

## UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE MOIRÉ PARA E ESTIMATIVA DO VOLUME DO FRUTO DA MACAÚBA

ANDERSON GOMIDE COSTA<sup>1</sup>; ELISANGELA RIBEIRO<sup>2</sup>; BRUNA MAXIMIANO<sup>3</sup>;  
FRANCISCO DE ASSIS DE CARVALHO PINTO<sup>4</sup>; ROBERTO ALVES BRAGA JR.<sup>5</sup>.

1Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31)93858778, [anderson.costa@ufv.br](mailto:anderson.costa@ufv.br)

2 Mestranda Engenharia de Sistemas, Universidade Federal de Lavras, (32)84249469, [elismar1952@hotmail.com](mailto:elismar1952@hotmail.com)

3Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, (32)99482016, [bruna\\_maxmed@hotmail.com](mailto:bruna_maxmed@hotmail.com)

4Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31)38991881, [facpinto@ufv.br](mailto:facpinto@ufv.br)

5Professor Associado, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, (35)38291672, [robraga@deg.ufla.br](mailto:robraga@deg.ufla.br)

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** A cultura da macaúba vem sendo estudada devido ao seu potencial bioenergético propiciado pela alta produtividade de óleo. A quantidade de óleo esta associada com o estágio de maturação do fruto. Aspectos físicos como diâmetro e volume do fruto são utilizados como parâmetros para indicar o estágio de maturação em diversos produtos agrícolas. Técnicas de processamento de imagens têm sido utilizadas para extrair informações sobre área superficial e volume de frutos, com a finalidade de se construir sensores que possam atuar no controle de qualidade e classificação. A técnica de moiré (TM) aparece como alternativa para a análise perfilométrica de materiais biológicos, podendo ser aplicada em diversos segmentos do setor agropecuário. O objetivo deste trabalho foi estimar do volume do fruto de macaúba partir de modelos digitais obtidos pela TM. Para a realização do experimento, foram utilizados 40 frutos os quais tiveram seus volumes estimados pela TM. Os valores de volumes obtidos pela TM foram comparados com os volumes obtidos pelo método de deslocamento de coluna de água. Os resultados indicaram que a TM apresenta um potencial promissor para estimativa do volume de frutos através da digitalização de imagens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise perfilométrica; Sensores ópticos, Estádio de maturação.

### MOIRÉ TECHNIQUE TO ESTIMATE THE VOLUME OF MACAW FRUIT

**ABSTRACT:** The macaw palm has been studied due to its potential for bioenergy afforded by high oil yield. The oil quantity is associated with the fruit maturity stage. Fruit physical aspects such as diameter and volume have been used as parameters to indicate the maturity stage for various agricultural products. Image processing techniques have been used to extract information about surface area and volume of fruit for quality and classification purpose. The moiré technique (MT) has been showed as an alternative to profilometry analysis of biological materials, and it can be applied to various segments of the agricultural sector. The aim of this study was to estimate the volume of the macaw fruit from digital models obtained by MT. The volumes of 40 fruits were estimated by MT. The volumes obtained by MT were compared with those obtained by water column displacement method. Results indicated that TM has a promising potential to estimate the volume of fruits by scanning images.

**KEYWORDS:** Profilometry analysis; Óptics sensors; Maturity stage.

**INTRODUÇÃO:** Dentre as diversas culturas inseridas, consideradas emergentes, e que apresentam grande potencial para a produção de biocombustível, a macaúba (*Acrocomia aculeata*) é considerada

uma cultura promissora como matéria prima para produção de biodiesel, devido às suas características positivas como alta produtividade de óleo, rusticidade, ampla adaptabilidade em diferentes regiões, possibilidade de cultivo em sistemas agrossilvipastoris, produção de óleos e co-produtos sem toxinas, dentre outros (Pimentel et al., 2011).

A determinação de características biométricas como peso, volume, diâmetros dos frutos, área superficial e espessura do endocarpo da macaúba são importantes no processo de avaliação e seleção dos frutos (Manfio et al., 2011), além de serem características importantes na comercialização dos frutos. Diversos métodos têm sido aplicados para se extrair informações sobre área superficial e volume de frutos por meio de técnicas de processamento de imagem, especialmente para o controle de qualidade e classificação de frutos (Khojastehnazhand et al., 2009; Costa et al., 2013).

As técnicas digitais para a medição da superfície de contorno conhecida como perfilometria têm sido empregadas em um grande número de áreas como na indústria, na agricultura, medicina, engenharia civil e robótica, sendo uma poderosa ferramenta na determinação de formas e superfícies, possibilitando a classificação e avaliação de materiais de formas e comportamentos distintos. Dentre as várias técnicas para a construção da perfilometria, a técnica de Moiré vem se destacando como uma das mais relevantes (Silva et al., 2011).

