



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

IZABELY CARREIRA DA LUZ

**Espectros de emissão de fontes de luz para iluminação artificial de aviários e resposta  
espectral dos olhos das aves**

Orientador: Prof. Dr. Mauro Luciano Baesso

Maringá  
2021





UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

IZABELY CARREIRA DA LUZ

**Espectros de emissão de fontes de luz para iluminação artificial de aviários e resposta  
espectral dos olhos das aves**

Orientador: Prof. Dr. Mauro Luciano Baesso

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Departamento de Física  
da Universidade Estadual de Maringá,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Bacharel em Física.

Maringá  
2021

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, sem o qual não estaria aqui e não teria a oportunidade de finalizar este projeto.

Agradeço ao Professor Mauro Luciano Baesso, pela coordenação e apoio durante a realização deste trabalho, pelo auxílio que recebi e pela paciência e dedicação em orientar-me.

Agradeço a Lidiane Hoshino, por me auxiliar e oferecer sua amizade neste momento tão importante.

Agradeço aos meus colegas de curso, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração durante os anos em que partilhamos conhecimento em sala de aula, em especial agradeço a Fabio Samuel da Silva, Rebecca Domingues Salles, Regiane Malaguti e Victoria Gonzaga pela amizade e paciência comigo durante toda a graduação.

Agradeço a todos os meus professores, que me ensinaram a não desistir da educação e da Universidade Pública, pois só elas podem transformar a realidade em que vivemos. Em especial, agradeço à Professora Mayara de Oliveira, pelos ensinamentos, conselhos e por me transmitir a paixão à Física, e à exemplar Professora Zilda Medeiros, que marcou a minha alfabetização e a minha vida.

Agradeço aos meus pais, Sérgio Corrêa da Luz e Luzia Carreira da Luz, e à minha irmã, Maria Vitória Carreira da Luz, por todo o amor e apoio durante a minha vida e, em especial, durante a minha graduação, por não medirem esforços para me dar apoio em todos os momentos, fáceis e difíceis.

## RESUMO

Frangos de corte estão presentes na alimentação de boa parte da população mundial, sendo consumidos em larga escala por diversos países e constituindo fonte de renda para muitas famílias avicultoras brasileiras, principalmente pelo fato de que o Brasil ocupa posição de destaque entre os exportadores de aves para consumo alimentar. Porém, muito se conhece acerca dos fatores que influenciam positiva e negativamente a produção de aves de corte, em contraponto com a atenção dada a estudos dedicados ao bem-estar animal, ainda que estes sejam um dos principais responsáveis pelo destaque do país dentre os maiores produtores, ao lado de fatores como genética, nutrição e técnicas de manejo. Buscando modificar a ambientação dos galpões, melhorando o bem estar das aves a partir de técnicas mais eficientes de manejo e melhorias luminosas, objetiva-se a análise de fontes de luz para aviários e seu estudo a partir do que se sabe sobre a percepção das aves, que apresenta diferenças com relação à humana. Para isso, é necessário a análise do espectro de radiação eletromagnética de diferentes fontes de luz e sua comparação com os comprimentos de onda que podem ser captados pelos olhos das aves. Por fim, por meio da referenciação da literatura científica, almeja-se o apontamento de pontos chave que determinam a importância da correta escolha da iluminação para a manutenção do bem-estar animal aliado à eficácia na produção de aves de corte. A partir então da análise experimental, foi possível identificar as fontes de luz incandescente como a melhor opção dentre as avaliadas para a iluminação de galpões avícolas, pois seu espectro de radiação eletromagnética indica emissão predominante na faixa correspondente à luz vermelha, o que corrobora para a diminuição da atividade física das aves e melhor ganho de peso, além de constituir a melhor opção do ponto de vista da percepção dos humanos. Porém, como essas lâmpadas foram retiradas do mercado, as à base de LED são as melhores opções, mas precisam ser adaptadas a partir de ajustes nos espectros de emissão de luz para diminuir a intensidade relativa de luz azul. Ou seja, há necessidade de desenvolvimento tecnológico para se melhor atender as necessidades de iluminação dos aviários. Foi apresentado também os cálculos das temperaturas de cor de cada fonte, observando-se boa concordância com as especificações dos fabricantes. Em conclusão, esta monografia abordou aspectos relevantes sobre a iluminação de aviários, apontando para a necessidade de desenvolvimento de novas fontes de iluminação, em especial com possibilidade de sintonização de cores, contribuindo para o bem estar animal e para ganho de produtividade.

**Palavras-chave:** Bem-estar animal; frangos de corte; aves; fontes de luz; aviários.



## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	1
<b>2. Fundamentação Teórica</b>	3
2.1 Visão	3
2.2 Fontes de Luz	5
2.2.1 Lâmpadas Incandescentes Comuns	5
2.2.2 Lâmpadas Incandescentes Halógenas	6
2.2.3 Lâmpadas Fluorescentes	6
2.2.4 Lâmpadas à base de LEDs	7
2.3 Princípios da Iluminação em aves de corte	8
2.4 Programas de manejo de luz	8
2.5 Temperatura de cor	9
2.5.1 Temperatura de cor correlata	10
2.5.2 Cálculo da temperatura de cor correlata	10
2.6 Espectro Eletromagnético	10
<b>3. Montagem experimental</b>	11
3.1 Espectroradiometria	11
3.1.1 Radiometria	12
3.1.2 Fotometria	12
3.2 Espectroradiômetro	12
3.2.1 Irradiância	12
3.3 O espectrorradiômetro	12
<b>4. Resultados e Discussão</b>	13
4.1 G-light – À Base de LED	14
4.2 OuroLux- Fluorescente	15
4.3 Lifelamp- Á base de LED	15
4.4 Galaxy LED	15
4.5 Incandescente	16
4.6 Comparação entre as fontes de luz	16
4.7 Análise da Temperatura de Cor	18
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	20
<b>REFERÊNCIAS</b>	21

# 1. Introdução

O manejo de luz possui baixo custo em contraponto com sua vasta utilidade e importância sobre o desenvolvimento do olho dos animais e suas funções, sendo frequentemente empregado para a manipulação do comportamento e da produção de aves de corte. (LEWIS, 2004.) A adequada escolha da fonte de luz determina o comprimento de onda que pode ser aliado ao manejo de intensidade, duração e distribuição do fotoperíodo, relacionado à produção e liberação de melatonina pela glândula pineal. (BUYSE, 1996 e LEWIS, 1998.)

A melatonina é o hormônio responsável pela regulação dos padrões de sono e do ritmo cardiopulmonar, reprodutor, excretor, termorregulador, comportamental, imunológico e neuroendócrino. A glândula endócrina pineal, situada na região cerebral, é fotossensível, sendo a melatonina liberada principalmente nos períodos de escuridão (PANG, 1996.) As aves possuem percepção de luz mais abrangente que os humanos e são capazes de captar comprimentos de onda muito curtos, como os raios ultravioleta (UV), desse modo preferem então a luz natural à artificial, visto que a primeira contém tais comprimentos de onda e a maioria das fontes de luz artificial encontradas no mercado não tem. Além disso, há que se considerar que a espécie está adaptada à iluminação solar por gerações e só muito recentemente na criação em regime fechado tem sido exposta a diferentes condições de iluminação artificial. Frangos de corte geralmente não se alimentam nos períodos de escuro, desde que estes não se estendam por muitas horas consecutivas. Desse modo, fica evidenciada a importância da iluminação nos galpões para o desenvolvimento do lote. Além disso, para que a iluminação seja mais proveitosa para a produção, esta deve ser escolhida de acordo com a percepção das aves, e não dos humanos, o oposto do que é hoje realizado. Muito se diz sobre o bem-estar dos frangos, porém pouco se estuda sobre a interferência da intensidade luminosa, da distribuição de lâmpadas e da temperatura de cor, estando o foco das pesquisas apenas sobre a duração dos fotoperíodos e a sua relação com o crescimento e ganho de peso das aves. (KAWAUCHI, 2009.)

