

EXPERIMENTO COM MADEIRA DE *EUCALIPTO UROPHYLLA* NA PRODUÇÃO DE CALOR PARA AQUECIMENTO EM AVICULTURA DE CORTE

EXPERIMENT USING *UROPHYLLA EUCALYPTUS* WOOD FOR HEAT PRODUCTION IN BROILER POULTRY FARMING

EXPERIMENTO CON MADERA DE *EUCALIPTO UROPHYLLA* EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR PARA LA CLIMATIZACIÓN EN LA AVICULTURA DE CARNE

Max Rogério da Silva¹, Carlos Henrique Cruvinel², Júlia Marques Oliveira³

DOI: 10.54899/dcs.v23i92.6105

Recibido: 09/06/2026 | Aceptado: 02/06/2026 | Publicación en línea: 09/07/2026.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho térmico da madeira de *Eucalyptus urophylla* em diferentes estágios de secagem, bem como comparar seu comportamento ao da lenha proveniente de eucaliptos clonados, quando utilizadas como fonte de calor para o aquecimento noturno de galpões avícolas. O experimento foi conduzido em uma propriedade rural de manejo tradicional no município de Pedra do Indaiá (MG), onde se testaram quatro estágios de secagem (lenha verde, parcialmente seca, medianamente seca e seca) e um grupo adicional com madeira de eucalipto clonado. Variáveis quantitativas (tempo total de queima e peso consumido) e qualitativas (quantidade de fumaça e eficiência do aquecimento) foram registradas e analisadas de forma descritiva. Os resultados evidenciaram que a lenha medianamente seca, com cerca de 30 dias de corte (aproximadamente 40% de umidade), apresentou o melhor desempenho, com maior tempo de queima (125 minutos), menor emissão de fumaça e aquecimento mais estável do ambiente. Os demais tratamentos apresentaram limitações, como queima rápida, consumo excessivo de lenha ou produção intensa de fumaça. Conclui-se que a lenha de *Eucalyptus urophylla* com secagem intermediária é a opção mais eficiente e economicamente viável para o aquecimento de aviários, aliando conforto térmico das aves, redução de custos operacionais e uso sustentável da biomassa florestal.

Palavras-chave: Avicultura de Corte. Biomassa Energética. Secagem da Madeira. Eficiência Térmica.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the thermal performance of *Eucalyptus urophylla* wood at different

¹ Graduado em Engenharia Agrônômica, Centro Universitário de Formiga (UNIFOR), Formiga, Minas Gerais, Brasil. E-mail: maxrogeriopedraa@hotmail.com

² Graduado em Engenharia Agrônômica, Centro Universitário de Formiga (UNIFOR), Formiga, Minas Gerais, Brasil. E-mail: maxrogeriopedraa@hotmail.com

³ Doutor em Engenharia Agrônômica, Centro Universitário de Formiga (UNIFOR), Formiga, Minas Gerais, Brasil. E-mail: juliamoliveira@unifor.br

drying stages, as well as to compare its behavior with that of cloned eucalyptus wood when used as a heat source for nighttime heating of broiler poultry houses. The experiment was conducted on a traditional poultry farm in the municipality of Pedra do Indaiá (MG, Brazil), where four drying stages (green wood, partially dried, moderately dried and fully dried) and an additional group with cloned eucalyptus wood were tested. Quantitative variables (total burning time and weight consumed) and qualitative variables (amount of smoke and heating efficiency) were recorded and analyzed descriptively. The results showed that moderately dried wood, cut about 30 days before use (approximately 40% moisture content), had the best performance, with the longest burning time (125 minutes), lower smoke emission and more stable heating of the environment. The other treatments showed limitations such as rapid burning, excessive wood consumption or intense smoke production. It is concluded that *Eucalyptus urophylla* wood at an intermediate drying stage is the most efficient and economically viable option for heating poultry houses, combining thermal comfort for the birds, reduced operational costs and sustainable use of forest biomass.

Keywords: Broiler Poultry Farming. Energy Biomass. Wood Drying. Thermal Efficiency.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento térmico de la madera de *Eucalyptus urophylla* en diferentes etapas de secado, así como comparar su comportamiento con el de la leña procedente de eucaliptos clonados, cuando se utilizan como fuente de calor para la calefacción nocturna de naves avícolas. El experimento se llevó a cabo en una explotación rural de gestión tradicional en el municipio de Pedra do Indaiá (MG), donde se probaron cuatro etapas de secado (leña verde, parcialmente seca, medianamente seca y seca) y un grupo adicional con madera de eucalipto clonado. Se registraron y analizaron de forma descriptiva variables cuantitativas (tiempo total de combustión y peso consumido) y cualitativas (cantidad de humo y eficiencia de la calefacción). Los resultados pusieron de manifiesto que la leña medianamente seca, con unos 30 días desde el corte (aproximadamente un 40 % de humedad), presentó el mejor rendimiento, con un mayor tiempo de combustión (125 minutos), menor emisión de humo y un calentamiento más estable del ambiente. Los demás tratamientos presentaron limitaciones, como una combustión rápida, un consumo excesivo de leña o una intensa producción de humo. Se concluye que la leña de *Eucalyptus urophylla* con secado intermedio es la opción más eficiente y económicamente viable para la calefacción de los aviarios, ya que combina el confort térmico de las aves, la reducción de los costes operativos y el uso sostenible de la biomasa forestal.

