

IMAGEM TÉRMICA PARA AVALIAR A MASSA DE AR QUENTE EM AMÊNDOAS DE CACAU DURANTE A SECAGEM

ROMÁRIO DE M. PINHEIRO¹, GIZELE I. GADOTTI²

¹Engenheiro Agrônomo, doutorando em Ciência e Tecnologia de Sementes – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel- Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS. romario.ufacpz@hotmail.com

²Engenheira Agrícola, doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes- Centro de Engenharias/Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS. gizeleingrid@gmail.com

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: A imagem térmica facilita na obtenção de informações que podem potencializar análise ampla sobre os focos de calor durante uma secagem de produtos agrícolas. O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência da câmara de infravermelho para inspeção de secagem de cacau. Para obtenção das imagens térmicas foi utilizado uma câmera termográfica Flir E4 de resolução no infravermelho de 4.800 (80 x 60) pixels. A câmera IR é sensível na faixa espectral de 7,5-13 μm . Para encontrar o padrão de calor problemático no secador foi mantido uma distância de 2,5 a 3 metros do objeto alvo para poder analisar o tamanho total do equipamento agrícola. Os resultados de imagens térmica demonstraram que a secagem de amêndoas de cacau foram uniformes garantindo a qualidade do produto. Neste estudo, a imagem térmica infravermelha foi usada para avaliar a qualidade sobre o efeito da secagem em amêndoas de cacau, gerando assim uma lacuna que pode ter sido favorecido pela porosidade das amêndoas (irregulares). Conclui-se que a câmera térmica pode também facilita a obtenção de termogramas com diferentes focos de calor no interior do secador.

PALAVRAS-CHAVE: Emissividade. Tecnologia agrícola. Termografia.

THERMAL IMAGE TO EVALUATE HOT AIR MASS IN COCOA ALMONDS DURING DRYING

ABSTRACT: The thermal image facilitates the obtaining of information that can enhance the analysis of heat sources during the drying of agricultural products. The objective of this work was to verify the efficiency of the infra-red chamber for the inspection of cocoa dring. A Flir E4 thermographic camera with an infrared resolution of 4,800 (80 x 60) pixels was used to get the thermal images. The IR camera is sensitive in the spectral range of 7.5-13 μm . To find the problematic heat pattern in the dryer was kept a distance 2.5 to 3 meters from the target object in order to analyze the total size of the equipment. The thermal imaging results showed that the drying of cocoa almonds was uniform, guaranteeing the quality of the product. In this study, infrared thermal imaging was used to evaluate the quality of the effect of drying on cocoa almonds, thus generating a gap that may have been favored by the porosity of the beans (irregular). It is concluded that the thermal camera can also facilitate the acquisition of thermograms with different heat sources inside the dryer.

KEYWORDS: Emissivity. Agricultural Technology. Thermography.

INTRODUÇÃO: Atualmente o uso de secadores de produtos agrícolas em grande escala passam por processo de modernização e com isso, se faz necessário investigar métodos de avaliação do processo da secagem visando identificar temperaturas desiguais em seus

compartimentos. Pois, pode haver diferença de temperatura em lados diferentes no mesmo equipamento agrícola. A preservação da qualidade dos produtos agrícolas é essencial entre a colheita e o processo de pós-colheita, além da secagem no pré-processamento de amêndoas de cacau antes de destinar para a fabricação dos subprodutos. Um método de preservação importante é o controle do teor de água (BALA, 2016) e, a facilidade de moagem das amêndoas secas. A secagem é um processo termodinâmico complexo em que a transferência instável de calor e massa ocorre simultaneamente. É um dos tratamentos pós-colheita mais eficazes usados em todo o mundo para reduzir a deterioração e, assim, melhorar a vida útil dos produtos agrícolas (KOMOLAFE et al., 2018). Sabe-se que tradicionalmente, a secagem do cacau ao sol é comum e considerada barata, mas requer um grande espaço e maior duração. Além disso, o processo é incontrolável e suscetível à contaminação por materiais estranhos, além de insetos, bactérias e infestações fúngicas (KOMALOFÉ et al., 2021). E são poucos equipamentos agrícolas que tem a finalidade de secar amêndoas de cacau. Um secador com combustão a gás é ideal pois não deixa cheiro e nem muda cor quando trabalhado de forma correta. Portanto, é necessário entender a dinâmica de secagem no interior do secador quando são adaptados para secar cacau. A principal preocupação dos engenheiros em projetar e otimizar sistemas de secagem industrial é utilizar o mínimo de energia possível para obter a remoção ideal de umidade para as condições desejadas do produto final. Após a fabricação desses equipamentos é necessário investigar os pontos de calor em seu interior, pois o compartimento de ar pode apresentar pressão e vazão desiguais. Para detectar pontos desuniforme de temperatura durante a secagem tem-se pensado em alternativas não-invasiva, assim surge a avaliação do uso de câmera térmicas, no qual, as imagens termográficas apresentam tecnologia experimental não destrutiva, que pode ser utilizada para determinar a temperatura superficial dos objetos. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência da câmara de infravermelho para inspeção de secagem de cacau, uma vez que, a eficiência de uma secagem de amêndoas depende de sua eficiência termodinâmica.