O programa de luz empregado ocupa posição de importância tanto para o bem estar quanto para a produção econômica da atividade. (MORAES, 2006.) Diferentes técnicas de manejo contribuem para a conquista de mercado quando aliadas ao melhoramento genético e controle sanitário, levando à diminuição da conversão alimentar do lote e aumento da sua taxa de crescimento diário, levando a um menor custo final do produto. (LIN, 2006.)

Endler (1993) caracterizou a luz ambiente nas florestas e como esta afeta a aparência dos animais que ali vivem, indicando também como a luz ambiente fornecida afeta a evolução das funções oculares destes. Para mais, de acordo com Lewis (2007), lotes mantidos em ambientes com iluminação artificial controlada e sem exposição à radiação UVA podem apresentar alterações fisiológicas e comportamentais.

O meio ambiente é caracterizado por um conjunto de fatores capazes de afetar de modo direto ou indireto a vida e o bem estar dos animais que ali vivem, como temperatura e umidade (BAËTA, 1997). Assim, compreender, por exemplo, quais fatores levam as lâmpadas incandescentes a serem as mais escolhidas e utilizadas em aviários é também estudar e melhorar a ambiência dos criadouros.

Levando em consideração os fatores levantados sobre a importância da prévia discussão sobre a fonte de iluminação a ser escolhida para emprego em galpões de criação de aves de corte, objetiva-se a análise de lâmpadas comumente utilizadas em tais ambientes por meio da compreensão dos dados obtidos experimentalmente relativos ao seu espectro de radiação. Para análise dos resultados serão utilizados os conhecimentos acerca da percepção de luz pelas aves, e não pelos humanos.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Visão

A diferença mais perceptível entre os olhos das aves e dos humanos é o tamanho, visto que os frangos possuem olhos bem maiores em proporção com o corpo quando comparados aos humanos. Porém, há diversas diferenças e semelhanças importantes para o estudo da visão e percepção ambiental por parte destes animais. Assim como os humanos, as aves possuem dois tipos de células receptoras na retina do olho: os bastonetes e os cones. Os primeiros são mais numerosos e sensíveis, sendo responsáveis pela visão em situações com pouca luz. De modo contrário, os cones possibilitam a visão durante o dia e em períodos nos quais a iluminação imita a luz diária.

As imagens fornecidas pelos bastonetes possuem menor definição devido ao fato de que há muitas destas células ligadas a uma única fibra nervosa. No entanto, esta característica resulta em alta sensibilidade em razão do somatório da quantidade de imagens captadas, garantindo alta sensibilidade que ocorre com um máximo em torno de 507 nm (luz azul/verde), que por acaso é a região espectral de maior intensidade da radiação solar na superfície da terra, conforme mostrado na Fig. 1.

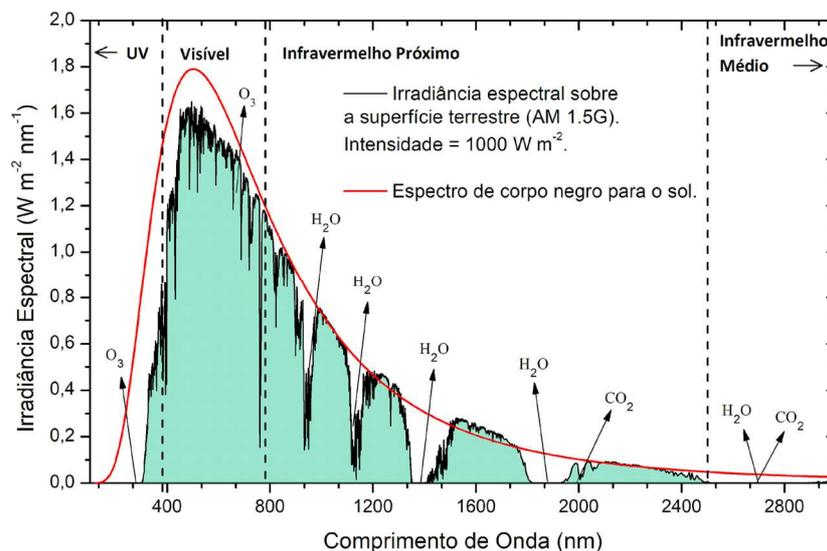


Fig. 1. Irradiância espectral absoluta do sol sobre a superfície terrestre (Fonte J.W. Berrar. Monografia TCC, Departamento de Física, maio, 2021)

Os cones, ao contrário, são em números menores, cada célula ligada a uma fibra nervosa, assegurando alta definição e percepção das cores.

Existem três tipos de cones na retina do olho humano, diferenciados pelo nível de óleo em cada um, que permite que certos comprimentos de onda penetrem nas fibras nervosas, resultando em picos de percepção nas cores primárias: 450 nm para o azul, 550 nm para o verde e 700 nm para o vermelho. Apenas a luz branca é capaz de estimulá-los em conjunto, dada a sua composição espectral. Diferentemente, as aves possuem um cone adicional cujo pico de percepção situa-se em 415 nm (GOVARDOVSKII, 1977), garantindo a estas capacidade visual na região espectral para comprimentos de onda menores do que 400 nm (PRESCOTT, 1999a.). Prescott (1999b) traçou as curvas de sensibilidade espectral das aves domésticas empregando um teste eletrofisiológico, e Wortel (1987) o fez utilizando um teste comportamental. Os dois testes ilustraram que a resposta das aves é mais ampla no que tange a menores comprimentos de onda, de modo que os raios ultravioleta A (UVA) são captados e influenciam a visão destes animais, ilustrado na Fig. 2.

