

GUILHERME NUNES LIMA

EXTRAÇÃO MECÂNICA DE ENDOSPERMA DE MACAÚBA PARA FINS DE GERMINAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

L732e
2016

Lima, Guilherme Nunes, 1985-

Extração mecânica de endosperma de macaúba para fins de
germinação / Guilherme Nunes Lima. – Viçosa, MG, 2016.
xiv, 56f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Macaúba - Sementes. 2. Máquinas agrícolas.
3. Germinação. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

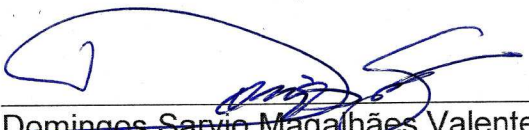
CDD 22 ed. 633.851

GUILHERME NUNES LIMA

EXTRAÇÃO MECÂNICA DE ENDOSPERMA DE MACAÚBA PARA FINS DE GERMINAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 10 de Novembro de 2016.


Domingos Sarvio Magalhães Valente
(Coorientador)


Nerilson Terra Santos


Francisco de Assis de Carvalho Pinto
(Orientador)

A todos aqueles que me
incentivaram ao longo desta
caminhada, dedico.

A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A todos que acreditaram que eu podia, quando nem mesmo em mim haviam certezas.

Aos meus pais e irmãos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela realização do Programa de Pós-Graduação.

À empresa Acrotech pela grande contribuição para a realização deste trabalho.

À minha esposa e filhos por quem dedico minha vida.

Ao professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto pela oportunidade, orientação, conselhos e por toda a paciência.

Aos professores coorientadores Domingos Sárvio e Daniel Marçal, pelas contribuições e sugestões.

Ao professor Nerilson Terra Santos pelos conselhos e considerações estatísticas.

À professora Lêda por toda atenção concedida.

Aos amigos e colegas da mecanização, em especial ao Grégory, Marconi, André Luís, Emanuel, Victor, Juliano, Gustavo e Marcelo.

Ao professor e amigo Filipe Ribeiro de Castro do IFF Itaperuna pelo apoio.

À professora Solange Aparecida Fernandes da Universidade Guarulhos.

Ao professor Antonio Helio Spinosa Perez pelo apoio.

Ao coordenador Glênio Fernando Daniel da Faculdade Redentor pelo apoio e credibilidade a mim concedidos.

Aos demais que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho!

BIOGRAFIA

GUILHERME NUNES LIMA, filho de Rosélio Machado Lima e Eniléia das Graças Nunes Lourenço, nasceu em Itaperuna, Rio de Janeiro, em 09 de Outubro de 1985.

De 2004 a 2005 concluiu o ensino médio supletivo no SENAI-RJ

De 2006 a 2012 graduou-se em Engenharia Mecânica pela Universidade Guarulhos, Guarulhos, São Paulo.

Em 2014, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, área de concentração em Mecanização Agrícola, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Atua como professor especialista desde 2015 no curso de engenharia mecânica da Faculdade Redentor, Itaperuna-RJ

Em Novembro de 2016, submeteu-se aos exames de defesa da dissertação, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3

ARTIGO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMENTES DE MACAÚBA

Resumo	5
Abstract	6
1. Introdução	7
2. Material e Métodos	9
2.1. Determinação das dimensões das sementes.....	9
2.2. Determinação da circularidade	9
2.3. Determinação da esfericidade	10
2.4. Determinação da área projetada	10
2.5. Determinação da massa específica aparente	10
2.6. Determinação da massa específica unitária	11
2.7. Determinação do volume	11
2.8. Determinação da porosidade	12
2.9. Determinação do ângulo de repouso	12
2.10. Amostras	12
2.11. Métodos de despolpa	13
2.11.1. Despolpa em máquina	14
2.11.2. Despolpa manual	14

2.12. Planejamento experimental	15
3. Resultados e discussão	16
3.1. Circularidade	16
3.2. Esfericidade	17
3.3. Área projetada	18
3.4. Massa específica aparente	19
3.5. Massa específica unitária	20
3.6. Volume	21
3.7. Porosidade	22
3.8. Ângulo de repouso	23
4. Conclusões	24
5. Referências Bibliográficas	25

ARTIGO II – INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE DESPOLPA NOS PARÂMETROS MECÂNICOS E NA TAXA DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MACAÚBA.

Resumo	28
Abstract	29
1. Introdução	30
2. Material e Métodos	32
2.1. Amostras.....	32
2.2. Métodos de despolpa	32
2.2.1. Despolpam manual	32
2.2.2. Despolpa em máquina	33
2.3. Máquina de compressão	34
2.4. Sistema de aquisição de dados	35
2.5. Velocidade de aplicação da força compressiva	36
2.6. Direção de aplicação da força compressiva	36

2.7. Curva força-deformação e ponto de bioescoamento.....	37
2.8. Danos mecânicos	38
2.9. Teor de umidade dos endocarpos	39
2.10. Testes de germinação	40
2.11. Planejamento experimental	41
3. Resultados e discussão	44
3.1. Força de ruptura	44
3.2. Deformação	46
3.3. Danos mecânicos	48
3.4. Germinação	50
3.5. Gráficos força-deformação	52
4. Conclusões	55
5. Referências Bibliográficas	56

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMENTES DE MACAÚBA

Tabela 1. Origem das palmeiras de macaúba.....	13
Tabela 2. Tratamentos aplicados às sementes e quantidades amostrais.....	15
Tabela 3. Análise de variância da circularidade de sementes de macaúba	16
Tabela 4. Circularidade média de sementes de macaúba dada em %.....	16
Tabela 5. Análise de variância da esfericidade de sementes de macaúba	17
Tabela 6. Esfericidade média de sementes de macaúba dada em %.....	17
Tabela 7. Análise de variância da área projetada de sementes de macaúba	18
Tabela 8. Área projetada média de sementes de macaúba em mm ²	18
Tabela 9. Massa específica aparente média de sementes de macaúba em kg.dm ⁻³ ...	19
Tabela 10. Análise de variância da massa específica unitária de sementes de macaúba.....	20
Tabela 11. Massa específica unitária média de sementes de macaúba em kg.dm ⁻³	20
Tabela 12. Análise de variância do volume de sementes de macaúba.....	21
Tabela 13. Volume médio de sementes de macaúba em mm ³	21
Tabela 14. Análise de variância da porosidade de sementes de macaúba.....	22
Tabela 15. Porosidade média de sementes de macaúba em %	22
Tabela 16. Ângulo de repouso de sementes de macaúba em °	23

ARTIGO II – INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE DESPOLPA NOS PARÂMETROS MECÂNICOS E NA TAXA DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MACAÚBA.

