



## DESENVOLVIMENTO DE CHOCADEIRA AUTOMATIZADA COM CONTROLADOR PID

### *DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INCUBATOR WITH PID CONTROLLER*

DOI: 10.5281/zenodo.19356544



*Caio Cezar Rossi Cinti<sup>1</sup>*

*Jackson Tsukada<sup>2</sup>*

*Guilherme Américo Rosa<sup>3</sup>*

*Mauro Vanderlei de Amorim<sup>4</sup>*

#### RESUMO

A produção de carne de frango tornou-se estratégica para a economia global impulsionada pelo aumento da demanda por proteína animal e pela mudança de hábitos alimentares, com preferência crescente por carnes brancas. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, com 14,3 milhões de toneladas em 2021, liderando as exportações globais, resultado do aumento da produtividade avícola. A cadeia produtiva compreende três etapas: insumos, industrialização e comercialização. A incubação de ovos é etapa crítica para o desempenho dos frangos, sendo essencial para transformar ovos férteis em pintainhos. Nesse contexto, a automação é fundamental para garantir eficiência e qualidade. O

1 Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário – UNIFEITEP.

2 Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário – UNIFEITEP. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Unicesumar e mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3 Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP; doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

4 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. Graduado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, especialização em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP; doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.





controlador PID permite controle preciso e estável da temperatura, assegurando incubação mais eficiente. Este trabalho desenvolveu uma chocadeira automatizada para ovos de galinha caipira, utilizando controlador PID para temperatura e controlador on/off para umidade. Para determinação da sintonia do PID, realizaram-se testes em malha aberta para obter a equação de transferência, aplicando-se então as sintonias de Ziegler-Nichols, Cohen-Coon e IMC, com posterior teste em malha fechada para comparação de tempo de resposta, estabilidade e sobressinal. Optou-se pelo modelo IMC por não apresentar sobressinal, mostrando-se mais estável e eficaz. O sistema de controle de temperatura foi implementado com sucesso, permitindo incubação automatizada, porém observou-se influência da temperatura ambiente no processo de eclosão.

**Palavras-chave:** Incubação. Controlador PID. Automação. Avicultura.

## ABSTRACT

Chicken meat production has become strategic for the global economy, driven by increased demand for animal protein and changing eating habits, with a growing preference for white meats. Brazil is the world's third-largest producer, with 14.3 million tons in 2021, leading global exports as a result of increased poultry productivity. The production chain comprises three stages: inputs, industrialization, and commercialization. Egg incubation is a critical stage for broiler performance, being essential for transforming fertile eggs into chicks. In this context, automation is fundamental to ensure efficiency and quality. The PID controller enables precise and stable temperature control, ensuring more efficient incubation. This study developed an automated incubator for free-range chicken eggs, using a PID controller for temperature and an on/off controller for humidity. To determine the PID tuning, open-loop tests were conducted to obtain the transfer equation, then applying Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, and IMC tunings, followed by closed-loop testing to compare response time, stability, and overshoot. The IMC model was chosen for presenting no overshoot, proving more stable and effective. The temperature control system was successfully implemented, allowing automated incubation; however, ambient temperature was observed to influence the hatching process.

**Keywords:** Incubation. PID controller. Automation. Poultry farming.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por hábitos alimentares mais saudáveis tem impulsionado o consumo de carnes brancas, especialmente a carne de frango. Mudanças no estilo de vida e na percepção nutricional dos consumidores contribuíram para o aumento dessa demanda em diversos países (COSTA; GARCIA; BRENE, 2015).





Projeções da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico e da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação indicam que a carne de aves deverá ser a proteína animal mais consumida no mundo até 2030. Em países de baixa renda, o consumo é influenciado principalmente pelo preço mais acessível em relação a outras carnes, enquanto em países de maior renda a preferência está associada à percepção de alimento mais saudável (OECD; FAO, 2022).

Além do custo competitivo, o crescimento da avicultura também está relacionado ao desenvolvimento de novos produtos, à ampla aceitação do mercado consumidor e aos avanços tecnológicos que elevaram a produtividade da indústria (VOILA; TRICHES, 2015). Nesse cenário, o Brasil destaca-se como um dos principais produtores mundiais de carne de frango, ocupando a terceira posição global e liderando as exportações desde 2004.

Em 2021, aproximadamente 32% da produção nacional foi destinada ao mercado externo, movimentando uma extensa cadeia produtiva responsável por milhões de empregos diretos e indiretos (BRASIL, 2022).

Dentro da cadeia produtiva da avicultura, a incubação de ovos representa uma etapa essencial para garantir o fornecimento de pintainhos destinados aos sistemas de produção. O uso de incubação artificial possui registros históricos desde o século XIV a.C., quando civilizações antigas, como os egípcios, utilizavam estruturas aquecidas para promover o desenvolvimento embrionário dos ovos (AMARAL, 2019).

Atualmente, esse processo ocorre em incubatórios que utilizam tecnologias de controle ambiental para manter condições adequadas de temperatura e umidade. Em 2021, o Brasil exportou mais de 14 mil toneladas de ovos férteis e mais de mil toneladas de pintos de um dia, evidenciando a relevância desse segmento na cadeia avícola (ABPA, 2022).

Entre as variáveis críticas do processo de incubação, a temperatura é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento embrionário e para o sucesso da eclosão.

O controlador PID (Proporcional–Integral–Derivativo) é amplamente utilizado em processos industriais devido à sua capacidade de manter uma variável de processo próxima ao valor de referência (setpoint), garantindo maior estabilidade e desempenho em sistemas de





controle em malha fechada (GARCIA, 2017). Entretanto, o desempenho desse controlador depende da adequada sintonia de seus parâmetros, processo que pode ser realizado por métodos teóricos ou por ajustes experimentais.