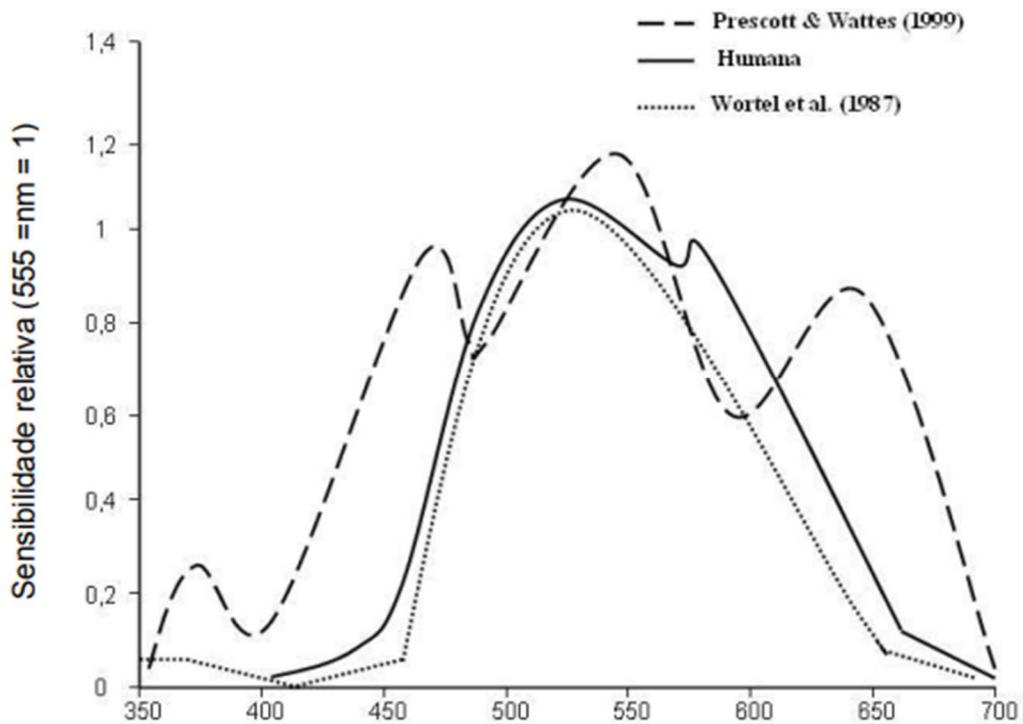


Figura 2: Curvas de sensibilidade espectral das aves e humanos. (PRESCOTT, 2001 e Wortel (1987)).

A vantagem é que as aves conseguem captar mais informações espectrais, porém para que o sistema trabalhe em máximo potencial é necessário um elevado nível de iluminância. Além disso, é necessário atentar-se para o fato de que os comprimentos de onda emitidos pelas lâmpadas influenciam as cores percebidas pelas aves e acabam por restringir o comportamento social das mesmas, associado à transmissão visual de informações relacionadas à crista das

aves. Todos os frangos criados na região possuem crista. Algumas espécies não, e são ditos frangos caipiras e não de granja, que é o objetivo do trabalho.

## 2.2 Fontes de Luz

Frangos de granja demonstram preferência por fontes de luz cuja radiação luminosa se aproxima à do Sol (ALVINO, 2009.) e as fontes mais utilizadas em aviários são as lâmpadas fluorescentes e à base de LEDs. Abaixo estão listados alguns tipos de fonte de luz e suas principais características.

### 2.2.1 Lâmpadas Incandescentes Comuns

A primeira lâmpada incandescente foi produzida em 1854 por Henrich Göbel, um mecânico alemão que a utilizou para iluminar sua loja. Ela consistia em fibras de carbono como filamento inseridas em um bulbo de vidro sem ar conectado a uma bateria. Já em 1879, Thomas Alva Edison adicionou a esse projeto uma base rosqueável que garantia o contato elétrico (Fig. 3).

O nome de tal fonte de luz vem do fato de que é utilizado em sua confecção um filamento de tungstênio, que aquece devido à passagem de corrente elétrica e incandesce. Elas possuem algumas vantagens, como o preço acessível, a facilidade de troca e a alta reprodução de cores, porém gastam mais energia em relação às fluorescentes e às de LEDs, por isso foram substituídas pelas lâmpadas fluorescentes (BASTOS, 2011).



Figura 3: Lâmpada incandescente. (mybrainsociety.wordpress.com, acesso em 12/01/2021)

### 2.2.2 Lâmpadas Incandescentes Halógenas

Com o mesmo funcionamento das comuns, as lâmpadas incandescentes halógenas também incandescem a partir da passagem de corrente elétrica através de um filamento, porém possuem um bulbo de quartzo, e não de vidro, o que permite adicionar halogênio a ele (Fig. 4). Essa diferença faz com que os átomos do gás se combinem com as partículas que se soltam do filamento e as levem de volta ao filamento, mantendo-o com a mesma espessura durante toda a vida útil da lâmpada, que é maior e mais proveitosa se comparada com a primeira, já que o bulbo permanece límpido (DE BODAS, 2010).



Figura 4: Lâmpada incandescente halógena. (DE BODAS, 2010.)

### 2.2.3 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes possuem mercúrio em sua constituição, primeira grande diferença com relação às incandescentes. A principal vantagem é o fato de que reduzem em cerca de 80% os gastos com energia, além de sua vida útil ser maior, assim como sua eficiência luminosa.

As lâmpadas fluorescentes são formadas por um tubo de vidro recoberto de uma camada luminescente de pós de fósforo, entre os quais há uma camada de alumínio (Fig. 5). Dentro do tubo é colocado um gás inerte (como o argônio ou neônio) à baixa pressão e vapor de mercúrio à baixa pressão parcial. Nos extremos da fonte ficam os eletrodos de tungstênio ou aço inox, de modo que o tubo se encontra em vácuo parcial. (ANDRÉ, 2004).

Ao ser ligada, a lâmpada é percorrida por uma corrente elétrica que aquece os cátodos recobertos por um material capaz de emitir elétrons, que vão de um eletrodo a outro, constituindo uma nova corrente elétrica, ionizando os gases de enchimento. Os elétrons acabam por colidir com os átomos do vapor de mercúrio e os excitam, levando à emissão de raios ultravioleta, responsáveis por causarem a fluorescência quando atingem a parede que reveste o tubo, emitindo radiação na faixa do visível. Estas lâmpadas apresentam diversos problemas, desde a presença do mercúrio que é um resíduo muito tóxico que demanda recolhimento para destinação adequada, até a emissão de radiação na região do ultravioleta, provenientes da emissão do mercúrio, que são prejudiciais à saúde. Na maioria dos países as lâmpadas fluorescentes vêm sendo substituídas por fontes de luz à base de LEDs. No Brasil, sua comercialização está proibida desde 2017. Isto vem ocorrendo em razão da rápida evolução da tecnologia de LEDs e porque, como mencionado acima, o mercúrio presente no bulbo das lâmpadas fluorescentes causa sérios problemas de contaminação quando descartadas no meio ambiente (DA ROSA, 2017).

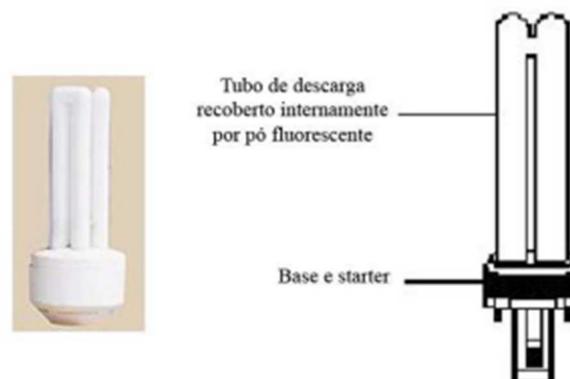


Figura 5: Lâmpada fluorescente compacta. (SIQUEIRA, 2011.)

