

UNIVERSIDADE JOSÉ DO ROSÁRIO VELLANO – UNIFENAS  
WARISTON FERNANDO PEREIRA

**MENSURAÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS EM GALPÃO AVÍCOLA  
UTILIZANDO UM EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO COM O CONCEITO DE  
INTERNET DAS COISAS**

Alfenas – MG

2017

WARISTON FERNANDO PEREIRA

**MENSURAÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS EM GALPÃO AVÍCOLA  
UTILIZANDO UM EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO COM O CONCEITO DE  
INTERNET DAS COISAS**

Dissertação apresentada à Universidade José do Rosário Vellano, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária para a obtenção do Título de Mestre Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Luciana de Paula Naves

Co-orientadores: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

Prof. Dr. Leonardo da Silva Fonseca

Alfenas – MG

2017

Dados internacionais de catalogação-na-publicação

Biblioteca Central da UNIFENAS

Pereira, Wariston Fernando

Mensuração de parâmetros ambientais em galpão avícola utilizando um equipamento desenvolvido com o conceito de internet das coisas. — Wariston Fernando Pereira. —

Alfenas, 2017.

31 f.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciana de Paula Naves

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agropecuária – Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, 2017.

1. Ambiência 2. Bem estar animal 3. Inovação tecnológica 4. IoT.  
I. Universidade José do Rosário Vellano II. Título

CDU 004.05:636.5(043)

Zélia Fernandes Ferreira Miranda  
Bibliotecária CRB6 1486

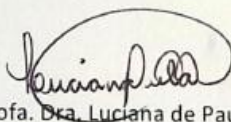
## Certificado de Aprovação

**TÍTULO:** "MENSURAÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS EM GALPÃO AVÍCOLA UTILIZANDO UM EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO COM O CONCEITO DE "INTERNET DAS COISAS""

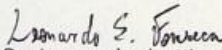
**AUTOR:** WARISTON FERNANDO PEREIRA

**ORIENTADOR:** Profa. Dra. Luciana de Paula Naves

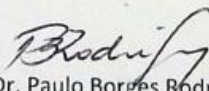
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestre Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária** pela Comissão Examinadora.



Profa. Dra. Luciana de Paula Naves



Prof. Dr. Leonardo da Silva Fonseca



Prof. Dr. Paulo Borges Rodrigues

Alfenas, 30 de outubro de 2017.



Profa. Dra. Laura Helena Orfão  
Diretora Adjunta de Pesquisa e Pós-graduação  
UNIFENAS

*Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus pelo dom da vida, coragem, saúde e proteção. Aos professores que passaram pelos muitos anos de estudo até aqui, pelo incentivo e dedicação à profissão e à família pelo amor, apoio e constante motivação aos meus sonhos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida e disposição de acordar todos os dias em busca do conhecimento.

Aos professores que passaram por minha vida até este momento e permitiram um novo olhar para o mundo, por meio da educação, em especial à orientadora Profa. Dra. Luciana de Paula Naves e ao Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti.

Aos mentores e amigos Prof. Me. Fabrício Pelloso Piurcosky e Prof. Me. Ricardo Bernardes de Mello que sempre me deram conselhos na vida pessoal e acadêmica.

À minha família, esposa Karina e filhos Daniel e Davi pelo apoio e compreensão nos dias em que não pude estar presente.

Aos meus colegas de mestrado, pelo companheirismo e motivação.

À Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas (FEPESMIG), pelo apoio e oportunidades.

À Universidade José do Rosário Vellano, pelo apoio e fornecimento dos equipamentos convencionais utilizados no experimento e ensinamentos por meio do programa.

A FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pelo apoio ao programa de mestrado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (Campus Machado), aqui representado nas pessoas dos professores Dra. Renata Mara de Souza e Me. Alexandre Tavares Ferreira, pela permissão de uso do galpão do Setor de Avicultura durante a etapa de validação do dispositivo proposto.

Aos meus professores e orientadora pela dedicação, incentivo, compreensão e apoio.

*“Seu tempo é limitado, então não o gaste vivendo a vida de outra pessoa. Não seja preso por dogmas – que é viver pelo resultado dos pensamentos de outra pessoa. Não permita que o ruído de opiniões alheias supere o sussurro de sua voz interior. E mais importante: tenha a coragem para seguir seu coração e intuição, pois de algum jeito eles já sabem o que realmente vai se tornar. Todo o resto é secundário”.*  
*(Discurso de Formatura de Steve Jobs, Stanford, 2005)*

## RESUMO

A avicultura brasileira é uma atividade de produção em constante evolução. É cada vez maior a preocupação do setor em assegurar condições que aumentem o grau de bem-estar das aves. Neste sentido, as condições ambientais dos galpões de criação precisam ser consideradas, destacando-se a temperatura, umidade relativa e concentração de amônia no ar, além da luminosidade. Os parâmetros ambientais têm sido mensurados, manualmente, por meio de equipamentos disponíveis comercialmente. Porém, além de existir a necessidade de um indivíduo estar presente no galpão para realizar a mensuração, tais equipamentos possuem custo alto. Portanto, um *hardware* e um *software* de baixo custo foi desenvolvido para o monitoramento dos parâmetros ambientais acima citados. Os sensores foram selecionados considerando seu custo e a faixa de detecção. O sensor DHT22 foi utilizado para registrar a temperatura e umidade relativa do ar, sendo capaz de medir temperaturas entre -40 e 80 °C e umidade relativa do ar entre 0 e 100%. A concentração de amônia no ar foi mensurada pelo sensor eletroquímico MQ-137, que apresenta faixa de detecção entre 5 e 200 ppm. Já para o monitoramento da luminosidade utilizou-se o sensor LDR (*light dependent resistor*), que é um resistor variável controlado por luz. O dispositivo desenvolvido possui uma UCP (Unidade Central de Processamento) baseada em Wemos Mini D1 com *chipset* ESP-8266EX, com conectividade padrão wifi 2.4 Ghz. A UCP realiza a leitura dos três sensores utilizados, sendo alimentada por uma fonte de alimentação de 5 volts. Após a leitura, os dados são armazenados na UCP e transmitidos à internet ou computador por meio da rede sem fio. Após um experimento de validação em campo e em laboratório, os resultados foram utilizados para as devidas comparações entre o dispositivo proposto e os equipamentos convencionais. Observou-se alta correlação ( $R^2$ ) entre os dados fornecidos pelo dispositivo e pelos equipamentos convencionais para os parâmetros temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade. Com relação à determinação do teor de amônia no ar observou-se que há maior semelhança nos valores detectados em concentrações de amônia mais baixas. O dispositivo apresentou alta conectividade. O custo do material utilizado para a montagem do dispositivo representou apenas 12,66% do preço de mercado dos equipamentos comercialmente vendidos com a mesma finalidade. Conclui-se, portanto, que além da alta eficiência no registro dos parâmetros ambientais e rapidez na transmissão dos dados, o dispositivo proposto representa uma alternativa de baixo custo para o monitoramento da temperatura, umidade relativa, luminosidade e concentração de amônia no ar.

**Palavras-chave:** Ambiência. Bem estar animal. Inovação tecnológica. IoT.



## ABSTRACT

The Brazilian poultry farming is an activity in constant evolution. There is a growing concern in the industry to ensure conditions that increase the welfare of birds. In this sense, the environmental conditions of the breeding sheds need to be considered, highlighting the temperature, relative humidity and concentration of ammonia in the air, besides the luminosity. These environmental parameters in chicken farms are manually measured using commercially available equipment. However, in addition to the need for a person to be present in the shed to carry out the measurement, such equipment has a relatively high cost. Therefore, hardware and software were designed to monitor such environmental parameters at low cost. The sensors were selected considering their cost and the detection range. The DHT22 sensor was used to record the temperature and relative humidity of the air, being able to measure temperatures between -40 and 80 ° C and relative humidity between 0 and 100%. The concentration of ammonia in the air was measured by the electrochemical sensor MQ-137, which has detection range between 5 and 200 ppm. For light monitoring, the LDR (light dependent resistor) sensor, which is a variable resistor controlled by light, was used. The assembled device has an Central Processing Unit (CPU) based on Wemos Mini D1 with ESP-8266EX chipset with 2.4 Ghz standard wifi connectivity. The CPU performs the reading of the three sensors used with a 5-volt power supply. After reading, the data is stored in the CPU and transmitted to the internet or computer through the wireless network. After a validation experiment in the field and in the laboratory, the results were used for the proper comparisons between the proposed device and the conventional equipment. A high correlation ( $R^2$ ) was observed between the data provided by the device and the conventional equipment for parameters temperature, relative humidity and luminosity. Regarding the determination of the ammonia content in the air, it was observed that there is more similarity in the detected values in lower concentrations of ammonia. The device get high connectivity on network tested. The cost of the equipment used to assemble the device represented only 12.66% of the market price of commercially sold equipment for the same purpose. It is concluded, therefore, that besides the high efficiency in the registry of the environmental parameters and speed in the data transmission, the proposed device represents a low-cost alternative for the monitoring of temperature, relative humidity, luminosity and air ammonia concentration.