Em muitas chocadeiras convencionais são utilizados controladores do tipo on/off para o controle da temperatura, os quais apresentam maior oscilação térmica e sensibilidade às variações ambientais externas. A utilização de um controlador PID pode proporcionar um controle mais preciso da temperatura, reduzindo variações térmicas e contribuindo para melhores taxas de eclosão.

Dessa forma, o desenvolvimento de sistemas automatizados de incubação com controle mais eficiente pode reduzir perdas produtivas e aumentar a eficiência da cadeia de produção avícola.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo desenvolver uma chocadeira automatizada para incubação de ovos de galinha caipira, utilizando um controlador PID para o controle da temperatura e um controlador do tipo on/off para o controle da umidade durante o período de incubação.

Especificamente, descrevem-se os componentes utilizados na construção do sistema, desenvolve-se o controlador PID responsável pela regulação térmica, implementa-se o controlador on/off para o controle da umidade e realizam-se testes experimentais do protótipo em pequena escala utilizando ovos de galinha caipira.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Produção de carne de frango e cadeia produtiva

A produção de carne de frango apresenta grande relevância econômica no cenário mundial e nacional, destacando-se como uma das principais fontes de proteína animal consumidas pela população. O crescimento da demanda por essa proteína está associado a fatores como menor custo de produção, elevada eficiência alimentar e maior aceitação pelos



consumidores quando comparada a outras carnes (FAO, 2020). No Brasil, a avicultura consolidou-se como uma das atividades mais importantes do agronegócio, posicionando o país entre os maiores produtores e exportadores mundiais de carne de frango (ABPA, 2023).

A cadeia produtiva da avicultura de corte é composta por diversas etapas interdependentes que envolvem desde a produção de insumos até a distribuição do produto final ao consumidor. De forma geral, essa cadeia pode ser organizada em três segmentos principais: produção de insumos, industrialização e comercialização (BELUSSO & HESPANHOL, 2010).

No primeiro estágio da cadeia produtiva encontram-se os a vozeiros e matrizeiros, responsáveis pela produção das matrizes que irão gerar os ovos férteis utilizados na produção comercial de frangos de corte. Esses ovos são encaminhados para incubatórios especializados, onde ocorre o processo de incubação artificial sob condições controladas de temperatura, umidade e ventilação (NORTH & BELL, 1990).

Após o nascimento, os pintainhos são transferidos para os aviários, onde permanecem durante o período de crescimento e engorda até atingirem o peso ideal para o abate. Durante essa fase são aplicadas práticas de manejo zootécnico, controle sanitário e nutrição balanceada, fatores fundamentais para garantir o desempenho produtivo das aves (ALBINO et al., 2014).

Posteriormente, as aves são encaminhadas aos frigoríficos para o processamento industrial. Nesse processo são realizadas etapas como insensibilização, sangria, depenagem, evisceração e resfriamento, garantindo que o produto atenda aos padrões de qualidade e segurança alimentar exigidos pelos mercados consumidores (OWENS et al., 2000).

Na etapa final da cadeia produtiva ocorre o processamento, embalagem, armazenamento e distribuição da carne de frango para o mercado interno e externo. Esse processo envolve sistemas logísticos e comerciais que permitem que o produto chegue ao consumidor final com qualidade e dentro das normas sanitárias vigentes.





## 2.2 Incubação de ovos

A incubação artificial de ovos constitui uma etapa fundamental na cadeia produtiva avícola, sendo responsável pela transformação de ovos férteis em pintainhos de um dia que serão destinados à produção de frangos de corte. O sucesso desse processo depende diretamente do controle adequado das condições ambientais, especialmente temperatura, umidade relativa e ventilação, fatores que influenciam diretamente o desenvolvimento embrionário (ROMANOFF & ROMANOFF, 1967).

Durante o processo de incubação, os ovos passam por diferentes etapas operacionais que incluem recepção, armazenamento, pré-aquecimento, incubação propriamente dita, transferência para nascedouros e retirada dos pintainhos viáveis (TULLETT, 1990).

O desenvolvimento embrionário das aves ocorre de forma gradual ao longo de aproximadamente 21 dias. Durante esse período, o embrião passa por diferentes estágios de formação e crescimento, sendo altamente sensível às condições ambientais presentes na incubadora (DECUYPERE & MICHELS, 1992).

Após a postura, o desenvolvimento embrionário é temporariamente interrompido devido à redução da temperatura do ovo. Quando os ovos são colocados em incubadoras sob condições adequadas de temperatura, geralmente próximas de 37,5 °C, o desenvolvimento embrionário é retomado e prossegue até a eclosão do pintainho (FRENCH, 1997).

## 2.3 Sistemas de controle

Sistemas de controle são amplamente utilizados em processos industriais e agrícolas automatizados com o objetivo de manter determinadas variáveis dentro de limites previamente estabelecidos. Esses sistemas contribuem para a estabilidade do processo, melhoria da eficiência operacional e garantia da qualidade do produto final (OGATA, 2010).





Entre os principais tipos de controladores utilizados em sistemas de controle destacam-se os controladores on/off, proporcional (P), proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (PD) e proporcional-integral-derivativo (PID) (ÅSTRÖM & MURRAY, 2008).

O controlador do tipo on/off é caracterizado por apresentar apenas dois estados de operação: ligado ou desligado. Nesse tipo de controle, o atuador é acionado quando a variável controlada se encontra abaixo do valor de referência e desligado quando esse valor é atingido ou ultrapassado. Apesar de sua simplicidade de implementação, esse método pode gerar oscilações em torno do ponto de operação desejado (NISE, 2015).

O controlador proporcional (P) atua ajustando a saída do sistema proporcionalmente ao erro existente entre a variável medida e o valor de referência. Embora esse tipo de controlador proporcione uma resposta mais rápida do sistema, ele pode apresentar erro em regime permanente dependendo das características do processo controlado (OGATA, 2010).

