

ESTIMATIVA DO VOLUME DE MESOCARPO DE FRUTOS DE MACAÚBA UTILIZANDO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

MACAÚBA MESOCARP FRUIT VOLUME DETERMINATION THROUGH IMAGE PROCESSING

Eduardo Leonel Bottega¹; Wilker Nunes Medeiros²; Sofrimento Matsimbe³; Francisco de Assis de Carvalho Pinto⁴; Daniel Marçal de Queiroz⁴

¹Professor Auxiliar, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus universitário de Curitibanos, Curitibanos – SC. E-mail: eduardo.bottega@ufsc.br

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG. E-mail: wilkermedeiros@yahoo.com.br

³Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. E-mail: smatsimbe.mz@gmail.com

⁴Professor Associado, DEA, UFRV, Viçosa – MG. E-mail: facpinto@ufv.br

Resumo

O presente estudo teve por objetivo determinar o volume de mesocarpo de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex. Mart) utilizando técnicas de processamento de imagens digitais. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Os frutos foram coletados na região de Acaiaca, no Estado de Minas Gerais. Utilizou-se para validação do algoritmo 12 frutos de macaúba. Primeiro foram registradas as imagens dos frutos em duas posições, lateral e frontal, após a obtenção das imagens, o volume do fruto, volume do fruto sem casca e volume da castanha foram obtidos em laboratório por meio da técnica de deslocamento de coluna de água, utilizando uma proveta graduada. O algoritmo utilizado para estimativa de volume foi desenvolvido no programa computacional MatLab. Basicamente, em sua rotina, o algoritmo segmenta o objeto (fruto) do fundo. A segmentação é iniciada com a conversão da imagem RGB para imagem em escala de cinza e após este procedimento a imagem é binarizada. Na segmentação é utilizado o método Otsu de determinação do limiar ótimo de segmentação. Depois de segmentada a imagem em fundo e objeto, foram adquiridas as medidas, com unidade em pixels, referentes ao diâmetro do objeto, em duas posições, longitudinal e latitudinal. O tamanho do pixel foi obtido utilizando gabarito com diâmetro conhecido. Foi possível estimar o volume de mesocarpo de frutos de macaúba utilizando a técnica de processamento de imagens digitais com a mesma precisão laboratorial.

Palavras chaves: biocombustíveis, palmáceas, oleaginosas, algoritmos.

Abstract

This study aimed to determine of mesocarp fruit volume the macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex. Mart) using techniques of digital image processing. The study was conducted at the Laboratory of Machine Design and Artificial Vision (PROVISAGRO), Department of Agricultural Engineering, Federal University of Viçosa. Fruits were collected in the region of Acaiaca in Minas Gerais, Brazil. We used to validate the algorithm 12 fruits. First fruits of the images were obtained in two positions, side and front, after obtaining the images, the volume of the fruit, the fruit volume and volume of shelled nuts were obtained in the laboratory by the technique of displacing the water column, using a graduated cylinder. The algorithm used to estimate volume computer program was developed in MatLab. Basically, your routine, the algorithm segments the object (fruit) of the fund. The segmentation starts with the conversion of RGB image to gray scale image and after this procedure the image is binarized. In targeting Otsu method is used to determine the optimal threshold segmentation. After the image segmented into background and object, are acquired measures with units in pixels, relative to the diameter of the object in two positions, the longitudinal and latitudinal. The pixel size was obtained using template with known diameter. It was possible to estimate the mesocarp fruit volume of macaúba using the technique of digital image processing laboratory ensuring accuracy.

Key words: biofuels, palm trees, oil, algorithm.

Recebido em: 26/04/2013.

Aceito em: 27/10/2013.

Introdução

A crise energética que se verifica no mundo, resultante da excessiva volatilidade dos preços e irregularidades no suprimento do petróleo (DIAS et al., 2009) aliado as problemas ambientais (MACHADO et al., 2009), leva a humanidade a buscar fontes alternativas de energia, preferencialmente renováveis e limpas (DIAS, et al., 2013; MEDEIROS, et al., 2013; MENEZES, et al., 2013). Presentemente, a biomassa perfila como a alternativa mais viável em face da sua versatilidade.