#### 2.2.4 Lâmpadas à base de LEDs

As lâmpadas LEDs são construídas a partir da combinação de LEDs com um material fósforo posicionado sobre o LED. Um dos tipos de LED que se encontra no mercado atual está ilustrado na (Fig. 6). A partir da passagem da corrente elétrica pelo LED, ocorre emissão de luz, em geral no azul (~405 nm), radiação esta que excita o fósforo, gerando o espectro de emissão na região do visível. A escolha de um ou dois LEDs e o tipo de material fósforo, define a temperatura de cor pretendida. Tais fontes de luz, diferente das fluorescentes, permitem a emissão de luz em diferentes cores, com possibilidade de sintonização de intensidade nos diferentes comprimentos de onda, o que pode ser aliado às técnicas de manejo de luz para o ganho de

peso das aves. Além disso, consomem menos energia e possuem maior durabilidade, retardando o seu descarte e consequente a poluição ambiental, quando realizado incorretamente (DA ROSA, 2017).

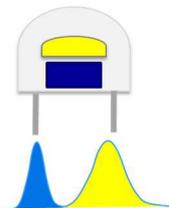


Figura 6: Estrutura de uma fonte de Luz à base de LED, composta por um LED com emissão no azul e um fósforo para absorver parcialmente a luz do LED e emitir no verde-amarelo-vermelho, produzindo “luz branca”

## 2.3 Princípios da Iluminação em aves de corte

O fotoperíodo é caracterizado pela alteração da intensidade luminosa e espera-se que não somente ele, mas também a cor dos raios luminosos, que é modificada através da intensidade em certos comprimentos de onda, interfira no desenvolvimento dos frangos. A luz visível é apenas uma faixa de uma enorme gama de comprimentos de onda possíveis, que consiste no espectro eletromagnético.

A luz incandescente possui um pico de emissão no vermelho e a fluorescente, no azul, de forma que a primeira tenha seu máximo em comprimento de onda maior com relação à segunda. De acordo com (PRESCOTT, 1999b), as aves têm dificuldade para captar comprimentos de onda na faixa do vermelho, o que pode ser utilizado no momento da apanha e, no decorrer do lote, para diminuir a atividade física, levando a um maior ganho de peso e eficiência alimentar. (KRISTENSEN, 2007). Prayitno (1997) e Davis (1999) reforçam que fontes de luz no azul aumentam a atividade das aves, o oposto do que ocorre com a luz vermelha.

## 2.4 Programas de manejo de luz

A aplicação das técnicas corretas de manejo de luz contribui para o desenvolvimento das aves e para a diminuição da energia elétrica empregada na produção de frangos de corte e da conversão alimentar do lote. O manejo aplicado é classificado de acordo com o fotoperíodo, sendo dito contínuos os programas em que as aves são mantidas em ambiente iluminado durante todo o seu desenvolvimento; já os programas de luz intermitente são caracterizados

por períodos de claro e escuro distribuídos periodicamente ao longo de 24 horas (NASCIMENTO, 2006).

Algumas empresas da região de Maringá empregam em seus núcleos programas de luz intermitente, com 6 horas de escuro e 18 horas de claro, iniciando a partir do terceiro dia de desenvolvimento dos pintinhos. Aliado a isso, incluem a diminuição da intensidade luminosa, o que corrobora para a menor atividade física das aves e consequente ganho de peso.

Há a possibilidade de aliar a luz natural à artificial, porém a maioria dos aviários construídos atualmente são equipados com cortinado cuja coloração exterior escura não permite a entrada de luz, sendo empregada apenas luz artificial durante todo o período de permanência do lote (NASCIMENTO, 2006).

## 2.5 Temperatura de cor

Diferente do que o nome sugere, a temperatura de cor não tem relação com a emissão de calor pela fonte luminosa, mas sim à tonalidade (distribuição de intensidade espectral) da cor emitida, sendo medida em Kelvin. Quanto mais clara a tonalidade da luz, mais alta é a sua temperatura de cor, aproximando-se da luz azul. Inicialmente, a temperatura de cor relaciona a cor emitida por um corpo negro aquecido a uma dada temperatura. A luz branca considerada ideal é aquela emitida pelo Sol do meio-dia a céu aberto, equivalente a 5800K (MEDEIROS, 2018).

Um experimento interessante a ser citado é o de Herschel, que incidiu luz solar sobre um prisma, fazendo com que a luz incidida se dividisse em todas as cores do espectro. Em seguida, ele mediu a temperatura de cada uma das cores com um termômetro. Além disso, ele posicionou o termômetro também em uma região onde não havia incidência de luz visível, logo após a área de luz vermelha, e observou que a temperatura medida era ainda maior que a da luz vermelha, indicando a existência de algo ainda não percebido e que não pode ser captado pelo olho humano: luz infravermelha (OLIVEIRA, 2014).

Com relação a possíveis divergências entre os valores indicados nas fontes e os obtidos experimentalmente, é essencial a realização de medidas experimentais que verifiquem a veracidade dos dados apresentados nas lâmpadas, já que o Brasil não tem norma de certificação que defina a distribuição de intensidade espectral das fontes de iluminação comercializadas.

### 2.5.1 Temperatura de cor correlata

Se refere à ideia geral de temperatura de cor para aqueles corpos cujas cores irradiadas não são exatamente iguais às do corpo negro, porém se aproximam delas. A publicação número 17,4 da CIE, vocabulário internacional de iluminação (ILV, International Lighting Vocabulary) define a temperatura de cor correlacionada como “a temperatura do radiador de Planck que apresenta cor mais próxima da de um dado estímulo com a mesma luminosidade e sob condições de observação específica” (OLIVEIRA, 2006).

### 2.5.2 Cálculo da temperatura de cor correlata

O cálculo da temperatura de cor correlata é realizado com base no Método de Robertson, a partir da tabela das 30 linhas de isotemperatura, sendo o erro máximo associado às medidas de temperatura entre 1600K e 3000K sempre menor que 0,2K mais a incerteza de medição.

## 2.6 Espectro Eletromagnético

É definido como o conjunto de radiações sequenciais de ondas que se propagam à velocidade constante, porém possuem diferentes comprimentos de onda (STEFFEN e MORAES, 1993). O espectro eletromagnético abrange todas as possíveis frequências, indo desde as mais baixas até as mais altas, passando pela faixa definida como luz visível (Fig. 7).

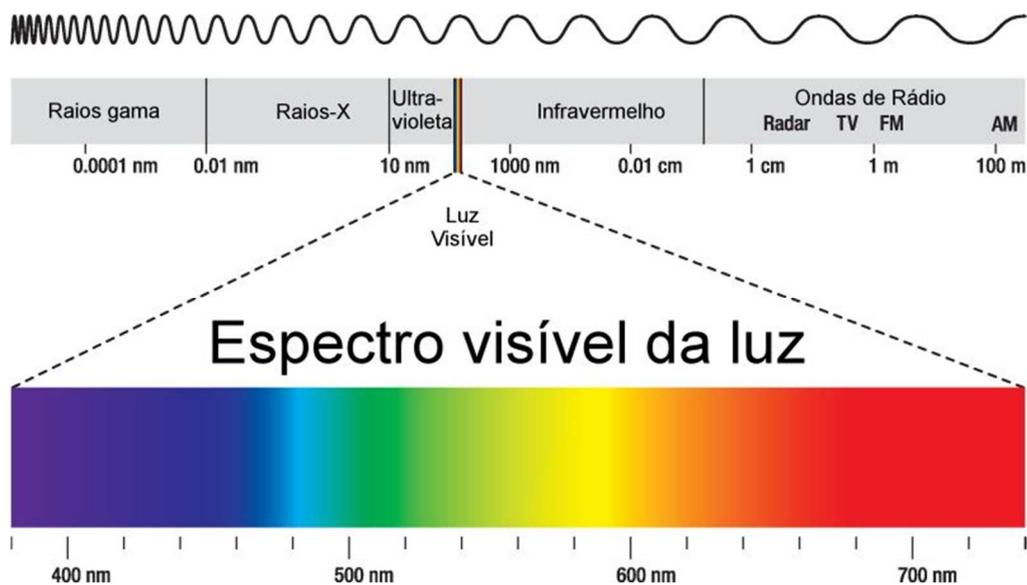


Figura 7: Espectro eletromagnético. (infoescola.com, acesso em 12/02/2021)