Tabela 1. Materiais utilizados na máquina de compressão	35
Tabela 2. Níveis de dano detectados visualmente nos endospermas de macaúba	39
Tabela 3. Força média de ruptura de sementes de macaúba – estatística descritiva ..	45
Tabela 4. Deformação de sementes de macaúba – estatística descritiva	47
Tabela 5. Distribuição das amostras nos níveis de dano mecânico	48

Tabela 6. Força média de ruptura e níveis de dano observados	49
Tabela 7. Resultado do teste de Mann-Whitney corrigido por Bonferroni	50
Tabela 8. Número de sucessos na germinação para cada tratamento	51

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMENTES DE MACAÚBA

Figura 1: Dimensões características de produtos agrícolas tri-axiais	9
Figura 2. Medição de massa específica aparente	11
Figura 3. Medição de ângulo de repouso	12
Figura 4. Máquina despoldadora modelo SATURNO 1	14
Figura 5. Ralador em aço inoxidável utilizado para a despolpa manual	14

ARTIGO II – INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE DESPOLPA NOS PARÂMETROS MECÂNICOS E NA TAXA DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MACAÚBA.

Figura 1. Ralador em aço inoxidável utilizado para a despolpa manual	32
Figura 2. Máquina despoldadora modelo SATURNO 1	33
Figura 3: Máquina de compressão para ensaios de ruptura	34
Figura 4. Dispositivo de aquisição de dados	36
Figura 5. Modelo esquemático do endocarpo e endosperma em corte	37
Figura 6. Disposição dos transdutores de força e deslocamento	37
Figura 7. Curvas força-deformação para materiais com e sem ponto de bioescoamento.....	38
Figura 8. Endospermas identificados e separados em bandeja de papelão	39
Figura 9. Fragmentos de endocarpo de macaúba	40
Figura 10. Sementes de macaúba após o teste de germinação.....	41
Figura 11. Diagrama box-plot para a força de ruptura: identificação de outliers.....	44
Figura 12. Diagrama box-plot para a deformação: identificação de outliers	46

Figura 13. Proporção de amostras em cada nível de dano mecânico observável por tratamento	49
Figura 14. Sementes danificadas que germinaram	52
Figura 15. Curvas força-deformação para amostras despolpadas em máquina.....	53
Figura 16. Curvas força-deformação para amostras despolpadas manualmente.....	54

RESUMO

LIMA, Guilherme Nunes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2016. **Extração mecânica de endosperma de macaúba para fins de germinação.** Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Coorientadores: Domingos Sárvio Magalhães Valente e Daniel Marçal de Queiroz.

A importância da macaúba para o setor de produção agrícola tem se tornado cada vez mais evidente em função de seu potencial, tanto em termos de rendimento por hectare e robustez, como pela multiplicidade de aplicações de seus produtos e subprodutos. As pesquisas científicas sobre a macaúba têm trazido soluções fundamentais para viabilizar sua exploração de maneira intensiva. Atualmente, a exploração da macaúba no Brasil ainda é predominantemente extrativista e o potencial da macaúba faz com que seja necessária uma mudança neste cenário. Esta mudança se tornará viável a partir do desenvolvimento de processos eficientes de plantio, cultivo, colheita e processamento. No topo da cadeia produtiva se encontra o fornecimento de mudas pré-germinadas que atualmente encontra limitações devidas às dificuldades de extração de endosperma. Tais dificuldades estão associadas às altas forças requeridas para a ruptura do endocarpo da macaúba e também à grande variabilidade que este produto apresenta. Na busca por geração de dados úteis para engenheiros e projetistas, desenvolveu-se este trabalho que foi organizado em dois artigos cujos objetivos foram: mensurar as propriedades físicas do endocarpo de macaúba despulpado relacionando-as aos métodos de despolpa utilizados e a diferentes acessos estudados; e avaliar a força e a deformação requeridas para a ruptura, os níveis de dano mecânico observáveis e a taxa de germinação em função dos métodos de despolpa utilizados. Para comparação de dados realizou-se inferências estatísticas paramétricas e não paramétricas conforme a natureza das variáveis envolvidas. Concluiu-se que os métodos de despolpa influenciam a taxa de germinação, a força requerida para a ruptura, os níveis de dano mecânico, e demais propriedades como circularidade, esfericidade, área projetada, massa específica aparente e unitária, volume unitário, porosidade e ângulo de repouso. Algumas variáveis estudadas também sofreram influência dos diferentes acessos indicando que plantas oriundas de regiões diferentes podem apresentar propriedades físicas distintas. Para lidar com a grande variabilidade inerente à este produto, projetistas têm que se preocupar em projetar máquinas capazes de realizar classificações com base nas propriedades físicas a fim de diminuir os efeitos nocivos à produtividade.

ABSTRACT

LIMA, Guilherme Nunes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2016. **Extração mecânica de endosperma de macaúba para fins de germinação.** Advisor: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-advisors: Domingos Sárvio Magalhães Valente and Daniel Marçal de Queiroz.

The importance of macaw palm for the agricultural sector has become increasingly apparent due to their potential, both in terms of yield per hectare and robustness, as the multitude of applications of their products and byproducts. Scientific research about macaw palm has brought fundamental solutions to enable its farm intensively. Currently, the exploitation of macaw palm in Brazil still occurs in wild plants, and, due to potential of macaw palm, a change is required in this scenario. This change will become feasible through the development of efficient processes of planting, cultivation, harvesting and processing. At the top of the production chain is the supply of pre-germinated seedlings which is currently limited due to endosperm extraction difficulties without nullify it as seed. These difficulties are associated with the high forces required for the rupture of the macaw palm endocarp and also to the great variability that this product offers. In the search for generation of useful data for engineers and designers, this work was organized in two articles whose objectives were: to measure the physical properties of depulped endocarp of macaw palm relating them to the depulping methods used and the different access studied; and evaluating the strength and deformation required for break, the mechanical damage levels and observable germination rate depending on the depulping method used. For data comparison was held statistical inferences parametric or nonparametric according to the nature of the variables involved. It was concluded that the depulping methods influence the germination rate, the force required to break, the mechanical damage levels and other properties such as roundness, sphericity, projected area, apparent and true density, unit volume, porosity and angle of repose. Some variables studied also were under influence of different accesses indicating that plants from different regions may have different physical properties. To deal with the great variability inherent in this product, designers have to worry about designing machines able to perform ratings based on physical properties in order to reduce the harmful effects on productivity.

INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação com a falta de energia tem sido crescente nos últimos anos, tanto no Brasil, como no mundo. Os combustíveis fósseis ainda são as principais fontes de produção de energia e constituem grande parte da matriz energética brasileira (BEN, 2014). Dentre as fontes de recursos não renováveis se destacam o petróleo e derivados (39,3%), gás natural (12,8%) e o carvão mineral (5,6%). O uso destes combustíveis, além de gerar emissões de gases que podem contribuir para o efeito estufa e aquecimento global, explora recursos que tendem à escassez.

