

AUTOMAÇÃO APLICADA À AVICULTURA: ANÁLISE TÉCNICA DA ADEQUAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE INCUBAÇÃO ARTIFICIAL DO SISTEMA DE ESTÁGIO MÚLTIPLO PARA O ESTÁGIO ÚNICO E APRESENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE INCUBADORA COM ESSA TECNOLOGIA

AUTOMATION APPLIED TO POULTRY FARMING: TECHNICAL ANALYSIS OF THE SUITABILITY OF AN ARTIFICIAL INCUBATION MACHINE FROM THE MULTI-STAGE SYSTEM FOR SINGLE STAGE AND PRESENTATION OF AN INCUBATOR PROTOTYPE WITH THIS TECHNOLOGY

Julia Teixeira Pires *
Daniele Alcantara **

RESUMO

A avicultura é um setor produtivo de grande importância na economia brasileira que, nas últimas décadas, vem se consolidando e ganhando espaço no mercado, não só no âmbito nacional, como também na produção internacional de carne e ovos. Os avanços tecnológicos tem papel substancial na evolução do setor, visto que, a automação e controle dos processos possibilitaram a produção de aves em larga escala. A incubação artificial faz parte do início da cadeia produtiva do segmento aviário e é fundamentalmente concebida pela automação, já que, o processo é efetuado por meio de máquinas que fornecem um ambiente ótimo para a formação do embrião. Tradicionalmente este processo é baseado em uma metodologia de incubação denominada estágio múltiplo. Entretanto, este método de incubação deixou de ser satisfatório para as demandas do mercado em ascensão. Nesse contexto de busca por melhores resultados, em conjunto com as novas inteligências disponíveis, foi desenvolvido um novo sistema de operação para máquinas incubadoras, o estágio único. Este trabalho tem como finalidade analisar a adequação de uma máquina, que trabalhava com método de estágio múltiplo, para o estágio único e identificar os benefícios alcançados. Para isso, foi feito um estudo de caso em uma indústria avícola que realizou a transição de metodologia. São inúmeros os pontos positivos avaliados com a modificação executada. Além do estudo, foi apresentado um protótipo de incubadora de pequeno porte fabricado com a mesma engenharia da máquina estudada, tendo em vista disponibilizar conteúdo sobre o tema e fomentar o desenvolvimento de tecnologias no ramo.

Palavras-chave: Avicultura. Automação. Incubação Artificial. Estágio múltiplo. Estágio único.

*Rede de Ensino Doctum - Unidade Juiz de Fora Itamar Franco - juliabiza@hotmail.com -
Graduanda em engenharia elétrica.

**Rede de Ensino Doctum - Unidade Juiz de Fora Itamar Franco - danielealcantara@gmail.com -
Orientadora do trabalho.

ABSTRACT

Poultry farming is a productive sector of great importance in the Brazilian economy that, in recent decades, has been consolidating and gaining space in the market, not only at the national level, but also in the international production of meat and eggs. Technological advances have a substantial role in the evolution of the sector, since the automation and control of the processes made possible the production of birds on a large scale. Artificial incubation is the beginning of the production chain of the avian segment and is fundamentally conceived by automation, since the process is carried out by means of machines that provide an optimal environment for the formation of the embryo. Traditionally this process is based on an incubation methodology called multiple stage. However, this incubation method is no longer satisfactory for the demands of the rising market. In this context of the search for better results, together with the new intelligence available, a new operating system for incubator machines was developed, the single stage. This work aims to analyze the suitability of a machine, which worked with a multiple stage method, for the single stage and identify the benefits achieved. For this, a case study was carried out in a poultry industry that went through the methodology transition on which innumerable benefits were evaluated after the modification took place. In addition to the study, a prototype of a small incubator was presented, manufactured with the same engineering as the machine studied, in order to provide content on the subject and encourage the development of technologies in the field.

Keywords: Poultry. Automation. Artificial Incubation. multiple stage. single stage.

1- Introdução

Iniciada a partir dos anos de 1950 e impulsionada pela implantação das primeiras agroindústrias nacionais, a avicultura é considerada uma das atividades mais relevantes do agronegócio brasileiro, exercendo um papel fundamental no mercado nacional e mundial. O segmento vem passando por modificações importantes no processo produtivo, decorrentes principalmente de avanços tecnológicos e científicos na área, o que possibilitou um aumento significativo da produção de carne de frango nos últimos anos no âmbito nacional. Segundo dados da EMBRAPA (2021), o Brasil ocupa atualmente o 3º lugar no ranking mundial, com 13,845 milhões de toneladas produzidas em 2020, representando 14% da produção mundial de carne de frango.

Tendo em vista esse cenário, o processo que viabilizou a evolução e expansão da avicultura foi a incubação artificial, afinal, essa prática permitiu a incubação de ovos de forma simultânea e em larga escala, sendo parte da origem da cadeia de produção do segmento de frango de corte. Além disso, o desempenho final do frango está diretamente relacionado ao seu desenvolvimento embrionário, tornando o processo de incubação um dos elementos chave nos resultados finais e rentabilidade do setor.

A incubação artificial é definida por BOERJAN (2006) como a transformação

biológica de ovos em pintos de um dia, realizada por meio de máquinas e equipamentos automatizados que propiciam um ambiente ótimo para a formação do embrião. Os parâmetros indispensáveis que devem ser controlados em um incubatório moderno são: temperatura, umidade relativa, fluxo de gases, velocidade do ar na incubadora e movimentos de rotação dos ovos. As evoluções técnicas e pesquisas na área têm como premissa identificar as condições ideais, e, por meio da automação, criar uma incubadora que possa proporcionar e manter essas condições em grande escala.

Este processo, durante muitos anos, foi baseado em uma metodologia de incubação de estágio múltiplo, que se caracteriza por sua simplicidade. Contudo, com a junção do aprimoramento genético das aves, crescimento da demanda de frango, automação e inteligência industriais e, conseqüentemente, o fortalecimento da competitividade no mercado, o método de estágio múltiplo deixou de ser satisfatório por não garantir os níveis de biossegurança e desempenho exigidos. Nesse contexto, foi desenvolvido o método de estágio único, que permitiu unir as tecnologias de controle e automação disponíveis no mercado, a análise de dados e conhecimentos sobre incubação para alcançar resultados de eclosão e pós-nascimento muito acima daqueles vistos em uma operação de estágio múltiplo (BANWELL, 2022).

O objetivo geral deste trabalho foi identificar os benefícios obtidos com a adequação de uma máquina incubadora, que trabalhava com sistema de estágio múltiplo, para o estágio único em uma indústria avícola e analisar tecnicamente esta transição. Ademais, além da análise, foi apresentado um protótipo de incubadora de pequeno porte criado com a mesma tecnologia empregada na máquina estudada, tendo como principal intuito incentivar o desenvolvimento e utilização de processos autônomos e inteligentes na indústria avícola brasileira

Quanto aos objetivos específicos, estes foram: apresentar as tecnologias necessárias para a implementação do estágio único em uma máquina industrial, coletar os dados de incubação armazenados das máquinas incubadoras que passaram pelo processo de adequação e atualmente operam em estágio único, fazer a comparação com dados armazenados de máquinas que ainda atuam em estágio múltiplo dentro da indústria. E, por fim, a apresentação do protótipo de máquina incubadora para fins de conhecimento.

Para atingir os objetivos anteriormente citados e justificados, foi feito um estudo de caso em um incubatório de médio porte no interior do estado do Rio de Janeiro, onde o projeto de adequação foi executado e os dados armazenados pelas máquinas

industriais do local de produção. Para o protótipo, foram desenvolvidas a estrutura física, o sensoriamento, a atuação e centro de comando com o apoio técnico da indústria avícola estudada.