### 3. Montagem experimental

A irradiância das lâmpadas foi medida utilizando um espectroradiômetro (OL 756, Gooch & Housego) com uma esfera integradora acoplada. O sistema opera na faixa de comprimento de onda de 200 – 800 nm, possui como sensor uma fotomultiplicadora TE-cooled S-20 e resolução de 0,025 nm. A calibração foi feita utilizando uma lâmpada tungstênio. Esta câmera é calibrada de modo a atender a norma americana de iluminância. As lâmpadas foram posicionadas na vertical a 5 cm de distância da esfera integradora e os espectros obtidos de 250 a 800 nm.

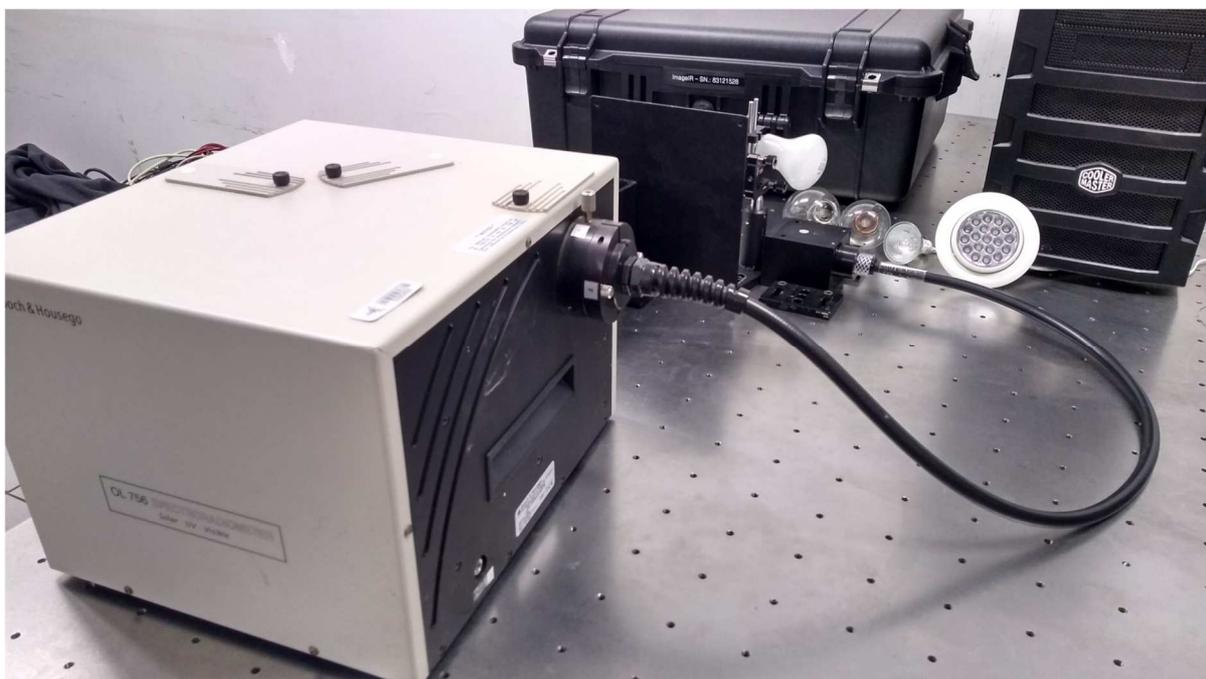


Figura 8: Foto do espectroradiômetro utilizado para as medidas dos espectros de emissão das lâmpadas testadas. Marca Gooch & Housego, modelo OL 756, de 200 a 800 nm.

#### 3.1 Espectroradiometria

A espectroradiometria é uma técnica empregada para a realização de medidas acerca da distribuição espectral da radiação emitida por uma fonte de luz. A radiação deve ser primeiramente dividida em bandas de comprimento de onda e, após isso, cada uma delas é medida separadamente, de forma que uma curva da intensidade luminosa é capaz de fornecer informações acerca das características da luz emitida pela fonte em questão (STEFFEN e MORAES, 1993).

### 3.1.1 Radiometria

Técnica de realização de medidas da energia eletromagnética irradiada, sendo realizada com base no espectro óptico inteiro, não considerando a visão humana.

### 3.1.2 Fotometria

Ao contrário da radiometria, a fotometria possibilita a medição da energia eletromagnética com base no espectro visível, tendo o olho humano como observador padrão. A visão pode ser classificada em **fotópica**, adaptada a maiores níveis de luminância, **escotópica**, adaptada a menores níveis de luminância, e **mesotópica**, quando esta é adaptada a níveis intermediários.

## 3.2 Espectrorradiômetro

Utilizado para medições da potência óptica radiante emitida (radiância e irradiância espectral), sendo composto por uma entrada óptica, que coleta a radiação, um monocromador, que divide os comprimentos de onda de tal radiação, e um detector, responsável pela conversão da energia radiante em um sinal elétrico ou neural.

### 3.2.1 Irradiância

Consiste na comparação entre a fonte teste e uma fonte padrão, cujo espectro de radiação seja conhecido. A quantidade medida corresponde à radiação da fonte a uma distância fixa, sendo necessário mantê-la sempre constante para a correta coleta de medidas.

## 3.3 O espectrorradiômetro

O espectrorradiômetro OL 756 empregado foi projetado para realizar medidas espectrais em comprimentos de onda entre 200 e 800 nm, sendo de fácil operação graças a um conjunto de software. Dotado de recursos de análise, o equipamento conclui rapidamente varreduras que perpassam por toda a faixa permitida do espectro eletromagnético, entregando resultados que não apresentam alto grau de ruídos e medidas de alta precisão.

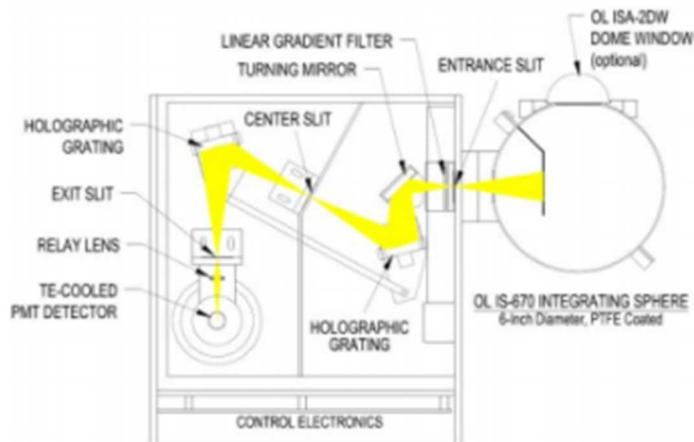


Figura 9: Representação esquemática do funcionamento do espectrorradiômetro.