**Keywords:** Ambience. Animal welfare. Technologic innovation. IoT.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Módulo ESP8266.....	16
Figura 2 - Wemos Mini D1.....	16
Figura 3 – Sensor eletroquímico.....	17
Figura 4 – Sensor eletroquímico MQ-137.....	17
Figura 5 – Sensor de temperatura e umidade DHT22.....	17
Figura 6 – Sensor LDR.....	18

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

DHT22 - *Digital-output relative humidity & temperature sensor*

GHZ - *Gigahertz*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

I<sub>o</sub>T – *Internet of Things*

LCD - *Liquid Crystal Display*

LDR - *Light Dependent Resistor*

LED - *Light Emitting Diode*

M<sup>2</sup>– Metro Quadrado

MQ-137 – *Gas Sensor 137*

NH<sub>3</sub> - Amônia

ppm – Partes por milhão

RFID - *Radio-Frequency IDentification*

RSSF - Rede de Sensores Sem Fio

UCP – Unidade Central de Processamento

## SUMÁRIO

	<b>Capítulo I.....</b>	12
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	12
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	13
2.1	<b>Avicultura brasileira e o bem-estar animal.....</b>	13
2.2	<b>Principais fatores ambientais relacionados à produção e ao bem-estar animal.....</b>	13
2.2.1	Amônia.....	13
2.2.2	Temperatura e umidade relativa.....	14
2.2.3	Luminosidade.....	15
2.3	<b>Internet das coisas e Padrão WiFi.....</b>	15
2.4	<b>ESP8266.....</b>	16
2.5	<b>Sensor eletroquímico MQ-137.....</b>	16
2.6	<b>Sensores resistivos DHT22 e LDR.....</b>	17
2.7	<b>Dispositivos móveis e plataforma Android.....</b>	18
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	19
	<b>Capítulo II.....</b>	23
	<b>Artigo científico – versão preliminar.....</b>	23

## PRIMEIRO CAPÍTULO

### 1 INTRODUÇÃO

A ABPA (2017) destaca que a produção avícola assume grande importância no fornecimento de parte dos alimentos demandados pela população mundial. Para exemplificar o destaque da avicultura brasileira no cenário mundial, o Brasil é o terceiro maior produtor de frangos de corte e o primeiro maior exportador da carne de frango. Neste contexto, o IBGE (2017) aponta que Minas Gerais é o quinto estado que mais produz frangos no país. Pessoa et al. (2012) afirma que, além dos avanços ocorridos nas áreas de nutrição, manejo e sanidade, a ambiência tem sido cada vez mais considerada visando produzir animais em situações de maior grau de bem-estar.

Para Damasceno et al. (2017), fatores ambientais impactam diretamente na produtividade avícola. Portanto, as condições ambientais dos galpões de criação precisam ser consideradas destacando-se a temperatura, umidade relativa, concentração de amônia no ar e luminosidade (DAMASCENO et al., 2010; NAZARENO et al., 2011; SANTANA, 2016; SCHWEAN-LARDNER e CLASSEN, 2010). Nesse sentido, Amaral (2016) ressalta que embora várias granjas brasileiras monitorem as condições ambientais dos galpões de criação, a mensuração dos parâmetros ainda é feita de forma manual. Outro aspecto relevante é que estes equipamentos de monitoramento disponíveis no mercado operam, majoritariamente, de maneira isolada, sendo imprescindível a aquisição de vários dispositivos (termo-higrômetro, medidor de amônia e luxímetro). Como o custo dos equipamentos comerciais ainda é elevado, pequenos produtores, muitas vezes, não dispõem de recursos financeiros para adquirir todos os equipamentos necessários.

Vanelli e Silva (2017) apontam que, com os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos, é possível promover a interconexão de diversos dispositivos, dando agilidade ao transporte e interpretação dos dados, colaborando para que a tomada de decisão pelo usuário seja mais rápida e eficaz.

Sendo assim, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar um protótipo de dispositivo de baixo custo que permita o monitoramento da temperatura, umidade relativa, teor de amônia no ar e luminosidade de maneira ágil e simplificada, por meio da aplicação do multi sensoriamento remoto usando a internet.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Avicultura brasileira e o bem-estar animal**

A avicultura brasileira é uma atividade de destaque no cenário nacional e internacional, contribuindo para o atendimento da demanda por alimentos. A avicultura de corte brasileira ocupa, desde 2011, a liderança na exportação de carne de frango. Além disso, a Associação Brasileira de Proteína Animal (2017) indica que o Brasil é o terceiro maior produtor mundial nesta área. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) mostra que Minas Gerais é o quinto estado que mais produz carne de frango.

Para Pessôa et al. (2012), ao se estudar a evolução da avicultura é possível verificar que muitos avanços ocorreram nas mais diversas áreas, tais como: genética, nutrição, manejo e sanidade. Porém, um dos temas mais discutidos atualmente, entre os produtores e a indústria avícola como um todo, é a questão do bem-estar animal. Sendo assim, para que se avance na promoção do bem-estar animal, faz-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias para monitoramento das condições ambientais sob as quais os animais estão submetidos durante todas as fases de criação.

Nazareno et al. (2011) relata que assegurar o bem-estar animal é importante, porque tal atitude é interpretada pelo mercado consumidor como um indicativo relevante de um sistema de produção comprometido com as questões éticas. Cada vez mais os consumidores exigem produtos cárneos com atributos diferenciados, provenientes de animais criados e abatidos respeitando-se as normas de bem-estar animal. Vieira et al. (2016) descreve que a manutenção da adequada condição térmica em regiões de clima tropical é um desafio. A elevação da temperatura e da umidade relativa do ar podem aumentar as perdas por mortalidade. De acordo com Amaral et al. (2011), frangos de corte submetidos a condições ambientais desfavoráveis podem reduzir o consumo de ração, prejudicando a taxa de crescimento, o rendimento do peito e até mesmo a qualidade da carne. Desta forma, faz-se necessário o monitoramento constante de parâmetros ambientais nas instalações avícolas.

### **2.2 Principais fatores ambientais relacionados à produção e ao bem-estar animal**

#### **2.2.1 Amônia**

Gontijo (2015) cita que no sistema de criação convencional de frangos de corte, as aves são alojadas em galpão de alvenaria com o piso forrado com cama, normalmente de maravalha. A cama tem função de absorver umidade e excretas, além de ser um isolante térmico importante, especialmente nos primeiros dias de vida, quando a capacidade de termorregulação da ave ainda não está completamente desenvolvida, o que dificulta a capacidade de retenção da temperatura corporal. Carvalho (2011) orienta que a cama também deve apresentar boa capacidade de amortecimento, para evitar o aparecimento de lesões, especialmente em frangos de corte de crescimento rápido e com alta capacidade de deposição de carne na região do peito.

Santana (2016) alerta que altas concentrações de amônia ( $\text{NH}_3$ ) no galpão podem ser prejudiciais para as aves. A taxa de emissão de amônia no ambiente é influenciada pelas práticas de manejo e condições adotadas durante a criação. De modo geral, a reutilização sucessiva de uma mesma cama aumenta a liberação de amônia no ambiente. Devido ao impacto ambiental e ao impacto no desempenho dos frangos, tem-se buscado determinar a taxa de emissão da amônia em diversos sistemas de produção, dentre eles a avicultura. Avicultura Inteligente (2016) aponta que a recomendação geral é que os níveis de amônia sejam monitorados e que se adote práticas de criação que mantenham os níveis de amônia abaixo de 10 ppm (partes por milhão) no galpão, a fim de evitar a ocorrência de síndromes como ascite e até mesmo cegueira. De maneira complementar, Mendes et al. (2014) cita que além de poder prejudicar as aves, a amônia é um gás incolor que, em excesso no ar, também pode irritar as mucosas do sistema respiratório em humanos, desencadeando condições indesejadas de trabalho para aqueles que realizam o manejo diariamente nos galpões.

### 2.2.2 Temperatura e umidade relativa

Damasceno et al. (2010) aponta que a temperatura e a umidade relativa do ar estão entre os parâmetros ambientais que mais afetam as aves, pois podem comprometer a sua homeotermia. A zona de conforto térmico das aves para Avicultura Inteligente (2016) varia conforme a idade das mesmas. A partir dos 22 dias de idade, de maneira geral, a temperatura ambiente deve estar entre 21 e 27 °C, com a umidade relativa do ar variando entre 50% e 70%. Porém, é importante destacar que tão importante quanto manter a temperatura e a umidade relativa dentro dos valores preconizados, é importante minimizar a ocorrência de grandes variações em um curto espaço de tempo.

Durante os primeiros dias de vida, os pintinhos não possuem um sistema de termorregulação totalmente desenvolvido, necessitando frequentemente do uso de aquecedores e de uma cama mais espessa. Se a temperatura no local do alojamento das aves estiver muito baixa, haverá aglomeração das aves, redução da ingestão de ração e água, menor crescimento e maior suscetibilidade à doenças. Recomenda-se que a temperatura seja monitorada e registrada diariamente e que a variação durante o período de 24 horas seja a menor possível (AVICULTURA INTELIGENTE, 2016).

### 2.2.3 Luminosidade

Lima et al. (2014) relata o efeito de diferentes tipos de luz sobre a produção de frangos de corte. Lewis (2010) cita que há recomendação de intensidade luminosa de 20 lux (lúmens/m<sup>2</sup>) na primeira semana e posteriormente 5 lux até o final de criação do lote.