MATERIAL E MÉTODOS: Para condução deste trabalho foi estabelecido a aplicação de imagem térmica em secador convectivo. Foi realizado uma análise com imagem infravermelha em um equipamento de secagem de grãos produzido por uma empresa privada brasileira, por questões de confidencialidade não será mencionado o nome da empresa. A ilustração abaixo demonstra dois secadores um sobreposto sobre o outro (Figura 1).

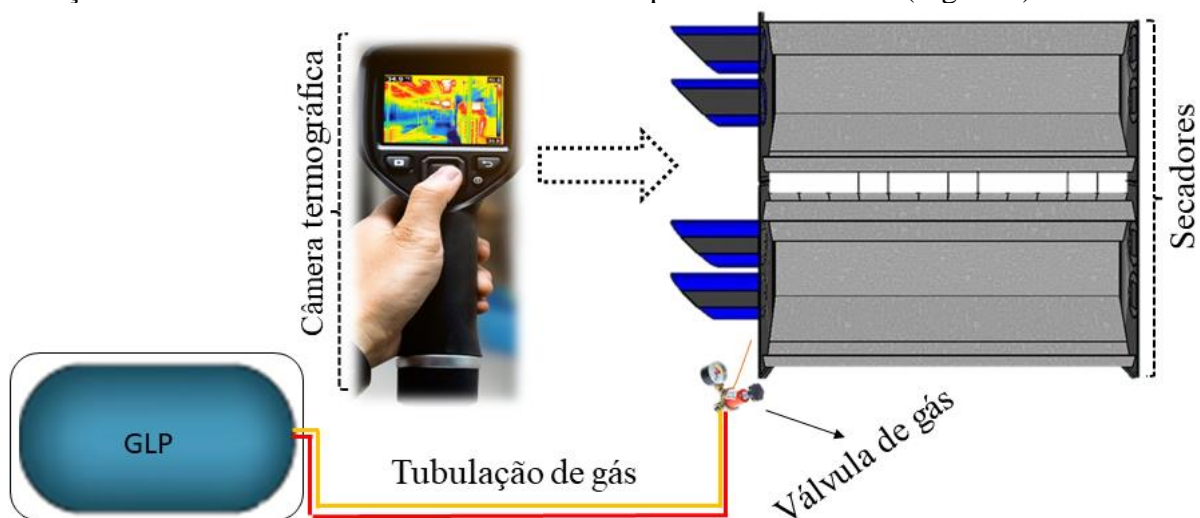


FIGURA 1. A câmera gera imagem termográfica quando apontada para o secador demonstrando diferenças de temperatura durante a secagem. A imagem do secador demonstra um sobreposto sobre o outro ambos com combustão a gás. A cor em azul no secador está relacionado ao completo de turbina captando o ar mais distante do equipamento agrícola.