2- Variáveis relacionadas ao rendimento da incubação de ovos

O monitoramento e registro de parâmetros relacionados aos resultados de incubação são cruciais para mensurar o rendimento e avaliar os possíveis fatores que limitam a produtividade do incubatório. Sendo assim, as principais variáveis são: eclosão e eclodibilidade. Taxas de 88 e 96% para eclosão e eclodibilidade, respectivamente, refletem boas práticas na granja produtora de ovos férteis e no incubatório (ROSA, 2000).

A eclosão representa o índice geral, que define o desempenho da produção. Pode ser obtida pela relação entre o número de pintos nascidos e o total de ovos incubados, como mostrado na fórmula 1. Já a eclodibilidade corresponde a uma análise mais específica e é calculada utilizando a relação entre os pintos nascidos e o total de ovos férteis incubados, fórmula 2 (ROSA, 2000).

$$\text{Eclosão} = \frac{\text{Total de pintos nascidos}}{\text{Total de Pintos Incubados}} \quad (1)$$

$$\text{Eclodibilidade} = \frac{\text{Total de pintos nascidos}}{\text{Total de ovos férteis}} \quad (2)$$

Outro quantitativo de muita relevância para a prática da avicultura é a qualidade do produto, ou seja, o conjunto de propriedades da ave, as quais podem ser positivas ou negativas. Para fazer esse quantitativo o método recomendado pela Pas Reform, fornecedor mundial de soluções integradas de incubação, é o Pasgar Score. O Pasgar Score é um método de pontuação que analisa 5 qualidades do pinto pós-eclosão: reflexo, umbigo, pernas, bico e barriga. Cada resultado ruim em um desses quesitos é ligado a uma causa específica, um mal reflexo, por exemplo, pode indicar ventilação insuficiente e altos níveis de dióxido de carbono (CO₂) durante a incubação. (HOLTSLAG, 2021)

De acordo com Holtslag (2021), o método pode ser aplicado e pontuado da seguinte maneira: a pontuação máxima é 10, significa um resultado de alta qualidade, e a mínima é 5. A avaliação se inicia com 10 pontos e, para cada falha identificada, é subtraído 1 ponto. Para caracterizar uma falha são seguidos os seguintes critérios pré-determinados:

- I. Reflexo: A ave é colocada de costas em uma superfície plana e não escorregadia. Perde 1 ponto caso demore mais que 2 segundos para se aprumar.

- II. Umbigo: O umbigo deve estar bem fechado e invisível. Caso esteja seco e sem coloração, mas convexo e áspero ao toque ou hiperêmico e umedecido, 1 ponto é descontado.
- III. Pernas: As pernas devem ter aparência boa, fortes e uniformemente coloridas. É descontado 1 ponto para pernas inchadas ou juntas vermelhas.
- IV. Bico: As narinas e o bico devem estar limpos e de cor normal. Sangue, ponto vermelho em cima do bico, narinas sujas ou bico sujo perde 1 ponto.
- V. Barriga: A barriga deve estar macia, suave e flexível. No caso de barriga dura ou pele tensionada, 1 ponto é descontado.

3- Incubação artificial: desenvolvimento embrionário

O processo do desenvolvimento embrionário tem início, aproximadamente, três horas após a fecundação do ovo e, a partir disso, ocorrem uma sucessão de eventos morfológicos e cronológicos, principalmente após a postura do ovo, ao longo dos 21 dias de incubação até a eclosão (BARBOSA, 2011). De acordo com Calil (2007), a evolução do embrião se dá mediante a uma interação ideal entre fenômenos bioquímicos e fenômenos físicos, podendo ser subdividida em 3 fases distintas: a diferenciação celular, o crescimento e a maturação.

Segundo Oviedo-Rondón et al. (2009), muitos fatores ambientais influenciam esses períodos, visto que todas as reações do desenvolvimento embrionário são dependentes de condições físicas, as quais estão ligadas diretamente ao metabolismo do embrião, impactando não só no sucesso da incubação, como também, nas características do frango pós-eclosão e, portanto, nos resultados produtivos de todo o incubatório.

4- Parâmetros físicos para a incubação artificial

Os principais parâmetros físicos que determinam a incubação artificial são: temperatura, umidade relativa, viragem dos ovos, ventilação e concentração de gases. Esses parâmetros são controlados pela máquina incubadora tendo em vista proporcionar um ambiente ideal (OVIEDO-RONDÓN et al., 2008).

A temperatura é a propriedade que controla essencialmente a incubação, pois determina a velocidade do metabolismo do embrião, logo, seu grau de desenvolvimento (HUBBARD, 2017). As alterações na temperatura durante a formação são críticas e podem provocar deficiências na formatura dos frangos ou acarretar outros problemas como uma ampla janela de nascimento, mortalidade

embrionária e desidratação (CALIL,2007). São consideradas temperaturas ótimas da casca uma faixa entre 37,5°C e 38,06°C (99,5°F e 100,5°F).

O dióxido de carbono (CO₂) é um composto oriundo de processos metabólicos durante o desenvolvimento embrionário. A concentração desse gás dentro das incubadoras é um fator crítico para a taxa de escolão e pode ser controlado pela troca de ar (MALDINI, 2003). Conforme orientado pela Kolańczyk (2018) os pontos de ajuste de CO₂ de 0,5% +/- 0,1 são recomendados como ideal para alta eclodibilidade e boa qualidade.

De acordo com Oviedo-Rondón et al. (2008), a umidade relativa, quando em faixas apropriadas, permite que a perda de água pelo ovo ajuda a expelir gases nocivos, além de controlar o calor de forma passiva, tendo em vista sua capacidade de transferência e movimentação de calor. A umidade relativa do ar ideal dentro de uma máquina pode ser considerada 60%, contudo, se comparada à temperatura, tem uma amplitude maior em sua variação, sendo recomendável estar entre 50% e 60% (MURAROLI,2003).

A ventilação tem um papel relevante na máquina incubadora, pois, conforme descrito pela COBB (2008), as máquinas extraem o ar fresco externo fornece a umidade e o oxigênio necessários para manter a correta umidade relativa. Além disso, o ar que sai da máquina retira do interior o excesso de dióxido de carbono e de calor produzido pelo ovo no processo. A quantidade de ar fornecido para as máquinas deve ser no mínimo 8 pés cúbicos por minuto para cada 1000 ovos ou 13,5 m³/hora/1000 ovos.

A viragem dos ovos pode ser entendida como a movimentação e a orientação dos ovos durante o período de incubação. Essa movimentação permite que o embrião fique nas posições adequadas dentro do ovo e desenvolva as membranas necessárias para a respiração e excreção de uratos (OVIEDO-RONDÓN et al., 2008). Segundo Wilson (1991) os ovos devem ser virados a cada hora em um ângulo de 45 graus.

5- Sistemas de incubação: estágio múltiplo e estágio único

Como explanado anteriormente, a temperatura é a variável física de maior importância para incubação artificial e, durante o período que o ovo está na máquina, ela se comporta em duas fases diferentes: a fase 1, ao longo da primeira metade dos dias de incubação, e a fase 2, na segunda metade até o dia da eclosão. Na primeira fase o embrião ganha calor da máquina, visto que a taxa metabólica embrionária é baixíssima. Já na fase posterior, fase 2, o ovo perde calor para o ambiente controlado,

pois a produção de calor metabólico pelo embrião aumenta e a temperatura do ovo fica acima da temperatura da incubadora (PIAIA, 2005).

Para a obtenção de resultados satisfatórios, a temperatura do embrião deve ser estável e controlada dentro de limites estreitos desde o primeiro até o último dia. Para este controle, existem dois sistemas com metodologias diferentes que podem ser empregados em máquinas incubadoras: o sistema de estágio múltiplo, que é o método mais tradicional e único utilizado durante muitos anos, e o sistema de estágio único, método padrão na indústria moderna (BANWELL, 2022).