No Brasil, muitas espécies têm sido consideradas promissoras, seja pelo baixo custo de produção ou pelo grande potencial de geração de energia (AGRIANUAL, 2010). É nesta linha que a macaúba, em face de sua alta produtividade (4200 kg de óleo por hectare), disponibilidade de resíduos de valor energético (NOGUEIRA; MACEDO, 2005) e rusticidade (MOURA et al., 2009), vem monopolizando as atenções da agricultura de energia.

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex. Mart) é uma palmeira nativa das regiões semiáridas (MANFIO et al., 2011) amplamente distribuída no território brasileiro. O fruto é a parte mais relevante da planta, cujo mesocarpo é consumido in natura. A amêndoa é utilizada como fonte de óleo para a indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos e o endocarpo utilizado na siderurgia. O mesocarpo tem teor de óleo (60%) ligeiramente maior que à amêndoa (55%), e o seu óleo apresenta maior potencial para a produção de biodiesel e boa característica para o processamento industrial (BHERING, 2009). Porém, para que a cadeia agroindustrial da macaúba seja econômica e ambientalmente viável para a produção de biodiesel, são necessárias pesquisas que tragam inputs para melhoramento genético da espécie, colheita, conservação e processamento dos frutos (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; RATHMANN et al., 2005; RAMOS, et al., 2003)

Em geral as características biométricas dos frutos como volume, peso, diâmetro, etc.,

constituem os parâmetros de qualidade relevantes para avaliação pelos consumidores (RASHIDI et al., 2007). Suas estimativas podem afetar o valor comercial, o monitoramento do crescimento, a previsão da produtividade, a planificação da embalagem, o transporte e as operações de comercialização (RASHIDI et al., 2009). Outra utilização diz respeito ao emprego destas estimativas como índices para predição do período ótimo para a colheita (MOREDA et al., 2009), bem como para auxiliar nas avaliações dos genótipos para maior eficiência dos programas de melhoramento (MANFIO et al., 2011).

O volume é um parâmetro relacionado com a densidade que em muitos frutos estão correlacionados com o teor de sólidos solúveis ou com o teor de amido, no caso específico da batata (MOREDA et al., 2009). Este fato pode ser relevante em pesquisa visando estimar o teor de óleo em macaúba, caso seja verificado uma correlação entre a densidade do mesocarpo e o teor de óleo.

Para a determinação do volume vários métodos têm sido considerados, sendo os mais comuns o deslocamento do gás ou da água. Recentemente foram desenvolvidos métodos baseados no processamento de imagens (RASHIDI et al., 2007), cujas principais virtudes são praticidade, precisão e rapidez, conforme comprovaram os trabalhos de Sabliov et al. (2002) na determinação da área de superfície e volume, Bailey et al. (2004) na massa dos produtos agrícolas e Koc (2007), Rashidi et al. (2007) e Rashidi et al. (2009) no volume de melão e kiwi. Porém, estes métodos fazem referência à determinação do volume do fruto inteiro, e não há relatos da sua aplicabilidade para a determinação do volume de segmentos do fruto como o mesocarpo.

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um algoritmo capaz de estimar o volume do mesocarpo de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) por meio de processamento de imagens digitais.



Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Os frutos foram coletados na região de Acaiaca, no Estado de Minas Gerais. Utilizou-se para validação do algoritmo 12 frutos de macaúba. Manfio et al. (2011) realizaram estudos sobre a quantidade de frutos de macaúba necessários para expressar características biométricas de subamostras e concluíram que quatro frutos são suficientes para avaliação dessas características, com coeficiente de

determinação de 90%, fato que se deve à relativa uniformidade dos frutos dessa espécie.

As imagens foram obtidas com a utilização de uma câmera digital marca Sony Cyber-Shot modelo DSC W-180 de 10.1 mega pixels. A resolução utilizada foi de 640 x 480 pixels. Buscando diferenciar o objeto (fruto de macaúba) do fundo da imagem, utilizou-se fundo branco. Com auxílio de uma câmara que distribui a luz uniformemente em todas as direções, evitou-se a formação de sombras (Figura 1). Foram feitas três imagens, uma do gabarito (Figura 2a) e duas do fruto, sendo uma em posição lateral (Figura 2b) e outra na posição frontal (Figura 2c).