Frente à demanda crescente por energia surgem preocupações e tendências para a utilização de novas e renováveis fontes energéticas. Dentre as diversas opções de matéria prima para a produção de biocombustível, a macaúba (*Acrocomiaaculeata*) tem sido apontada como uma das mais promissoras (VILLIBOR et al., 2015).

A macaúba é uma palmácea adaptada a regiões semiáridas. A espécie pertence à família Arecaceae, nativa de florestas tropicais, tipicamente brasileiras, sendo uma cultura tolerante à seca e às baixas temperaturas, com ampla distribuição geográfica (LORENZI, 1992).

No Brasil é considerada uma das palmeiras de maior dispersão, sendo encontrada em praticamente todas as regiões do país. Destaca-se pela sua produtividade, constituindo-se numa promissora fonte de óleo vegetal para a indústria de combustíveis, cosmética e alimentícia. Além do óleo, o processamento dos frutos da macaúba gera coprodutos de grande valor agregado. Os farelos da polpa (mesocarpo) e da amêndoa (endosperma) podem ser utilizados na indústria alimentícia humana e animal, e o endocarpo pode ser empregado na fabricação de carvão vegetal (MOTOIKE et al., 2010). Em meio a suas várias utilidades são relatados usos medicinais, alimentícios, cosméticos, entre outros (SILVA et al., 1986).

Os estudos ligados ao desenvolvimento de tecnologias para o cultivo da macaúba são recentes e sua exploração ainda ocorre de forma extrativista em populações nativas (MOTTA et al., 2002). A pressão da sociedade para exploração racional de produtos da biodiversidade vem aumentando a cada ano. Divulgações da qualidade desses produtos pela mídia são cada vez maiores e vêm incentivando o consumo e, conseqüentemente, o extrativismo. As pesquisas visando a domesticação,

seleção de material genético superior e desenvolvimento de sistemas de cultivo, são, sem dúvida, um caminho adequado para tornar a exploração da macaúba viável em um sistema agrícola intensivo (JUNQUEIRA et al., 2008).

A mecanização dos processos de produção de macaúba constitui uma etapa importante à expansão do uso deste produto agrícola e depende de conhecimento técnico-científico. Pesquisas estão em andamento e as informações necessárias ao projeto de máquinas e processos logo estarão disponíveis. O avanço na exploração da macaúba tende a gerar uma alta demanda por mudas pré-germinadas e a falta de mecanismos de extração de endospermas pode tornar o processo de fornecimento destas mudas um gargalo.

A mecanização do processo de extração do endosperma depende do conhecimento sobre as propriedades físicas e mecânicas do conjunto endocarpo-endosperma (semente), uma vez que, tais propriedades dão suporte ao desenvolvimento de máquinas para processá-los, pois regem o comportamento dos produtos na interação mecânica com os equipamentos. Mohsenin (1986) afirma que o conhecimento de características físicas e propriedades mecânicas constituem dados de engenharia essenciais e importantes no projeto de máquinas e processos envolvendo produtos agrícolas.

Este trabalho foi organizado em dois artigos cujos objetivos foram: determinar as propriedades físicas de sementes de macaúba analisando a variabilidade destas propriedades com base nos fatores origem da planta e forma de despolpa e avaliar a influência de dois métodos de despolpado endocarpo da macaúba nos seguintes parâmetros: força de rompimento, deformação alcançada até a ruptura, níveis de danos mecânicos visíveis e taxa de germinação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEN, Balanço Energético Nacional. **Relatório síntese ano base 2013 – EPE**
Ministério de Minas e Energia – Empresa de Pesquisa Energética. Maio 2014

JUNQUEIRA, N. T. V. ; FALEIRO, F. G. ; BRAGA, M. F ; PEIXOTO, J. R.
Domesticação De Espécies Da Flora Nativa Do Cerrado. In: Lucília Maria Parronet
al.. (Org.). Cerrado: Desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. 1ª
ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008, v. 1, p. 125-163.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual De Identificação E Cultivo De Plantas**
Arbóreas Nativas Do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. v1. 352p.

MOTTA, P.E.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; GOMES, J.B.V. **Ocorrência da macaúba em**
Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e
vegetacionais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.7, p.1023-1031,
2002.

MOTOIKE, S. Y. et al. **Produção De Mudas De Macaúba**. Boletim Técnico: Acrotech,
Viçosa-MG, 2010.

MOHSENIN, N.N. **Physical Properties of Plant and Animal Materials**. New York:
Gordon and Breach, 1972, 734 p.

SILVA, J.C.; BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Endocarpos de Macaúba e de**
Babaçu comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão
vegetal. IPEF, Piracicaba, n.34, p.31-34, 1986.

VILLIBOR, G.P.; LISBOA, B.H.M.; JUNIOR, J.K.K.; PINTO, F.A.C. **Machine design**
parameters: rupture force and displacement of macaw palm endocarp. Rio de
Janeiro: 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering, 2015.

Artigo I

Características físicas de sementes de Macaúba.

Características físicas de sementes de Macaúba.

Resumo

Este trabalho objetivou a determinação das propriedades físicas do endocarpo de macaúba e a análise da variabilidade destas propriedades com base na origem da planta e em dois métodos de despolpa: manual, a partir de um ralador e em máquina dotada de facas rotativas. Foram determinadas: Circularidade, esfericidade, área projetada, massa específica aparente e unitária, volume unitário, porosidade e ângulo de repouso. Para tanto, foram utilizados 180 frutos de macaúba originados do banco ativo de germoplasma pertencente à Universidade Federal de Viçosa que é constituído de plantas oriundas de diversas regiões do país. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) da Universidade Federal de Viçosa. Os dados foram comparados com métodos estatísticos paramétricos e não paramétricos dependendo da natureza das variáveis. A circularidade não foi influenciada pelos tratamentos e apresentou valor médio de 95,97%, a esfericidade diminuiu na despolpa em máquina em função do “achatamento” gerado pela máquina, a área projetada apresentou diferenças entre acessos, a massa específica aparente diminuiu com o despolpamento em máquina, a massa específica unitária sofreu influência de ambos os tratamentos, o volume unitário dos endocarpos variou em função dos tratamentos, a porosidade aumentou nas amostras submetidas ao despolpamento em máquina e o ângulo de repouso diminuiu na despolpa em máquina apresentando valor médio de 25,5°. Para os endocarpos despolpados manualmente o ângulo de repouso médio foi 31,2°.

Physics Characteristics of macaw seeds.