## 4. Resultados e Discussão

Foram obtidos resultados experimentais a partir de 6 fontes de luz diferentes, listadas a seguir, com suas respectivas características, como a temperatura de cor indicada na embalagem. A Figura 10 mostra os espectros de irradiância obtidos para cada lâmpada. Comparação em relação aos dados fornecidos pelos fabricantes, bem como entre as lâmpadas, serão realizadas, visando sugerir a fonte de luz mais adequada para iluminação de galpões de criação de aves de corte, levando em conta as características apresentadas sobre a visão das aves e sobre o espectro eletromagnético da luz.

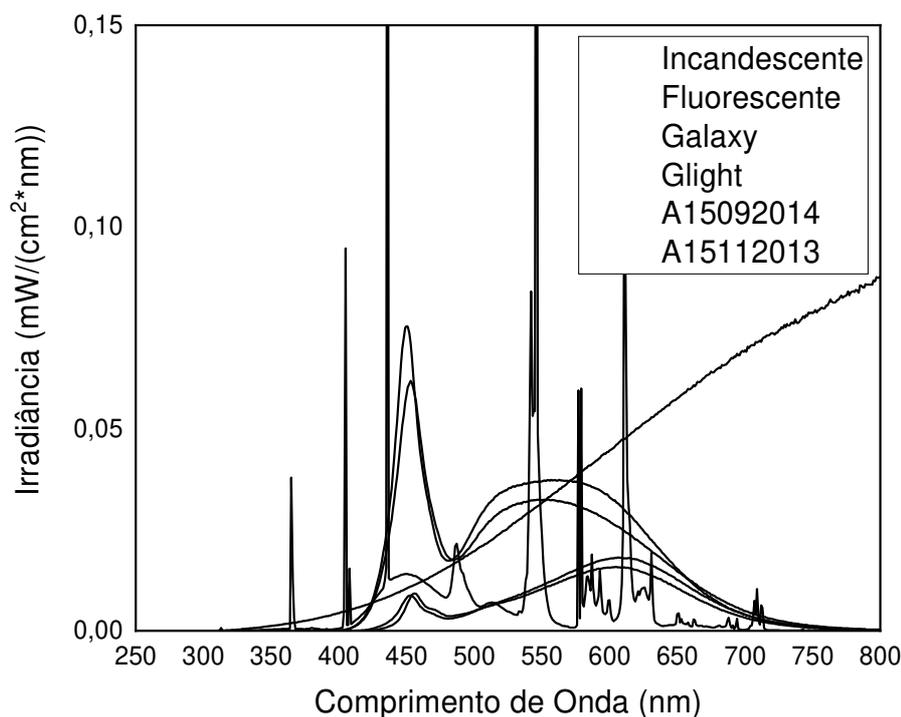


Figura 10: Espectro de emissão das lâmpadas testadas. Por conveniência, os picos do mercúrio foram cortados de modo que a distribuição espectral de cada uma possa ser evidenciada.

Para a análise, do ponto de vista físico, foi preciso considerar os picos e as bandas de irradiância das lâmpadas, que indica em que faixa do espectro eletromagnético encontra-se a radiação luminosa de cada uma das fontes. Já do ponto de vista biológico, é de extrema importância a análise da visão das aves e dos humanos, visto que a escolha das fontes deve se basear nos seus efeitos sobre o ganho de peso e comportamento das aves sem afetar o criador.

#### 4.1 G-light – À Base de LED

Em sua embalagem, tal fonte de luz à base de LED traz 6500K como sua temperatura de cor, consumindo 9W de potência e com uma vida útil de 25 mil horas. Esta fonte de luz funciona à base de LED e possui um pico de emissão em aproximadamente 450nm, que se encontra na faixa de luz azul do espectro eletromagnético. Por emitir luz azul, em um aviário essa fonte proporciona ao criador maior dificuldade para controlar a atividade física das aves, uma vez que esta iluminação estimula a perda de sono, levando a um menor ganho de peso e, portanto, a um aumento da conversão alimentar final, já que boa parte da energia adquirida pelos frangos seria gasta em sua locomoção.

## 4.2 OuroLux- Fluorescente

É uma fonte de luz, com temperatura de cor de 6400K, consumo de 20W de potência e duração média de 6 mil horas. A fonte de luz fluorescente possui bandas mais largas de emissão comparada com o espectro da fonte anterior, situadas de 420 a 500 nm e entre 550nm e 620 nm, o primeiro envolvendo emissão significativa de luz azul. Assim como obtido para a lâmpada LED anterior, é necessário observar que tais bandas de emissão favorecem a atividade motora das aves, dificultando o ganho de peso e o controle da conversão alimentar, fator que delimita a qualidade e o desempenho do lote, do trabalho e do consequente ganho do produtor. Os seis picos estreitos sobrepostos as bandas de emissão são provenientes da emissão do mercúrio presente no interior da lâmpada, e contribuem muito pouco para a intensidade total do espectro, já que a largura de cada pico é da ordem de 2-3 nm.

## 4.3 Lifelamp- Á base de LED

As duas lâmpadas Lifelamp são ambas à base de LED e com temperatura de cor equivalente a 2700K. A diferença entre elas se refere a data de fabricação, sendo uma do dia 15 de novembro de 2013 e a outra do dia 15 de setembro de 2014. As fontes de luz em questão apresentam também duas bandas de emissão, uma em 450nm, luz azul, e uma banda centrada em 600nm, luz amarela-vermelhada. Diferentemente das anteriores, essas lâmpadas caracterizam uma melhor escolha de fonte, pois apresenta banda de emissão na região do amarelo-vermelho, que possibilita um melhor controle por parte do criador, visto que as aves possuem dificuldade em captar e assimilar comprimentos de onda maiores, levando à diminuição de sua atividade, corroborando para melhor resultado.

## 4.4 Galaxy LED

O espectro de irradiação medido para a lâmpada Galaxy LED, com 9W de consumo e 6500K de temperatura de cor, apresenta o mesmo problema já mencionado, referente à emissão em 450nm, luz azul, que favorece a atividade motora das aves, levando a um gasto maior de energia e conseqüentemente maior dificuldade no ganho de peso.

## 4.5 Incandescente

O espectro de irradiância medido para a fonte de luz incandescente, com 60W de consumo e vida útil de 750 horas, mostra que esta é a melhor proposta para a escolha das lâmpadas para utilização em galpões avícolas, já que têm pico de emissão predominante na luz vermelha, com insignificante emissão no azul. Deste modo, é fácil perceber que é a melhor opção quando é analisada a atividade dos frangos. É fácil intuir também que quanto menor o índice de atividade das aves, menor será também a ocorrência de disputas entre elas, corroborando para a diminuição do canibalismo, comportamento frequente entre os frangos de corte criados em galpões fechados. Além disso, é de conhecimento que as lâmpadas incandescentes são as mais adequadas para a visão humana, pois são as que mais se assemelham com a luz emitida pelo Sol, inclusive não apresentando emissão no ultravioleta.