Figura 1. Câmara de luz uniforme utilizada na obtenção das imagens, vista interna (a) e vista externa (b)

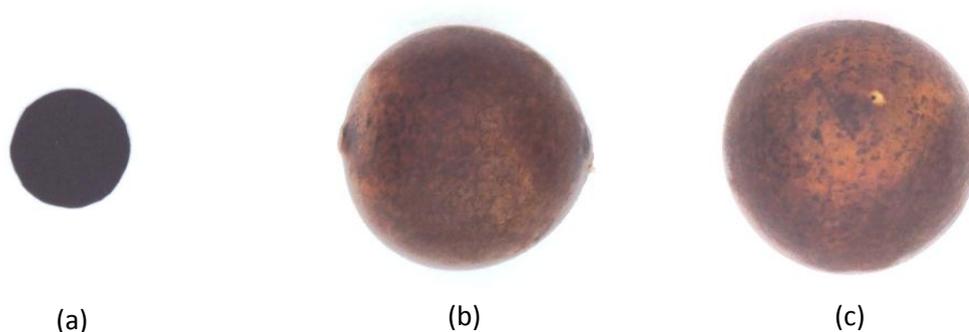


Figura 2. Gabarito com diâmetro de 0,03 metros (a), fruto na posição lateral (b) e fruto na posição frontal (c)

Após a obtenção das imagens, determinou-se o volume total dos frutos, o

volume do fruto sem a casca e o volume da castanha. Os volumes dos frutos foram



determinados em laboratório, utilizando uma proveta volumétrica graduada (1000 ml) contendo 200 ml de água (volume inicial). O fruto foi introduzido na proveta, deslocando o volume inicial de água, obtendo-se assim um novo volume (volume final). Pela diferença entre volume final e inicial, calculou-se o volume do fruto (MANFIO et al., 2011). Depois de determinado o volume do fruto, foi removida a casca e realizada nova medição (Figura 3a). Por fim, removeu-se o mesocarpo do fruto para determinar o volume apenas da castanha (Figura 3b).

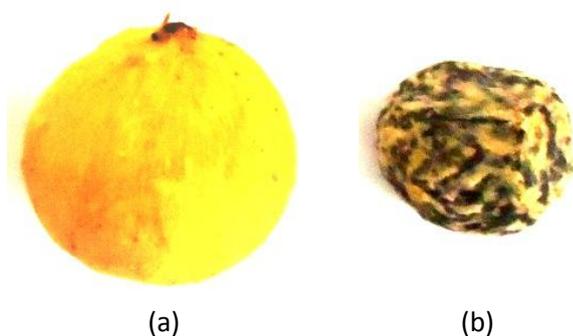


Figura 3. Fruto de macaúba sem a casca (a) e castanha (b)

Em posse dos volumes do fruto inteiro, fruto sem casca e da castanha, calculou-se a proporção de volume do mesocarpo utilizando a Equação 1.

(1)

$$V_{mc} = V_f - (V_f - V_{sc} + V_c)$$

Em que:

V_{mc} = volume do mesocarpo calculado (cm^3);

V_f = volume total do fruto (cm^3);

V_{sc} = volume do fruto sem casca (cm^3);

V_c = volume da castanha (cm^3).

Após a determinação do volume do mesocarpo dos frutos de macaúba, determinou-se a proporção média deste volume em relação ao fruto. Para o cálculo da proporção média, foi utilizada a Equação 2.