Palabras clave: Avicultura de Engorde. Biomasa Energética. Secado de la Madera. Eficiencia Térmica.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A climatização adequada dos aviários é um fator-chave para o sucesso da produção. No

entanto, em regiões onde o acesso à energia elétrica ou a fontes alternativas como o gás é limitado ou oneroso, a utilização da madeira como combustível para fornalhas destaca-se por sua viabilidade técnica e econômica, sobretudo em pequenas e médias propriedades rurais (Oliveira *et al.*, 2017). Essa prática representa não apenas uma alternativa de baixo custo, mas também uma estratégia de autonomia energética para muitos produtores, que podem cultivar suas próprias fontes de biomassa florestal. A lenha, por ser um recurso renovável e de fácil acesso em áreas rurais, continua a ser uma das principais fontes de calor utilizadas em galpões avícolas tradicionais (Vasconcelos, 2023).

Todavia, o uso eficiente da madeira como combustível depende de uma série de fatores técnicos, como o tipo de madeira empregada, seu estágio de secagem, densidade e poder calorífico, o que requer conhecimento específico para garantir seu aproveitamento energético pleno. Entre as diversas espécies florestais utilizadas para esse fim, o *Eucalyptus urophylla* ganha notoriedade devido à sua ampla adaptação climática, rápido crescimento, alta produtividade e facilidade de cultivo em diferentes biomas brasileiros. Seu cultivo é incentivado tanto por empresas florestais quanto por pequenos produtores, que encontram na espécie uma solução viável para a geração de renda e autossuficiência energética (Vale *et al.*, 2013).

A madeira do *Eucalyptus urophylla* é conhecida por apresentar boa densidade e propriedades físico-químicas que favorecem sua utilização como biomassa energética. Também vale citar que a eficiência dessa madeira como fonte de calor está diretamente relacionada a características como o teor de umidade, o tempo de secagem ao ar livre ou em estufa, e o ponto de equilíbrio higroscópico com o ambiente (De Jesus *et al.*, 2017). Lenhas recém-cortadas, ainda verdes, tendem a produzir muita fumaça e oferecer baixo rendimento térmico, uma vez que grande parte da energia liberada durante a combustão é utilizada para evaporar a água presente nas fibras vegetais. Por outro lado, madeiras extremamente secas podem queimar rápido demais, comprometendo a duração do aquecimento e exigindo maior reposição de material na fornalha (Alves, 2018).

Com base nessas premissas, a presente proposta de pesquisa justifica-se pela necessidade de identificar estratégias que otimizem o uso da madeira no aquecimento de galpões avícolas, assegurando eficiência térmica e sustentabilidade econômica. O estudo parte da realização de um experimento prático que será conduzido em propriedade rural no município de Pedra do Indaiá, Minas Gerais, onde se analisarão diferentes estágios de secagem da madeira de *Eucalyptus urophylla*, avaliando variáveis como tempo de queima, quantidade de fumaça, peso e

desempenho no aquecimento do ambiente.

Logo, o presente projeto busca responder à seguinte questão norteadora: qual o estágio de secagem da madeira de *Eucalyptus urophylla* apresenta melhor desempenho térmico e custo-benefício para o aquecimento noturno de galpões na avicultura de corte?. Por meio da investigação dessa problemática, pretende-se oferecer subsídios técnicos que contribuam para práticas mais eficientes e sustentáveis no manejo térmico de aviários, promovendo ganhos em produtividade e redução de custos, além de colaborar com o uso consciente da biomassa florestal como recurso energético renovável. O conhecimento gerado poderá ser incorporado a políticas de manejo florestal energético, contribuindo com a formulação de diretrizes técnicas para o uso adequado da lenha na avicultura e em outras atividades agroindustriais que dependem de fontes térmicas alternativas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Importância da Avicultura e do Eucalipto

A avicultura de corte configura-se como uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, sendo responsável por significativa parcela da produção e exportação de proteína animal no país. O Brasil, como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de carne de frango, possui um setor avícola altamente competitivo, que depende de um sistema produtivo intensivo e tecnificado (Pereira, 2023). Segundo Tremea e Silva (2020), esse modelo exige o controle rigoroso de variáveis ambientais, sobretudo a temperatura, para assegurar o bem-estar das aves, o bom desempenho zootécnico e a qualidade final da carne ofertada ao mercado interno e externo.