## 4.6 Comparação entre as fontes de luz

A comparação entre as fontes de luz pode ser realizada por meio da análise do espectro de emissão com o uso das informações levantadas acerca da visão humana e das aves. A partir da análise gráfica é possível identificar que as lâmpadas incandescentes e as fontes LED da Lifelamp são as mais adequadas, dentre as estudadas, para o emprego em aviários, pois apresentam emissão mais intensa na região acima de 500nm, com o adendo de que as fontes incandescentes se aproximam mais da emissão da luz solar, com luz branca que gera melhores resultados quando comparada a sua utilidade com os malefícios causados ao olho humano e das aves. Além disso, as lâmpadas incandescentes não apresentam banda de emissão nos comprimentos de onda referentes à luz azul, que favorecem a atividade motora dos frangos.

É de conhecimento que o aumento da atividade motora dos frangos de corte dificulta o ganho de peso, essencial para a venda e, principalmente, exportação das aves. Para mais, como mencionado antes, é comum a ocorrência de canibalismo e disputas entre frangos criados presos, e a diminuição da atividade promovida pela troca do comprimento de onda emitido pelas fontes de luz leva a uma melhora no índice de tais ocorrências, diminuindo o canibalismo, as disputas e conseqüente comportamentos agressivos das aves para com os criadores nos galpões. No que se refere à apanha, a luz emitida em maiores comprimentos de onda facilita o recolhimento das aves, que não percebem a chegada dos responsáveis pela apanha, por terem dificuldade em identificar o movimento destes devido à ausência de luz na faixa de 450nm.

A correta escolha da fonte de luz diminui o surgimento de refugos e “perdas de perna”; os primeiros surgem devido à completa perda de peso e ausência de crescimento de algumas aves que não conseguem se alimentar corretamente e/ou acabam por gastar a energia que adquirem da ração. Já os chamados “perdas de perna” são aqueles cujas patas não suportam o peso do corpo durante o deslocamento. Em ambos os casos, a ave deve ser eliminada para que não prejudique mais a conversão alimentar final do lote. A diminuição da atividade motora das aves também auxilia no decréscimo do surgimento de frangos com calos nas patas, causados pela locomoção excessiva sobre a cama fermentada, caso agravado pelo peso corporal do frango.

Assim, a lâmpada incandescente apresenta diversas vantagens no que se refere ao ganho de peso e conversão alimentar das aves, além de proporcionar um ambiente mais saudável para o criador, que passa a maior parte de seu dia no interior do galpão. Quanto ao bem estar animal, a luz incandescente também é a melhor escolha, pois aproxima-se mais da luz do Sol e torna a vida da ave mais calma.

Do ponto de vista financeiro, as lâmpadas à base de LED são as mais adequadas e empregadas, pois sua duração é bem maior em comparação com as incandescentes e fluorescentes, pois consomem menos energia elétrica. Além disso, geram menos resíduos para o meio ambiente por serem trocadas um menor número de vezes. Para os galpões são necessárias muitas lâmpadas, que ficam ligadas boa parte do dia e consomem muita energia elétrica, levando a maioria dos produtores a optar por lâmpadas LED, por consumirem menos e demandarem menos trocas anuais. Para mais, a restrição de fabricação tem feito com que as lâmpadas incandescentes deixem de ser utilizadas.

## 4.7 Análise da Temperatura de Cor

A partir da análise da temperatura de cor, é possível dizer qual é a real coloração da luz emitida por uma fonte de luz. Desse modo, obtendo a temperatura de cor das lâmpadas utilizadas para a prática experimental, torna-se possível a comparação com o valor indicado pelo fabricante.

A Figura 11 mostra o diagrama de cromaticidade das fontes de iluminação avaliadas, em comparação com a coordenadas para uma fonte de luz branca ideal,  $x=0,33$  e  $y=0,33$ .

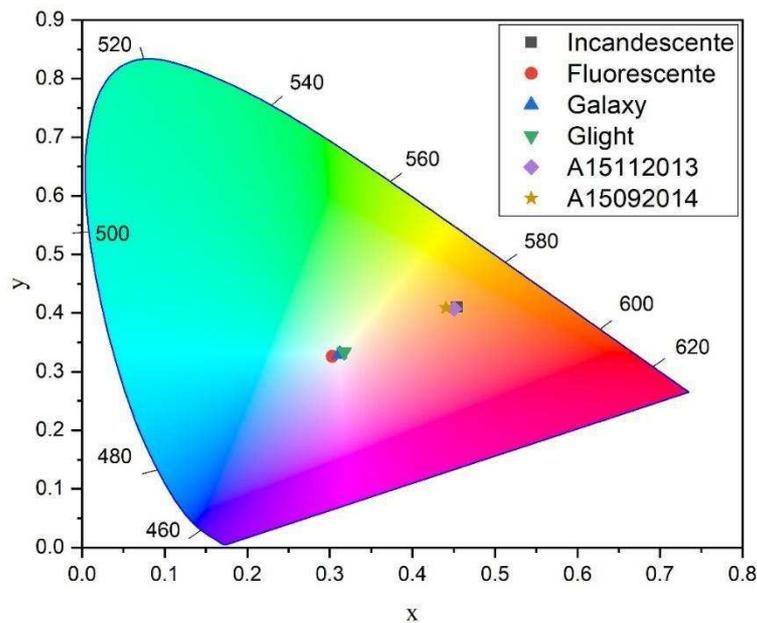


Fig. 11. Diagrama de cromaticidade das fontes de iluminação, em comparação com a fonte ideal, segundo o CIE. Luz branca ideal  $x = 0,33$  e  $y = 0,33$ .

A temperatura de cor correlata pode ser calculada através das coordenadas de cromaticidade, por meio de um polinômio proposto por McCamy:

$$CCT = -449n^3 + 3525n^2 - 6823,3n + 5520,33, \quad (\text{Equação 1})$$

sendo  $n = ((x-0,3320)/(y-0,1858))$  (SANDRINI, 2016).

A tabela I apresenta os dados obtidos para a temperatura de cor de cada uma das fontes de luz analisadas.

<b>Identificação da Fonte</b>	<b>Temperatura de Cor Obtida (K)</b>	<b>Temperatura de Cor Indicada (K)</b>	<b>Erro (%)</b>
Incandescente	2778	2700	2,9
Fluorescente	7090	6400	10,8
Galaxy	6545	6500	0,7
G-Light	6228	6500	4,2
A15112013	2812	2700	4,1
A15092014	2981	2700	10,4

Tabela 1: Dados obtidos para a temperatura de cor calculada e informações dos fabricantes das lâmpadas analisadas.