(2)

$$P_m = \sum_{i=1}^N \frac{V_{mc} \times 100}{V_f}$$

Em que:

P_m = proporção média de volume do mesocarpo (%);

O algoritmo utilizado para estimativa de volume foi desenvolvido no programa computacional MatLab (The MathWorks, Inc.). Basicamente, em sua rotina, o algoritmo segmenta o objeto (fruto) do fundo da imagem. A segmentação é iniciada com a conversão da imagem RGB para imagem em escala de cinza e após este procedimento a mesma é binarizada. Na segmentação é utilizado o método Otsu de determinação do limiar ótimo de segmentação. Depois de segmentada a imagem em fundo e objeto, foram adquiridas as medidas, com unidade em pixels, referentes ao diâmetro do objeto, em duas posições, longitudinal e latitudinal. Para estimativa do volume três processamentos foram testados: primeiramente estimou-se o volume utilizando as duas imagens (frontal e lateral) simultaneamente e posteriormente estimou-se o volume utilizando apenas uma imagem (frontal ou lateral).

O tamanho do pixel foi calculado utilizando um gabarito de diâmetro conhecido, o qual é informado pelo usuário. O algoritmo segmenta o gabarito do fundo da imagem e divide o diâmetro informado pelo número médio de pixels determinado nas posições longitudinal e latitudinal. Em posse do valor do tamanho do pixel e da quantidade de pixel dos diâmetros do fruto, por meio da Equação 3, calculou-se o volume estimado do fruto.

(3)

$$V_{ef} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Em que:

V_{ef} = volume estimado do fruto (cm^3);

r = raio (cm).



O volume do mesocarpo foi estimado utilizando a Equação 4.

(4)

$$Vem = Vef \times \frac{Pm}{100}$$

Em que:

Vem = volume estimado do mesocarpo (cm³).

A fim de avaliar a qualidade dos resultados obtidos pelo algoritmo implementado, foi calculado o desvio percentual entre os valores estimados e os valores medidos dos volumes do fruto e do mesocarpo pela Equação 5.

(5)

$$D = \frac{Vem - Vmc}{Vmc} \times 100$$

Em que:

D = desvio percentual (%);

Utilizou-se o teste F a 5% de probabilidade para comparar as estimativas obtidas, para tanto, fez-se o uso simultaneamente de duas imagens, imagem frontal imagem lateral. As análises estatísticas foram realizadas no programa computacional SAEG (Fundação Arthur Bernardes, UFV-Viçosa).

Resultados e Discussão

A Figura 4 apresenta as imagens do fruto de macaúba com as respectivas etapas de

processamento: (a) imagem RGB, (b) transformação da imagem RGB para imagem em escala de cinza e (c) imagem binarizada (preto e branco). Primeiramente é realizada a leitura do arquivo JPG contendo a imagem a ser processada, após a leitura, a imagem é convertida para escala de cinza (Figura 4b). Pelo método de Otsu, é calculado o limiar ótimo, ou seja, o valor do pixel que divide a imagem em objeto e fundo para então ser realizada a binarização (Figura 4c).

São apresentados na Tabela 1 os valores de volume dos frutos (Vf), frutos sem casca (Vsc) e da castanha (Vc) obtidos em laboratório e os valores do volume do mesocarpo (Vmc) e da proporção de mesocarpo (Pm) para cada fruto, calculados em função dos valores medidos. A proporção média de mesocarpo dos frutos de macaúba foi de 56,2 %, sendo este valor adotado para as estimativas de volume de mesocarpo utilizando processamento de imagens digitais. Segundo estudos realizados por Manfio et al. (2011), quatro frutos são necessários para expressar características biométricas de subamostras garantindo coeficiente de determinação de 90%, já que os frutos dessa espécie apresentam relativa uniformidade.