Durante muito tempo se adotou o uso prolongado de luz, acreditando que longos períodos de iluminação elevariam a taxa de crescimento dos animais. Porém, pesquisas recentes apontam que esta prática não é adequada, já que a exposição a 23 horas de luz, por exemplo, tem efeito negativo sobre o crescimento, o consumo de ração, a mortalidade e o próprio bem-estar geral do animal.

## 2.3 Internet das coisas e Padrão WiFi

O termo “Internet das coisas”, ou “*Internet of Things*” (*IoT*) em inglês, foi apresentado pela primeira vez por Kevin Ashton enquanto ele se referia às potencialidades do RFID (*Radio-Frequency IDentification*) na cadeia de abastecimento da multinacional Procter & Gamble (UCKELMANN et al., 2011).

Para Singer (2012), o termo *IoT* é bem aceito na Europa, no entanto nos Estados Unidos as pesquisas têm sido voltadas em torno de termos como “objetos inteligentes” ou “computação em nuvem”. A internet das coisas traz oportunidades de negócios em soluções diversas por meio da otimização de processos produtivos, dentre outros. No Brasil, Souza et al. (2015) diz que o cenário é favorável e já se discute a aplicação e a usabilidade pelas empresas em produtos e serviços adequados às necessidades do país.

Cisco (2017) define *IoT* como uma forma de conexão de objetos à Internet, gerando dados e informações às quais nunca tivemos acesso antes. Estima-se que a



origem do termo *IoT* obteve significância entre 2008 e 2009, quando o número de dispositivos conectados ultrapassou o número de pessoas. Neste ritmo, projeta-se que em 2020 serão 50 bilhões de dispositivos conectados, ou seja, quase 7 dispositivos por pessoa no planeta. Doknić (2015) explica que os sistemas sem fio ampliam as possibilidades de conectividade para *IoT*, sendo o *WiFi* a tecnologia amplamente utilizada. Para IEEE (2016) o padrão *WiFi*, conhecido também como 802.11, foi inicialmente proposto em 1990, amplamente utilizado na sociedade pelo seu baixo custo. Com antenas direcionais adequadas, pode atingir distâncias de até 40 km entre os pontos interconectados.

Redes *WiFi* são facilmente instaladas, operam em frequências como 2.4 Ghz (giga-hertz) e 5 Ghz com alcance de sinal e cobertura variadas. Além disso, há diversos mecanismos de proteção que são constantemente melhorados e, quando bem configurados, garantem confiabilidade e segurança à estrutura (MORETTI; BELLEZI, 2014).

## 2.4 ESP8266

Para Kodali e Mahesh (2016), o módulo ESP8266 (Figura 1) é um sistema embarcado com suporte ao protocolo de rede TCP/IP integrado que consegue dar a qualquer microcontrolador acesso a sua rede *WiFi*.

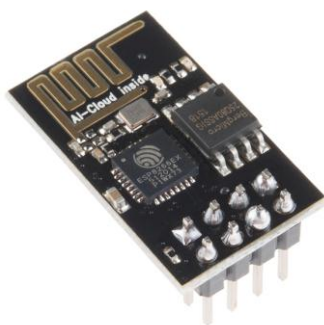


Figura 1 - Módulo ESP8266. Fonte: KODALI; MAHESH (2016).

O ESP8266 é capaz tanto de hospedar uma simples aplicação quanto de executar todas as funções de redes *WiFi* a partir de outro processador de aplicação. Este módulo tem uma ótima relação custo-benefício e possui uma quantidade de usuários enorme, que está em contínuo crescimento. Espressif (2017) afirma que este módulo é capaz de

conectar-se facilmente em redes sem fio no padrão *WiFi*. Complementando, Wemos (2017) cita que a placa D1 (Figura 2) é uma placa baseada no módulo ESP8266, fácil de usar e aplicar em soluções para *IoT* com todas funções básicas que facilitam o desenvolvimento e prototipação.

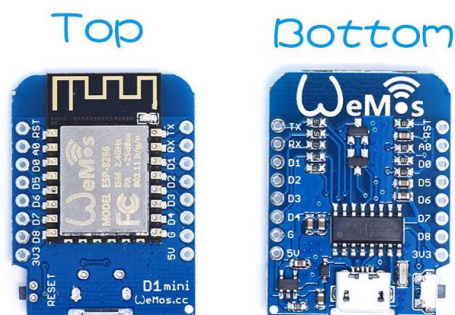


Figura 2 - Wemos Mini D1. Fonte: WEMOS (2017).

## 2.5 Sensor eletroquímico MQ-137

Lima (2016) afirma que o sensor corresponde ao elemento que faz a medida da grandeza física, convertendo a energia em um sinal. Santos et al. (2016) descreve que quando o sensor determina a concentração de um parâmetro, a partir de reações de oxidação e redução, trata-se de um sensor eletroquímico (Figura 3).

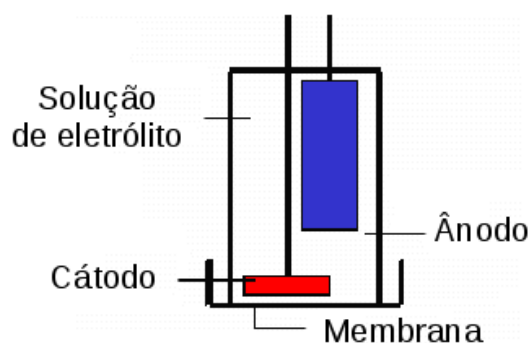


Figura 3 – Sensor eletroquímico. Fonte: elaborado pelo autor.

Awasthi e Kokate (2014) ressaltam que o sensor eletroquímico MQ-137 (Figura 4) é utilizado no monitoramento da qualidade de ar, por ser sensível a alguns gases como dióxido de carbono, amônia e óxido de nitrogênio. Estruturalmente, o sensor de gás MQ-137 é composto por um micro tubo cerâmico de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), uma camada de dióxido de estanho ( $S_nO_2$ ), eletrodo de medição e aquecedor. Todos

estão envolvidos por uma malha metálica e estão acomodados em um compartimento metálico de aço inoxidável. O aquecedor fornece as condições de trabalho necessárias para o adequado funcionamento dos componentes sensíveis. Hankei (2017) informa que a sensibilidade do MQ-137 para a determinação da concentração de amônia no ar varia de 10 a 200 ppm.



Figura 4 – Sensor eletroquímico MQ-137. Fonte: HANWEI (2017).

## 2.6 Sensores resistivos DHT22 e LDR

O DHT22 (Figura 5) é um sensor combinado capaz de medir a temperatura e a umidade relativa do ar em faixas de variação de -40 a 80 °C e de 0 a 100%, respectivamente (SAPTADI, 2014).



Figura 5 – Sensor de temperatura e umidade DHT22. Fonte: SAPTADI (2014).

Já o sensor LDR (*light dependent resistor*) (Figura 6) segundo Ambresh (2015) é um resistor variável controlado por luz, também denominado fotoresistor ou fotocélula. No escuro, um fotoresistor apresenta resistência alta e na luz resistência baixa. Desta forma, a sua medida é variável conforme a quantidade de luz incidente sobre o mesmo. Um LDR pode ser aplicado a diversos circuitos como, por exemplo,

acender automaticamente uma lâmpada, ou mesmo avaliar a quantidade de luz ambiente.



Figura 6 – Sensor LDR. Fonte: RASPBERRY (2017).

## 2.7 Dispositivos móveis e plataforma Android

Os dispositivos móveis, em particular os celulares *smartphones* e os *tablets*, foram os protagonistas de uma revolução no mundo da tecnologia da informação para uso pessoal e profissional. O aumento do poder de processamento e grande conectividade levaram o sonho da “informação na ponta dos dedos em qualquer lugar e a qualquer momento” à realidade. A plataforma Android é uma plataforma aberta aplicada em dispositivos móveis, composta por sistema operacional e algumas aplicações essenciais aos usuários (BRAGA et al., 2012)

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.G. et al . Avicultura de postura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES. **BNDES Setorial**, [s.l.] , n. 43, p. 167-207. 2016.
- AMARAL, A.G. et al . Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 3, p. 649-658. 2011.
- AMBRESH, P.A. et al. Design & development of electronic letter box using LDR. **Indian Journal of Scientific Research**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 33-36, nov. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **A Indústria Avícola**. Disponível em: <<http://www.brazilianchicken.com.br>>. Acesso em: 25 jun. 2017.
- AVICULTURA INTELIGENTE. **Manual de Manejo de Frangos de Corte Cobb**. Disponível em: <<http://www.aviculturainteligente.com.br>>. Acesso em: 01 out. 2016.
- AWASTHI, Komal; KOKATE, M. D. Air impurity measurement system. **International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)**, [s.l.], v. 3, n. 4, 2014.
- BRAGA, Alexandre Melo et al. Introdução à segurança de dispositivos móveis modernos: um estudo de caso em android. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO EM SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO E DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS, 12, 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSEG, 2012.
- CARVALHO, Thayla M. R. et al. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.351-361, abr. 2011.
- CISCO. **Internet of Things Overview**. Disponível em <[http://www.cisco.com/c/pt\\_br/solutions/internet-of-things/overview.html](http://www.cisco.com/c/pt_br/solutions/internet-of-things/overview.html)>. Acesso em: 01 jul. 2017.
- DAMASCENO, Flávio Alves et al. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p. 1031-1038. 2010.
- DAMASCENO, Flávio Alves et al. Effect of thermal environment on performance of broiler chickens using fuzzy modeling. **Revista Ceres**, Viçosa, v.64, n.4, p. 337-343, jul./ago. 2017.
- DOKNIĆ, Vesna. Internet of things greenhouse monitoring and automation system. In: MALAYSIAN TECHNICAL UNIVERSITIES CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 1, 2015, Melaka. **Anais...** Melaka: UTeM, 2014.