A avicultura moderna, sobretudo a de corte, é uma atividade produtiva altamente tecnificada que requer atenção constante às condições ambientais, especialmente no que se refere à temperatura interna dos galpões. As aves, principalmente nos primeiros dias de vida, possuem termorregulação ineficiente e são extremamente sensíveis a variações térmicas, o que pode comprometer seu crescimento, imunidade e taxa de conversão alimentar (Valentim *et al.*, 2020). Segundo Vieira *et al.* (2022), a manutenção do conforto térmico é uma das variáveis mais críticas no desempenho zootécnico dos lotes, impactando diretamente a produtividade e os custos operacionais. A ausência de aquecimento adequado durante o período noturno ou em dias frios

pode resultar em estresse térmico, mortalidade precoce e uniformidade inadequada do plantel.

Eucalipto: São mais de 700 espécies reconhecidas botanicamente. Estas espécies têm propriedades físicas e químicas tão diversas que fazem com que os eucaliptos sejam usados para as mais diversas finalidades como, lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, até movelaria, geração de energia, medicamentos, entre outros. A alta produtividade de madeira, com menores custos e maiores taxas de retorno do investimento, conferem grande atratividade ao cultivo do eucalipto, garantindo alta competitividade de seus produtos nos mercados interno e externo, O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania.

Conforto Térmico

Diante dessas limitações, o uso da lenha como fonte energética permanece como uma prática amplamente difundida, especialmente em propriedades familiares ou sistemas produtivos de menor escala. A lenha apresenta vantagens importantes: é um recurso renovável, disponível em diversas regiões, pode ser cultivada diretamente na propriedade e requer investimentos iniciais relativamente baixos (Viana; Tavares; Lima, 2015). Além disso, sua queima em fornalhas simples oferece uma solução prática e eficiente para gerar calor de forma contínua durante a noite, quando a temperatura ambiente tende a cair significativamente. No entanto, a eficácia dessa alternativa depende diretamente de fatores que vão além do simples acesso ao material lenhoso — entre eles, a espécie da madeira, seu tempo de secagem, densidade e teor de umidade (Dantas; Azevedo; Feliciano, 2017).

O aproveitamento energético da lenha está diretamente ligado ao seu grau de secagem. Conforme apontado por Silva (2022), a lenha recém-cortada, ainda com alta umidade, tende a produzir grande quantidade de fumaça e apresentar baixo rendimento térmico, pois parte significativa da energia da combustão é consumida para evaporar a água presente na madeira. Isso resulta em desperdício de combustível, aumento do consumo e menor aquecimento dos galpões. Por outro lado, lenhas excessivamente secas, embora queimem com maior intensidade, podem se consumir rapidamente, reduzindo a duração do calor gerado.

Deste modo, Abrahão *et al.* (2016) frisam que identificar o ponto ideal de secagem — que equilibre baixa umidade com queima prolongada — é essencial para maximizar a eficiência térmica da fornalha, otimizar o uso da biomassa disponível e garantir conforto térmico contínuo às aves.

Essa compreensão técnica é fundamental para orientar práticas sustentáveis e economicamente viáveis no manejo energético da avicultura de corte.

A combustão da lenha verde, por exemplo, libera elevado volume de fumaça espessa, resultado da evaporação forçada da água presente nas células vegetais. Isso não apenas reduz a eficiência térmica do processo, como também pode acarretar problemas respiratórios para os trabalhadores e impacto ambiental local. Entretanto, lenhas com grau de umidade ideal — geralmente entre 20% e 30% — oferecem melhor desempenho energético, possibilitando queima mais limpa e duradoura (Silva *et al.*, 2017). Conforme Araújo (2023), o equilíbrio entre umidade, densidade e tempo de exposição ao ar seco é essencial para garantir o melhor rendimento térmico da biomassa. A partir disso, fica claro que o conhecimento sobre o ponto ideal de secagem da madeira se torna estratégico para a racionalização do uso de recurso energético.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área Experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Brocotó, situada nas coordenadas de Latitude 7761413,226 e Longitude 476747,488, localizada em Mata dos Lemos, no município de Pedra do Indaiá, estado de Minas Gerais. Trata-se de uma propriedade rural de manejo avícola tradicional, onde se avaliou empiricamente a eficiência térmica da madeira de *Eucalyptus urophylla* em diferentes estágios de secagem, bem como o comportamento da lenha proveniente de eucaliptos clonados quando utilizada como combustível em fornalhas destinadas ao aquecimento de galpões de frango de corte. A escolha do local justificou-se tanto pela presença da estrutura física necessária quanto pela disponibilidade das espécies de madeira testadas, o que permitiu a condução do experimento em condições reais de uso.

Delineamento Experimental

Foram utilizadas lenhas de *Eucalyptus urophylla* divididas em quatro diferentes estágios de secagem. O primeiro grupo consistiu em lenhas verdes, com 100% de teor de umidade, cortadas no mesmo dia da queima; o segundo, em lenhas parcialmente secas, com aproximadamente 70% de umidade, cortadas com 10 dias de antecedência; o terceiro, em lenhas

medianamente secas, com cerca de 40% de umidade, obtidas 30 dias antes do uso; e, por fim, o quarto grupo compreendeu lenhas secas, com apenas 0,5% de teor de umidade, cortadas há 62 dias (Tabela 1).