No estágio múltiplo, de acordo com Calil (s.d.), uma mesma máquina comporta embriões em distintas idades e, portanto, diferentes estágios de desenvolvimento. Uma máquina operando em estágio múltiplo é carregada usualmente com três ou seis estágios diferentes. Dessa forma, com o avançar do desenvolvimento embrionário, a geração de calor metabólico das cargas mais velhas cede calor aos embriões mais jovens e a máquina trabalha, teoricamente, em equilíbrio térmico.

Já no estágio único, ao contrário do sistema tradicional, a máquina é carregada por embriões de idade coincidente e, portanto, todos os ovos são introduzidos ao mesmo tempo, em carga única. Com a carga única, é possível manter de forma precisa as condições ambientais requeridas pelo embrião em cada fase do seu desenvolvimento, afinal todos tem a mesma idade de formação CALLEJO (2007).

Visto que em uma incubadora de estágio múltiplo existe uma mistura de fases de desenvolvimento embrionário, não é possível manter a temperatura e outros parâmetros dentro de intervalos adequados fisiologicamente para cada fase de desenvolvimento, isso significa que não existe flexibilidade para ajustar o ambiente em condições ideais. A incubação de estágio único, por outro lado, permite definir um perfil da temperatura da casca do ovo e ajustar o ambiente desejado (BANWELL, 2022).

Em seu trabalho Lourens et al. (2005), avaliou os efeitos da incubação utilizando-se temperatura dos ovos constante, normal (N), obtida através do estágio único, em contraste a uma simulação de temperatura que ocorre em máquinas atuais de estágio múltiplo: baixa (B) no início, normal (N) no período intermediário, alta (A) no final. Assim, como já concluído por outros estudos na literatura científica, os resultados obtidos por Lourens et al. (2005), mostrado na figura 1 abaixo, deixa claro que as máquinas de estágio único obtiveram desempenho superior.

Programa de Temperatura	Peso sem Gema (g)	Comprimento (cm)	% Ecloração	Peso 7 dias (g)	Coração (g)
B N A*	33,8a	18,3a	77,8a	148,0a	0,28a
N N N*	37,9b	19,4b	84,7b	154,6b	0,36b

* B N A: baixa, normal, alta

N N N: normal, normal, normal

Figura 01: Comparativo entre simulações de incubação com temperaturas B N A (estágio múltiplo) e N N N (estágio único)

Fonte: Lourens et al. (2005)

Contudo, o estágio único moderno exige um maior nível de tecnologia de controle e automação para sua instalação, além de conhecimento por parte da indústria para avaliar quais são as condições necessárias para o embrião durante as diferentes fases de desenvolvimento. A complexidade desse sistema cria um desafio para a sua implementação, tanto para o cliente que vai realizar o investimento, quanto para os fabricantes de máquinas, que precisam, não só de oferecer um equipamento com a tecnologia exigida, como também a capacidade de trazer conhecimento e suporte necessários para a indústria (BANWELL, 2022).

6- Automação e controle de sistemas

Automação, conforme definida por Camargo (2014, p. 15) refere-se ao recurso de instalar controles automáticos em um equipamento, uma máquina ou um processo. O termo automático deriva da palavra grega *automatos*, que significa agir por sua própria vontade e define elementos capazes de realizar ações predefinidas, sem a obrigação da intervenção humana. Nos sistemas com controles automáticos, o próprio dispositivo é capaz de identificar as mudanças que afetam o sistema, decidir sobre a necessidade de efetuar alguma ação corretiva e atuar sobre o sistema por conta própria.

Para a operação de um processo automático, como o descrito anteriormente, é necessário um conjunto de controle que trabalhe em malha fechada. O sistema em malha fechada opera com realimentação, ou seja, quando o valor da variável utilizada para controlar o sistema depende diretamente da medida de uma variável de saída desse mesmo sistema. Logo, o valor da entrada é uma função da quantidade da saída, e a saída é uma função do valor da entrada (CAMARGO, 2014, p. 33). A figura 2 abaixo ilustra um controle por malha fechada.

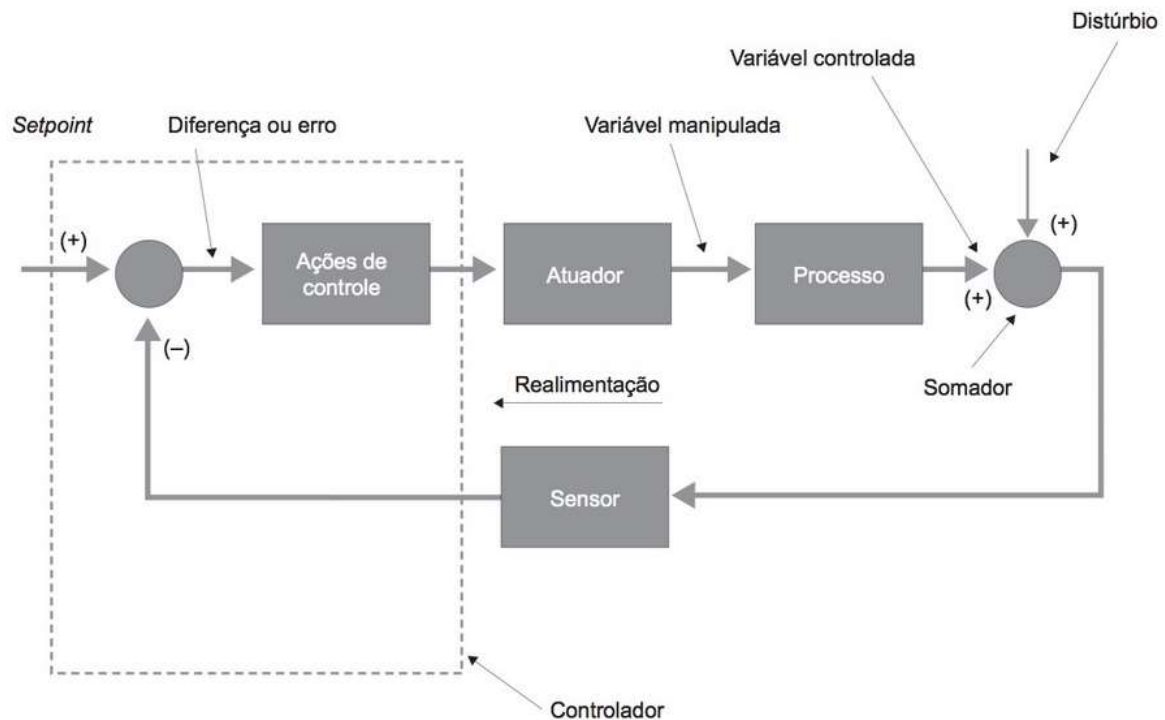


Figura 02: Controle de sistema em malha fechada
Fonte: Camargo (2014)

Em incubatórios que trabalham com máquinas de grande escala, a climatização e automação são princípios fundamentais para a qualidade produtiva, além possibilitar a otimização e agilidade da produção (CALIL, s.d.). Sendo assim, as máquinas incubadoras modernas contam com um sistema de sensoriamento, atuação, controle e monitoramento.

Os sensores são dispositivos que tem como princípio serem capazes de identificar formas de energia, luminosa, térmica ou cinética, assim como grandezas físicas mensuráveis como pressão, temperatura, velocidade, corrente, posição entre outros. Estes, tem propósito informar o controlador acerca de um evento o qual deve interpretar e direcionar uma determinada ação, caso necessário (WENDLING, 2010).