ESPRESSIF. **ESP8266EX Datasheet.** Disponível em: <<https://espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

GONTIJO, Clara Costa Zica. Desempenho da produção de frangos de corte criados sobre cama nova ou reutilizada com duas densidades diferentes. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4, 2015, Bambuí. **Anais...** Bambuí: IFMG, 2015.

HANWEI. **MQ-137 datasheet.** Disponível em: <<http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/NH3.pdf> > . Acesso em: 06 ago. 2017.

IEEE, **IEEE 802.11™:** wireless lans. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>> Acesso em: 01 jul. 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE:** estatística da produção pecuária. Brasília: IBGE, 2017.

KODALI, Ravi Kishore; MAHESH, Kopulwar Shishir. Low cost ambient monitoring using ESP8266. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTEMPORARY COMPUTING AND INFORMATICS (IC3I), 2, 2016, Noida. **Anais...** Noida:IC3I, 2016.

LEWIS, P.D. Lighting, ventilation and temperature. **British Poultry Science**, London, v. 51, p. 35-43, 2010.

LIMA, André Luiz da Rocha; SILVA, Valéria Loureiro da. Micro sensor para monitoramento da qualidade do ar. In: SEMINÁRIO ANUAL DE PESQUISA, 26, 2016, Salvador. **Anais...** Salvador: SENAI, 2016.

LIMA, Karla A. O. et al . Impact of different light sources on broiler rearing environment. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n .3, p. 428-434, maio/jun. 2014

MENDES, Luciano B. et al. Emissão de amônia de galpões de frangos de corte com ventilação natural e mecânica no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.11, p.1179–1185. 2014.

MORETTI, Cleber; BELLEZI, Marcos A. Segurança em redes sem fio 802.11. **Revista T.I.S. - Tecnologias, Infraestrutura e Software**, São Carlos, v. 34, n. 3, p. 428-434, 2014 .

NAZARENO, A. C. et al . Bem-estar na produção de frango de corte em diferentes sistemas de criação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal , v. 31, n. 1, p. 13-22, fev. 2011.

PESSÔA, Gabriel Borges Sandt et al. Novos conceitos em nutrição de aves. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.3, p.755-774 jul./set. 2012.

RASPBERRYPI. **Raspberry Pi Learning Resources:** light-dependent resistor (ldr). Disponível em <<https://www.raspberrypi.org/learning/physical-computing-with-python/ldr/>>. Acesso em: 20 junho. 2017.

SANTANA, Ingrid Kely da Silva. **Emissões de gases de efeito estufa e amônia oriundas da criação de frangos de corte em múltiplos reúsos da cama.** 2016. 130f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SANTOS, Lorena G. et al. Fabricação de sensores eletroquímicos de baixo custo a partir de mídias cd-r para aplicações analíticas. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, São Mateus. v. 2, n. 3, 2016.

SAPTADI, Arief Hendra. Perbandingan akurasi pengukuran suhu dan kelembaban antara sensor DHT11 dan DHT22. **Jurnal Infotel**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 49-56, nov. 2014.

SCHWEAN-LARDNER, Karen; CLASSEN, Hank. **Programa de Luz para Frangos de Corte**, Campinas: Aviagen, 2010. Disponível em: <[http://pt.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Portuguese/Iluminao-para-Frangos-de-Corte-Verso-Final.pdf](http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/Iluminao-para-Frangos-de-Corte-Verso-Final.pdf)> . Acesso em: 01 out. 2016.

SINGER, Talyta. Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas. In: SIMPÓSIO EM TECNOLOGIAS DIGITAIS E SOCIABILIDADE - PRÁTICAS INTERACIONAIS EM REDE, 2, 2012, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 2012. Disponível em: <<http://gitsufba.net/anais/simsocial-2012/>> Acesso em: 20 jul. 2017.

SOUZA, Angela Cristina Rocha de. et al. Significados associados à internet das coisas no Brasil à luz da construção social da tecnologia. **Revista Gestão Organizacional**, Recife, v. 13, Edição Especial, p. 254-263. 2015.

UCKELMANN, D; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. (Org.). **Architecting the internet of things**. Springer: Nova Iorque, 2011. 353 p.

VANELLI, B; SILVA, M.P.D. Internet of things data storage infrastructure in the cloud using NoSQL Databases. **Revista IEEE América Latina**, [s.l.], v.15, n.4, p. 737-743. 2017.

VIEIRA, F.M.C. et al. Influência das condições térmicas do galpão de espera climatizado na mortalidade pré-abate de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 68, n. 2, p. 475-482, abr. 2016.

WEMOS. **D1 Mini**. Disponível em <[https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1\\_mini](https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1_mini)>. Acesso em: 06 maio. 2017.

# Environmental Monitoring in a Poultry Farm Using an Instrument Developed with the Internet of Things Concept

W. F. Pereira, L. da S. Fonseca, F. F. Putti and L. de P. Naves

**Abstract**— The animal welfare is a major concern these days, as well as the factors that impact on animal productivity. Constant monitoring of environmental parameters such as temperature, humidity, levels of ammonia and luminosity is important because these variables directly impact on the performance and welfare of the poultry. In this way is necessary that we look for solutions that allow the monitoring of these variables in a practical, reliable and cheap way. In the agribusiness, the scenario for the IoT (*Internet of Things*) is very promising because it has emerged to fill this gap and deliver sensed data widely increasing the connectivity of the devices. Therefore, this paper describes a proposal of *hardware* and *software* to monitor with low cost these environmental parameters in poultry farms. In addition, experiments were done to compare the proposed prototype with commercial devices. The prototype showed good results, signaling that your implementation may be feasible.

**Keywords**— Animal welfare, Ambience, IoT, Technological innovation.

## I. INTRODUÇÃO

AVICULTURA evoluiu muito nas últimas décadas devido ao melhoramento genético das aves, associado aos avanços ocorridos nas demais áreas correlacionadas como, por exemplo, nutrição, manejo e sanidade [1]. Frente à alta demanda mundial por alimentos, a avicultura brasileira apresenta destaque tanto na produção da carne de frango [2] quanto na produção de ovos de galinhas [3]. Acompanhando um cenário mundial, no Brasil também é crescente a preocupação de que as aves sejam criadas em condições que promovam o bem-estar animal [4]. Neste sentido, as condições ambientais dos galpões de criação precisam ser consideradas, destacando-se a temperatura, a umidade relativa, a concentração de amônia no ar e a luminosidade, pois a produtividade está relacionada às condições ambientais nas quais as aves são criadas [4, 5]. É importante ressaltar que o monitoramento de tais variáveis precisa ser frequente para que, caso necessário, o produtor possa intervir com mais rapidez adotando práticas de manejo com a finalidade de assegurar a adequada ambiência. Por exemplo, ao detectar que a temperatura do galpão está se elevando

demasiadamente, o avicultor pode intervir realizando o manejo das cortinas do galpão e acionando equipamentos, tais como: ventiladores, exaustores e/ou nebulizadores.

De modo geral, os referidos parâmetros ambientais nos galpões avícolas têm sido mensurados manualmente, ou por meio de *dataloggers* individuais disponíveis comercialmente [5]. Porém, além de haver a necessidade de um indivíduo estar presente no galpão para realizar a coleta dos dados mensurados, tais equipamentos possuem custo relativamente elevado [6]. Outro aspecto relevante é que estes dispositivos operam, em sua maioria, de maneira isolada sendo necessária a aquisição de mais de um dispositivo para o monitoramento de diversas variáveis relacionadas à ambiência nos galpões [5].

Os avanços tecnológicos permitem a interconexão de diversos dispositivos [7] e dão agilidade ao transporte dos dados. O rápido acesso aos dados é muito importante para os profissionais envolvidos no agronegócio, porque possibilita maior rapidez e eficiência nos processos de tomada de decisão [8]. O conceito de “Internet das coisas” (IoT, do inglês *Internet of Things*) se insere neste cenário ao ampliar a conectividade dos sensores de campo aos sistemas de informação, aumentando o grau de inovação e tecnologia no campo [9].

Portanto, o presente trabalho relata sobre um dispositivo de baixo custo que permite o monitoramento da temperatura, da umidade relativa, do teor de amônia no ar e da luminosidade, de maneira ágil e simplificada, por meio da aplicação do sensoriamento remoto, usando a internet como rede de comunicação de dados que podem ser armazenados e analisados posteriormente.