Tabela 1. Estágios de secagem das lenhas de *Eucalyptus urophylla* utilizadas no experimento.

Grupo	Estágio de Secagem	Teor de Umidade (%)	Tempo de Corte Antes da Queima
1	Lenha verde	100%	No mesmo dia
2	Lenha parcialmente seca	70%	10 dias antes
3	Lenha medianamente seca	40%	30 dias antes
4	Lenha seca	0,5%	62 dias antes

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Incluiu-se ainda um quinto grupo experimental composto por lenha de eucalipto clonado, com características distintas em termos de densidade e combustibilidade, visando comparar seu desempenho com as lenhas tradicionais. Os materiais complementares utilizados para o desenvolvimento do experimento incluíram uma fornalha avícola convencional, instalada no galpão da propriedade, um medidor de peso digital para mensuração da massa de cada lote de lenha e um cronômetro para aferição precisa dos tempos de queima.

Os procedimentos foram conduzidos de maneira sistemática e padronizada. Inicialmente, montes de lenha com volume fixo de 0,5 m³ foram organizados para cada grupo experimental, sendo cada lote cuidadosamente pesado individualmente. A madeira foi então introduzida na fornalha, em horários preestabelecidos, sempre no período noturno – das 18h às 7h – respeitando o horário real de necessidade de aquecimento nos galpões avícolas.

Cada tipo de lenha foi queimado separadamente em diferentes noites, garantindo que não houvesse interferência cruzada entre os grupos. Durante o processo de queima, observaram-se e registraram-se variáveis como o tempo total de combustão, a intensidade da fumaça produzida e o grau de aquecimento percebido no interior do galpão, de acordo com a sensação térmica no ambiente, verificada qualitativamente com base na experiência prática dos trabalhadores e na estabilidade do conforto térmico das aves.

Variáveis Analisadas

Durante a execução do experimento, analisaram-se variáveis tanto quantitativas quanto qualitativas, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico da madeira em diferentes estágios de secagem. A primeira variável observada foi o tempo total de queima, medido em minutos, o

que permitiu identificar qual tipo de lenha proporcionou maior duração do calor. Em seguida, mensurou-se o peso da lenha consumida em cada tratamento, em quilogramas, a fim de verificar a relação entre a quantidade de material utilizada e o rendimento térmico obtido. Esses dois parâmetros foram essenciais para compreender a eficiência energética da biomassa e sua viabilidade econômica para uso contínuo na avicultura de corte.

Além dessas variáveis mensuráveis, também se observaram características qualitativas. A quantidade de fumaça gerada por cada tipo de lenha foi avaliada visualmente e classificada em três níveis: intensa, moderada ou leve. Essa análise ajudou a identificar o impacto ambiental e a qualidade da combustão. Por fim, considerou-se a eficiência do aquecimento, com base na percepção térmica dentro do galpão, observada pelos trabalhadores responsáveis, que avaliaram se houve estabilidade térmica e conforto adequado para as aves ao longo do período de aquecimento. Essa percepção prática foi fundamental, pois refletiu diretamente a aplicabilidade do uso da lenha em condições reais de manejo.

Análise Estatística

A análise dos dados obtidos foi realizada de forma descritiva e qualitativa, considerando parâmetros como o tempo de queima de cada tipo de lenha, o peso consumido em cada etapa e a percepção de eficiência no aquecimento proporcionado. A quantidade de fumaça emitida por cada grupo também foi observada visualmente e registrada. Os dados foram organizados em planilhas comparativas no Excel, permitindo visualizar com clareza os comportamentos distintos de cada estágio de secagem.

Essa metodologia possibilitou a identificação de padrões relevantes sobre a relação entre teor de umidade da madeira e seu desempenho como fonte de calor. Os resultados obtidos serviram como base para a recomendação do estágio de secagem mais apropriado ao contexto da avicultura de corte, considerando fatores como eficiência térmica, economia de material lenhoso e viabilidade operacional para pequenos e médios produtores rurais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento avaliou o desempenho térmico da madeira de *Eucalyptus urophylla* em diferentes estágios de secagem, bem como a eficiência da madeira de eucalipto clonado, quando