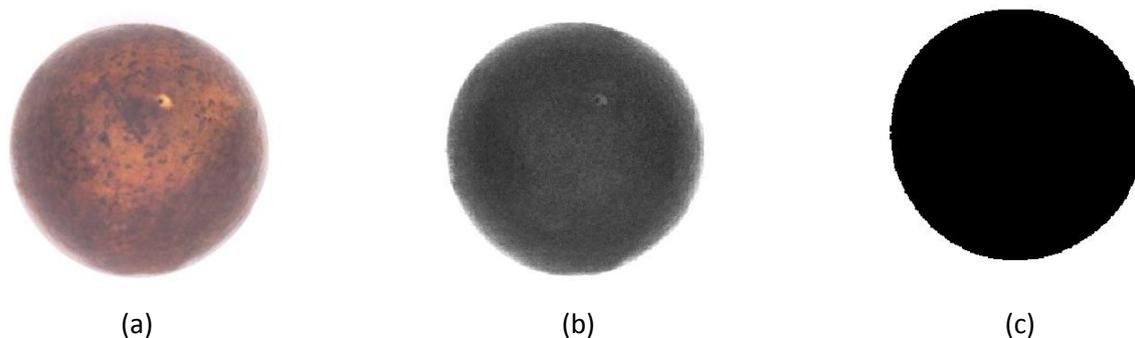


Figura 4. Fruto de macaúba em RGB (a), escala de cinza (b) e binarizado (c).

Tabela 1. Volume total (Vf), sem casca (Vsc), castanha (Vc), mesocarpo (Vmc) e proporção de mesocarpo (Pm,%) de uma amostra aleatória de 12 frutos de macaúba, determinado em laboratório.

Fruto	Vf (cm ³)	Vsc	Vc	Vmc	Pm (%)
1	50	40	12	28	56
2	57	48	12	36	63,1
3	40	31	11	20	50
4	52	42	12	30	57,7
5	35	26	9	17	48,6
6	42	32	10	22	52,4
7	50	40	11	29	58
8	49	39	12	27	55,1
9	48	39	11	28	58,3
10	50	41	10	31	62
11	49	40	10	30	61,2
12	42	33	11	22	52,4

Os volumes estimados com a utilização de duas imagens simultaneamente, imagem frontal e imagem lateral, bem como os

respectivos valores de desvio são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Volumes dos mesocarpos de frutos de macaúba determinados em laboratório (Vmc) e estimados por imagens digitais utilizando fotos frontais, laterais e duas fotos e seus respectivos desvios.

Frutos	Vmc (cm ³)	Duas Fotos (cm ³)	Desvio (%)	Foto Frontal (cm ³)	Desvio (%)	Foto Lateral (cm ³)	Desvio (%)
1	28	28,37	1,31	26,72	4,57	29,88	6,73
2	36	35,71	0,79	37,32	3,66	34,16	5,11
3	20	26,77	33,83	25,77	28,83	27,49	37,48
4	30	35,36	17,88	34,84	16,15	35,89	19,63
5	17	22,96	35,09	21,39	25,84	24,61	44,78
6	22	28,39	29,07	27,50	24,99	29,30	33,19
7	29	30,27	4,39	29,88	3,05	30,66	5,74
8	27	31,67	17,29	33,48	24,01	29,61	9,67
9	28	32,16	14,85	33,82	20,79	30,55	9,10
10	31	32,65	5,32	33,15	6,93	32,16	3,73
11	30	29,96	0,12	28,93	3,57	29,88	0,38
12	22	28,99	31,80	30,55	38,86	27,49	24,99
Médias	27	30,27	15,98	30,28	16,78	30,15	16,71

Observou-se que o volume médio do mesocarpo dos frutos obtidos em laboratório foi de 27 cm³ (Tabela 2). Quando estimado pelo algoritmo computacional, o volume médio do mesocarpo foi de 30,27 cm³ usando-se duas imagens simultaneamente, apresentando um desvio médio de 15,98% (Tabela 2). Ao se utilizar apenas a imagem referente ao fruto na posição

frontal, o volume médio estimado do mesocarpo foi de 30,28 cm³, com um desvio de 16,78% (Tabela 2). E ao se utilizar apenas a imagem do fruto na posição lateral, o volume médio estimado foi 30,15 cm³ (Tabela 2).

Na Figura 5 são apresentados os gráficos dos valores de volume dos frutos estimados pelo algoritmo *versus* valores



observados em laboratório, além das equações de regressão e dos coeficientes de determinação.