Abstract

This study aimed to determine the physical properties of macaw palm endocarp and the analysis of variability of these properties based on plant origin and two methods of depulping: manual, from a grater and machine equipped with rotating knives. They were determined: roundness, sphericity, projected area, apparent and true density, unit volume, porosity and angle of repose. Therefore, we used 180 macaw palm fruits originated from the active germplasm bank that belongs to the Universidade Federal de Viçosa which consists of plants from different regions of the country. The work was developed in the Laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) of the Universidade Federal de Viçosa. The data were compared by statistical procedures where parametric methods and nonparametric were used accordingly to the nature of variables. The circularity was not influenced by the treatments and had an average value of 95.97%, sphericity decreased in pulping machine due to the "flattening" generated by the machine, the projected area differ between accesses, the bulk density decreased with the pulping machine, the true density was influenced by both treatments, the unit volume of endocarps varied in the treatments, the porosity increased in the samples submitted to the pulping machine and the angle of repose decreased in the pulping machine with average value of 25,5°. For manually pulped endocarps the average angle of repose was 31,2°.

1.Introdução

A macaúba tem sido apontada por diversos pesquisadores como uma solução viável na produção de biocombustíveis, entre eles, o biodiesel, etanol e o bioquerosene que pode ser aplicado no setor de aviação (GONÇALVES et. al., 2013; TICKELL, 2000; CARVALHO, 2010). Em uma conferência realizada em fevereiro de 2016, o secretário geral das nações unidas - ONU, Ban Ki-moon, afirmou que os olhos do mundo estão voltados para a organização internacional da aviação civil, ICAO, à espera de soluções concretas para a redução de emissões de CO₂. A ICAO afirma que, até 2050, 100% da demanda da aviação internacional pode ser suprida por combustíveis alternativos (ICAO, 2016). Segundo a National Biodiesel Board, associação norte americana de biodiesel, citada por Carvalho et al. (2010), o Brasil tem condição de se tornar líder na produção de biodiesel substituindo, pelo menos, 60% do óleo Diesel consumido no mundo.

A utilização da macaúba como matéria prima para estes combustíveis constitui uma demanda crescente por produção de macaúba que, para ser atendida, depende de alta produção de mudas de qualidade e do desenvolvimento de técnicas de plantio, cultivo e colheita cada vez mais eficientes. As pesquisas, a mídia e as organizações governamentais têm apontado para a necessidade cada vez mais evidente de concluir os processos de domesticação e mecanização da macaúba. Dessa conclusão, depende o início da produção intensiva que deve impulsionar a produção de combustíveis e aquecer os demais setores que já utilizam derivados de macaúba para outras aplicações. (LORENZI, 2006; MOLLET et al., 2000; LORENZI, 1992)

O processo geral de domesticação pode ser definido como sendo um conjunto de processos, técnicas e ações, aplicado de forma consciente ou inconsciente, que torna populações de plantas mais adequadas às necessidades humanas (JUNQUEIRA, 2008). Alguns destes processos já estão concluídos, como por exemplo, a quebra de dormência da semente obtida como resultado de pesquisas realizadas por Motoike et al. (2007). Isso permitiu a germinação de sementes de macaúba em menor tempo e conseqüentemente, contribuiu para a aceleração da exploração deste recurso energético (MOTOIKE, 2010).

Por outro lado, tanto para fomentar as pesquisas, quanto para atender aos próprios processos de geração de energia, a demanda por mudas de macaúba tende a

crescer rapidamente, como já tem sido percebido no país não só pelo fato de seu potencial como combustível, mas também por ter aplicações diversas para cada elemento do fruto.

Atualmente, o processo de geração de mudas encontra limitações uma vez que a extração do endosperma é obtida pela ruptura do endocarpo por meio de compressão manual. A compressão é realizada em morsas de bancada por pessoas com prática nesta atividade, todavia, esta forma de extração pode limitar a ampliação viável da produção com vista a atender a demanda por mudas. O método atual de obtenção de endosperma se torna mais oneroso na medida em que se aumenta a capacidade produtiva e, além disso, representa risco aos trabalhadores em função dessa atividade envolver a aplicação de esforços e movimentos repetitivos. A eficiência de produção está intimamente ligada à condição física do trabalhador e a fadiga pode resultar em baixa produção.

Neste cenário, a mecanização do processo de extração do endosperma pode contribuir na solução destes problemas e constitui uma tarefa dependente do conhecimento sobre as características físicas do conjunto endocarpo-endosperma (semente), uma vez que, as propriedades físicas do produto agrícola dão suporte ao desenvolvimento de máquinas para processá-los, pois tais características regem o comportamento dos produtos na interação mecânica com os equipamentos. Mohsenin (1986) afirma que o conhecimento de características físicas e propriedades mecânicas constituem dados de engenharia essenciais e importantes no projeto de máquinas e processos envolvendo produtos agrícolas.

Este trabalho objetivou determinar as propriedades físicas de sementes de macaúba e analisar a variabilidade destas propriedades com base nos fatores origem da planta e forma de despolpa.

2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) da Universidade Federal de Viçosa com o objetivo de mensurar as seguintes características físicas: circularidade, esfericidade, área projetada, volume, massas específicas aparente e unitária, porosidade e ângulo de repouso das sementes de macaúba intactas (endocarpo e endosperma).

2.1 Determinação das dimensões das sementes

A forma escolhida para as sementes de macaúba foi a de um esferoide triaxial que, segundo Mohsenin (1986), pode ser descrito por suas dimensões características (Figura 1). As dimensões características, em milímetros, foram obtidas por meio de medições realizadas com paquímetro digital do fabricante Mitutoyo cuja resolução e repetibilidade são 0,01 mm e exatidão de $\pm 0,02$ mm.

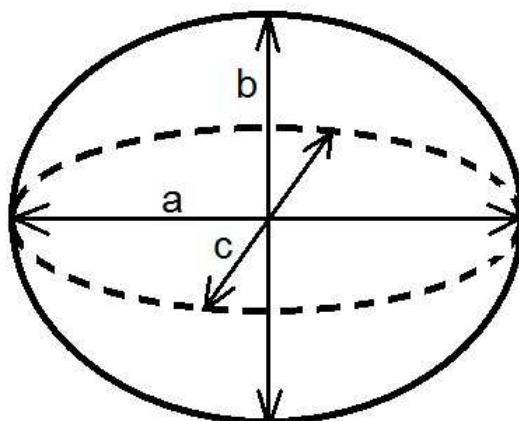


Figura 1: Dimensões características de produtos agrícolas tri-axiais: a, b, c se referem à maior, intermediária e menor dimensão característica da semente, respectivamente.