Este artigo está organizado em sete seções. A seção seguinte descreve a correlação entre a ambiência, o desempenho zootécnico e o bem-estar das aves. A seção III dispõe sobre a IoT. A seção IV descreve sobre o *hardware* e *software*, bem como o processo de calibração utilizado. A seção V relata os procedimentos experimentais utilizados para a validação do dispositivo proposto. A seção VI apresenta os resultados obtidos. As considerações finais sobre o trabalho e perspectivas futuras são apresentadas na seção VII.

## II. AMBIÊNCIA NA AVICULTURA

A produtividade e o grau de bem-estar de galinhas e frangos de corte estão diretamente relacionados às condições ambientais nas quais as aves são criadas [4, 10]. A faixa de conforto térmico das aves varia, principalmente, em função da sua idade, porém, durante todo o período de criação, é desejável que a temperatura no galpão permaneça dentro do

W. F. Pereira, Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, MG, Brasil, waristonfernando@gmail.com.

L. da S. Fonseca, Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, MG, Brasil, leofonseca29.lsf@gmail.com.

F. F. Putti, Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, MG, Brasil, fernandoputti@gmail.com.

L. de P. Naves, Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, MG, Brasil, luciana.naves@hotmail.com.

Corresponding author: W. F. Pereira.



recomendado para cada faixa etária. Por exemplo, de modo geral, a zona de conforto térmico para animais adultos é entre 20 e 24° C [5]. O estresse por calor ou frio é indesejado, porque pode influenciar no bem-estar das aves e no consumo de ração, além de aumentar a susceptibilidade à doenças e elevar a taxa de mortalidade do lote [11].

De modo geral, a umidade relativa do ar no interior do galpão deve ficar entre 50 e 70% [5]. A baixa umidade relativa do ar eleva a taxa de dissipação de calor por evaporação, resultando em ressecamento das vias respiratórias e de mucosas. Por outro lado, a alta umidade relativa do ar associada a altas temperaturas pode piorar o desempenho de frangos de corte [12].

No sistema de criação convencional de frangos de corte, as aves são alojadas em galpão de alvenaria contendo o piso forrado com cama, normalmente de maravalha. Uma das finalidades da cama de frango é absorver a umidade das excretas das aves [13]. Em se tratando da avicultura de postura, no sistema intensivo, as galinhas são majoritariamente criadas em gaiolas, sendo as excretas, frequentemente mantidas no galpão durante várias semanas [14]. Portanto, em ambos os tipos de criação avícola, a matéria orgânica presente nas excretas e/ou na cama pode ser degradada por microrganismos, resultando na produção de amônia [15]. Como a amônia é um gás tóxico, a recomendação é que o seu teor no ar seja monitorado e mantido abaixo de 10 ppm (partes por milhão), no intuito de evitar prejuízos para o desempenho animal e para a saúde das aves e dos funcionários [5, 15].

Como as aves são fotossensíveis, exposições a um período de luz diária menor ou maior do que o recomendado influencia no consumo de ração e até mesmo na maturidade sexual de galinhas [14, 16]. Portanto, diante do exposto, justifica-se a necessidade de constante monitoramento da temperatura, da umidade relativa, do teor de amônia no ar e da luminosidade em galpões avícolas. Tal prática é de suma importância, pois possibilita o rápido reconhecimento da necessidade de intervenção pelo avicultor para garantir adequadas condições ambientais às aves.

### III. INTERNET DAS COISAS

Avanços tecnológicos em áreas como a informática, internet e eletrônica propiciaram que muitos dispositivos, antes incapazes de possuir conectividade com a internet, hoje possuam esta característica [7]. Neste contexto, o termo “Internet das coisas” ou “*Internet of Things*” (IoT em inglês) foi apresentado pela primeira vez por Kevin Ashton, enquanto ele se referia às potencialidades do RFID (*Radio-Frequency Identification*) na cadeia de abastecimento da multinacional Procter & Gamble [17]. A IoT apresenta as oportunidades de negócios em soluções diversas por meio de otimização de processos produtivos, dentre outros. No Brasil, o cenário é favorável e já se discute a aplicação e a demanda, pelas empresas, em produtos e serviços adequados às necessidades do país [18]. Estima-se que a origem do termo IoT obteve significância entre 2008 e 2009, quando o número de dispositivos conectados ultrapassou o número de pessoas no mundo. Projeta-se que em 2020 serão 50 bilhões

de dispositivos conectados, ou seja, mais de 5 dispositivos por pessoa no planeta [19].

A tecnologia das redes de sensores sem fio está cada vez mais sendo utilizada para diferentes aplicações em diversos setores como a indústria e a agricultura [20]. Os sistemas sem fio ampliam as possibilidades de conectividade para IoT, sendo o WiFi a tecnologia amplamente utilizada [21]. O padrão WiFi, conhecido também como 802.11, foi inicialmente proposto em 1990, sendo então amplamente utilizado na sociedade pelo seu baixo custo. Com antenas direcionais adequadas, pode atingir distâncias de até 40 km entre os pontos interconectados [22]. Redes WiFi são facilmente instaladas, operando em frequências como 2.4 Ghz (giga-hertz) e 5 Ghz com alcance de sinal e cobertura variadas [23].

O módulo ESP8266 é um sistema embarcado com suporte ao protocolo de rede TCP/IP integrado que consegue dar a qualquer microcontrolador acesso a sua rede WiFi [24]. Este módulo tem uma ótima relação custo-benefício e possui uma quantidade de usuários enorme, que está em contínuo crescimento [25]. A placa Wemos D1 é de fácil utilização e aplicação em soluções para IoT com todas funções básicas que facilitam o desenvolvimento e prototipação [26].

### IV. DISPOSITIVO PROPOSTO

O dispositivo descrito neste artigo propõe o monitoramento de parâmetros ambientais com uso de *hardware* de baixo custo usando o conceito de conectividade de objetos proposto no paradigma de “Internet das Coisas”. Com o uso desse dispositivo e aplicativo associado, é possível registrar e acompanhar em tempo real a temperatura, a umidade relativa, a concentração de amônia no ar e a luminosidade nos galpões de criação de aves, permitindo que a análise dos dados e a tomada de decisão pelo avicultor sejam rápidas.

#### A. Hardware Proposto

Os sensores foram selecionados considerando o custo e a faixa de detecção. O sensor DHT22 foi utilizado para registrar a temperatura e a umidade relativa do ar, sendo capaz de medir temperaturas entre -40 e 80 °C e umidade relativa do ar entre 0 e 100% (S. G. M., F. A. S., Gonçalves, & D. S. D., 2017). A concentração de amônia no ar foi mensurada pelo sensor eletroquímico MQ-137 que apresenta faixa de detecção entre 5 e 200 ppm [28]. Já para o monitoramento da luminosidade utilizou-se o sensor LDR (*light dependent resistor*) que é um resistor variável controlado por luz. Assim, no escuro, o fotoresistor apresenta resistência alta e, em condição de luz, baixa resistência [29].

O dispositivo desenvolvido possui uma UCP (Unidade Central de Processamento) baseada em Wemos Mini D1 com *chipset* ESP-8266EX com conectividade padrão WiFi 2.4 Ghz. A UCP realiza a leitura dos três sensores utilizados havendo uma fonte de alimentação bivolt de 5 volts (Fig. 1). Após a leitura os dados são armazenados na UCP e transmitidos à internet ou computador por meio da rede sem fio. Os dados armazenados podem ser lidos, tratados e acompanhados por meio do *software* e dispositivos

conectados a internet ou à rede sem fio do dispositivo proposto.

Os sensores são conectados a única porta analógica da UCP por meio de um multiplexador 4051 que visa ampliar as portas para 8 entradas.

A programação da UCP segue uma rotina lógica conforme pode ser observado na Fig. 2

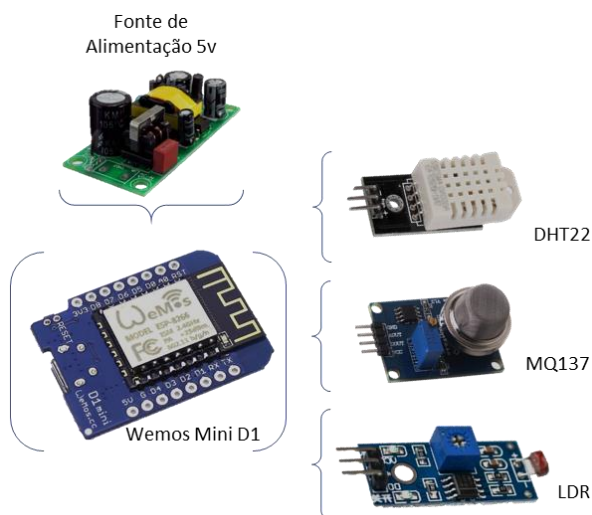


Figura 1. Componentes básicos do dispositivo proposto.