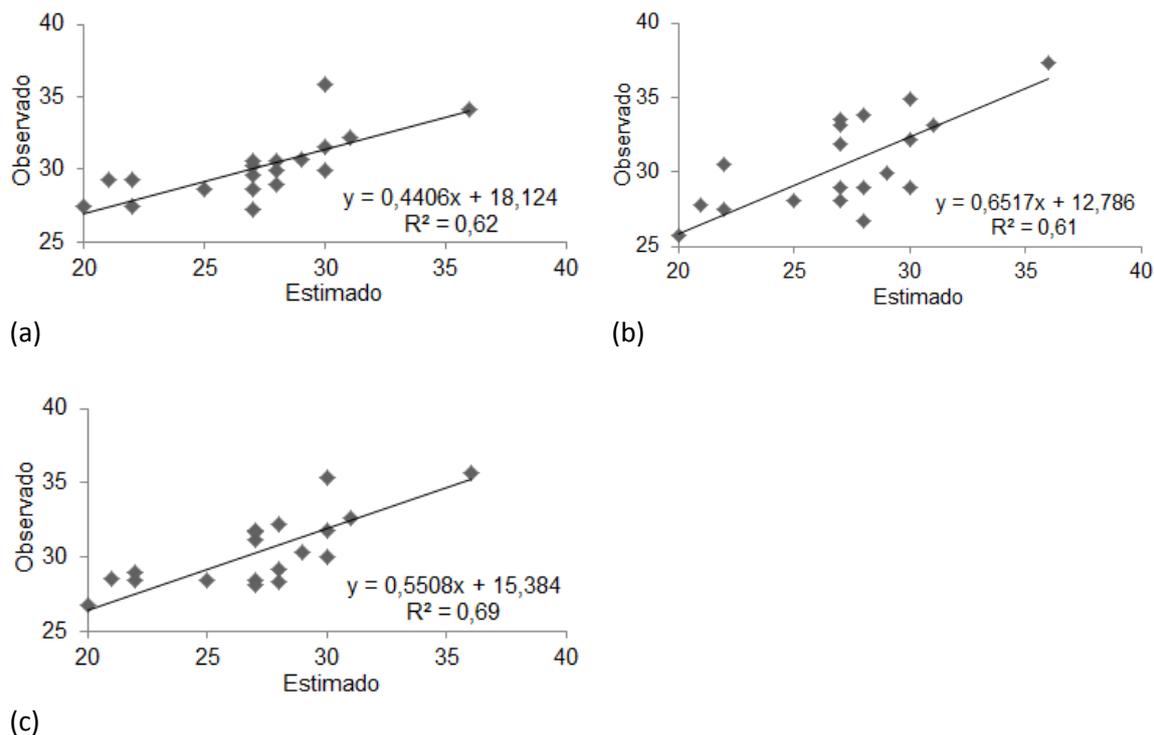


Figura 5. Gráfico de valores dos volumes observados (laboratório) *versus* estimados (processamento de imagem) utilizando imagem lateral (a), imagem frontal (b) e utilizando duas imagens (c) de frutos de macaúba.

Observou-se que, independente da utilização de uma ou duas fotos, os valores do coeficiente de determinação foram baixos, sendo o maior valor observado de 0,69 e o menor de 0,61 (Figura 5). Estes resultados estão aquém dos encontrados por Manfio et al. (2011). Os autores destacam que a utilização de quatro frutos é suficiente para expressar as características biométricas de subamostras, garantindo coeficiente de determinação de 90%. No presente estudo, atribuíram-se os baixos

coeficientes de determinação resultantes ao baixo número de amostras (frutos).

Observou-se na Tabela 3 que os volumes médios do mesocarpo dos frutos de macaúba determinados em laboratório e estimado por processamento de imagens digitais não diferiram entre si estatisticamente, demonstrando a capacidade do algoritmo desenvolvido em estimar o volume de mesocarpo dos frutos de macaúba por meio de processamento de imagens digitais.

Tabela 3. Volumes médios do mesocarpo dos frutos de macaúba determinado em laboratório e estimado por imagens digitais.

Volumes médios (cm ³)	
Determinado em laboratório	27,00 A
Estimado por imagem frontal	30,28 A
Estimado por imagem lateral	30,15 A
Estimado por duas imagens	30,27 A
Coeficiente de Variação (%)	
	14,37

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.