2.2 Determinação da circularidade

A circularidade, C_i , é a medida da agudeza dos cantos de um sólido e calcula-se em porcentagem por meio da Equação 2.1 (Mohsenin, 1986).

$$C_i = \left(\frac{b}{a}\right) 100 \quad (2.1)$$

2.3 Determinação da esfericidade

A esfericidade, E, é uma grandeza que indica a aproximação de uma forma esférica, em porcentagem, e foi obtida através da Equação 2.2 apresentada por Mohsenin (1986).

$$E = \left(\frac{D_g}{a} \right) 100 \quad (2.2)$$

Onde D_g é o diâmetro geométrico médio, obtido em milímetros, pela Equação 2.3.

$$D_g = \sqrt[3]{abc} \quad (2.3)$$

2.4 Determinação da área projetada

A área projetada, A_p , é a área frontal calculada com base nas duas maiores dimensões características conforme a Equação 2.4 proposta por Mohsenin (1986).

$$A_p = \pi \frac{ab}{4} \quad (2.4)$$

2.5 Determinação da massa específica aparente

A massa específica aparente, ρ_a , foi determinada pela razão entre a massa de um lote de sementes (kg), e o volume aparente ocupado por esta mesma amostra (m^3).

A massa foi obtida diretamente pelo uso de uma balança eletrônica de precisão com 0,01 gramas de resolução, capacidade 1500g, repetibilidade 0,01g, modelo ARA520 do fabricante OHAUS, sobre a qual foi colocado um tubo de PVC (ainda vazio) e efetuada a tara da balança. Em seguida, o tubo foi preenchido com sementes e a massa tomada diretamente no visor digital da balança.

O volume aparente em milímetros cúbicos foi determinado usando-se as dimensões do tubo de PVC cujo diâmetro interno e altura são 98 e 223 mm, respectivamente, o que compreende um cilindro de volume igual a $1,682 \times 10^{-3} m^3$.

Este procedimento foi executado em onze repetições para sementes despolidas manualmente e em máquina. (GUPTA e DAS, 1997; GARNAYAK et al., 2008; PRADHAN et al., 2008)

Ao ser preenchido com sementes, o volume interno do tubo enclausurou as sementes na sua totalidade não permitindo que sementes parcialmente fora do volume fossem computadas (Figura 2).

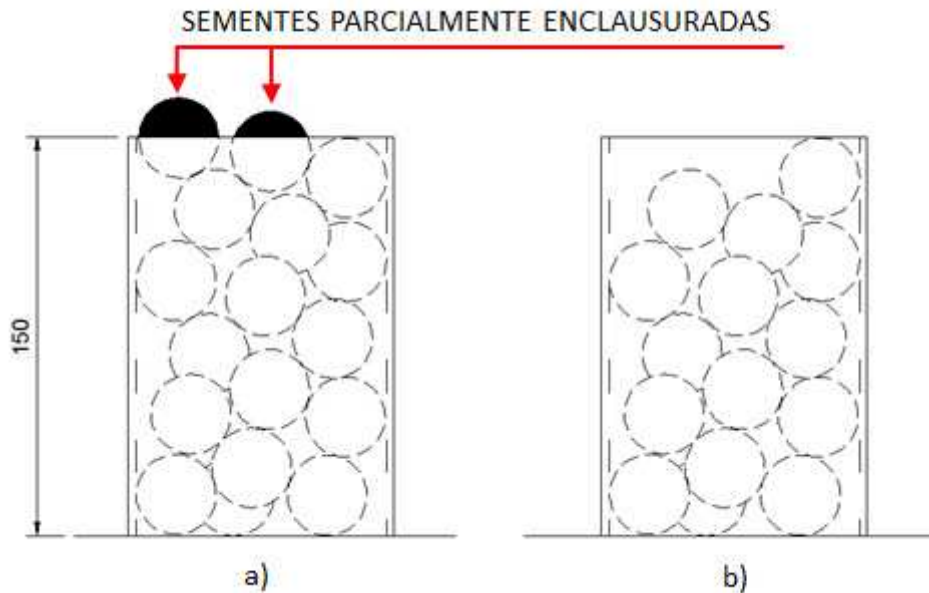


Figura 2. Medição de massa específica aparente: a) tubo preenchido com sementes excedentes b) tubo sobre a superfície da balança contendo apenas sementes totalmente dentro de seu volume interno. (Sementes excedentes removidas)

2.6 Determinação da massa específica unitária

Para a massa específica unitária, ρ_u , foram realizadas cinco pesagens e calculada a razão entre a massa e o volume de cada semente. A massa em gramas foi tomada em uma balança digital com 0,01 grama de precisão e o volume unitário obtido conforme item 2.7.

2.7 Determinação do volume unitário

O volume unitário da semente, em milímetros cúbicos, foi determinado considerando suas dimensões características, conforme Equação 2.6 (MOHSEIN, 1986).

$$V = \pi \frac{abc}{6} \quad (2.6)$$

2.8 Determinação da porosidade

A porosidade, ε , é a razão entre o volume intergranular e o volume ocupado pela massa de sementes. A porosidade foi calculada em função da massa específica aparente e unitária (MOHSEIN, 1986), conforme Equação 2.7.

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_u} \right) \right] 100 \quad (2.7)$$

2.9 Determinação do ângulo de repouso

Para determinar o ângulo de repouso foi utilizado um recipiente de base retangular com 0,3m x 0,2m e altura de 0,4m, onde o produto foi depositado, e em seguida foi aberta uma tampa vertical permitindo o escoamento das sementes (Figura 3). O produto se acomodou formando um talude. Em seguida, foram medidas a altura do talude formado pelo produto (h) e a medida horizontal da projeção vertical da camada de sementes (x).

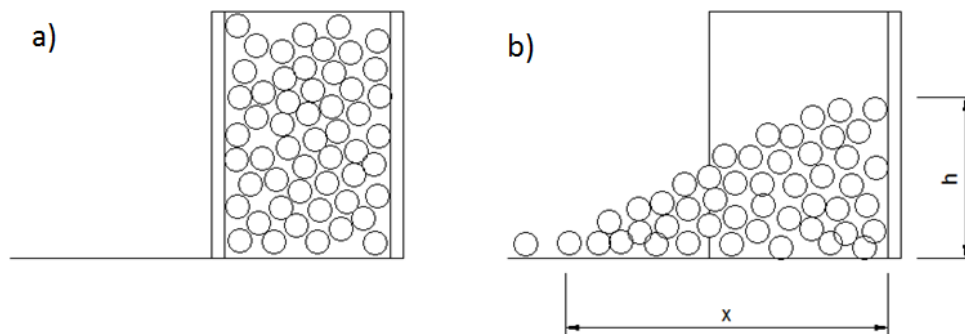


Figura 3. Medição de ângulo de repouso: a) recipiente de base retangular preenchido com sementes b) formação do talude de sementes após a abertura da tampa e variáveis a serem medidas.

De posse destas informações, foi calculado o ângulo de repouso (θ) conforme a Equação 2.8.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h}{x} \right) \quad (2.8)$$

2.10 Coleta das amostras

Frutos de macaúba foram colhidos entre os meses de Dezembro de 2015 a Janeiro de 2016 no Banco Ativo de Germoplasma (BAG), pertencente à Universidade

Federal de Viçosa (UFV), localizado na cidade de Araponga do estado de Minas Gerais, latitude 20° 40' 1" S e longitude 42° 31' 15" W.