A técnica de Moiré (TM) é um método usado para medição de deformações no plano e fora do plano, contornos topográficos, inclinações, curvaturas e formas em geral de objetos. É uma técnica de baixo custo, não invasiva, precisa, de fácil aquisição e manipulação dos dados. No setor agropecuário especificamente, a TM tem sido aplicada no controle de qualidade de frutos, inspeção e classificação de topografias de objetos em geral e deformações em peças ativas (Braga et al., 2009). Diversos trabalhos demonstram que os perfis topográficos gerados pela TM são relacionados diretamente com atributos físicos e mecânicos de frutos vegetais (Lino, 2004).

No estudo com macaúba, a TM pode ser aplicada na determinação de características biométricas do fruto como volume, diâmetros e área superficial do fruto a partir de modelos digitais em três dimensões. Estas características estão relacionadas diretamente com o grau de maturação e teor de óleo do fruto, sendo um importante parâmetro para a seleção de frutos. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar do volume do fruto de macaúba partir de modelos digitais obtidos pela TM.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizados 40 frutos de macaúba escolhidos aleatoriamente os quais tiveram seus volumes estimados pelo método de deslocamento de água (MCA) e digitalmente pela Técnica de Moiré (TM). Os volumes de referência foram determinados pelo método do deslocamento da coluna da água (MDCA). Cada fruto foi colocado em uma proveta volumétrica graduada (200 ml) contendo um volume conhecido de água (volume inicial). Fazendo a diferença do volume final (obtido após a imersão do fruto) pelo inicial obteve-se o volume do fruto (Costa et al., 2013).

As imagens obtidas pela TM foram geradas no Centro de Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA), pertencente ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Para esta digitalização, foi utilizado um projetor da marca EPSON S8 com intensidade de 2500 lumens com tripé, um computador portátil Acer ASPIRE 5252-V874 e uma câmera digital Canon EO Digital Rebel XTI com resolução de 10 mega pixels (Figura 1a). As grades de projeções sobre o objeto em análise utilizadas neste experimento apresentam uma espessura de 3mm, passo 7mm e fase 0, permitindo identificar o maior número de informações do objeto em estudo. Desta forma foram coletadas imagens com as grades projetadas, gerando as franjas de Moiré (Figura 1b). Após as aquisições no laboratório, todas as imagens foram segmentadas no software Image J. Na Figura 1c é apresentada uma imagem resultante do pré-processamento inicial.

A estimativa do volume dos frutos foi calculada por meio de uma rotina computacional desenvolvida no programa Scilab 4.0. De forma geral, a rotina computacional apresenta os seguintes passos: geração de um eixo de coordenadas x, y e z; leitura das imagens da grade; leitura das imagens do objeto com as grades projetadas; subtração das imagens do objeto com as grades projetadas e imagens da grade; utilização de um filtro gaussiano para a remoção dos ruídos; geração em uma das faces do objeto; união das faces do objeto; estimativa do volume do fruto a partir da equação do volume da esfera.

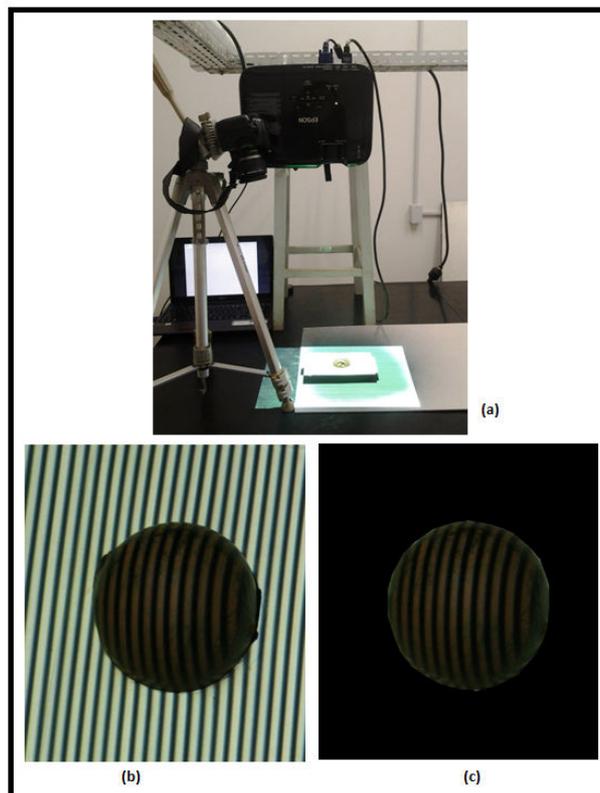


Figura 1: (a) Configuração experimental e imagens geradas pela Técnica de Moiré (a) antes e (c) e depois do pré-processamento.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Nas Tabelas 1, observamos os valores encontrados pela estatística descritiva para os valores de volume pelos métodos MCA e TM.