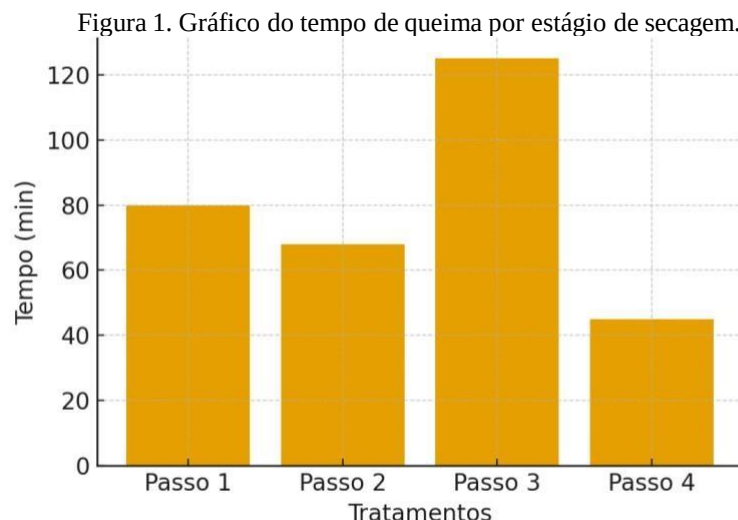
utilizadas como combustível para o aquecimento de galpões avícolas. Foram comparados quatro tratamentos principais, com variações no teor de umidade da lenha. Os resultados revelaram diferenças expressivas em relação ao tempo de queima, peso da lenha consumida, emissão de fumaça e eficiência do aquecimento, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do experimento.

Tratamento			Peso da Lenha (kg)	Tempo de Queima (min)	Fumaça Produzida	Avaliação de Eficiência
Passo 1	–	Lenha verde (100%)	580	80	Muita fumaça escura	Baixa eficiência
Passo 2	–	Lenha 70% verde (10 dias)	490	68	Muita fumaça	Insatisfatória
Passo 3	–	Lenha 40% verde (30 dias)	310	125	Pouca fumaça	Alta eficiência
Passo 4	–	Lenha seca (0,5%, 62 dias)	130	45	Muita fumaça	Péssima eficiência

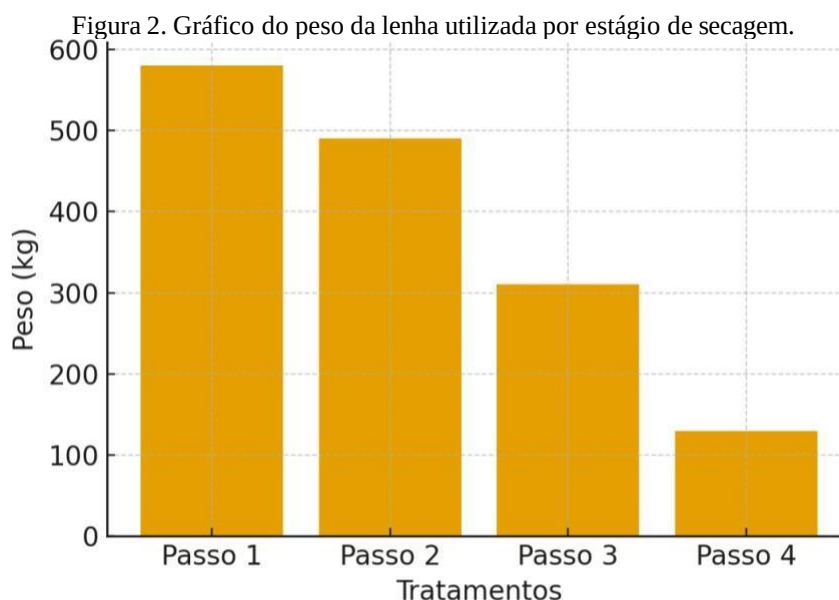
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O tempo de combustão da lenha é um dos principais parâmetros avaliados neste estudo, pois influencia diretamente a manutenção do aquecimento noturno dos galpões avícolas. Na Figura 1 apresenta-se um gráfico com os resultados referentes à duração da queima dos diferentes estágios de secagem da madeira de *Eucalyptus urophylla*. Essa análise permite identificar qual condição de umidade garante maior estabilidade térmica e eficiência energética ao longo do período de uso.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

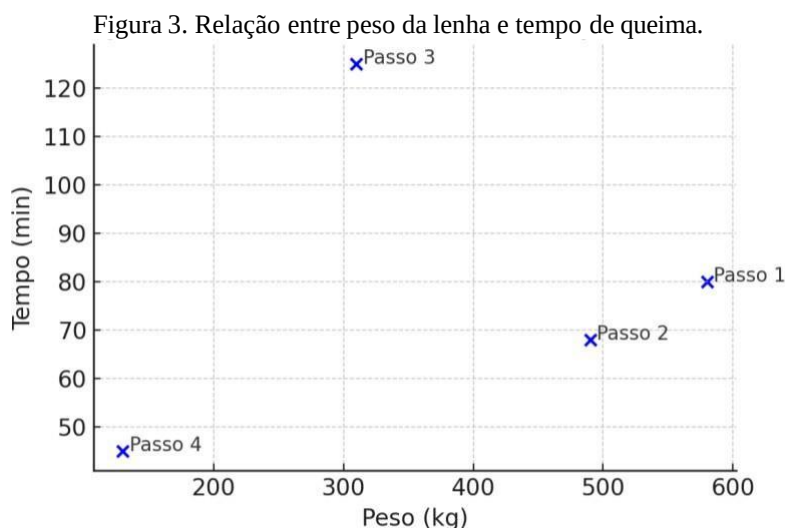
O peso da lenha consumida constitui uma variável de relevância prática e econômica, já que está associado à quantidade de biomassa necessária para manter o aquecimento dos galpões. A Figura 2 demonstra um gráfico com a comparação do peso utilizado em cada estágio de secagem, possibilitando avaliar o custo de material lenhoso demandado em cada tratamento e sua relação com o rendimento energético obtido.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A relação entre o peso da lenha utilizada e o tempo de queima evidencia o equilíbrio entre quantidade de biomassa consumida e duração do aquecimento gerado. A Figura 3 ilustra essa correlação, permitindo observar qual estágio de secagem apresenta maior eficiência energética,