O secador apresenta dimensões 6,65 m de comprimento x largura 2,50 m x altura 3,25 m, além de um formato semelhante a um octógono. Suas divisões são compostas por 12 células no qual comporta uma camada de sementes de aproximadamente 45 cm de espessura. Tem uma capacidade total de 17 t ou aproximadamente 300 sacos por carga. Seu funcionamento é através de um sistema de gás GLP passando entre os queimadores no interior do secador para seu aquecimento, além de apresentar motor de 12,5 cv modelo premium W22 (rotação 1765 rpm, tensão 220-380 V) com hélices de 795 mm (pás de 37,5°). Para obtenção das imagens térmicas foi utilizado uma a câmera termográfica Flir E4 de resolução no infravermelho de 4.800 (80 x 60) pixels. Faixa de temperatura de armazenamento: -40 °F a +158 °F (-40 °C a +70 °C) e faixa de temperatura operacional: +5 °F a +122 °F (-15°C a +50°C), com um desempenho de precisão ± 2 °C ($\pm 3,6$ °F) ou $\pm 2\%$ da leitura para temperatura ambiente 10 °C a 35 °C (+50 °F a 95 °F) e temperatura de objetos acima de +0 °C (+32 °F). Essa câmera é usada para medição de temperatura contínua e não invasiva. Os dados da câmera são gravados no software FLIR ResearchIR (interface micro USB com possibilidade transferência de dados para computadores) que permite a visualização em tempo real e a análise de dados pós-processamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A técnica termográfica combinada com a emissividade de temperatura da massa de ar quente tem se mostrado uma ferramenta sensível para a identificação qualitativa de detecção de uma determinada amostra, garantindo uma tomada de decisão assertiva sobre o processo de dessecação. Na Figura 2, são exemplificados dados de secador no qual o comportamento do gradiente de temperatura oscila em função de suas dimensões (pressão e vazão podem ser ineficientes), cores em vermelho apresentam altas temperaturas e em azul as menores temperaturas de secagem. Atualmente, o uso de secadores agrícolas passa por processo de modernização e com isso, se faz necessário investigar métodos de avaliação do processo da secagem visando identificar diferenças de temperaturas em seus compartimentos com maior eficácia (Figura 2). Pois, o equipamento apresenta temperaturas desiguais no seu compartimento de ar causando vários pontos de termogramas. Para abordar a preocupação relacionada à qualidade de secagem durante o processo de retirada de água, a técnica de imagem térmica infravermelha tem sido considerada importante, devido à sua capacidade de não haver contato direto no secador e se tornar menos trabalhosa na determinação e observação do comportamento de temperatura em seu interior e assim, garantir menos coleta de amostras para a verificação do teor de umidade.

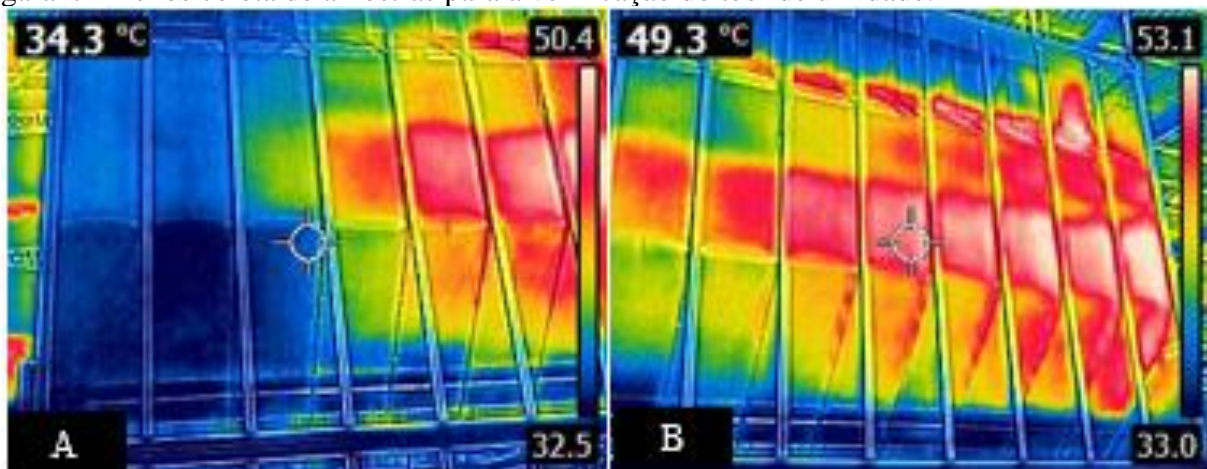


FIGURA 2. Vista lateral do secador dividido em duas partes. Local das turbinas com 3 células (A) e a demais com proximidade da descarga (B) apresentam taxa de massa do ar quente entre as células mais uniforme.

As informações utilizadas para classificar e detectar diferentes pontos de secagem foram contidas em imagens termográficas de um secador convectivo durante seu funcionamento, com objetivo de diminuir o teor de água. Pois a secagem desempenha um papel importante para escalonamento de colheita e armazenamento, além de aumentar a estabilidade dos produtos e garantir um bom processamento de moagem das amêndoas de cacau. Sendo que, a imagem térmica infravermelha é uma ferramenta poderosa usada para monitorar a qualidade e a segurança de vários produtos agrícolas (ALI et al., 2022). Ao contrário dos métodos clássicos de medição de temperatura usando termômetros, termopares ou termistores que só podem medir a temperatura em um ponto específico, o sistema de imagem térmica fornece registros de temperatura para vários pontos em todos os objetos examinados sem um contato direto com os objetos que estão sendo testados (ELMASRY et al., 2020). Neste estudo, se constata uma homogeneidade de temperatura e quase todo as células do secador (Figura 3), exceto na três ultimas próximo da turbina onde se encontra o ventilador (Figura 2).