A atuação de um processo é estruturada por atuadores, considerados os elementos finais de um sistema. O atuador trabalha para fornecer a quantidade de material ou energia a ser entregue ao processo que está sob controle, sendo assim, é o dispositivo responsável por, de fato, executar um trabalho e alterar as variáveis do sistema com o objetivo de alterar o ponto de operação ou corrigir distúrbios. (CAMARGO, 2014, p. 135).

De acordo com Filho (2014), a central de controle é o ponto chave da automação e funciona da seguinte forma: o controlador recebe o sinal das variáveis de entrada, realimentadas em um sistema de malha fechada, e compara com uma referência de acordo com o algoritmo que foi programado. Por fim, após processar as

informações e identificar as necessidades do sistema, envia sinais para os atuadores (saídas).

As inovações da indústria 4.0 possibilitaram a integração dos processos e obtenção de dados em tempo real através do monitoramento das variáveis de determinado sistema. Dessa forma, com um processo de produção cada vez mais inteligente e devidamente controlado, as perdas e falhas podem ser reduzidas (ALMEIDA, 2019).

7 - Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido tendo como finalidade a elaboração de uma pesquisa de natureza básica estratégica, cujo foco é produzir um conhecimento útil com valia em estudos práticos. Sendo assim, os resultados buscam gerar verdades, ainda que temporárias e relativas, de interesses mais amplos. Em relação aos objetivos, a pesquisa foi descritiva e exploratória tendo uma abordagem quali-quantitativa.

Quanto à metodologia, foi escolhido o método hipotético-dedutivo, o qual permite propor uma hipótese e concluir, por meio da dedução, sua comprovação ou não. Para isto, os procedimentos técnicos aplicados serão: bibliográfico, em livros e artigos, documental e estudo de caso.

O estudo de caso foi feito em um incubatório, localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro, que executou um projeto de adequação de uma máquina do estágio múltiplo para o único. No estudo, detalhado no próximo tópico, foram comparados dados de duas máquinas incubadoras, uma funcionando em estágio múltiplo e uma em estágio único, e analisado se a modernização da técnica de incubação é vantajosa. As duas máquinas estudadas possuem estruturas físicas similares, onde, a máquina de estágio único trabalhava, no passado, em múltiplo e foi adequada para o novo sistema.

Além do comparativo, foram traçadas duas estratégias para gerar conhecimento sobre a tecnologia desenvolvida pelo incubatório estudado e, dessa forma, incentivar o desenvolvimento do setor. A primeira estratégia é expor, neste documento, informações sobre a estrutura e funcionamento básico da máquina de estágio único e analisar a sua adequação, descrevendo tanto as mudanças físicas, quanto de controle.

Já a segunda estratégia consiste na apresentação de um protótipo de uma incubadora estágio único totalmente funcional em pequena escala, que foi elaborado

apenas para fins de conhecimento. O desenvolvimento do protótipo será mostrado neste trabalho.

7.1 - Descrição do estudo de caso

Os dados para o comparativo entre os dois modelos de incubação serão baseados na eclosão e qualidade do pinto, mensurada através do método de Pasgar Score. Tendo em vista que um ciclo de incubação dura 21 dias, foram coletadas informações ao longo de quatro ciclos em datas diferentes, ou seja, foram estudados dois ciclos de incubação da máquina em estágio único e dois ciclos de incubação da máquina em estágio múltiplo.

Para o presente estudo foram selecionados e analisados um conjunto de apenas de 500 ovos de cada ciclo e, para a análise do Pasgar, serão analisados 4 pintos, 1 de cada ciclo de incubação, escolhidos aleatoriamente dentro do conjunto determinado. Vale ressaltar que os ovos serão de mesma linhagem.

7.2 - Descrição do protótipo apresentado

O protótipo consiste em uma máquina capaz incubar artificialmente quatro ovos, réplica aproximada da máquina de incubação em estágio único que está em funcionamento no incubatório estudado que, a partir de agora, será identificada como máquina original. Este possui as funcionalidades básicas do sistema de estágio único, quanto aos atuadores foram empregados de acordo com a sua escala. A estrutura física foi planejada e desenhada no software de modelagem 3D e construída através da uma máquina de usinagem do tipo CNC.

8 - Adequação da máquina de estágio múltiplo para estágio único

No projeto de adequação da máquina, toda eletrônica foi alterada para comportar as necessidades do sistema estágio único, o qual necessita de um hardware mais moderno. Foi desenvolvida também uma organização modular para o controle da máquina, onde as funções principais passaram a ser executadas por módulos independentes.

O controle de temperatura passou a considerar a temperatura da casca do ovo, possibilitando o monitoramento da temperatura do embrião e, conseqüentemente, a manutenção de uma temperatura ideal em todas as fases do desenvolvimento embrionário. Além disso, nesta adequação, foi implementado um sistema de controle de CO₂.

Com relação a estrutura física da máquina, o sistema de refrigeração foi aumentado em 80% para lidar com a grande quantidade de calor gerado pelos embriões a partir do dia 13 de incubação (fase exotérmica). Devido à demanda

variável de ventilação do sistema de estágio único, foi colocado um inversor de frequência no motor do ventilador, para controlar sua velocidade, adequando a ventilação aos estágios de desenvolvimento embrionário, com o propósito de reduzir o consumo de energia elétrica.

Segue, na figura 3 abaixo, a foto da máquina descrita.

Figura 03: Máquina Incubadora – estágio único

Fonte: Dados da pesquisa



9 – Análise técnica da máquina incubadora

A incubadora, assim como qualquer máquina autônoma, contempla um sistema de sensoriamento, atuação, controle e monitoramento.

9.1 – Sensores

Em relação aos sensores, três são referentes à temperatura, sendo eles, um principal, um sobressalente e outro de contraprova. Já para a medir umidade, são dois sensores, sendo um de umidade relativa e outro sensor do tipo bulbo úmido. A máquina também conta com um sensor de rotação do eixo do ventilador, três de posição do mecanismo de viragem, um sensor para detectar o percentual de CO₂ do ambiente e um sensor que mede a temperatura da casca do ovo. Por fim, um sensor *Micro Switch* para identificar se a porta está aberta, onde, se a porta for aberta a máquina entra em modo de espera e desliga instantaneamente todos os atuadores, garantindo a segurança dos trabalhadores.

9.2 – Atuadores

Já os atuadores são: duas resistências espirais de 1500 Watts de potência e um ventilador com motor trifásico de 1,5 cavalos de potência para cada vinte mil ovos, um sistema de umidificação evaporativo movido por um motor de 0,5 cavalo com caixa de redução, um sistema de viragem movido por um motor de 0,5 cavalo com caixa de redução, um *damper*, ou seja, uma válvula de saída de ar do tipo borboleta, movido

por um motor de passo unipolar de 12 volts com caixa de redução. A refrigeração é feita por circulação de água resfriada em serpentina de cobre controlada por válvula solenoide.

9.3 – Sistema de controle

O controlador utilizado no sistema de comando é o microcontrolador PIC. A central de comando da máquina é subdividida em três módulos de comando: a central de comando principal (CPU-Principal), a central de comando dos alarmes (CPU-Alarmes) e a central de comando da viragem dos ovos (CPU-Viragem).

9.4 – Monitoramento

O sistema de vigilância mais importante para a incubadora é o sistema de alarmes, este funciona em três prioridades diferentes, alta, média e baixa, onde cada uma possui um alarme sonoro específico que são disparados nas seguintes situações:

- I. Alarme de alta prioridade: é disparado em casos de temperatura alta, temperatura baixa, ventilador parado, nível inadequado de CO₂;
- II. Alarme de Média prioridade: é disparado e casos de umidade alta, umidade baixa ou falha no sistema de viragem;
- III. Baixa prioridade: é disparado para alertar os funcionários quando é necessário fazer alguma verificação de rotina.