Percebe-se que a lâmpada fluorescente foi a que apresentou mais diferença entre os valores obtido e fornecido pelo fabricante. As demais apresentaram diferenças menores. Além disso, as duas fontes Lifelamp empregadas resultaram em valores diferentes para tal grandeza. A mais fiel ao valor indicado foi a fonte Led Galaxy, cuja diferença foi de 55 K apenas, seguida pela fonte de luz incandescente, com 78 K de diferença.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho envolveu a realização de pesquisas acerca do uso de diferentes fontes de iluminação no manejo de frangos de corte, a partir das quais observou-se ser necessário o constante estudo sobre a visão das aves, pois este é um dos fatores que leva a bons resultados em seu ganho de peso e bem estar animal. Isso se deve ao fato de que a iluminação interfere diretamente na conversão alimentar, bem-estar, interação e disposição dos animais, assim como altera o modo como estes se relacionam com o criador, que passa boa parte de seus dias no interior dos aviários. Desse modo, fica evidenciada a necessidade também do cuidado para com o produtor, para que sua saúde não seja afetada pela errônea escolha das fontes de iluminação. Além disso, por meio da análise experimental realizada sobre o espectro eletromagnético de radiação das fontes escolhidas, foi possível observar que as lâmpadas incandescentes constituem a melhor escolha para a utilização em aviários, dado seu espectro de emissão no vermelho e a sua percepção pelas aves, porém foram substituídas pelas lâmpadas fluorescentes e, posteriormente, pelas LEDs devido ao alto consumo energético e ao curto período de utilidade, quando comparadas às suas substitutas. Percebeu-se, então, a necessidade do estudo e confecção de novas fontes de luz que aliem o baixo consumo energético com a melhoria na qualidade da luz, aproximando a radiação eletromagnética obtida com a do Sol, cuja interação com o olho animal é a mais natural e menos prejudicial.

Concluiu-se também que os pontos-chaves para a melhor escolha das fontes do ponto de vista do bem-estar animal se relacionam à compreensão dos fenômenos que levam ao aumento ou declínio das atividades das aves no interior dos galpões, além do estudo das interações entre as aves com a mudança da fonte, já que quanto maior a interação das aves, maior a sua atividade motora e menor o seu ganho de peso diário, levando a um maior consumo de ração, que culmina em resultados insatisfatórios no que tange à conversão alimentar.

Por fim, a produção de frangos de corte leva a muitas famílias a possibilidade de melhorias de vida, além de estar presente na mesa de muitos brasileiros e ser responsável por parte da exportação do país, sendo essencial a melhoria na produção para a obtenção de melhores resultados financeiros. Isto sugere que o Brasil deveria normatizar melhor as fontes de iluminação artificial, incentivando a ampliação das especificações do selo de qualidade vigente para incluir, além da eficiência energética e de iluminância, as condições de intensidade de distribuição espectral de cada fonte comercializada.

# REFERÊNCIAS

ALVINO, Gina M.; ARCHER, Gregory S.; MENCH, Joy A. Behavioural time budgets of broiler chickens reared in varying light intensities. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 118, n. 1-2, p. 54-61, 2009.

ANDRÉ A. S. Sistemas eletrônicos para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Departamento de engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BAÊTA, F. da C.; SOUZA, C. de F. Ambiência em edificações rurais: conforto animal. **Viçosa: UFV**, v. 2, 1997.

BASTOS, Felipe Carlos. Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro. **Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE**, 2011.

BUYSE, J. P. C. M. et al. Effect of intermittent lighting, light intensity and source on the performance and welfare of broilers. **World's Poultry Science Journal**, v. 52, n. 2, p. 121-130, 1996.

DA ROSA, Carolina Obregão et al. Análise Econômica De Diferentes Sistemas De Iluminação Em Aviários Dark House. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 19, n. 1, p. 23-30, 2017.

DAVIS, N. J. et al. Preferences of growing fowls for different light intensities in relation to age, strain and behaviour. **Animal welfare**, v. 8, n. 3, p. 193-203, 1999.

DE BODAS, Flávia Renata Lemes; DE AFFONSECA JARDIM, Maria Inês; ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães. Proposta de material didático para contextualização histórica de fontes luminosas e tecnologias de iluminação. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2010.

ENDLER, John A. The color of light in forests and its implications. **Ecological monographs**, v. 63, n. 1, p. 1-27, 1993.

GOVARDOVSKII, V. I.; ZUEVA, L. V. Visual pigments of chicken and pigeon. **Vision research**, v. 17, n. 4, p. 537-543, 1977.

KAWAUCHI, I. M. et al. Effect of lighting programs on broiler chickens performance, carcass, yield and parts yield. **Ars Veterinaria**, v. 24, n. 1, p. 59-65, 2009.

KRISTENSEN, Helle H. et al. The behaviour of broiler chickens in different light sources and illuminances. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 103, n. 1-2, p. 75-89, 2007.

LEWIS, P. D.; MORRIS, T. R. Responses of domestic poultry to various light sources. **World's Poultry Science Journal**, v. 54, n. 1, p. 7-25, 1998.

LEWIS, P. D.; BACKHOUSE, D.; GOUS, R. M. Photoperiod and oviposition time in broiler breeders. **British Poultry Science**, v. 45, n. 4, p. 561-564, 2004.

LEWIS, P. D.; GHEBREMARIAM, W.; GOUS, R. M. Illuminance and UV-A exposure during rearing affects egg production in broiler breeders transferred to open-sided adult housing. **British poultry science**, v. 48, n. 4, p. 424-429, 2007.

LIN, H. et al. Strategies for preventing heat stress in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, n. 1, p. 71-86, 2006.

MEDEIROS, Mariana Fernandes de Moura. **Influência da temperatura de cor da luz no desempenho e sensações de alunos em baixa latitude**. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

MORAES, Douglas Teixeira et al. Efeitos dos programas de luz sobre o desempenho, rendimento de abate, aspectos econômicos e resposta imunológica em frangos de corte. Dissertação de Mestrado, Brasil, 2006.

NASCIMENTO, V. M. et al. Influência da cortina e do programa de luz no desempenho produtivo de frangos de corte e no consumo de energia elétrica. **Embrapa Suínos e Aves- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2006.

OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 01-11, 2014.

PANG, S. F. et al. An overview of melatonin and melatonin receptors in birds. **Poultry and Avian Biology Reviews (United Kingdom)**, 1996.

PRAYITNO, D. S.; PHILLIPS, C. J.; OMED, H. The effects of color of lighting on the behavior and production of meat chickens. **Poultry science**, v. 76, n. 3, p. 452-457, 1997.

PRESCOTT, N. B.; WATHES, C. M. Reflective properties of domestic fowl (*Gallus g. domesticus*), the fabric of their housing and the characteristics of the light environment in environmentally controlled poultry houses. **British poultry science**, v. 40, n. 2, p. 185-193, 1999a.

PRESCOTT, N. B.; WATHES, C. M. Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*). **British poultry science**, v. 40, n. 3, p. 332-339, 1999b.

PRESCOTT, N. B.; WATHES, C. M. Light, poultry and vision. In: **Livestock Environment VI, Proceedings of the 6th International Symposium 2001**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2001. p. 696.

SANDRINI, Marcelo. Estudo de efeitos de nanopartículas de prata sobre as propriedades espectroscópicas de vidros cálcio boroaluminato dopados com európio. Tese de Doutorado, Maringá, 2016

SIQUEIRA, Gabriela de Paiva et al. Estudo do comportamento elétrico de lâmpadas fluorescentes. Dissertação de Mestrado, Brasil, 2011.

WORTEL, J. F.; RUGENBRINK, H.; NUBOER, J. F. W. The photopic spectral sensitivity of the dorsal and ventral retinae of the chicken. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 160, n. 2, p. 151-154, 1987.