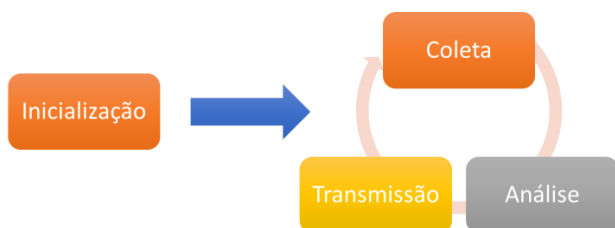


Figura 2. Ciclo de funcionamento do dispositivo proposto

Os passos cumprem tarefas específicas: inicialização, coleta, análise prévia e transmissão conforme segue:

- **Inicialização:** a UCP tenta se conectar a uma rede sem fio e internet previamente programada, em caso de falha. A UCP cria sua própria rede sem fio que pode ser acessada pela rede.
- **Coleta:** a UCP inicializa os sensores e realiza a leitura dos mesmos. A leitura dos sensores é realizada a partir da diferença de tensão aplicada e resultante. Desta forma, quanto maior a resistência no sensor, menor a tensão resultante medida e menor será o valor do parâmetro medido.
- **Análise:** os valores obtidos a partir do sensor DHT22 não necessitam de ajustes. Já no caso dos sensores MQ-137 e LDR os valores obtidos devem passar por um tratamento específico.
- **Transmissão:** quando a UCP está conectada à internet, os dados coletados são enviados para o servidor e armazenados para posterior coleta do aplicativo cliente.

Ao finalizar os testes em *protoboard*, o dispositivo foi otimizado para o uso em campo obtendo-se, assim, a sua versão final (Fig. 3).



Figura 3. Dispositivo proposto finalizado

### B. Software Proposto

Para acompanhamento dos dados coletados foi desenvolvido uma aplicação para dispositivos móveis em plataforma Android® [30]. A aplicação consiste na visão gráfica dos dados em tempo real e ao longo do tempo (Fig. 4). O aplicativo conta com a função de localização e configuração do dispositivo proposto na rede. Esta função possui a capacidade de identificar o sensor na rede sem fio conectada e realizar os ajustes necessários. Dentre os ajustes possíveis destacam-se a conexão de rede sem fio, calibração e intervalo de medição conforme segue:

- **Conexão de rede sem fio:** permite ao usuário informar os dados de configuração da rede sem fio para conexão do dispositivo.
- **Calibração:** coloca o dispositivo em modo de calibração, onde são lidos os valores e as equações são ajustadas automaticamente, quando necessário.
- **Intervalo de medição:** permite o ajuste do tempo entre as medições dos parâmetros.

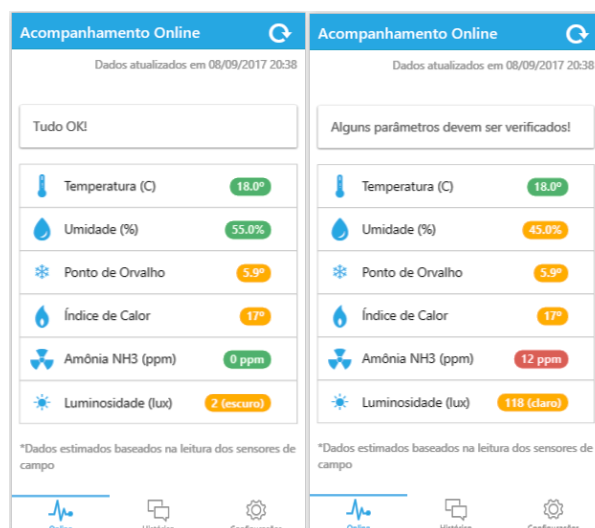


Figura 4. Exemplo de telas do aplicativo

De modo geral, a concentração de amônia no ar deve ser mantida a menor possível, com nível máximo de 10 ppm [5, 15]. Já as zonas de conforto térmico e de umidade relativa, bem como os programas de iluminação são variáveis em função da idade das aves, por exemplo. Sendo assim, o ideal é que o avicultor monitore os parâmetros no galpão e que adote decisões considerando a sua realidade em particular e as recomendações da literatura científica e manuais de linhagem. Porém, além das funcionalidades básicas de acompanhamento, o aplicativo permite estabelecer recomendações, alertando ao usuário sobre a necessidade de uma possível intervenção para controle de algum parâmetro.

### C. Calibração

O sensor DHT-22 é comercializado já calibrado sendo desnecessário qualquer tipo de conversão dos valores mensurados. Portanto, para comprovar o seu funcionamento, ele pode ser diretamente comparado com um termo-higrômetro comercial.

O sensor LDR converte linearmente a quantidade de luz em tensão. Assim, ele pode ser comparado a um luxímetro comercial, aplicando-se um coeficiente adequado (1).

$$x = \frac{vLux}{vLDR} \quad (1)$$

Onde  $vLux$  representa o valor lido pelo luxímetro comercial e  $vLDR$  o valor lido pelo conversor analógico digital da UCP. Desta forma, estima-se o valor em  $lux$  utilizando-se a equação (2).

$$lux = x \times vLDR \quad (2)$$

Já o sensor MQ-137 exige um procedimento diferenciado para calibração. Recomenda-se que ele seja exposto a um ambiente livre do gás alvo por um período de 24 horas. Após este período, são lidos os valores resultantes [28]. Para a obtenção da curva de calibração, os valores obtidos pelo sensor convencional (DG-2000; Instruterm®; faixa de sensibilidade de 4 a 100 ppm; resolução de 1 ppm e precisão de  $\pm 5\%$ ) foram comparados aos valores lidos pelo conversor analógico digital da UCP, estabelecendo-se, então, uma curva de regressão aproximada. Para isso, ambos os sensores foram acomodados em uma caixa de PVC medindo 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 35 cm de altura. Dentro da caixa foi posicionada uma gota de solução de amoníaco a 5%. Após o período de estabilização dos sensores (MQ-137 e o medidor de amônia comercial), os valores de concentração de amônia obtidos do sensor comercial e dispositivo proposto foram anotados em planilha. Tal procedimento foi realizado 20 vezes, sendo todos os resultados analisados com o objetivo de plotar a curva de regressão exponencial ilustrada na Fig. 5.

A partir da curva de calibração, detectou-se a melhor equação matemática que se ajustou aos dados ( $R^2 = 0,9648$ ) e obteve-se a equação exponencial (3):

$$y = 6E - 16x^{4,1092} \quad (3)$$

A equação exponencial foi usada como base para o cálculo do teor de amônia no ar pelo dispositivo proposto neste trabalho, onde  $x$  é o valor lido pelo sensor MQ-137 e  $y$  o valor resultante em teor de amônia expresso em partes por milhão (ppm).

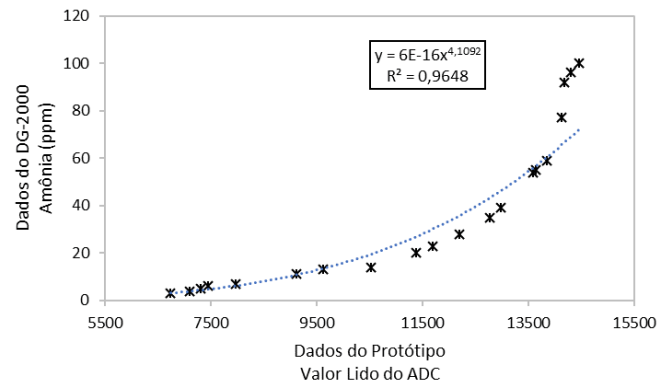


Figura 5. Curva de Calibração

## V. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO PROPOSTO

Um experimento foi realizado em Agosto de 2017, em um galpão do Setor de Avicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus de Machado/MG, para comparar o dispositivo proposto com um termo-higrômetro comercial (Tabela 1).

TABELA 1  
Características do termo-higrômetro digital 7666 (Incoterm®)

Característica	Temperatura	Umidade
Faixa de Sensibilidade	0 °C ~ 50 °C	15% ~ 95%
Resolução	0,1 °C	1% UR
Precisão	$\pm 1$ °C	$\pm 5\%$ UR

O galpão (Fig. 6) foi construído com orientação Leste-Oeste, possuindo ventilação natural. O galpão apresenta dimensões de 6 m de largura x 24 m de comprimento x 3,5 m de pé-direito, sendo coberto com telhas de fibrocimento. Nele estavam alojadas 2.000 galinhas da linhagem *Hy-Line Brown* em fase de postura. O sistema de produção adotado para a criação das aves é o intensivo, seguindo as recomendações de nutrição e manejo do manual da linhagem.



Figura 6. Galpão de poedeiras utilizado para comparar o dispositivo proposto com um termo-higrômetro comercial.

Durante cinco dias consecutivos, ambos os equipamentos foram posicionados no interior do galpão, um ao lado do outro e a uma mesma altura do piso (aproximadamente 1,60 m). Neste período foram definidos cinco horários diários de registro da temperatura e umidade relativa do ar (8:00, 10:00, 14:00, 16:00 e 20:00 horas), obtendo-se um total de 20 dados registrados para cada equipamento neste período.

Como os níveis de amônia no interior do galpão estavam abaixo do limite de detecção de ambos os sensores, e tendo em vista que qualquer estratégia de manejo do galpão para aumentar a concentração interna de amônia poderia afetar negativamente o desempenho e bem-estar das aves, optou-se por utilizar condições laboratoriais usando a mesma caixa de PVC descrita no item “C. Calibração” da seção IV deste artigo. Para a determinação do teor de amônia no ar pelo dispositivo proposto e equipamento convencional (Tabela 2), vinte medições foram realizadas simultaneamente.