O BAG possui mais de 700 plantas, provenientes de seis estados brasileiros, organizadas em mais de 100 acessos (MANFIO et al., 2011; AQUINO et al., 2008).

As palmeiras de onde se retirou os cachos são originárias de diferentes regiões do estado de Minas Gerais e, portanto, se desenvolveram em climas e condições de solo diferentes (Tabela 1).

Tabela 1. Origem das palmeiras de macaúba

Acesso	Cidade	Latitude	Longitude	Estado
BGP-12	Ibiá / Araxá	19,55	46,85	MG
BGP-36	Betim	20,00	44,18	MG
BGP-38	Esmeraldas	19,76	44,31	MG
BGP-48	Mateus Leme	20,00	44,47	MG
BGP-50	Abaeté	19,17	45,49	MG
BGP-53	São João Del Rei / Lavras	21,28	44,59	MG

Fonte: Departamento de Fitotecnia – UFV

De cada um dos seis acessos (Tabela 1), foram escolhidas ao acaso três plantas e retirado um cacho de cada uma. Na região equatorial de cada cacho, foram retirados dez frutos totalizando 180 frutos de macaúba. O momento de retirada do cacho foi definido com base na observação da queda natural de pelo menos 5 frutos do cacho de macaúba.

2.11 Métodos de despolpa

A retirada da polpa dos frutos para medição se iniciou após vinte dias corridos a contar da data de coleta em função da estabilidade do incremento de óleo do fruto (GOULART, 2014). Neste período, os frutos ficaram em seus cachos armazenadas em uma sala equipada com ar condicionado cuja temperatura de bulbo seco se manteve em torno de 22°C. A umidade relativa da sala não foi controlada.

Para a retirada da polpa da macaúba, foram utilizados dois métodos distintos: despolpa em máquina e a despolpa manual.

2.11.1 Despolpa em máquina

Para a retirada da polpa no processo mecanizado, foi utilizada a máquina despolpadora modelo Saturno 1 (Figura 4), constituída de um disco rotativo horizontal equipado com seis facas de aço equidistantes sobre o qual as amostras foram lançadas e comprimidas.

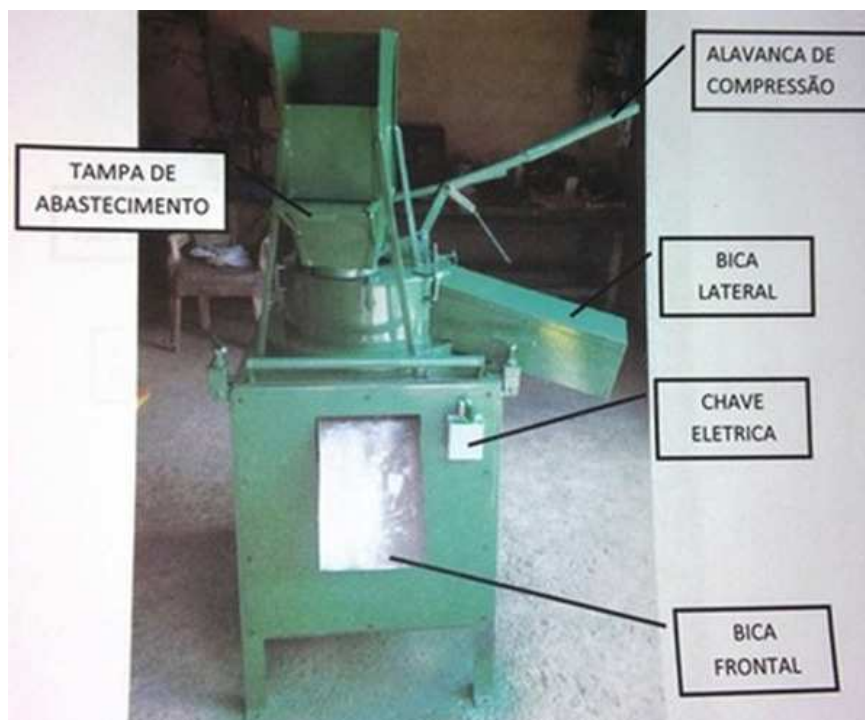


Figura 4. Máquina despolpadora modelo SATURNO 1.

2.11.2 Despolpa manual

Para o processo de despolpa manual, foi utilizado um ralador convencional de aço inoxidável (Figura 5). Os frutos tiveram sua casca retirada após sua ruptura manual e posteriormente, foram passados no ralador para a retirada da polpa.



Figura 5. Ralador em aço inoxidável utilizado para a despolpa manual.

2.12 Planejamento experimental

O experimento foi conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado (PIMENTEL-GOMES, 2009), com arranjo fatorial 6x2, compondo 12 tratamentos que incluíram seis acessos e dois métodos de despolpa com três repetições (plantas) de cinco frutos cada uma totalizando 180 endocarpos de macaúba. As amostras foram pesadas e medidas em ordem aleatória obtida por sorteio. Na Tabela 2 estão organizados os tratamentos e as quantidades amostrais.

Tabela 2. Tratamentos aplicados às sementes e quantidades amostrais

Tratamento	Acesso	Método de despolpa	Número de frutos por tratamento*
T1	BGP-12	manual	(3)(5) = 15
T2	BGP-36	manual	(3)(5) = 15
T3	BGP-38	manual	(3)(5) = 15
T4	BGP-48	manual	(3)(5) = 15
T5	BGP-50	manual	(3)(5) = 15
T6	BGP-53	manual	(3)(5) = 15
T7	BGP-12	máquina	(3)(5) = 15
T8	BGP-36	máquina	(3)(5) = 15
T9	BGP-38	máquina	(3)(5) = 15
T10	BGP-48	máquina	(3)(5) = 15
T11	BGP-50	máquina	(3)(5) = 15
T12	BGP-53	máquina	(3)(5) = 15

* (3) = Número de plantas/ repetições/ amostras; (5) = quantidade de frutos em cada amostra; 15 = quantidade de frutos medidos em cada tratamento

Para as medições de massa específica aparente, porosidade e ângulo de repouso, foi considerada apenas a variação no método de despolpa em delineamento inteiramente casualizado com 11 repetições (MONTGOMERY et al., 2012).

Os dados foram submetidos a teste de normalidade de Shapiro-Wilk (TORMAN et al., 2012), análise de variância e teste de Tukey para comparação de médias. Para o ângulo de repouso e a massa específica aparente, as médias foram comparadas pelo teste t de student. Os testes estatísticos aplicados foram analisados com base em um nível de significância de 5% (MONTGOMERY et al., 2012). Todas as análises estatísticas foram efetuadas no software R de código aberto (open-source) (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3. Resultados e discussão

Todos os dados apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk a um nível de significância de 5%. Um resumo das análises de variância para as propriedades circularidade, esfericidade, área projetada, massa específica unitária e volume é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3– Resumo da análise de variância para as propriedades físicas obtidas para diferentes acessos e métodos de despolpa.