A inclusão da ação integral resulta no controlador proporcional-integral (PI), cuja principal característica é a capacidade de eliminar o erro em regime permanente ao integrar o erro ao longo do tempo. Esse tipo de controlador é amplamente utilizado em processos industriais que exigem maior precisão no controle de variáveis (Seborg et al., 2011).

Já o controlador proporcional-integral-derivativo (PID) combina três ações distintas de controle. A ação proporcional responde ao erro instantâneo, a ação integral elimina o erro acumulado ao longo do tempo e a ação derivativa atua antecipando tendências de variação da variável controlada, contribuindo para melhorar a estabilidade e reduzir o tempo de resposta do sistema (ÅSTRÖM & HÄGGLUND, 2006).

## 2.4 Sintonia de controladores PID

O desempenho de um controlador PID depende diretamente da escolha adequada de seus parâmetros, que incluem o ganho proporcional, o tempo integral e o tempo derivativo. O processo de determinação desses parâmetros é conhecido como sintonia do controlador (SEBORG et al., 2011).





Entre os métodos mais conhecidos para a sintonia de controladores PID destaca-se o método de Ziegler–Nichols, proposto originalmente na década de 1940. Esse método baseia-se na determinação do ganho último do sistema e do período de oscilação correspondente, permitindo calcular os parâmetros do controlador por meio de relações empíricas (ZIEGLER & NICHOLS, 1942).

A principal vantagem do método de Ziegler–Nichols é sua simplicidade de aplicação e a possibilidade de obtenção rápida de parâmetros iniciais para o controlador. Entretanto, dependendo das características do processo, pode ser necessário realizar ajustes adicionais para otimizar o desempenho do sistema de controle.

Além desse método, também podem ser utilizados outros métodos de sintonia, como o método de Cohen-Coon e o método IMC (Internal Model Control), que consideram características dinâmicas do processo e modelos matemáticos para determinar parâmetros mais adequados ao sistema controlado.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Metodologia da pesquisa

A metodologia adotada caracteriza-se como experimental, pois envolve o desenvolvimento de um protótipo de chocadeira automatizada para análise do desempenho do sistema de controle implementado. O estudo combina abordagens qualitativas e quantitativas para a análise dos resultados experimentais, permitindo avaliar o desempenho do sistema de controle implementado.

A abordagem quantitativa é utilizada na coleta e análise dos dados obtidos durante os experimentos de controle de temperatura e umidade. Já a abordagem qualitativa permite interpretar o comportamento do sistema e avaliar sua eficiência no processo de incubação.

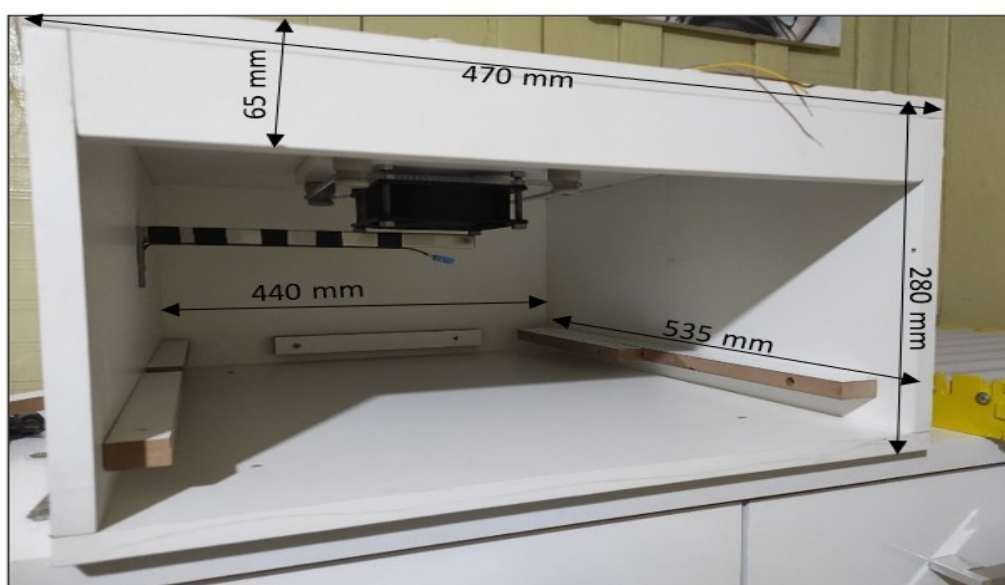




## 3.2 Construção da incubadora

A incubadora foi construída utilizando chapas de MDF cortadas em dimensões específicas para formar a estrutura da estufa onde os ovos permanecem durante o período de incubação. A configuração estrutural do equipamento é apresentada na Figura 1.

**Figura 1.** Dimensões da incubadora.



Fonte: Elaborado pelos Autores, (2023)

Durante o processo de montagem foram utilizados diversos componentes eletrônicos e mecânicos para compor o sistema de automação da incubadora.