TABELA 2  
Características do detector de amônia DG-2000 (Instruterm®)

Característica	Amônia
Faixa de Sensibilidade	4 ~ 100 ppm
Resolução	1 ppm
Precisão	± 5%

As medições de luminosidade também foram obtidas no laboratório usando uma fonte de luz com iluminação variável controlada por *dimmer*. Vinte medições foram realizadas simultaneamente pelo dispositivo proposto e o equipamento convencional (Tabela 3), em diferentes intensidades de iluminação.

TABELA 3  
Características do luxímetro digital MLM-101 (marca: Minipa®)

Característica	Luminosidade
Faixa de Sensibilidade	0 ~ 10.000 lux
Resolução	1 lux
Precisão	± 4~5%

Para a análise da conectividade e transmissão de dados, o dispositivo proposto foi conectado à rede sem fio e internet, aplicando, assim, o conceito de “Internet das Coisas”. Para validação da integração entre o dispositivo proposto e o aplicativo proposto foi observada a atualização dos dados no mesmo através do *smarthphone* comparando-se os dados exibidos no *display* do dispositivo proposto e no aplicativo ao mesmo instante de tempo.

Para a análise de custos, considerou-se os valores de mercado de cada equipamento e dos componentes necessários para a criação do dispositivo proposto.

Para análises dos resultados, utilizou-se o *software* Microsoft Excel® (versão 2016) para o estabelecimento de regressões lineares pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Assim, comparou-se o quanto os dados obtidos pelo dispositivo proposto assemelhavam-se com os dados dos

equipamentos admitidos como referência. Por meio deste método, obteve-se a equação da reta de regressão que mais se aproximou do conjunto de dados e o coeficiente de correlação  $R^2$ .

## VI. RESULTADOS

Como verifica-se na Fig. 7, foram coletados vinte registros da temperatura e umidade relativa para cada equipamento avaliado.

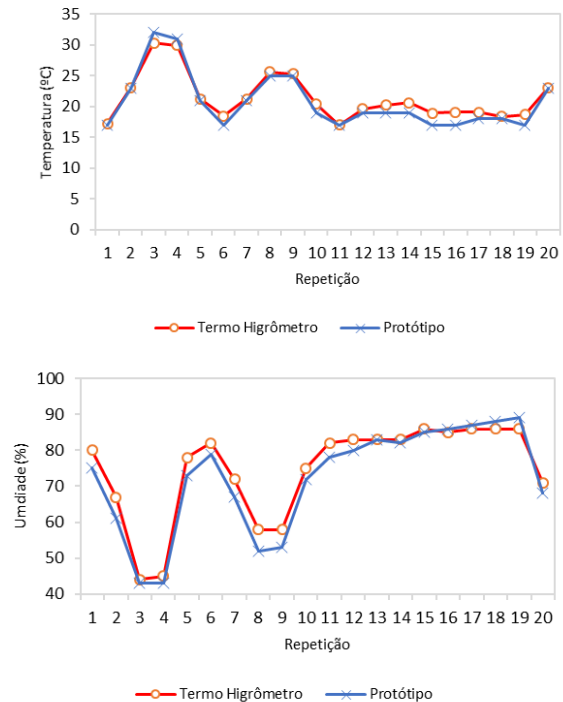


Figura 7. Temperatura e umidade relativa do ar registradas pelo dispositivo proposto e pelo termo-higrômetro comercial.

Observou-se alta correlação ( $R^2$ ) entre os dados fornecidos pelos dois equipamentos para os parâmetros temperatura e umidade relativa do ar (Fig. 8 e 9), com correlações superiores a 0,97, sinalizando que o dispositivo proposto representa uma eficaz alternativa comparado ao equipamento convencional.

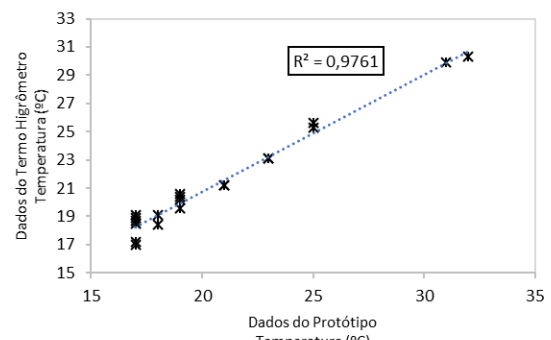


Figura 8. Correlação da temperatura entre o termo-higrômetro comercial e o dispositivo proposto.

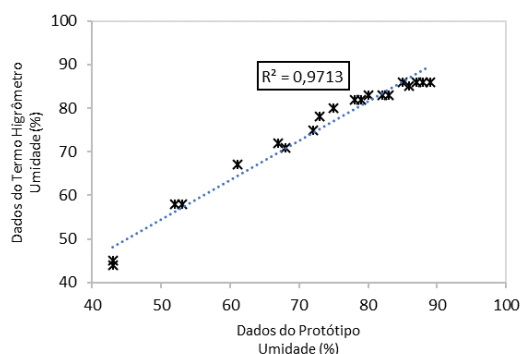


Figura 9. Correlação da umidade entre o termo-higrômetro e o dispositivo proposto.

Comparado ao luxímetro comercial, o dispositivo proposto também se mostrou eficiente em monitorar a luminosidade, com correlação próxima a 1,0 ( $R^2 = 0,9965$ ) (Fig. 10 e 11).

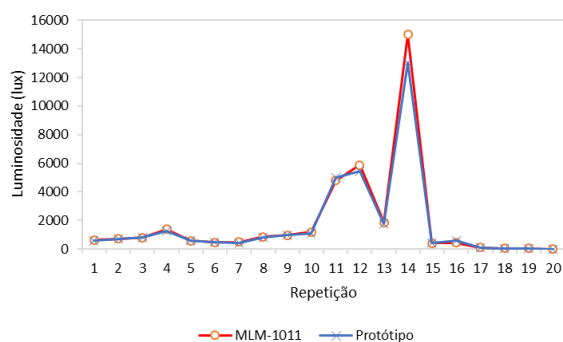


Figura 10. Luminosidade registrada pelo dispositivo proposto e luxímetro comercial.

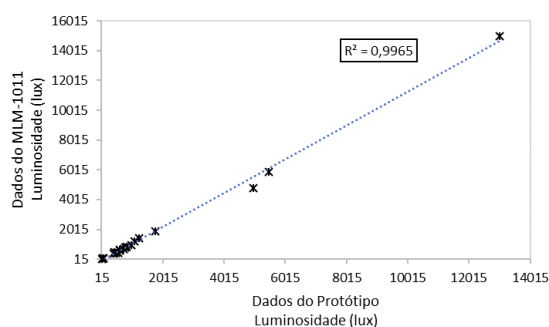


Figura 11. Correlação da luminosidade entre o luxímetro e o dispositivo proposto.

Com relação à determinação do teor de amônia no ar, verificou-se que há maior semelhança nos valores detectados entre os sensores em concentrações de amônia mais baixas (Fig. 12). Este resultado indica a possibilidade do uso do sensor MQ-137 para concentrações de amônia no ar de até aproximadamente 60 ppm, o que pode estar relacionado com as propriedades físicas do sensor e sua construção, além da influência da temperatura e umidade, fato este que poderá ser corrigido considerando-se, também, estas variáveis na adoção da curva de calibração em futuras versões. Porém, deve-se considerar que concentrações de amônia no ar,

superiores a 10 ppm, podem comprometer o bem-estar e a saúde das aves e funcionários da granja [5, 15].

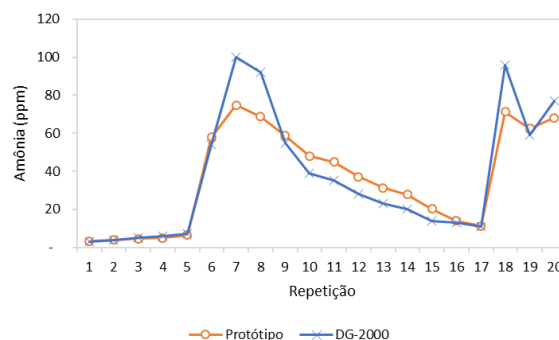


Figura 12. Concentração de amônia no ar registrada pelo dispositivo proposto e equipamento comercial.

Embora o coeficiente de correlação para a amônia tenha sido menor do que o observado para os demais parâmetros ambientais avaliados, o valor de  $R^2 = 0,9128$  (Fig. 13) pode ser considerado um bom resultado.

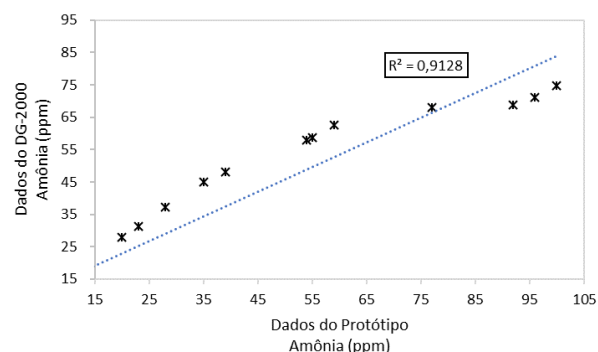


Figura 13. Correlação da amônia entre o equipamento comercial e o dispositivo proposto.