A máquina também é capaz de compartilhar informações sobre o estado dos alarmes, dia, hora e minuto de incubação, posição da viragem, número de viragens realizadas no dia, *setpoint* de umidade e temperatura, estado da porta, velocidade do ventilador, entre outros. Esses parâmetros são enviados por um aplicativo de mensagem instantânea, possibilitando o monitoramento remoto.

10- Comparativo Estágio Único e Múltiplo

Como descrito anteriormente no tópico 8, foram estudados quatro ciclos de incubação distintos, sendo os ciclos 1 e 3 da máquina 08-L1A, que utiliza o sistema de estágio único, e os ciclos 2 e 4 da máquina 06-L2A que trabalha em estágio múltiplo. A tabela 1 abaixo contempla as informações sobre cada ciclo, onde a data de carregamento, ou seja, inserção dos ovos, é considerada o dia 1 dos 21 dias de incubação.

Tabela 01: Descrição dos ciclos de incubação estudados

	MÉTODO DE INCUBAÇÃO	MÁQUINA	DATA DO CARREGAMENTO	LINHAGEM	IDADE DA MATRIZ
CICLO 1 (ÚNICO)	ESTÁGIO ÚNICO	08-L1A	02/05/2022	COBB	37 semanas
CICLO 2 (MÚLTIPLO)	ESTÁGIO MÚLTIPLO	06-L2A	02/05/2022	COBB	37 semanas
CICLO 3 (ÚNICO)	ESTÁGIO ÚNICO	08-L1A	18/01/2022	COBB	45 semanas
CICLO 4 (MÚLTIPLO)	ESTÁGIO MÚLTIPLO	06-L2A	18/01/2022	COBB	45 semanas

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

10.1 - Eclosão

Na tabela 2 podem ser observados os resultados da taxa de eclosão obtida através do total de pintos nascidos em cada ciclo.

Tabela 02: Dados de eclosão dos ciclos estudados

	Nº DE OVOS CARREGADOS	Nº DE ECLOSÃO	TAXA DE ECLOSÃO
CICLO 1 (ÚNICO)	28.080	24785	88,26567 %
CICLO 2 (MÚLTIPLO)	28.080	24320	86,60969 %
CICLO 3 (ÚNICO)	28.080	24230	86,28917 %
CICLO 4 (MÚLTIPLO)	28.080	23840	84,90028 %

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

10.2 – Pasgar Score













Para mensurar a qualidade do pinto pós eclosão foi aplicado o método do Pasgar Score, explicado no tópico 2. A tabela 3 abaixo mostra a pontuação e, em seguida, a tabela 4 mostra as informações mais detalhadas dos pintos avaliados de acordo com cada critério.

Tabela 03: Pontuação - Pasgar Score

	PONTUAÇÃO DESCONTADA					PONTUAÇÃO FINAL
	REFLEXO	UMBIGO	PERNAS	BICO	BARRIGA	
CICLO 1 (ÚNICO)	-	-	-	-	-	10
CICLO 2 (MÚLTIPLO)	-	-	-1	-	-	9
CICLO 3 (ÚNICO)	-	-	-	-	-	10
CICLO 4 (MÚLTIPLO)	-1	-1	-1	-1	-	6

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

Tabela 04: Avaliação - Pasgar Score

	REFLEXO	UMBIGO	PERNAS	BICO	BARRIGA
CICLO 1 (ÚNICO)	Demorou aproximadamente 2 segundos para se aprumar				Barriga flexível
CICLO 2 (MÚLTIPLO)	Demorou aproximadamente 2 segundos para se aprumar				Barriga flexível
CICLO 3 (ÚNICO)	Demorou aproximadamente 1 segundo para se aprumar				Barriga flexível
CICLO 4 (MÚLTIPLO)	Demorou aproximadamente 5 segundos para se aprumar				Barriga flexível

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

11 - Outros benefícios relatados pelo incubatório

Além da melhora demonstrada pelo comparativo dos parâmetros qualitativos, a implantação do sistema de estágio único resultou em outros fatores que contribuíram positivamente para a rotina do incubatório.

O primeiro fator é a biossegurança que, segundo Cormick (2021), é crucial para o sucesso do negócio, visto que, a contaminação por doenças ou infecções é um dos maiores riscos para qualquer operação avícola. Neste caso, no estágio único, por conter apenas ovos da mesma idade, ao fim dos 21 dias de incubação a máquina é descarregada completamente e isso permite realizar a limpeza e desinfecção a cada ciclo. Essa rotina não era possível com o sistema de estágio múltiplo, já que o processo não permitia espaços de tempo com a máquina vazia, isto é, sem ovos.

Outro fator é a manutenção, que pode ser definida como o conjunto de cuidados, estratégias e técnicas indispensáveis para o bom funcionamento de uma determinada máquina. Essa manutenção pode ser feita de forma preventiva, ou seja,

paradas programadas para realizar troca de peças, reparos, lubrificação entre outros, ou de forma planejada, com o objetivo de eliminar problemas de forma antecipada (ALMEIDA, 2014). O sistema de estágio único possibilita a parada da máquina permitindo, dessa forma, a execução de manutenções preventivas.

12 – Conclusão do comparativo

Analisando os dados de eclosão da tabela 3 e comparando os ciclos 1 e 3 com os ciclos 2 e 4, a taxa de eclosão dos ciclos em estágio único é 1,522% maior se comparado aos ciclos em múltiplo estágio, isso significa que, em uma máquina com 28.080 ovos, em estágio único se tem 427 pintos a mais. Já em relação à qualidade do pinto pós eclosão a pontuação média dos ciclos 1 e 3 é de 10, pontuação máxima, e dos ciclos 2 e 4 é de 7,5. Dessa forma, nos quesitos de qualidade e eclosão, os resultados do método de estágio único se mostraram superiores em ambos os casos.

13 – Protótipo da máquina incubadora

O protótipo da incubadora em pequena escala apresentado neste trabalho foi planejado para incubar artificialmente quatro ovos. Seu desenvolvimento foi baseado em cinco etapas que foram detalhadas nos próximos itens desse tópico, são elas:

- I. Definição dos sensores e atuadores;
- II. Apresentação do sistema de comando;
- III. Fabricação e montagem das placas de comando;
- IV. Planejamento da estrutura;
- V. Elaboração e instalação final

13.1 – Definição dos sensores e atuadores

Os sensores deste protótipo, mostrados na tabela 5, são:

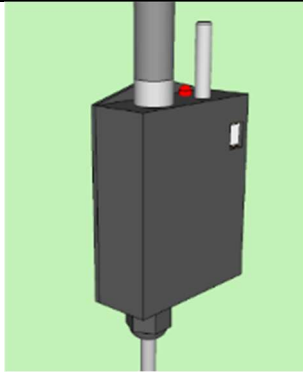
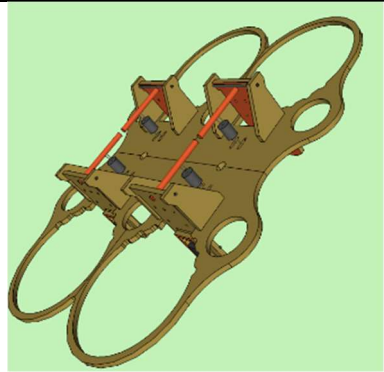
Tabela 5: Sensores do protótipo

SENSOR	TEMPERATURA	FIM DE CURSO
	DS18B20	CHAVE FIM DE CURSO
MODELO		

Fonte: Dados da pesquisa

Para medir a temperatura da casca do ovo e o nível de CO² do ambiente, de forma similar à máquina original, são utilizados módulos de sensoriamento projetados de forma personalizada, como mostrado na tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Módulos de sensoriamento

SENSORIAMENTO	DIÓXIDO DE CARBONO E UMIDADE	TEMPERATURA
MÓDULO	Sonda de umidade CO ²	Sensor de casca de ovo
MODELO		

Fonte: Dados da pesquisa

Já os atuadores, mostrados na tabela 7, cumprem o mesmo papel dos atuadores da máquina original, contudo, foram dimensionados de acordo com o tamanho do protótipo.

