suínos**. 2004. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/?/atigos/2004/artigo-2004-n004,html>>. Acesso em dezembro de 2015.

BLOKHUIS, J. J. **Recent developmentes in european and internacional welfare regulations**. World's Poultry Science Journal, Wallingford, v.60, n.4, p. 469-477, 2004.

BOLIS, D. A. **Biodiversidade na criação alternativa de frangos**. In: Conferência APICO de Ciência e Tecnologia Avícola. Anais. Campinas. 2001.

BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; SILVA, A. V. F. **Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 975 – 981, set. – out., 2003.

BORGES, S. A. **Balanço eletrolítico e sua interrelação com o equilíbrio ácido-base em frangos de corte submetidos a estresse calórico**. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. 2001.

CURTIS, S. E., **Enviromental mangement in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University, p. 403, 1987.

DUNCAN, I. J. H. & MENCH, J. A. **Behaviour as Indicator of Welfare in Various Systems**. Alternative Housing Systems. Basic Biology and Welfare. p. 69-76, 1993.

DONAT, P. Measuring Behavior: **The Tools and the Strategies**. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, St. Andrews/UK, v. 15, p 447-454, 1991.

ELETROSSCHEMATICS. (2015, dez 17) **Sensor de temperatura e umidade DHT22**. Disponível em <<http://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2015/02/DHT22-datasheet.pdf>>.

EREN, H. **Wireless sensor and instruments**. Boca Ration: Taylor & Francis, 2006.

FAWC – FARM Animal Welfare Council's. **FAWC updates the five freedoms. Veterinary Record**, v. 131, n. 357, 1992. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc>>. Acesso em dezembro de 2015.

FERRANTE, V. et al. **Behaviour reactions, semen quality and testosterone levels in cocks: genetic implications**. Animal Welfare, v.10, n.3, p269-279, 2001.

FRACTUM.(2015, dez 15). **Módulo RF U-BEE Protocolo IEEE 802.15.4 REV 01**. Available: <http://www.fractumrf.com/manuais/UBEE_REV11.pdf>

GALLO, M. A.; HANCOCK, W. M. **Comunicação entre computadores e tecnologias**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HELLMEISTER FILHO, P. et al. **Efeito de genótipo e do sistema de criação sobre o desempenho de frangos tipo caipira**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa/MG, v.32,n. 6, p. 1883-1889, 2003.

KINNEY, P. ZigBee Technology: **Wireless Control that Simply Works**. ZigBee Alliance, 2003. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/>>. Acesso em: 17 dez. 2015.

LANA, G. R. Q. **Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição da carcaça de frangos de corte**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa/MG, v.29, n. 4, p. 1117-1123, 2000.

LICAN, Huang; ZHAOHUI, Wu; YUNHE, Pan. **Virtual and dynamic hierarchical architecture for e-Science grid**. The International Journal of High Performance Computing Applications, v. 17, n. 3, p. 329-347, Fall 2003.

LIMA, A. M. C. **Avaliação de dois sistemas de produção de frango de corte: uma visão multidisciplinar**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiente)). Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2005.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2002.

MARIN, R. H. et al. **Effect of an acute stressor on fear and on the social reinstatement responses of domestic chicks to cagemates and strangers**. Applied Animal Behavior Science, v. 71, n. 1, p.57-66, 2001.

MCINERMEY, J. **Animal welfare, economics and policy: report on a study undertaken for the farm & animal health economics**. Division of DEFRA: Londres, 2004.

MENEGALI, I., 2005. **Diagnóstico da qualidade do ar na produção de frangos de corte em instalações semi-climatizadas por pressão negativa e positiva, no inverno, no sul do Brasil**. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Tese%20de%20Irene%20Menegali2005.pdf>>. Acesso em 17 de dezembro de 2015.

MIN, R. et al. **Energy-centric enabling technologies for wireless sensor networks**. IEEE Wireless Communications. USA, v.9, n.4, p. 28-37, 2002.

MOREIRA, J. et al. **Efeito da densidade populacional sobre desempenho, rendimento de carcaça, e qualidade da carne em frangos de corte de diferentes linhagens comerciais**. Revista Brasileira de Zootecnia, Brasília, v. 33, n. 6, p. 1506-1519, 2004.

MOURA, D. J. **Ambiência na Produção de Aves de Corte**. In: SBEA. **Ambiência na Produção de Aves em Clima Tropical**. 1 ed. Piracicabacaba-SP, ESALQ/USP, v. 2, p.75-149, 2001.

MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A. **Estudo comparativo de índices de conforto térmico na produção de animais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22. Ilhéus, 1993. Anais... Ilhéus/BA: SBEA – CEPLAC, v.1, p. 42-46, 1993.

NÄÄS. I. A. **Aspectos físicos da construção no controle térmico do ambiente das instalações**. In: Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, Santos/SP, Anais... p. 167, 1994.

NÄÄS. I. A.; MOURA, D. J.; LAGANÁ, C. A. 1995. **A amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte**. In: Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas. Anais. Campinas,/SP, FACTA. P. 203-4. 1995.

NÄÄS I. A., MIWA Y. M., MARTA D. S. B., DANIELLA J. M. . **Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases**. Engenharia Agrícola, Ago 2007, vol.27, no.2, p.326-335.