Com relação à conectividade do dispositivo proposto, observou-se em situação normal que 97,8% dos dados transmitidos foram adequadamente disponibilizados ao aplicativo cliente, tendo como base o comparativo entre os dados armazenados na memória do dispositivo proposto e dados armazenados no cliente. É importante ressaltar que o baixo volume de dados enviados colabora para o uso de conexões de menor velocidade. Os dados não transmitidos (2,2%), em sua maioria, tinham relação com a qualidade e instabilidade da conexão com internet e não diretamente com o dispositivo propriamente dito. Um ponto positivo do dispositivo proposto, em relação aos equipamentos de mercado, é a capacidade de comunicação com a rede e a possibilidade de combinar vários sensores em um único equipamento, ou seja, monitorar vários parâmetros ambientais ao mesmo tempo de forma automatizada. Estes elementos corroboram que o uso de conectividade e do conceito de “Internet das coisas” facilita e amplia as possibilidades do uso da tecnologia no campo [19]. O monitoramento em tempo real das condições ambientais dos galpões avícolas é imprescindível para assegurar condições adequadas para a ave e favorecer rápidas tomadas de decisão, quando necessárias [9].

Considerando-se o monitoramento da temperatura, da umidade relativa, da luminosidade e do teor de amônia no ar, o custo do material utilizado (referência Agosto/2017) para a montagem do dispositivo proposto representou apenas 12,66% do preço de mercado dos equipamentos comercialmente vendidos com a mesma finalidade (Tabelas 4 e 5).

TABELA 4  
Custo dos equipamentos comerciais utilizados

Equipamento	Custo (R\$)
Detector de amônia modelo DG-2000, marca Instrutherm®	R\$ 2.524,43
Luxímetro digital modelo MLM-101, marca Minipa®	R\$ 194,82
Termo-higrômetro digital modelo 7666, marca Incoterm®	R\$ 67,82
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.787,07</b>

TABELA 5  
Custo de material do dispositivo proposto

Componente	Custo (R\$)
Controlador Wemos Mini D1	R\$ 40,00
Fonte Embarcada 5v	R\$ 20,00
Chave Gangorra com Led	R\$ 5,00
Antena Externa	R\$ 5,00
Cabo de Alimentação	R\$ 2,00
Sensor LDR	R\$ 1,00
Sensor DHT22	R\$ 30,00
Sensor MQ-137	R\$ 140,00
Buzzer	R\$ 5,00
Display LCD	R\$ 25,00
Caixa Personalizada	R\$ 40,00
Fiação, Resistores, Parafusos, outros	R\$ 20,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 353,00</b>

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da alta eficiência no registro dos parâmetros ambientais e da rapidez na transmissão dos dados, o dispositivo proposto representa uma alternativa de baixo custo para o monitoramento da temperatura, da umidade relativa, da luminosidade e da concentração de amônia no ar. Embora a validação experimental tenha sido realizada em galpões avícolas, o dispositivo proposto tem potencial para gerar um produto tecnológico que poderá ser utilizado em outros setores de produção, tais como a suinocultura, por exemplo.

Como perspectivas, podemos citar a possibilidade de novos estudos que considerem o aprimoramento na engenharia do *software* e também a inclusão de sensores que permitam o monitoramento de outros parâmetros ambientais relacionados à manutenção da qualidade do ar.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Mestrado Profissional em Sistemas de Produção da Universidade José do Rosário Vellano, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (Campus Machado) e à Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas pelo apoio indispensável para o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] G. B. S. Pessôa, F. de C. Tavernari, R. A. Vieira, and L. F. T. Albino, "New concepts in poultry nutrition," *Rev. bras. saúde prod. anim.*, vol. 13, pp. 755-774, 2012.
- [2] A Revista do Avisite, "O frango no mundo em 2016," *A Revista do Avisite*, n. 99, pp. 22-28, 2015. [Online]. Disponível em: <http://www.revistadoavisite.com.br/web/pub/avisite/index2/?numero=99>. [Acesso em 30-09-2017].
- [3] A Revista do Ovo, "Os rumos da avicultura de postura em 2017," *A Revista do Ovo*, n. 40, pp. 6-12, 2016. [Online]. Disponível em: <http://www.revistadoovo.com.br/web/pub/avisite/?numero=40&edicao=3709> [Acesso em 30-09-2017].
- [4] H. A. Elson, "Poultry welfare in intensive and extensive production systems," *Worlds Poult Sci J*, vol. 71, pp. 449-460, 2015.
- [5] R. A. Ferreira, "Maior produção com melhor ambiente: para aves, suínos e bovinos", Viçosa, Aprenda Fácil, 3ª edição, 2016.
- [6] J. A. O. Saraz, I. F. F. Tinôco, R. S. Gates, M. C. Paula, and L. B. Mendes, "Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities," *Dyna*, vol. 80, pp. 51-60, 2013.
- [7] B. Vanelli et al., "Internet of things data storage infrastructure in the cloud using NoSQL databases," *Revista IEEE América Latina*, vol. 15, pp. 737-743, 2017.
- [8] A. Kagan, "Information systems implementation within US agribusiness: an applications approach," *Comput Electron Agric.*, vol. 28, pp. 207-228, 2000.
- [9] R. B. Mahale, and S. S. Sonavane, "Smart poultry farm monitoring using IOT and wireless sensor networks," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 7, pp. 187-192, 2016.
- [10] F. Vieira, I. Silva, J. Barbosa Filho, and A. Vieira, "The influence of thermal conditions from an environmentally controlled preslaughter lairage on mortality of broiler chickens," *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, vol. 68, pp. 475-482, 2016.
- [11] L. J. Lara, and M. H. Rostagno, "Impact of heat stress on poultry production," *Animals*, vol. 3, pp. 356-369, 2013.
- [12] R. F. M. de Oliveira et al., "Effects of temperature and relative humidity on performance and yield of noble cuts of broilers from 1 to 49 days old," *R. Bras. Zootec.*, vol. 35, pp. 797-803, 2006.
- [13] M. Macari, A. A. Mendes, J. F. M. Menten, and I. de A. Nääs, "Produção de frangos de corte", Campinas, Facta, 2ª edição, 2014.
- [14] L. F. T. Albino, et al., "Galinhas poedeiras: criação e alimentação", Viçosa, Aprenda Fácil, 2014.
- [15] C. Oro, and E. C. B. P. Guirro, "Influence of ammonia from the litter on broiler chicken welfare," *Veterinária em Foco*, vol. 12, pp. 49-63, 2014.
- [16] D. Li, et al., "The effect of monochromatic light-emitting diode light on reproductive traits of laying hens," *J Appl Poultry Res*, vol. 23, pp. 367-375, 2014.
- [17] D. UCKELMANN, M. HARRISON, and F. MICHAHELLES, "Architecting the Internet of Things," Nova Iorque, Springer, 2011.
- [18] A. C. R. Souza, M. I. S. Correa, I. C. Moraes, L. M. A. Fernandes, and J. A. F. d. Silva, "Significados associados à internet das coisas no Brasil à luz da construção social da tecnologia," *Revista Gestão Organizacional*, vol. 13, pp. 254-263, 2015.
- [19] CISCO, "Internet of Things Overview," [Online]. Available: [http://www.cisco.com/c/pt\\_br/solutions/internet-of-things/overview.html](http://www.cisco.com/c/pt_br/solutions/internet-of-things/overview.html). [Acesso em 30-09-2017].
- [20] D. A. Gomes, and D. Bianchini, "Interconnecting wireless sensor

- networks with the internet using web services,” *Revista do IEEE América Latina*, vol. 14, pp. 1937-1942, 2016.
- [21] V. Doknić, “Internet of things greenhouse monitoring and automation system,” in *Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology*, Melaka, 2015.
- [22] IEEE, “IEEE 802.11™: wireless lans,” 2016. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>. [Acesso em 30-09-2017].
- [23] C. Moretti e M. A. Bellezi, “Segurança em redes sem fio 802.11,” *Revista T.I.S. - Tecnologias, Infraestrutura e Software*, vol. 34, pp. 428-434, 2014.
- [24] R. K. Kodali, and K. S. Mahesh, “Low cost ambient monitoring using ESP8266,” em *2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, Noida, 2016.
- [25] Espressif, “ESP8266EX Datasheet,” [Online]. Available: <https://espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/>. [Acesso em 30-09-2017].
- [26] Wemos, “D1 Mini,” [Online]. Available: [https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1\\_mini](https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1_mini). [Acesso em 30-09-2017].
- [27] DHT22, [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. [Acesso em 03-10-2017].
- [28] MQ-137 [Online]. Available: <http://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/NH3.pdf>. [Acesso em 03-10-2017].
- [29] P. Ambresh, M. Ashwini, R. W. Rodrigues, and Vikesh, “Design & development of electronic letter box using LDR,” *Proceeding of NCRIET-2015 & Indian J. Sci. Res.*, vol. 6, pp. 33-36, 2015.
- [30] A. M. Braga, E. N. Nascimento, L. R. Palma, and R. P. Rosa, “Introdução à Segurança de Dispositivos Móveis Modernos: um estudo de caso em android,” em *XII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, Curitiba, 2012.