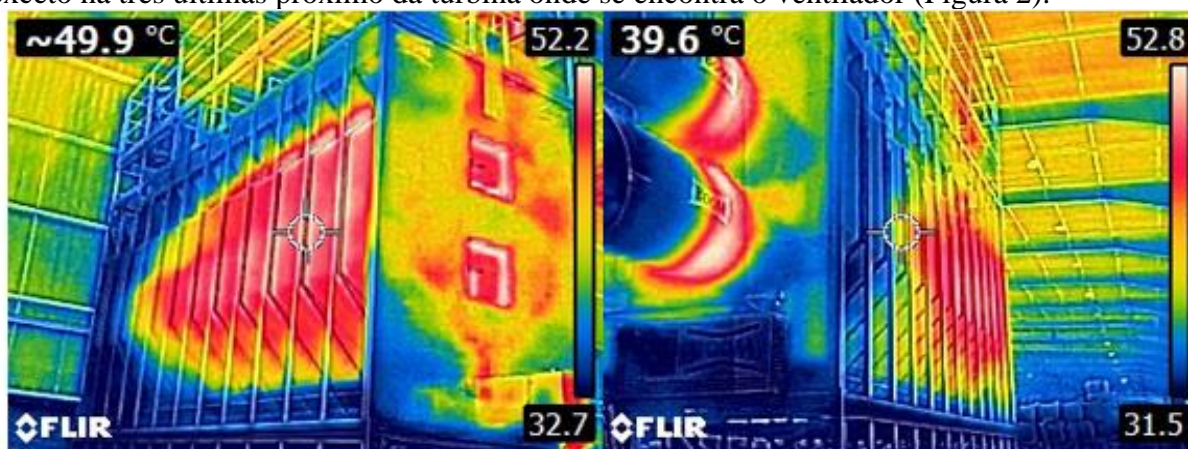


FIGURA 3. Comportamento da temperatura no secador de uma visão frontal (lado dos completos das turbinas) e posterior (lado da descarga) com 30 minutos de aquecimento.

No entanto, se espera que a técnica de secagem com fluxo de ar quente seja um método conveniente do ponto de vista de custo que traz diversos benefícios no processo, como higiene sanitária, distribuição uniforme e produtos secos com alta qualidade (ADILETTA et al., 2015; ONWUDE et al., 2016; ZIELINSKA & MARKOWSKI, 2016). Não se pode considerar que os pontos de temperatura dentro de um secador sejam iguais, pois é impossível observar através de termômetros convencionais e/ou caracterizar medidas feitas no equipamento agrícola com exatidão. Compreende-se que o processo pós-colheita que desempenha um papel importante na formação de produtos de cacau de alta qualidade é a secagem (KOMOLAFE et al., 2018). Assim surge, a necessidade de entender como a termografia pode auxiliar o processo de secagem sem a necessidade do contato direto. Os resultados de imagens térmica demonstraram que a secagem de amêndoas de cacau foram uniformes garantindo a qualidade do produto. Neste estudo, a imagem térmica infravermelha foi usada para avaliar a qualidade sobre o efeito da secagem em amêndoas de cacau, gerando assim uma lacuna que pode ter sido favorecido pela porosidade das amêndoas permitindo maior quantidade de ar passando entre elas e assim garantindo uma secagem mais homogênea. A importância de analisar a quantidade de vazão e fluxo em contato com o material ou por exposição direta das amêndoas à temperatura ideal (ou ambas simultaneamente) teria sido uma alternativa melhor para a secagem ao equipamento convectivo se não fossem suas deficiências associadas, como perda de ar por aberturas de descargas, chapas de fundo mal encaixadas ou perfuradas, potência de motor associado com ângulo de hélices, no qual o ventilador dar qualidade no procedimento de secagem sobre eficiência energética e condições das atividades termodinâmicas. De acordo