Tabela 7: Atuadores do protótipo

ATUADOR	RESISTÊNCIA	MOTOR	UMIDIFICADOR	VENTILADOR
DESCRIÇÃO	Oito resistências de fio 10Ω/5W	Dois motores de passo 12V um para a viragem e um atuação do <i>damper</i>	Um umidificador ultrassônico 36mm de 24V para controlar a umidade	Um <i>cooler</i> de 12V para a ventilação
MODELO	-	M28BYJ-48	-	-
				

Fonte: Dados da pesquisa

Vale ressaltar que as resistências foram separadas em dois estágios de funcionamento com o objetivo de possibilitar o acionamento isolado de acordo com a necessidade. Cada estágio contém quatro resistências em série.

Por ser um protótipo em pequena escala, não foi necessário a instalação de um atuador para a refrigeração, sendo assim, o sistema de refrigeração será representado por um sinal luminoso emitido por um LED.

Um sistema de *backup* foi adicionado para garantir a continuidade da incubação mesmo em casos de faltas de energia, para isso foi inserida uma bateria de 12 Volts.

13.2 – Apresentação do Sistema de comando e proteção

O protótipo será comandado por três centrais principais: central de comando principal (CPU-Principal), central de comando dos alarmes (CPU-Alarmes) e central de comando da viragem dos ovos (CPU-Viragem). Também, foi necessária a utilização de centrais de comando extras, são elas: Controle-Motor, responsável pelo comando do motor de passo da viragem, Controle-Damper, responsável pelo comando do motor de passo do *damper*.

Para outras funcionalidades foram adicionados quatro módulos, onde o primeiro é o módulo de temperatura, responsável por ler os sensores de casca de ovo, processar e enviar as informações para a CPU-Principal. O segundo efetua o acionamento dos atuadores, denominado módulo de reles, e o terceiro, módulo de fusíveis, cumpre o papel de proteção e contém três fusíveis, um de 4 Amperes para proteção geral, um de 4 Amperes para a bateria e um fusível de 2 Amperes para proteger a linha de comandos. Por último, o módulo de bateria que atua para manter a bateria carregada.

O diagrama elétrico das ligações e módulos de comando do protótipo está disponível no Anexo A deste documento.

13.3 – Fabricação e montagem das placas de comando

As placas de circuito impresso de cada um dos módulos de comando citados no tópico anterior, foram fabricadas em material fenolite cobreado e as trilhas feitas por uma máquina de usinagem 3D do tipo CNC, figura 4 e 5.

Figura 04:

Fonte: Corte das placas pela CNC

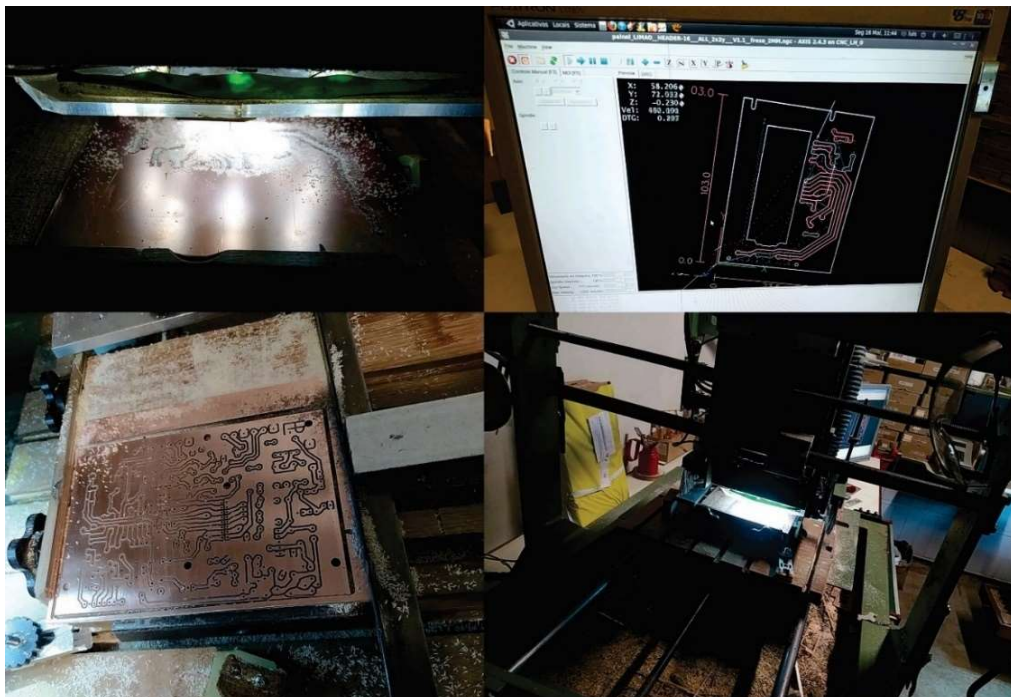
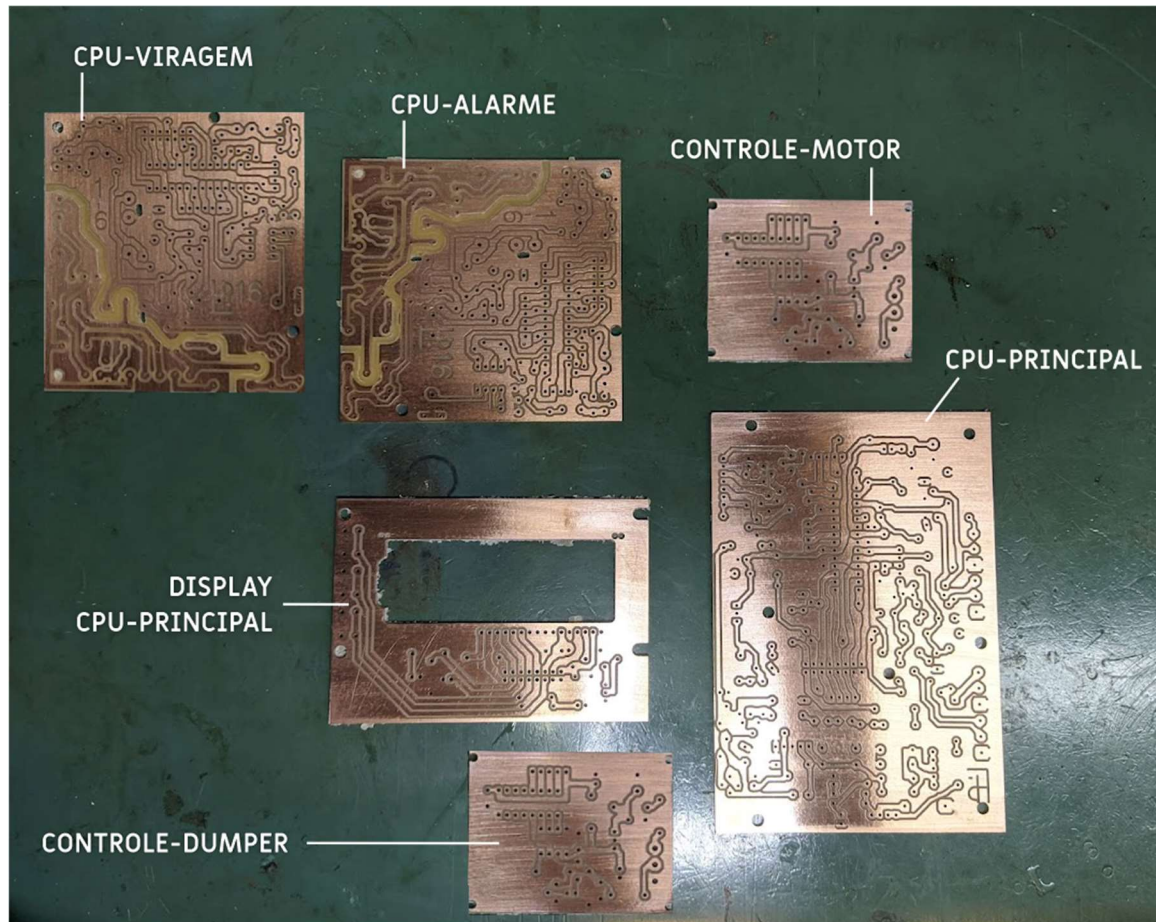