ou seja, maior tempo de combustão com menor consumo de lenha. Esse resultado é fundamental para indicar a melhor prática de manejo da madeira no contexto da avicultura de corte.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resultados mostraram que o terceiro tratamento, referente à lenha de *Eucalyptus urophylla* com aproximadamente 40% de umidade (corte realizado há 30 dias), apresentou o melhor desempenho, com tempo de queima de 125 minutos, baixa emissão de fumaça e aquecimento adequado do galpão. Esse estágio de secagem demonstrou ser o mais eficiente, representando um equilíbrio entre densidade da madeira e teor de umidade. Já os demais tratamentos apresentaram desempenho inferior, seja por excesso de umidade (lenha verde e 70% verde), seja por queima muito rápida devido à baixa densidade (lenha seca com 62 dias). Dessa forma, recomenda-se o uso da lenha medianamente seca como a opção mais viável e sustentável para o aquecimento de galpões avícolas.

Os resultados obtidos demonstram que o desempenho térmico da madeira de *Eucalyptus urophylla* está diretamente relacionado ao seu estágio de secagem. Observou-se que a lenha verde, recém-cortada (Passo 1), apresentou tempo de queima relativamente moderado (80 minutos), mas com alta emissão de fumaça escura e baixo rendimento energético. Isso se deve à elevada umidade presente nas fibras, que reduz a eficiência da combustão, já que parte da energia liberada é consumida na evaporação da água. Esse comportamento é amplamente documentado na literatura, vide os trabalhos de Freitas (2023), Tavares (2023) e Dantas, Azevedo e Feliciano (2017), visto que madeiras com elevado teor de umidade apresentam baixo poder calorífico útil e maior impacto ambiental pela produção de fumaça.

A lenha parcialmente seca, cortada há 10 dias (Passo 2), apresentou tempo de queima ainda mais reduzido (68 minutos), embora tenha exigido menor peso em relação à lenha verde. A queima foi classificada como insatisfatória, pois além da fumaça produzida, não forneceu calor suficiente para garantir a eficiência no aquecimento do galpão. Esse resultado reforça a ideia de que a simples redução parcial do teor de umidade não é suficiente para tornar a biomassa eficiente; ao contrário, o estágio intermediário de secagem pode comprometer a densidade energética da madeira, resultando em perda de rendimento térmico (Guilherme; Raimundo; D'Amelio, 2023).

O terceiro tratamento (Passo 3), composto por lenhas com aproximadamente 40% de umidade, cortadas há 30 dias, mostrou-se o mais eficiente. O tempo de queima foi de 125 minutos, superior à média dos demais tratamentos, acompanhado de baixa emissão de fumaça e aquecimento adequado do galpão. Esse desempenho evidencia que há um ponto de equilíbrio ideal entre a umidade residual da madeira e sua densidade, proporcionando maior duração da combustão, maior estabilidade térmica e menor impacto ambiental. Estudos semelhantes apontam que o ponto ótimo de secagem da lenha situa-se em torno de 20% a 40% de umidade, faixa em que ocorre a queima mais limpa e com maior aproveitamento energético (Sampaio *et al.*, 2022; Cardoso; Moraes; Silva, 2020). Assim, os resultados do presente experimento corroboram com a literatura existente, ao demonstrar que a lenha medianamente seca é a mais indicada para o aquecimento de ambientes na avicultura de corte.

Por outro lado, a lenha excessivamente seca (Passo 4), com 0,5% de umidade e cortada há 62 dias, apresentou desempenho insatisfatório. Embora tenha sido a que exigiu menor quantidade de material em peso (130 kg), a combustão ocorreu em apenas 45 minutos, com produção elevada de fumaça. Esse resultado reforça a hipótese de que madeiras com baixo teor de umidade queimam de forma rápida e ineficiente, liberando calor em curto espaço de tempo e exigindo reposição frequente na fornalha. Além disso, a maior emissão de fumaça pode ser atribuída à combustão incompleta, causada pela baixa densidade e fragilidade estrutural da madeira (Canzian *et al.*, 2016). Portanto, o uso de lenhas excessivamente secas não é recomendado para sistemas de aquecimento que demandam estabilidade térmica prolongada.