## 3.3 Sistema de aquecimento

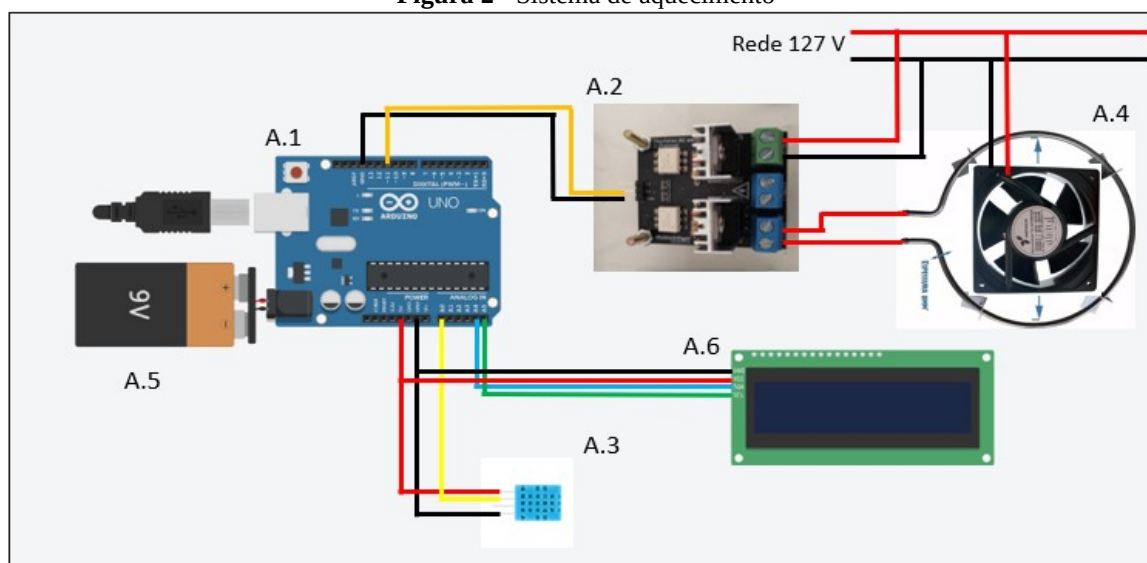
O sistema de aquecimento foi desenvolvido com o objetivo de manter a temperatura interna da incubadora dentro da faixa ideal para o desenvolvimento embrionário, entre



aproximadamente 37,7 °C e 38 °C. Esse sistema utiliza resistências elétricas controladas por um microcontrolador Arduino e monitoradas por sensores de temperatura.

A Figura 2 apresenta o esquema do sistema de aquecimento implementado no protótipo.

**Figura 2 - Sistema de aquecimento**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

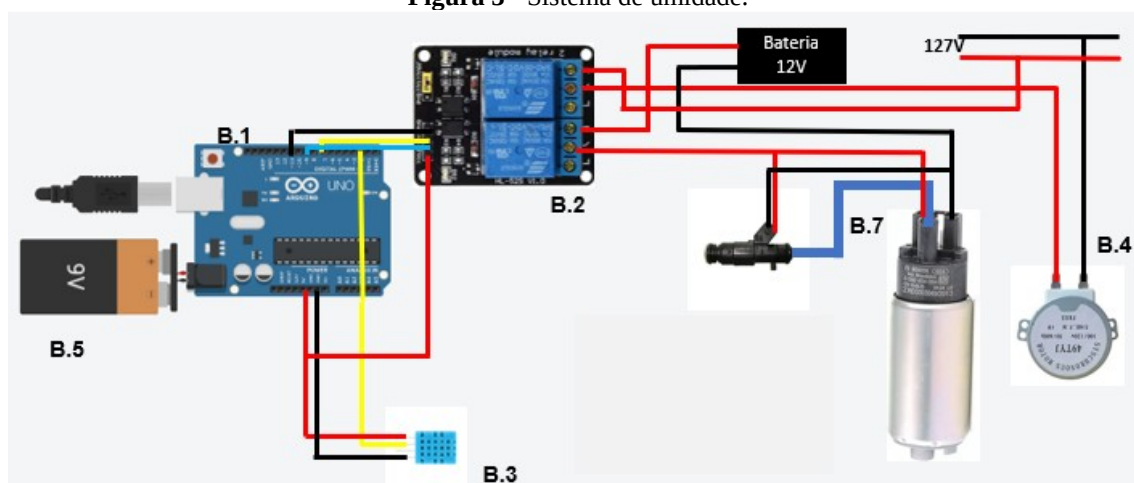
### 3.4 Sistema de controle de umidade

O controle de umidade foi implementado utilizando um sistema on/off baseado em sensor DHT11 para monitoramento da umidade relativa do ar. Esse sistema utiliza um segundo Arduino responsável por acionar uma bomba de combustível e um bico injetor para pulverização de água no interior da incubadora.

O esquema do sistema de controle de umidade é apresentado na Figura 3.



**Figura 3 - Sistema de umidade.**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

### 3.5 Custo de fabricação

Os materiais utilizados na construção da incubadora foram adquiridos em lojas físicas e online, sendo apresentados na Tabela 1 com seus respectivos custos. Entre os principais componentes utilizados destacam-se o Arduino UNO, sensor DHT11, módulos de relé, resistências elétricas e componentes estruturais em MDF.

**Tabela 1 - Material x Custo.**

| ITEM                | QUANTIDADE | VALOR TOTAL<br>(R\$) |
|---------------------|------------|----------------------|
| CHAPA DE MDF        | 7          | 130,00               |
| ARDUINO UNO         | 2          | 90,00                |
| MÓDULO RELÉ         | 1          | 14,90                |
| MÓDULO TRIAC        | 1          | 75,00                |
| SENSOR DHT11        | 1          | 11,84                |
| MICROVENTILADOR     | 1          | 75,00                |
| DISPLAY LCD COM I2C | 2          | 75,80                |



|                                   |   |        |
|-----------------------------------|---|--------|
| KIT DE RESISTÊNCIA PARA CHOCADORA | 1 | 28,00  |
| TELA DE ALUMÍNIO                  | 1 | 65,00  |
| BANDEJA DE ROLAGEM DE OVOS        | 1 | 124,00 |
| BOMBA DE COMBUSTÍVEL              | 1 | 200,00 |
| BICO INTEJOR                      | 1 | 60,00  |