com Prommas et al. (2010), o ideal é que se tenha um equipamento alcançável por um sistema que se comunica com uma condição de atmosfera, temperatura e pressão constantes, garantindo uma qualidade ótima de trabalho. Portanto, os processos de pós-colheita de cacau acontecem basicamente por dois componentes principais, fermentação e secagem das amêndoas do cacau. Nestas etapas ocorre uma série de reações enzimáticas e químicas, essas reações também são favorecidas pela composição inicial das amêndoas de cacau e pelas condições operatórias como temperatura, umidade relativa e mudanças no pH no momento em que todo o processo de transformação é realizado (GIL et al., 2020). Por isso é importante manter uma secagem homogênea para não comprometer a qualidade dos subprodutos do cacau. De acordo com Saltini et al (2013) e Kongor et al. (2016), as reações são essenciais para o desenvolvimento dos perfis esperados de aroma, sabor e cor, e que isso não pode ser alcançado de outra forma em etapas posteriores do processamento.

CONCLUSÕES: A imagem térmica infravermelha é viável como uma ferramenta não destrutiva para monitorar a qualidade de secagem de amêndoas de cacau, o que pode melhorar a operação e o manuseio em diferentes condições de umidade. Pode também facilitar a obtenção de termogramas com diferentes focos de calor no interior do secador, permitindo assim trabalhar em melhorias de pontos específicos do equipamento agrícola.

AGRADECIMENTOS: O estudo apresentado foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Empresa Boom do Brasil Secadores de Grãos.

REFERÊNCIAS:

ADILETTA, G.; RUSSO, P.; PROIETTI, N.; CAPITANI, D.; MANNINA, L.; CRESCITELLI, A. Characterization of pears during drying by conventional technique and portable non invasive. **NMR**, v. 44, p. 151-156, 2015. Doi: 10.3303/CET15440 26.

ALI, M. M.; HASHIM, N.; ABD AZIZ, S.; LASEKAN, O. Quality prediction of different pineapple (*Ananas comosus*) varieties during storage using infrared thermal imaging technique. **Food Control**, v. 138, p. 108988, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108988>.

BALA, B. K. **Drying and storage of cereal grains**. 2 ed. John Wiley & Sons, Ltd. 2016, 335p. Doi: <https://doi.org/10.1002/9781119124207>.

ELMASRY, G.; ELGAMAL, R. NASSER, M.; PERE, G. AL-REJAIE, S.; BELIN, E.; ROUSSEAU, D. Emerging thermal imaging techniques for seed quality evaluation: Principles and application. **Food Research International**, v. 131, p. 109025, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109025>.

GIL, M.; RUIZ, P.; QUIJANO, J.; LONDONO-LONDONO, J.; JARAMILLO, Y.; GALLEGU, V.; TESSIER, F.; NOTARIO, R. Effect of temperature on the formation of acrylamide in cocoa beans during drying treatment: An experimental and computational study, *Heliyon*, v. 6, n. 2, p. e03312, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03312>.

KOMOLAFE, C. A.; WAHEED, M. A.; OLABAMIJI, T. S. Experimental determination of modulus of elasticity of oven-dried cocoa-beans varieties. **International Journal of Mechanical Engineering and Technology**, v. 9, n. 11, p. 732-740, 2018.

KOMOLAFE, C, A.; WAHEED, M. A.; KUYE, S. I.; ADEWUMI, B. A.; AKINFOYE O.; ADEJUMO, D. Thermodynamic analysis of forced convective solar drying of cocoa with black coated sensible thermal storage material, Case Studies. **Thermal Engineering**, v. 26, p. 101140, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101140>.

KONGOR, J. E.; HINNEH, M.; VAN DE WALLE, D.; AFOAKWA, E. O.; BOECKX, P.; DEWETTINCK K. Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - a review, **Food Research International**, v. 82, p. 44-52, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>

ONWUDE, D.; HASHIM N.; CHEN G. Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. **Trends Food Science Technology**, v. 57, p. 132-145, 2016. Doi: [10.1016/j.tifs.2016.09.012](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.012).

PROMMAS, R.; RATTANADECHO, P.; CHOLASEUK D. Energy and exergy analyses in drying process of porous media using hot air. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 37, n. 4, p. 372-378, 2010. Doi: [10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.12.006](https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.12.006).

SALTINI, R.; AKKERMAN, R.; FROSCH, S. Optimizing chocolate production through traceability: a review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. **Food Control**, v. 29, p. 167-187, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>.

ZIELINSKA M & MARKOWSKI M. The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behavior of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Chemistry**, v. 196, p.1188-1196, 2016. Doi: [10.1016/j.foodchem.2015.10.054](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.054).