A análise estatística descritiva mostrou grande variação entre os tratamentos, com coeficiente de variação superior a 30% para o tempo de queima, o que reforça a existência de diferenças significativas entre os estágios de secagem. O Passo 3 destacou-se por apresentar desempenho 57% superior à média geral, enquanto o Passo 4 ficou 43% abaixo da média. Esses

números evidenciam a relevância de se adotar práticas de manejo da madeira que assegurem o estágio de secagem mais adequado antes de sua utilização.

Em síntese, os resultados obtidos confirmam a importância do equilíbrio entre teor de umidade e densidade da madeira para a eficiência energética em fornalhas avícolas. O estágio de 30 dias de secagem (40% de umidade) apresentou-se como a melhor alternativa, tanto em termos de rendimento térmico quanto de custo-benefício, sendo o mais indicado para pequenos e médios produtores que utilizam a biomassa como fonte de calor no manejo de galpões. Além disso, os dados apontam para a necessidade de planejamento no corte e no armazenamento da madeira, de modo a garantir sua utilização no ponto ideal de secagem.

CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu avaliar, em condições reais de manejo, o desempenho térmico da madeira de *Eucalyptus urophylla* em diferentes estágios de secagem, bem como comparar seu comportamento ao da lenha proveniente de eucaliptos clonados. A análise dos resultados evidenciou diferenças marcantes entre os tratamentos, principalmente no tempo de combustão, na quantidade de fumaça produzida, no peso consumido e na eficiência do aquecimento dos galpões avícolas. Essa abordagem prática contribuiu para compreender de forma objetiva como o teor de umidade influencia o rendimento energético e o custo-benefício do uso da lenha no aquecimento noturno de frangos de corte.

Entre os quatro estágios de secagem avaliados, a lenha medianamente seca, cortada há cerca de 30 dias (aproximadamente 40% de umidade), apresentou o melhor desempenho. Esse tratamento resultou em maior tempo de queima (125 minutos), menor emissão de fumaça e aquecimento mais estável do galpão, proporcionando conforto térmico adequado às aves. Esse equilíbrio entre teor de umidade e densidade demonstrou ser mais eficiente e econômico quando comparado às lenhas verdes, parcialmente secas, excessivamente secas e às provenientes de eucaliptos clonados.

Os demais tratamentos mostraram limitações importantes. A lenha verde e a parcialmente seca apresentaram elevado consumo e grande produção de fumaça, reduzindo a eficiência térmica e aumentando o impacto ambiental. Já a lenha excessivamente seca queimou de forma rápida, liberando calor em curto espaço de tempo e exigindo reposição frequente, o que compromete sua viabilidade operacional. A lenha proveniente de clones, por sua vez, mostrou características de

menor densidade e combustibilidade acelerada, não atingindo o mesmo desempenho do *Eucalyptus urophylla* no estágio de secagem ideal.

Assim, conclui-se que a lenha de *Eucalyptus urophylla* com cerca de 30 dias de secagem (aproximadamente 40% de umidade) é a alternativa mais recomendada para o aquecimento noturno em galpões avícolas. Essa prática alia eficiência térmica, economia de material lenhoso e estabilidade do aquecimento, atendendo às necessidades de pequenos e médios produtores rurais. Além de oferecer melhor custo-benefício, o manejo adequado da secagem da madeira contribui para um uso mais racional e sustentável dos recursos florestais, fortalecendo a produção avícola com base em fontes renováveis de energia.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C. P. *et al.* Efeito do diâmetro e do comprimento das toras na secagem de lenha de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/98720971/64ca339d9e6d62b54e330e299c4e87d98ac6p> df. Acesso em: 19 mai. 2025.

ALVES, Flávia da Silva. **Revisão da resistência natural da madeira de Eucalyptus**. Orientador: José Mauro de Almeida. 2018. 50 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2018. Disponível em: <https://ri.ufrb.edu.br/handle/123456789/2708>. Acesso em: 18 mai. 2025.

ARAÚJO, Alonso Medeiros de. **A produção de lenha e de carvão em Várzea (PB): diferentes perspectivas de uso da caatinga**. Orientador: Leandro Vieira Cavalcante. 2023. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/a1539066-af9e-40a7-a8f1-035d8bdc84ff>. Acesso em: 19 mai. 2025.

CARDOSO, Josimara Santos; MORAES, Jorge André Ribas; SILVA, André Luiz Emmel. Otimização dos recursos energéticos por meio do acompanhamento e controle da secagem da lenha. **Navus-Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 10, p. 01-11, 2020. Disponível em: <https://navus.sc.senac.br/navus/article/view/994>. Acesso em: 02 set. 2025.