CONTINUA NA PRÓXIMA PÁGINA

TABELA 1 – CONTINUAÇÃO

|                            |    |       |
|----------------------------|----|-------|
| CANELETAS DE PVC 10MMX10MM | 2  | 24,00 |
| BORNES                     | 5  | 10,75 |
| TERMO RETRATIL             | 10 | 10,00 |
| DOBRADIÇA                  | 2  | 8,00  |
| TRAVA DE PORTA             | 1  | 5,00  |
| PUXADOR DE GAVETA          | 1  | 8,00  |
| RODÍZIO                    | 4  | 70,00 |

Fonte: Elaborado pelos Autores, (2023)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

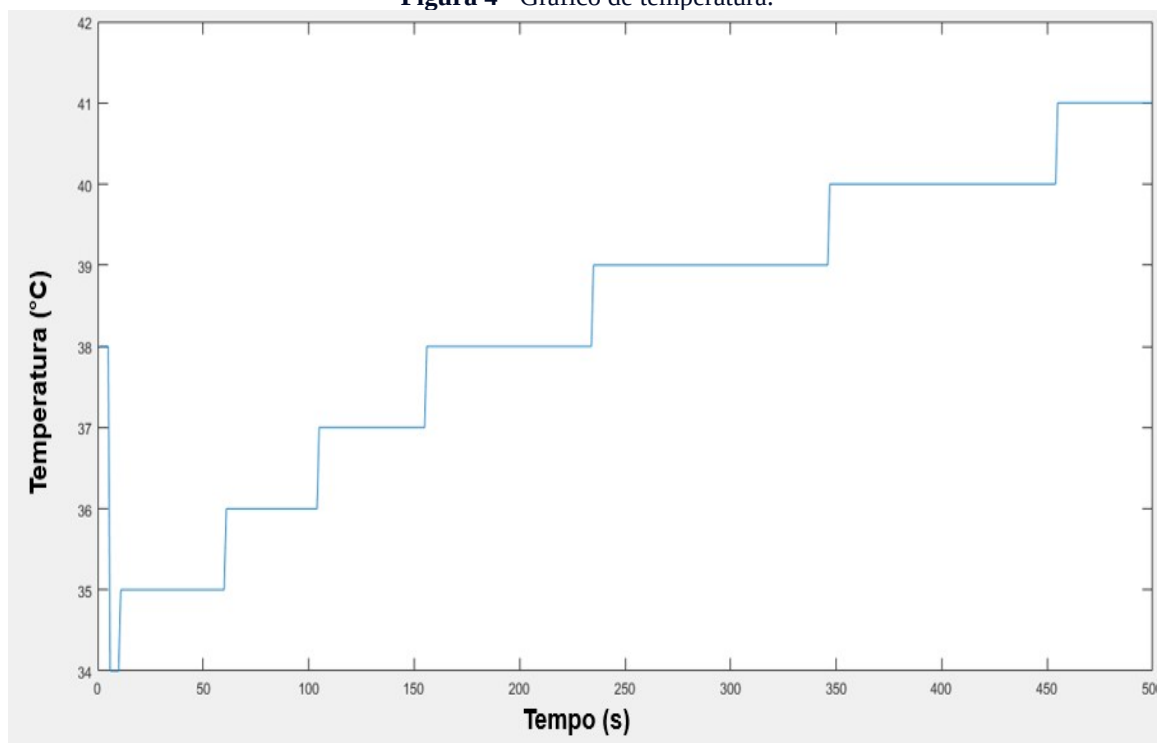
Inicialmente foram realizados testes experimentais para avaliar o comportamento térmico da incubadora. O sistema de aquecimento foi acionado utilizando tensão de 127 V, permitindo o aumento gradual da temperatura interna do equipamento.

O comportamento da temperatura ao longo do tempo é apresentado na Figura 4, na qual é possível observar o aumento da temperatura de aproximadamente 34 °C para 41 °C em cerca de nove minutos.





**Figura 4** - Gráfico de temperatura.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Para modelar o comportamento dinâmico do sistema foi utilizado o método de Smith, representado pela Equação (1), que permite determinar a função de transferência do processo considerando o ganho estático, a constante de tempo e o atraso de transporte.

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (1)$$

O ganho do sistema é determinado pela Equação 2, enquanto os parâmetros intermediários necessários para o cálculo da função de transferência são obtidos por meio das Equações 3a e 3b.



$$k = \frac{X(\text{final}) - X(\text{inicial})}{U(\text{final}) - U(\text{inicial})} = \frac{(41 - 34)}{(1 - 0)} = 7 \quad (2)$$

$$y_1 = Y(0) + (0,283 * k) = 34 + (0,283 * 7) = 35,981^\circ \text{C} \quad (3a)$$

$$y_2 = Y(0) + (0,632 * k) = 34 + (0,632 * 7) = 38,424^\circ \text{C} \quad (3b)$$

Posteriormente, as Equações 4 e 5 são utilizadas para determinar a constante de tempo e o atraso do sistema.