Tabela 1 – Caracterização dos volumes obtidos pelo MCA e TM.

	Número de amostras	Média	Variância	Desvio padrão	Amplitude
<b>M.C.A.</b>	40	41,2	37,16	6,17	33
<b>T.M.</b>	40	52,76	35,22	6,01	20,906

Já na Figura 2, é possível observar a relação entre o volume medido pelo método padrão e o volume estimado pela TM a partir de um modelo de regressão linear. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,6487 indica uma aproximação moderada entre as estimativas de volume obtidas pelo MCA e a TM, indicando que esta última apresenta potencial para a estimativa do volume dos frutos. O coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,805 também é um indicativo de uma forte associação entre os dois métodos. No entanto, melhorias na rotina computacional utilizada e na metodologia aplicada podem ser estudadas visando uma estimativa mais exata a partir desta técnica digital.

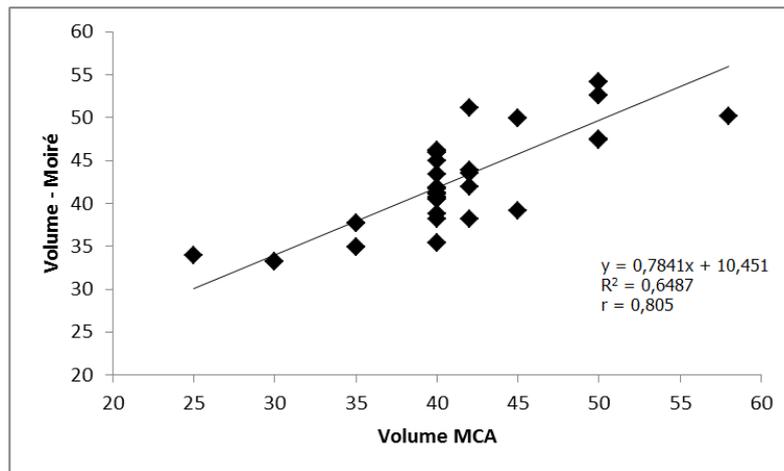


Figura 2: Relação entre o volume estimado pelo MCA e pela TM a partir de um modelo de regressão linear simples.

**CONCLUSÕES:** A Técnica de Moiré demonstrou ser uma alternativa para a estimativa do volume de frutos de macaúba a partir de imagens digitais. A aproximação dos resultados quando comparados com o método de deslocamento de água pode ser melhorada, a partir de melhorias na calibração do modelo esférico existente na rotina computacional.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecimentos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais –FAPEMIG, a Capes e ao CNPq.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, R. A.; OLIVEIRA, B.S.; COSTA, R.M., LINO, A.C.L.; DAL FABBRO, I. M. et al. Suppression of border effects in moiré techniques using threedimensional methods. *Biosystems Engineering*, v. 102, n. 1, p. 1-8, 2009.
- COSTA A.G.; LOUREIRO D.R.; PRADO, E.V. PINTO, F.A.C. Determinação do volume do mesocarpo de frutos de macaúba por meio de modelos de superfícies e processamento de imagens. XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Agosto/2013.
- KHOJASTEHNZHAND M.; M. Omid; A. TABATABAEEFAR, Determination of Orange volume and surface area using image processing technique, *International Agrophysics*, 23, pag. 237 – 242, 2009.
- LINO, A.; FABBRO, I. Determinação da topografia de uma fruta pela técnica de Moiré de sombra com multiplicação de franjas. *Ciência Agrotecnologia*, v. 28, n. 1, p. 119-25, 2004.
- MANFIO CE; S.Y. MOTOIKE; C.E.M. DOS SANTOS; L.D. PIMENTEL; V. QUEIROZ; A. SATO, Repetibilidade em características biométricas dos frutos de Macaúba, *Ciência Rural*, Santa Maria, Vol. 41, N. 1, pag. 70 – 76, 2011.
- PIMENTEL, L.D. et. al. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo de macaúba: 1º aproximação. *Informe Agropecuário-EPAMIG*. V.32, n.265, p.20-30, nov/dez. Belo horizonte, 2011.
- SILVA, G. C. A.; YANAGI Jr., T.; SILVA, E., BRAGRA Jr., R. A.; CAMPOS, A.T. Eggs' topography recovery by means of the moiré technique and by an independent calibration. *Revista de Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 211-218, 2011.