FV	GL	C		E		AP		MEU		V	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
A	5	0,16	0,98	1,73	0,17	5,06	0,00	4,74	0,00	3,25	0,02
MD	1	0,12	0,73	41,1	0,00	1,00	0,33	26,2	0,00	8,26	0,01
AxMD	5	0,57	0,72	0,88	0,51	0,08	1,00	0,70	0,63	0,28	0,92
RES	24										

FV – Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; F – Estatística F; P – Valor P; A – Acessos; MD – Métodos de despolpa; RES – Resíduos; C – Circularidade; E – Esfericidade; AP – Área projetada; MEU – Massa específica unitária; V – Volume.

3.1 Circularidade

O efeito do método de despolpa na circularidade da semente é independente do acesso (Tabela 3). As sementes de todos os acessos apresentaram médias de circularidade estatisticamente idênticas (Tabela 3). Os dois métodos de despolpa resultaram em sementes que não apresentaram diferença significativa entre as suas médias de circularidade. A média geral da circularidade foi igual a 95,97%.

3.2 Esfericidade

As médias da esfericidade das sementes de macaúba estão apresentadas na Tabela 4. A análise de variância mostrou que houve influência apenas dos diferentes métodos de despolpa estudados e que o acesso e a interação entre os tratamentos não foram significativos ao nível de significância de 5% (Tabela 3).

Tabela 4. Esfericidade média de sementes de macaúba dada em %

Métodos de despolpa	manual	máquina
Esfericidade (%)	91,06 a	87,25 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste F a 5% de significância.

A esfericidade média nas amostras despulpadas manualmente foi maior que a esfericidade média das amostras despulpadas em máquina. Isso se deve ao fato do processo de despolpa em máquina retirar parte do material do endocarpo alterando sua geometria.

Analisando os coeficientes de variação, (1,76% para despolpa manual e 0,52% para despolpa em máquina), nota-se uma diminuição da variabilidade nas amostras despulpadas pela máquina que tende a homogenizar as dimensões das sementes em função de seu princípio de operação. A redução média de esfericidade encontrada representa um achatamento produzido pela máquina no processo de despulpamento.

3.3 Área projetada

As médias das áreas projetadas obtidas nos doze tratamentos estão apresentadas na Tabela 5. A análise de variância (Tabela 3) mostrou que houve influência apenas dos diferentes acessos estudados.

Tabela 5. Área projetada média de sementes de macaúba em mm²

Acessos	Área projetada (mm ²)
BGP-12	583,55 a
BGP-36	552,40 ab
BGP-38	508,33 ab
BGP-48	588,21 a
BGP-50	449,57 b
BGP-53	567,94 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os dados foram submetidos ao teste de Tukey para a identificação das diferenças entre as médias (Tabela 8). As áreas projetadas das amostras originadas nos acessos BGP-12, BGP-48 e BGP-53 se apresentaram maiores que as áreas projetadas oriundas do acesso BGP-50. Foi constatada uma maior variabilidade nos dados do acesso BGP-50. Os dados dos acessos BGP-36 e BGP-38 sugerem uma superposição das curvas normais que representam a função densidade de probabilidade das médias seguidas por “ab” podendo estas médias serem enquadradas tanto no grupo seguido por “a” quanto no grupo de médias seguido por “b” a um nível de significância de 5%.

3.4 Massa específica aparente

As médias das massas específicas aparentes obtidas nos dois tratamentos e sua estatística descritiva estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 6. Massa específica aparente média de sementes de macaúba em kg.dm^{-3}

Métodos de despolpa	manualmáquina	
Massa específica aparente	0,577a	0,563b

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste t de Student a 5% de significância.

O teste de Shapiro-Wilk resultou em normalidade dos dados a um nível de significância de 5%, apresentando valor P igual a 0,767 para despolpa manual e 0,942 para despolpa em máquina. O teste t de Student mostrou que houve influência dos diferentes métodos de despolpa estudados com um nível de significância de 5% (Valor P = 0,001). A diferença na massa específica aparente das amostras despolpadas em máquina pode ser explicada pela retirada de material que a despolpadora realiza. O despolpamento à mão deixa fragmentos de mesocarpo na superfície do endocarpo que podem ser responsáveis pela maior massa específica aparente.

3.5 Massa específica unitária

As massas específicas unitárias médias das sementes de macaúba obtidas nos doze tratamentos estão apresentadas na Tabela 11.

A análise de variância (Tabela 10) mostra que a massa específica unitária sofreu influência dos diferentes acessos e métodos de despolpa estudados. A interação entre os fatores não foi significativa ao nível de 5% de significância.

Tabela 10. Análise de variância da massa específica unitária de sementes de macaúba.

F.V.	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Valor-p
Acesso	5	0,07609	0,01522	4,7350	0,0038
Método de despolpa	1	0,08410	0,08410	26,1677	$3,103 \cdot 10^{-5}$
Acesso x Método de despolpa	5	0,01127	0,00225	0,7011	0,6280 ^{ns}
Resíduos	24	0,07713	0,00321		
Totais	35				

F.V. = Fonte de Variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma dos quadrados; M.Q. = média quadrática; F = Valor calculado da estatística para o teste F.^{ns}Não significativo a 5% de significância pelo teste F.

Tabela 11. Massa específica unitária média de sementes em kg.dm⁻³

Acessos	Métodos de despolpa			
	1 (manual)		2 (máquina)	
1 (BGP-12)	1,04	AA	1,21	aB
2 (BGP-36)	1,22	BA	1,28	bB
3 (BGP-38)	1,15	a b A	1,25	a b B
4 (BGP-48)	1,21	BA	1,27	bB
5 (BGP-50)	1,10	a b A	1,20	a b B
6 (BGP-53)	1,12	a b A	1,21	a b B

Médias seguidas da mesma letra minúscula para linhas e maiúscula para colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

3.6 Volume

As médias dos volumes obtidos nos doze tratamentos estão apresentadas na Tabela 13.

A análise de variância cujos resultados estão na Tabela 12 mostrou que o volume sofreu influência dos diferentes acessos e métodos de despolpa estudados. A interação entre os fatores não foi significativa ao nível de 5%.

Tabela 12. Análise de variância do volume de sementes de macaúba.