NÄÄS, I.A., MIRAGLIOTTA, M.Y., ARADAS, M.E.C., SILVA, I.J.O., BARACHO, M.S. **Ambiência na produção de aves em clima Tropical**. Editado por Iran Jose Oliveira da Silva. Piracicaba-SP, 2001. 200p. v.1.

NORTHROP, R.B. **Instrumentation and Measurements**. 2th. ed. USA: Taylor & Francis Group, 2005. Arduino; Definição Arduino. Disponível em <<http://playground.arduino.cc/Portugues/HomePage>>

PANDORFI, H. **Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba/SP, 2002.

PARLAMENTO EUROPEU, 2015. **Resolução CE 820/97 e Resolução nº 1760/2000**. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2013-0363+0+DOC+XML+V0//PT>>. Acesso em 27 de Março de 2015.

PERDOMO, C., 1997. **Isolamento Térmico de Aviários**. Avicultura industrial, Porto Feliz – SP, v.87, n. 1042, p. 18-20

PEREIRA, D. F. et al. **Determinação de um padrão de uso de bebedouro em função da temperatura para matrizes pesadas**. Revista Brasileira de Ciência Avícola, Campinas/SP, Suplemento 4, p.79, 2002.

PEREIRA, Camila Lúcio. **Avaliação do conforto térmico e do desempenho de frangos de corte confinados em galpão avícola com diferentes tipos de coberturas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-13072007-142228/>>. Acesso em: 2015-12-09.

RUTZ, F. **Aspectos fisiológicos que regulam o conforto térmico as aves**. Conferência APINCO. Anais, p. 99-110. Santos/SP, 1994.

SARTORI, J. R.; GONZALES, E.; DALPAI, V. **Effect of Enviromental Temperature and Feed Restriction on the Performance and Composition of the Skeletal Muscle Fibers in Broilers**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa/MG, v. 30, n. 6, p. 1779-1790, 2001a.

SAVASTANO JUNIOR, H. et al. **Desempenho de Alguns Sistemas de Cobertura Para Aviários**, Engenharia Rural, Piracicaba/SP, v.8, n.1, p. 1-11, 1997.

SERGEANT, D.; BOYLE, R.; FIRBES, M. **Computer visual tracking of poultry. Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 21, p. 1-18. 1998.

SWENSON, M. J.; REECE, W. O. **Fisiologia dos animais domésticos**. 11. Ed. Rio de Janeiro, Guanabara/RJ, p. 856, 1996.

TEETER R. G.; BELAY, T. **Broiler water balance and termoneutral and high ambient temperature exposure**. Polutry Science, v.72,p.116-124, 1993.

SILVA, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba/SP, v. 2, p. 150-204, 2001.

SILVA A.C.S.; ARCE A. C.; SOUTO S.; COSTA E.J.X. **A wireless floating base sensor network for physiological response to livestock**. Computers and Electronics in Agriculture. v.49(2), p.246-254 (2005).

TINÔCO, I. F. F. **Estresse calórico: meios naturais de condicionamento**. In: **Simpósio Internacional sobre Ambiência em Instalação na Avicultura Industrial**, 1995, Campinas. Anais... Campinas/SP; (s.n.), p. 99-108, 1995.

TECH, Adriano Rogério Bruno ; ARCE, A. I. C. ; VICENTE, Max ; SILVA, Gustavo de Sousa ; SILVA, A. C. S. ; COSTA, Ernane José Xavier . **ZOOTECHNICS E-SCIENCE - A MANAGEMENT TOOL RELATED TO LIVESTOCK RESEARCH**. **IADIS** International Journal on WWWInternet, v. 1, p. 471-476, 2011

TINÔCO, I. de F. F. **Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros**. Revista Brasileira de Ciência Avícola, v.3, n.1, p.1-26, 2001.

UBABEF (2015, dez 16) **União Brasileira de Avicultura**
<http://www.brazilianchicken.com.br/home/nossahistoria>.

VERCOE, J. E.; FITZHUGH, H. A.; VON KAUFMANN, R. **Livestock productions systems beyond.**, v. Asian – Australian Journal Sciences 13, p. 411 -419, 2000.

VON BORELL, E. **Neuroendocrine integration of stress and significance of stress for the performance to farm animals**. Applied Animal Behavior Science, v. 44, p.219-227, 1995.

WANG, H., Bolan, N. S., Hedley, M J., Home, D. J. 2006. **Potential uses of fluidized bed boiler ash (FBA) as a liming material, soil conditioner and sulfur fertilizer**. In: Coal combustion byproducts and environmental issues. K. S. Sajwan, I.

Twardowska, T. Punshon, A. K. Alva (eds). **Springer Publishers**, New York, USA, pp: 202-215.

XIN, H.; SAHO, J. **Rela-time behavior-based assessment and control of swine thermal comfort**. In: Livestock Enviroment VII – Seventh International Symposium, Proceodings..., Beijing, 2005. Paer nº. 701P0205, p.694-702, 2005.

ZANCANARO, A., 2000. **Protótipo de um sistema de controle parcial de ambiência, em aviário de criação de frangos de corte, usando CLP**. Disponível em: campeche.inf.furb.br/tccs/2000-I/2000-1airtonzancanarovf.pdf . Acesso em: 17 de dezembro de 2015.

ZigBee Alliance, Inc.; **ZigBee RF4CE Specification**. ZigBee Document 094945r00ZB, March 17th, 2009.