$$\tau = 1,5 * (t_2 - t_1) = 1,5 * (156 - 60) = 144 \quad (4)$$

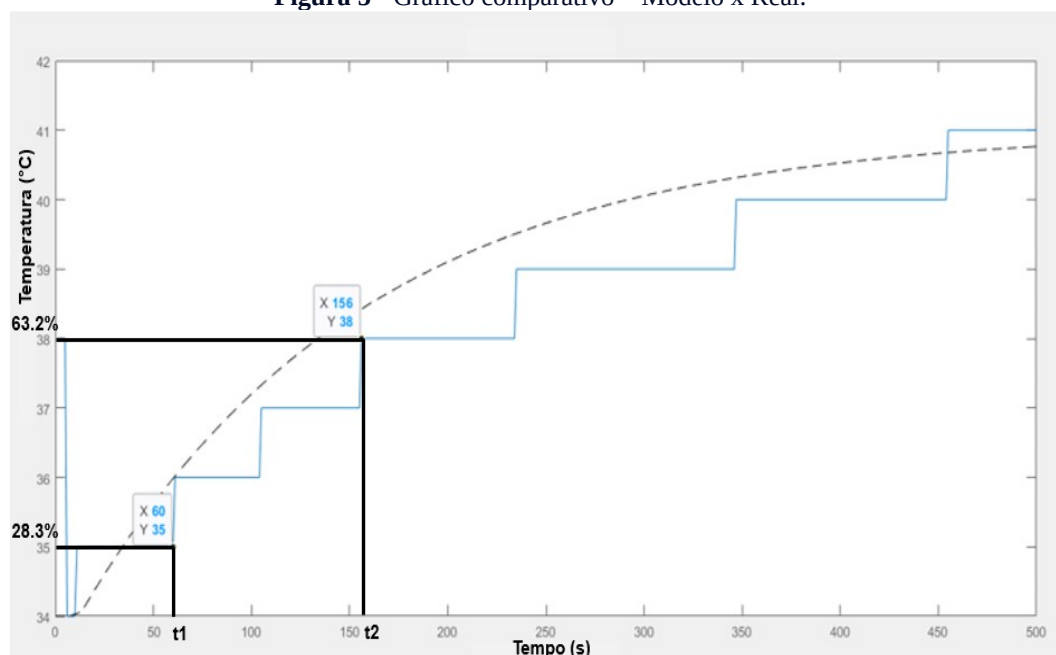
$$\theta = (t_2 - \tau) = (156 - 144) = 12 \quad (5)$$

A comparação entre o modelo matemático obtido e o comportamento experimental do sistema é apresentada na Figura 5. Nessa figura, a linha tracejada representa o modelo matemático da incubadora, enquanto a linha contínua representa os dados experimentais obtidos em malha aberta.





**Figura 5** - Gráfico comparativo – Modelo x Real.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Após a obtenção da função de transferência, foram aplicados diferentes métodos de sintonia para o controlador PID, incluindo os métodos de Ziegler-Nichols, Cohen-Coon e IMC. Os parâmetros obtidos para cada método são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Métodos de sintonia

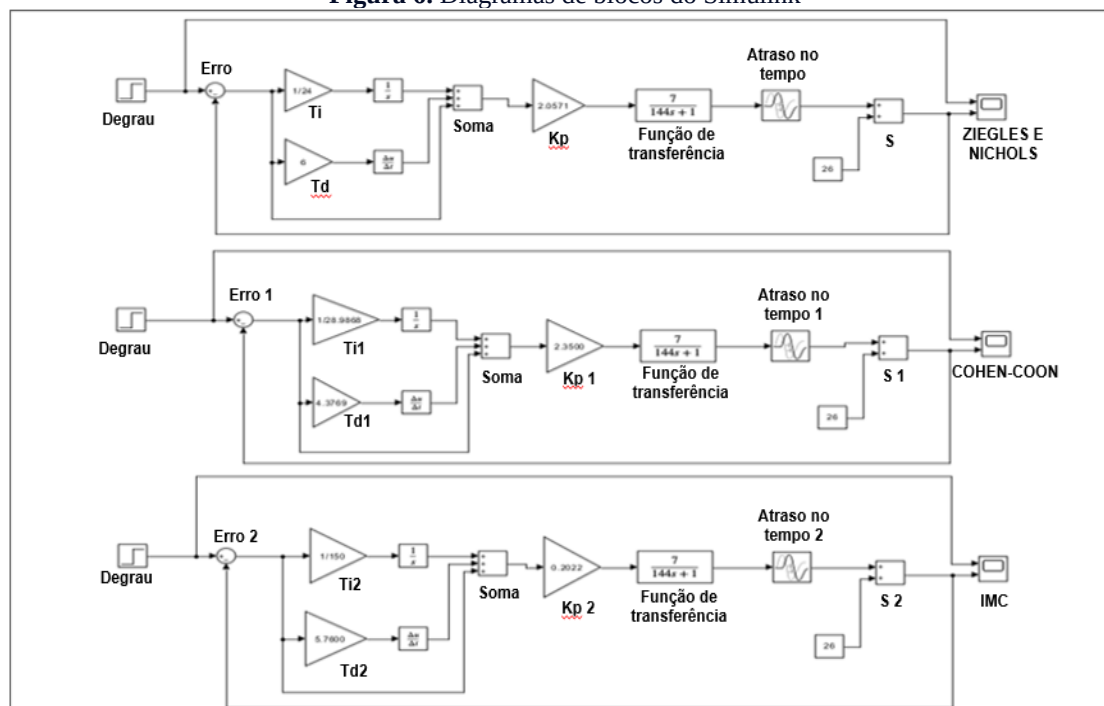
| Modelo               | $K_p$  | $T_i$   | $T_d$  |
|----------------------|--------|---------|--------|
| ZIEGLES E<br>NICHOLS | 2,0571 | 24      | 6      |
| COHEN-COON           | 2,3500 | 28,9868 | 4,3769 |
| IMC                  | 0,2022 | 150     | 5,7600 |

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)



Para a análise comparativa do desempenho das sintonias, utilizou-se o software Matlab/Simulink, no qual foram simulados os diferentes modelos de controle conforme o diagrama de blocos apresentado na Figura 6.