Figura 05: Placas de circuito impresso pós corte

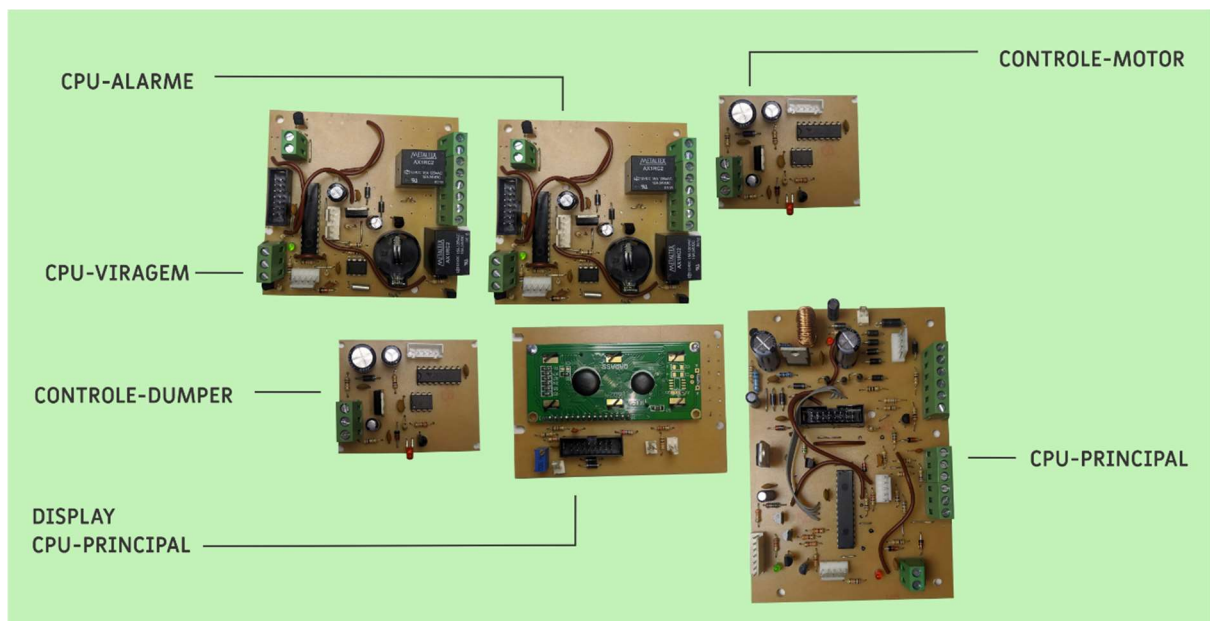
Fonte: Dados obtidos na pesquisa



A montagem e solda dos componentes eletrônicos das placas de circuito impresso foram feitas de forma manual como mostrado na figura 6.

Figura 06: Montagem dos componentes eletrônicos

Fonte: Dados obtidos na pesquisa



13.4 – Planejamento da estrutura

A estrutura física foi planejada e desenhada no software de modelagem 3D, conforme as figuras 7 e 8 abaixo.

Figura 07: Estrutura sem componentes

Fonte: Dados na pesquisa

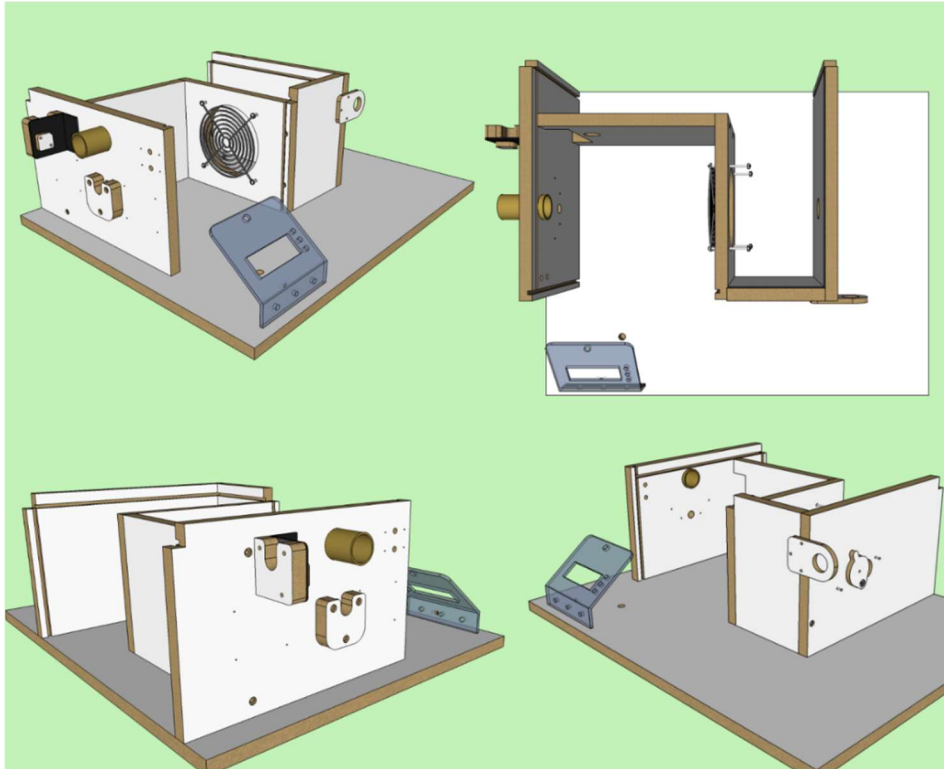
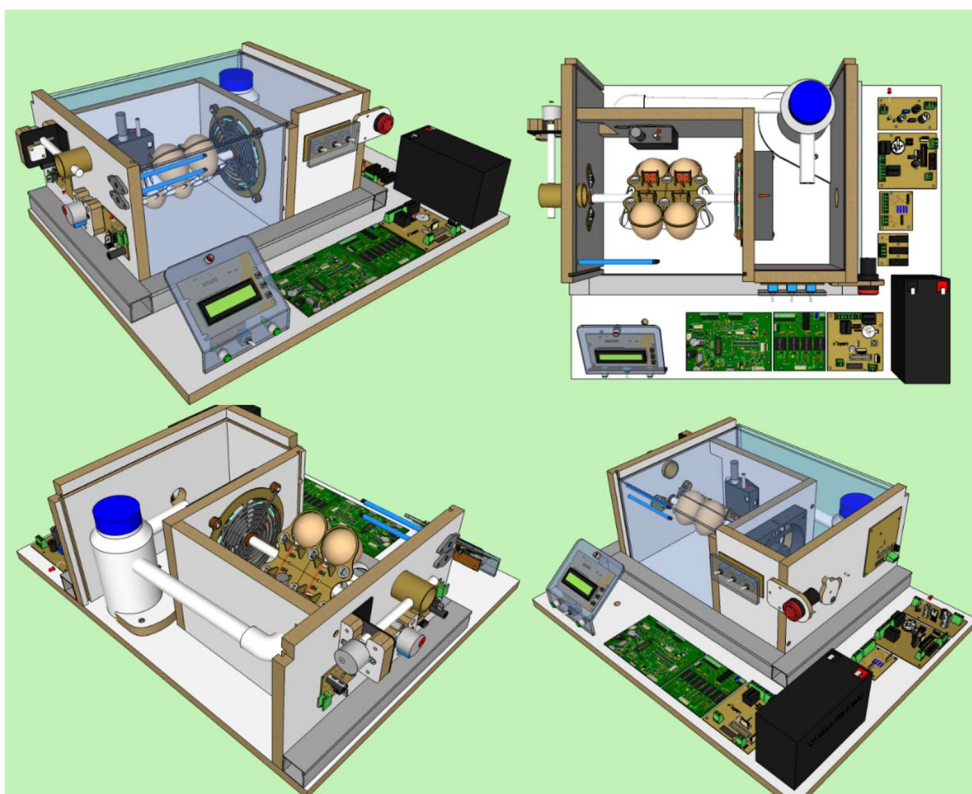