DANTAS, Lúcia; AZEVEDO, João C.; FELICIANO, Manuel. O impacto da queima doméstica de biomassa lenhosa nos níveis de PM_{2,5} na cidade de Bragança, Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. spe, p. 282-290, 2017. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16577>. Acesso em: 19 mai. 2025.

FREITAS, Artur Oliveira. **Análise do conforto térmico em modelos de galpões avícolas com diferentes estratégias de cobertura**. Orientadora: Zanandra Boff de Oliveira. 2023. 22 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Engenharia Agrícola,

Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/33178>. Acesso em: 19 mai. 2025.

GUILHERME, C. D.; RAIMUNDO, G. A. S.; D'AMELIO, M. T. S. Estudo da cinética da pirólise da madeira de eucalipto residual da produção de papel. **Ensaios USF**, v. 7, n. 2, 2023. Disponível em: <https://ensaios.usf.edu.br/ensaios/article/view/348>. Acesso em: 02 set. 2025.

OLIVEIRA, Alan Figueiredo de *et al.* Comparação zootécnica e econômica da produção integrada de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Congresso brasileiro de zootecnia (Zootec)**, Santos, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/zootec/trabalhos/comparacao-zootecnica-e-economica-da-producao-integrada-de-frangos-de-corte-em-d?lang=pt-br>. Acesso em: 18 mai. 2025.

OLIVEIRA, Luiz Paulo de; GAI, Vívian Fernanda. Desempenho de frango de corte em aviários convencional e aviários dark house. **Revista Cultivando o Saber**, v. 9, n. 1, p. 82-90, 2016. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/700>. Acesso em: 18 mai. 2025.

PEREIRA, Arthur dos Santos. **Comércio internacional da carne de frango: uma análise do desempenho do Brasil no período de 2012 a 2022**. Orientadora: Emanuelle Alicia Santos de Vasconcelos. 2023. 30 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29462>. Acesso em: 09 jun. 2025.

SAMPAIO, Aloisio *et al.* Avaliação de um secador artesanal a lenha na desidratação de *Passiflora Incarnata* L. cultivada em sistema orgânico por um termo-higrômetro. **Revista AgroFIB**, v. 2, 2022. Disponível em: <https://revistasfib.emnuvens.com.br/agrofib/article/view/496>. Acesso em: 02 set. 2025.

SILVA, D. A. *et al.* A influência da umidade em propriedades mecânicas de briquetes produzidos com resíduos de madeira (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.). **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 1078-1086, 2017. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v9n3a14.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2025.

SILVA, Macksuel Fernandes da. **Potencial energético de clones de *Eucalyptus* spp. provenientes de testes clonais em dois diferentes tipos de solo**. Orientador: Ailton Teixeira do Vale. 2022. 67 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/658060433/2022-MacksuelFernandesdaSilva>. Acesso em: 19 mai. 2025.

SOARES, Vássia Carvalho *et al.* Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, p. 191-197, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201521021294>. Acesso em: 19 mai. 2025.

TAVARES, João Miguel Dizenzo. **Análise do potencial de requeima do resíduo de madeira de eucalipto (RME)**. Orientador: Jorge Luis Akasaki. 2023. 29 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/0adeaf91-c61c-4e07-ab89->

08b5bae7ab71. Acesso em: 02 set. 2025.

TREMEA, Franciele Thais; SILVA, Ariana Cericatto da. O setor avícola no Brasil e sua distribuição regional. **Economia & Região**, v. 8, n. 1, p. 183–200, 2020. DOI: 10.5433/2317627X.2020v8n1p183. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/ecoreg/article/view/35464>. Acesso em: 18 mai. 2025.

VALE, Antonio Bartolomeu do *et al.* **Eucaliptocultura no Brasil**: silvicultura, manejo e ambiência. Minas Gerais. Polo de Excelência em Florestas, 2013.

VALENTIM, Jean Kaique *et al.* Termorregulação de frangos de corte alimentados com dietas contendo níveis de grãos secos de destilaria. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 18, p. 1–8, 2020. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/25285>. Acesso em: 19 maio. 2025.

VASCONCELOS, Mariana Diniz Costa *et al.* **Estresse térmico por frio em frangos de corte e a nutrição como mitigadora de seus efeitos**. Orientador: Itallo Conrado Sousa de Araújo. 2023. 55 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/74501>. Acesso em: 18 mai. 2025.

VIANA, Maurício Boratto; TAVARES, Wagner Marques; LIMA, Paulo César Ribeiro. **Políticas setoriais e meio ambiente**. Brasília: Edições Câmara dos Deputados, 2015.

VIEIRA, F. M. *et al.* Termografia infravermelha na avicultura. **Veterinária e Zootecnia**, v. 29, p. 1–21, 2022. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/888>. Acesso em: 19 maio. 2025.

VIEIRA, F. M. C. *et al.* Termorregulação de pintos de um dia submetidos a ambiente térmico simulado de transporte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 1, p. 208-214, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7871>. Acesso em: 18 mai. 2025.