**Figura 6.** Diagramas de blocos do Simulink

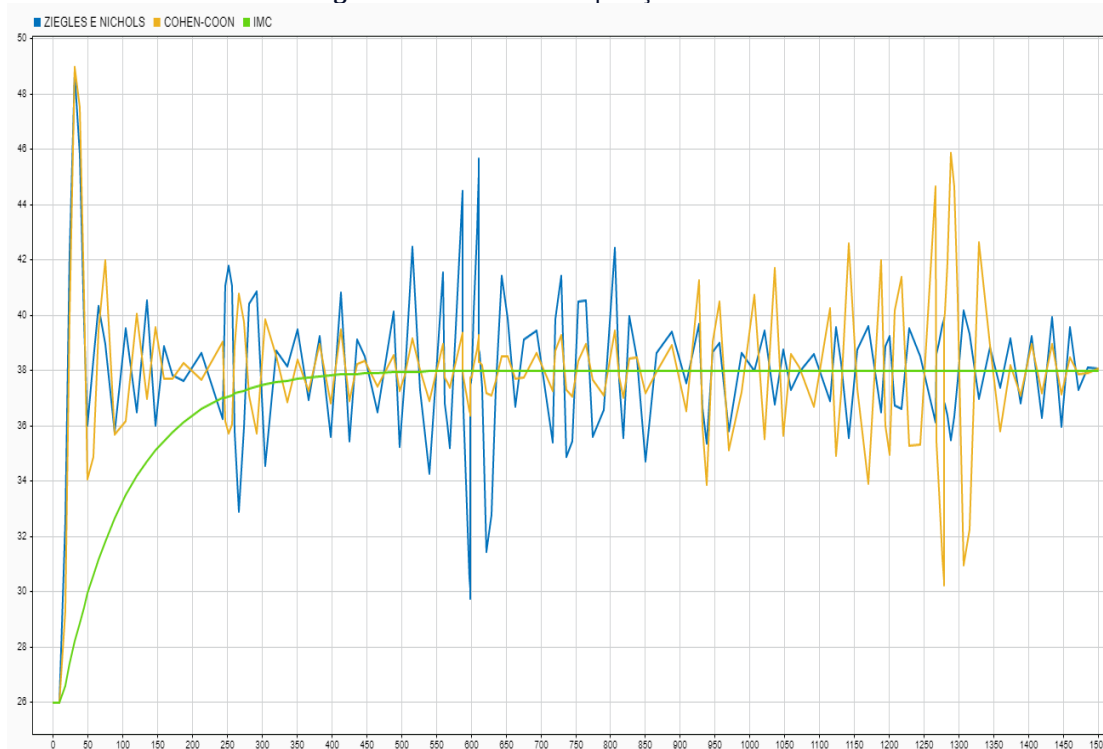


Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Os resultados da comparação entre as sintonias são apresentados na Figura 7, na qual se observa que o método IMC apresentou comportamento mais estável, sem ocorrência de sobressinal significativo, tornando-se a melhor opção para o controle de temperatura da incubadora.



**Figura 7 - Gráfico de comparação de sintonias**

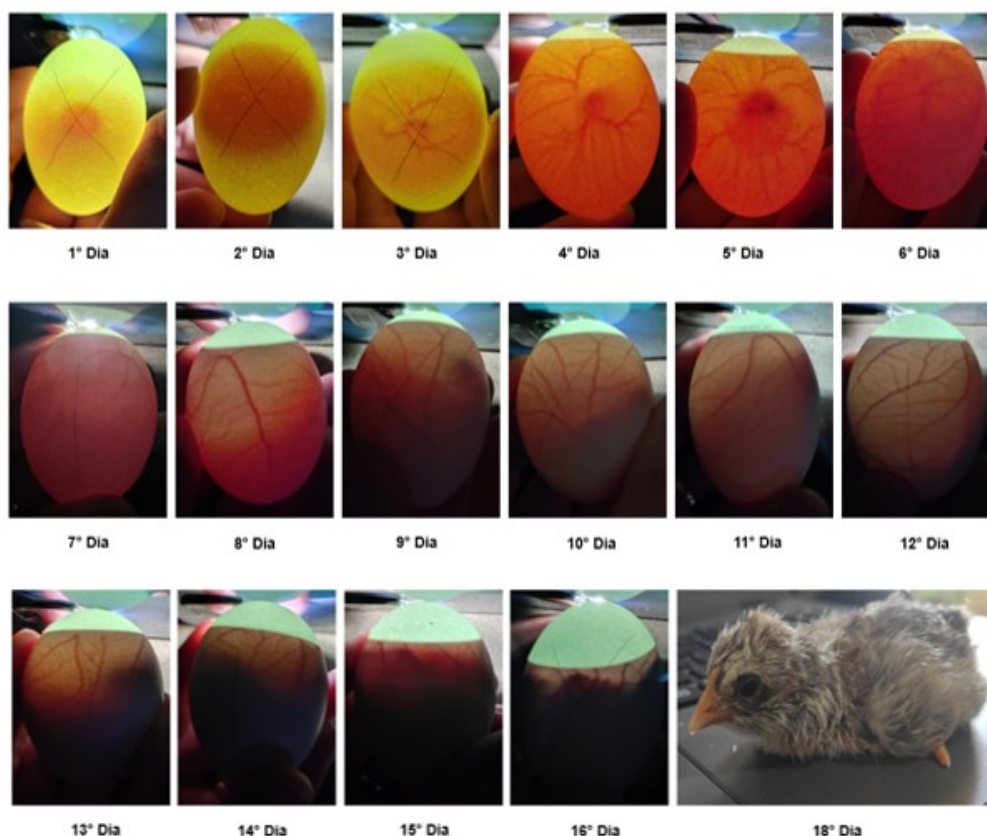


Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Após a definição da sintonia do controlador, foram incubados 34 ovos de galinha caipira no protótipo desenvolvido. Durante o acompanhamento do desenvolvimento embrionário, foram realizadas observações por ovoscopia, permitindo identificar ovos não fecundados e casos de mortalidade embrionária. A evolução do embrião ao longo do processo de incubação é ilustrada na Figura 8.



**Figura 8 - Desenvolvimento do embrião**



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Durante os testes foi observado que fatores externos, como instabilidade no fornecimento de energia elétrica, influenciaram o funcionamento do sistema de aquecimento, resultando na interrupção temporária do controle de temperatura. Como consequência, dos 34 ovos incubados, 15 apresentaram eclosão e 19 foram descartados devido a problemas no desenvolvimento embrionário.