Não houve diferença significativa entre os volumes de mesocarpo estimados pelo algoritmo ao processar duas imagens simultaneamente ou apenas uma independente da posição do fruto (lateral ou frontal) (Tabela 3). A utilização de apenas uma imagem mostrou-se mais apropriada, pois reduziu o tempo gasto para obtenção das imagens sem que ocorresse perda de precisão nas estimativas (Tabela 3).

Estudos realizados Rashidi et al. (2009), utilizando processamento de imagem na determinação de volume de melão, comprovaram a eficiência da técnica de processamento de imagem para este fim, sendo os resultados estimados significativamente iguais aos obtidos pela estimativa de volume por meio do método de deslocamento de água. Outros estudos também demonstram a eficiência da técnica de processamento de imagem na determinação de volume de frutos (WANG; NGUANG, 2007; KOC, 2007; RASHIDI et al., 2007).

Referências

AGRIANUAL. **Biocombustível**, p. 35 - 56, 2010.

BAILEY, D. G. et al. **High speed weight estimation by images analysis**. In: Proceedings of the New Zealand National Conference on non destructive testing, New Zealand, 2004.

BHERING, L. L. **Macaúba: matéria-prima nativa com potencial para produção de biodiesel**, EMBRAPA AGROENERGIA (CNPAE), 2009.

DIAS, L. A. S. et al. Agrocombustíveis - perspectivas futuras. **Bahia análises & dados**, v. 18, n. 4, p. 539-547, 2009.

DIAS, M. F. P. et al. Análise da sustentabilidade da produção de biodiesel de soja no Brasil. **Revista de Administração**, v. 8, n. 14, p. 13-45. 2013.

KOC, A. B. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. **Postharvest Biology and Technology**, n. 45, p. 366-371, 2007.

MACHADO, F. S. et al. A Transição da matriz energética mundial: ênfase nos recursos renováveis. **Bahia análise & dados**, v. 18, n. 4, p. 525-538, 2009.

MANFIO, C. E. et al. Repetibilidade em características biométricas dos frutos de macaúba, **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 70-76, 2011.

MEDEIROS, J. F. et al. Análise da produção de biodiesel de óleo de soja e purificação por centrifugação. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 2, n. 3, p. 142-145, 2013.

Conclusões

Foi possível estimar o volume do mesocarpo de frutos de macaúba utilizando a técnica de processamento de imagens digitais. Essa técnica poderá contribuir com maior agilidade e facilidade na aquisição de dados biométricos de frutos de macaúba, mantendo-se a mesma precisão do que quando realizada por procedimentos laboratoriais.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão das bolsas de estudo.



- MENEZES, R. S. et al. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 10-15, 2013.
- RAMOS, L. P. et al. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 31, p. 29, 2003.
- MOREDA, G. P. et al. Non-destructive Technologies for fruit and vegetable size determination – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 119-136, 2008.
- MOURA, E. F. et al. Somatic embryogenesis in Macaw Palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. **Scientia Horticulturae**, n. 119, p. 447-454, 2009.
- NOGUEIRA, L. A. H.; MACEDO, I. C. **Biocombustíveis**, Cadernos NAE, Brasília, n. 2, 2005.
- RASHIDI, M. et al. Determination of kiwifruit volume using image processing. **World Applied Sciences Journal**, v. 3, n. 2, p. 184-190, 2007.
- RASHIDI, M. et al. Cantaloupe volume determination through image processing. **Journal of Agricultural Science and Technology**, n. 11, p. 623-631, 2009.
- RATHMANN, R. et al. **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira**. II Seminário de Gestão de Negócios, v. 1, 2005.
- SABLIOV, C.M. et al. Image processing method to determine surface area and volume of axisymmetric agricultural products. **International Journal of Food Properties**, n. 5, p. 641-653, 2002.
- SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, 2007.
- WANG, T. Y.; NGUANG, S. K. Low cost sensor for volume and surface area computation of axisymmetric agricultural products. **Journal Food Engineer**, n. 78, p. 870-877, 2007.