Figura 08: Estrutura com componentes

Fonte: Dados da pesquisa



13.5 – Elaboração e instalação final

Na etapa final foi feita a instalação elétrica para a junção todas as partes do projeto: atuadores, sensores, centros de comando e estrutura física. O resultado da montagem final pode ser observado na figura 9.

Figura 09: Imagem do protótipo concluído

Fonte: Dados da pesquisa



14 – Considerações finais

Tendo em vista os resultados obtidos no estudo de caso e analisados no tópico 13, fica clara a vantagem do método de estágio único, não só de forma quantitativa, obtida pela taxa de eclosão, como também de forma qualitativa, visto na aplicação do método Pasgar.

A transição analisada, de um sistema tradicional de incubação para

outro que oferece consideráveis benefícios, caracteriza o desenvolvimento da automação e aplicação de sistemas inteligentes no ramo da avicultura, um processo necessário e difícil de evitar. O mercado globalizado não só busca, como pressiona, por otimização e qualidade, portanto, o investimento nesse tipo de transformação pode traçar o futuro do segmento e garantir o crescimento da economia brasileira como um todo.

Referências

ALMEIDA, P. S. Indústria 4.0: *Princípios Básicos, Aplicabilidade e Implantação na Área Industrial*. 1°. ed. São Paulo: Érica, 2019. 136 p. ISBN 978-85-365-3045-1.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. *Manutenção mecânica: Conceitos básicos e tecnologia aplicada*. São Paulo: Érica. 2014.

BANWELL, Roger. *Princípios da incubação em estágio único – parte 1*. 2022. Disponível em: <https://www.petersime.com/departamento-de-desenvolvimento-do-incubatorio/>. Acesso em: 10 de março de 2022.

BANWELL, Roger. *Princípios da incubação em estágio único – parte 2*. 2022. Disponível em: <https://www.petersime.com/departamento-de-desenvolvimento-do-incubatorio/>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

BARBOSA, V. M. *Fisiologia da incubação e desenvolvimento embrionário*. Belo Horizonte: Polysell, 2011.

BOERJAN, M. *Incubation for uniformity*. Australian Poultry Science, nº 18, p.174-181, 2006.

CAMARGO, Valter Luís Arlindo D. *Elementos de Automação*. Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518411/>. Acesso em: 03 mai. 2022.

CALIL, Thomas A. C. *Princípios básicos de incubação*. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2007. Santos, Anais... Santos: FACTA, 2007.

CALIL, Thomas A. C. *Incubação Estágio Único e Estágio Múltiplo*. s.d. Disponível em: <http://www.marfrei.com.br/informativos.php>. Acesso em: 20 de abril de 2022.

CALIL, Thomas A. C. *A evolução nos processos de incubação*. s.d. Disponível em: <http://www.marfrei.com.br/informativos.php>. Acesso em: 15 de abril de 2022.

COBB. Guia de manejo de incubação. Cobb-Vantress, Brasil. Guapiacu, 2008.
 CALLEJO, R. A. *Manejo del huevo en la incubadora*. Disponível em: http://gea.gate.upm.es/produccion-animal/produccionavicola/contenidos/TEMA_7._INCUBACION/7-2-manejo-del-huevo-en-la-incubadora/view. Acesso em: 24 de março 2022.

CORMICK, Jason. *Biossegurança: dicas práticas para minimizar o risco de contaminação por humanos*. 2021. Disponível em:

<https://www.hubbardbreeders.com/pt/documentation/category-220-documentacao.html>. Acesso em: 04 de maio de 2022.

EMBRAPA. *Central de Inteligência de Aves e Suínos*. 2021. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 14 de abril de 2022.

FILHO, Guilherme F. *Automação de Processos e de Sistemas*. Editora Saraiva, 2014. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518138/>. Acesso em: 03 mai. 2022.

HOLTSLAG, Eline. *Evaluating chick quality with the Pasgar scoring method*. 2022.

Disponível em: <https://www.pasreform.com/en/webinars/13/hatchery-talks-evaluating-chick-quality-with-the-pasgar-scoring-method>. Acesso em: 05 de maio de 2022.

HUBBARD. *Incubation Guide*. 2017. Disponível em:

<https://www.hubbardbreeders.com/pt/documentation/category-220-documentacao.html>. Acesso em: 04 de abril de 2022.

KOLANCZYK, Maciej. *Otimizando as condições do nascedouro*. 2018.

<https://www.pasreform.com/pt/knowledge/123/otimizando-as-condicoes-do-nascedouro>. Acesso em: 02 de maio de 2022.

Lourens, A., H. van den Brand, R. Meijerhof, and B. Kemp. *Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability and posthatch development, hatchability and post-hatch development*. *Poult. Sci.* 84:914– 920, 2005.

MAULDIN, M.J. *Air requirements during incubation*. College of Agricultural and Environmental Sciences. Georgia, 2003.

MURAROLI, A.; MENDES, A. A. *Manejo da incubação, transferência e nascimento do pinto*. In: MACARI, M; GONZAELES, E. *Manejo da Incubação*. Campinas, SP: Ed. FACTA, 2003.

OVIEDO-RONDÓN, E.O.; WINELAND, M.J.; SMALL, J.; CUTCHIN, H.; MCELROY, A.; BARRI, A.; MARTIN, S. *Effect of Incubation Temperatures and Chick Transportation Conditions on Bone Development and Leg Health*. *Journal Applied of Poultry Reserch*. 2009.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; SMALL, J.; WINELAND, M. J.; CHRISTENSEN, V.L.; MOZDZIAK, P. S.; KOCI, M. D.; FUNDERBURK, S. V. L.; ORT, D. T.; MANN, K. M. *Broiler embryo bone development is influenced by incubator temperature, oxygen concentration and eggshell conductance at the plateau stage in oxygen consumption*. *British Poultry Science*, 2008.

PIAIA, J. L. *Aplicação da Inteligência Artificial no Monitoramento do processo de incubação*. 90p. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.

ROSA, Paulo Sérgio; AVILA, VS de. *Variáveis relacionadas ao rendimento da incubação de ovos em matrizes de frangos de corte*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000.

WILSON, H. R. *Physiological requirements of the developing embryo: Temperature and turning*. p 145–156. Avian Incubation. S. G. Tullett, ed. Butterworth-Heinemann, London.1991

WENDLING, Marcelo. *Sensores*. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, v. 2010, p. 20, 2010.

ANEXO A – DIAGRAMA ELÉTRICO PROTÓTIPO