Além disso, o controle de umidade foi implementado posteriormente ao experimento inicial, sendo monitorado por meio do sensor DHT11 e visualizado no monitor serial do software Arduino IDE, conforme apresentado na Figura 9.



**Figura 9 - Controle de umidade**

```
Output Serial Monitor x
Not connected. Select a board and a port to connect automatically.

Umidade: 45.00%
Bomba desligada (umidade acima do alvo).
Umidade: 44.00%
Bomba ligada.
Bomba desligada.
Umidade: 44.00%
Umidade: 46.00%
Bomba desligada (umidade acima do alvo).
Umidade: 48.00%
Bomba desligada (umidade acima do alvo).
Umidade: 47.00%
Bomba desligada (umidade acima do alvo).
Umidade: 46.00%
Umidade: 45.00%
Bomba desligada (umidade acima do alvo).
Umidade: 44.00%
Bomba ligada.
Bomba desligada.
Umidade: 44.00%
Umidade: 45.00%
```

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo desenvolveu uma chocadeira automatizada para incubação de ovos de galinha caipira, utilizando um controlador PID para o controle de temperatura e controle on/off para a umidade. para incubação de ovos de galinha caipira, utilizando um controlador PID para o controle de temperatura e controle on/off para a umidade.

Diferentemente das chocadeiras tradicionais, que utilizam controle on/off e apresentam grandes variações térmicas, o controlador PID permitiria maior estabilidade de temperatura e melhor taxa de eclosão.

No entanto, durante os testes observou-se que a temperatura ambiente influenciou significativamente o desempenho do sistema, principalmente em dias muito quentes.

Além disso, não foi possível implementar simultaneamente o controle de temperatura e umidade, o que pode ter contribuído para perdas na eclosão e para o nascimento prematuro





de alguns pintainhos. Embora o sistema de controle de temperatura tenha sido implementado e tenha possibilitado a incubação automatizada, sua eficiência ficou abaixo do esperado.

Como melhorias, recomenda-se o uso de sensores de temperatura mais precisos e a integração dos controles de temperatura e umidade, visando maior estabilidade no processo de incubação e melhores resultados produtivos na avicultura.

## 6. REFERÊNCIAS

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório Anual ABPA. 2022. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2022.pdf>. Acesso em 25 mar. 2023.

ALBINO, L. F. T. et al. Avicultura: manejo e produção de frangos de corte. Viçosa: UFV, 2014.

AMARAL, Vandelúzia Teixeira do. Incubação de ovos férteis e o desenvolvimento embrionário. Garanhuns - PE, 2019. 32 p Monografia (Zootecnia) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO. Disponível em: [https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1920/1/tcc\\_vandel%c3%baziатеixeiradoamaral.pdf](https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1920/1/tcc_vandel%c3%baziатеixeiradoamaral.pdf). Acesso em: 27 mar. 2023.

ÅSTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. Advanced PID Control. ISA – Instrumentation, Systems and Automation Society, 2006.

ÅSTRÖM, K. J.; MURRAY, R. M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton: Princeton University Press, 2008.

BELUSSO, D.; HESPANHOL, A. N. A evolução da avicultura industrial brasileira e sua importância econômica. Revista Geografia em Atos, 2010.

BRASIL. Brasil lidera ranking mundial de exportação de carne de frango. Serviços e Informações do Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2022/09/brasil-lidera-ranking-mundial-de-exportacao-de-carne-de-frango>. Acesso em: 30 mar. 2023.

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v.4 n.3 (2026) - ISSN 2965-2634**

**A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)**





CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C.G. Controles típicos de equipamentos e processos industriais: 2.ed. – São Paulo: Blucher, 2010.

COSTA, L. de S.; GARCIA L.A.F.; BRENE, P.R.A. Panorama do setor de frango de corte no Brasil e a participação da indústria avícola paranaense no complexo dado seu alto grau de competitividade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PRODUTOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 4., 2015. Anais. São Paulo. São Paulo: [s.n.], 2015. IV SINGEP.

DECUYPERE, E.; MICHELS, H. Incubation temperature as a management tool: a review. *World's Poultry Science Journal*, 1992.

FAO. Poultry Development Review. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

FRENCH, N. A. Modeling incubation temperature: the effects on embryo development. *Poultry Science*, 1997.

GARCIA, Claudio. Controle de processos industriais: Volume 1 - São Paulo: Blucher, 2017.

NISE, N. S. Control Systems Engineering. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

NORTH, M. O.; BELL, D. D. Commercial Chicken Production Manual. 4. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

OECD/FAO (2022), OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031, OECD Publishing, Paris. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2022-2031\\_f1b0b29c-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2022-2031_f1b0b29c-en). Acesso em: 28 mar. 2023.

OGATA, K. Modern Control Engineering. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

OWENS, C. M. et al. Poultry meat processing. CRC Press, 2000.



# REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



ROMANOFF, A. L.; ROMANOFF, A. J. Biochemistry of the Avian Embryo. New York: Wiley, 1967.

SEBORG, D. E. et al. Process Dynamics and Control. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2011.

TULLETT, S. G. Science and the art of incubation. Poultry Science, 1990.

VOILA, M.; TRICHES, D. A cadeia de carne de frango: uma análise dos mercados brasileiro e mundial de 2002 a 2012. Revista Teoria e Evidência Econômica, v. 21, n. 44, 2015.

ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. Optimum settings for automatic controllers. Transactions of the ASME, 1942.

*Recebido em: 03/03/2026*

*Aprovado em: 15/03/2026*

*Publicado em: 31/03/2026*

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v.4 n.3 (2026) - ISSN 2965-2634

**A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)**



22/22