F.V.	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Valor-p
Acesso	5	31,57.10 ⁶	6,31.10 ⁶	3,2545	0,0220
Método de despolpa	1	16,02.10 ⁶	16,02.10 ⁶	8,2563	0,0084
Acesso x Método de despolpa	5	2,7.10 ⁶	0,54.10 ⁶	0,2786	0,9203 ^{ns}
Resíduos	24	46,57.10 ⁶	1,94.10 ⁶		
Totais	35				

F.V. = Fonte de Variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma dos quadrados; M.Q. = média quadrática; F = Valor calculado da estatística para o teste F.^{ns} Não significativo a 5% de significância pelo teste F.

Tabela 13. Volume médio de sementes de macaúba em mm³

Acessos	Métodos de despolpa			
	1 (manual)		2 (máquina)	
1 (BGP-12)	9.777,77	AA	7.303,20	aB
2 (BGP-36)	7.776,96	a b A	6.636,25	a b B
3 (BGP-38)	6.901,52	a b A	5.993,87	a b B
4 (BGP-48)	8.299,60	a b A	7.496,13	a b B
5 (BGP-50)	6.364,52	BA	5.041,92	bB
6 (BGP-53)	8.302,57	a b A	6.946,49	a b B

Médias seguidas da mesma letra minúscula para linhas e maiúscula para colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A influência dos diferentes métodos de despolpa e distintos acessos no volume médio foi confirmada pelo teste de Tukey (Tabela 13). O menor volume médio encontrado foi 5.041,92 mm³, oriundo do acesso BGP-50 sendo despulpado em máquina. O maior volume médio foi de 9.777,77 mm³, encontrado com base nas amostras do acesso BGP-12 submetidas ao despulpamento manual.

3.7 Porosidade

As médias das porosidades obtidas nos doze tratamentos estão apresentadas na Tabela 15. Os dados foram considerados normais pelo teste de Shapiro a 5% de significância.

A análise de variância cujos resultados estão na Tabela 14 mostrou que a porosidade sofreu influência dos diferentes acessos e métodos de despolpa estudados. A interação entre os fatores não foi significativa ao nível de 5%.

Tabela 14. Análise de variância da porosidade de sementes de macaúba.

F.V.	G.L.	S.Q.	M.Q.	F	Valor-P
Acesso	5	148,274	29,655	45,330	0,005
Método de despolpa	1	253,871	253,871	388,065	1,94.10 ⁻³
Acesso x Método de despolpa	5	32,216	6,443	0,9849	0,447 ^{ns}
Resíduos	24	157,007	6,542		
Totais	35				

F.V. = Fonte de Variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma dos quadrados; M.Q. = média quadrática; F = Valor calculado da estatística para o teste F.^{ns} Não significativo a 5% de significância pelo teste F.

Tabela 15. Porosidade média de sementes de macaúba em %

Acessos	Métodos de despolpa			
	1 (manual)		2 (máquina)	
1 (BGP-12)	44,16	AA	53,22	aB
2 (BGP-36)	52,68	BA	56,09	bB
3 (BGP-38)	49,77	a b A	55,09	a b B
4 (BGP-48)	52,43	bA	55,82	bB
5 (BGP-50)	47,65	a b A	53,19	a b B
6 (BGP-53)	48,41	a b A	53,55	a b B

Médias seguidas da mesma letra minúscula para linhas e maiúscula para colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A influência dos diferentes métodos de despolpa e distintos acessos na porosidade foi confirmada pelo teste de Tukey (Tabela 15). A menor porosidade encontrada foi 44,16% no acesso BGP-12 sendo despulpado manualmente. A maior porosidade encontrada foi 56,09% no acesso BGP-36 sendo despulpado em máquina.

O aumento da porosidade das amostras despulpadas em máquina pode ser um fator significativo no que se refere a projeto de máquinas, uma vez que, a porosidade é determinante na capacidade de silos de armazenagem e está relacionada à perda de carga oferecida por uma camada de endocarpos quando se necessita promover um fluxo de ar forçado atravessando-a para fins de secagem.

3.8 Ângulo de repouso

As médias dos ângulos de repouso obtidos nos dois tratamentos e sua estatística descritiva estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Ângulo de repouso de sementes de macaúba em °

Métodos de despolpa	1 (manual)	2 (máquina)
Ângulo de repouso	31,16a	25,55b

Desvio padrão:	3,10 *	2,52**
Coeficiente de variação:	9,94% *	9,86% **

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste t de Student a 5% de significância. * Dados referentes às médias seguidas por "a"*** Dados referentes às médias seguidas por "b"

O teste de Shapiro-Wilk resultou em normalidade dos dados dentro de cada tratamento a um nível de significância de 5%, apresentando valor P igual a 0,313 para despolpa manual e 0,744 para despolpa em máquina. O teste t de Student mostrou que houve influência dos diferentes métodos de despolpa estudados com um nível de significância de 5% (Valor P = $1,6 \cdot 10^{-4}$). A diferença no ângulo de repouso pode ser explicada pelo fato de que a máquina de despolpa deixa as amostras mais lisas tornando a superfície do endocarpo mais escorregadia. O despolpamento à mão deixa pequenas porções de mesocarpo remanescente na superfície do endocarpo. Este mesocarpo atua aumentando o coeficiente de atrito que reflete o aumento considerável no ângulo de repouso.

4. Conclusões

Com base nas condições sob as quais este trabalho foi realizado, concluiu-se que:

- A circularidade média dos endocarpos de macaúba não variou nos diferentes acessos e métodos de despolpa estudados;
- A circularidade média para os diferentes tratamentos foi 95,97%;
- Apenas os métodos de despolpa influenciaram na esfericidade dos endocarpos de macaúba;
- O despolpamento na máquina estudada diminuiu a esfericidade do endocarpo;
- A área projetada dos endocarpos de macaúba foi influenciada pelos diferentes acessos;
- O despolpamento em máquina diminuiu a massa específica aparente;

- A massa específica unitária foi influenciada pelos acessos e pelos métodos de despolpa estudados;
- O método de despolpa em máquina reduziu o volume dos endocarpos de macaúba;
- O volume dos endocarpos foi influenciado pelos diferentes acessos;
- A porosidade sofreu influência dos diferentes acessos e métodos de despolpa analisados;
- A porosidade aumentou nas amostras despolpadas em máquina;
- Endocarpos de macaúba despolpados em máquina apresentaram ângulo de repouso menor ($25,5^\circ$) que os endocarpos despolpados à mão ($31,2^\circ$).

5. Referências Bibliográficas

AQUINO, F. G. et al. **Distribuição Geográfica Das Espécies *Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lood Ex. Mart. E *Caryocar Brasiliense* Cambess. No Bioma Cerrado.** Em: Simpósio Nacional Cerrado: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais, 9, 2008, Brasília.

CARVALHO, F.M. **Influência Da Temperatura Do Ar De Secagem E Da Utilização Do Ácido Etilenodiaminotetracético Na Qualidade Do Óleo E Caracterização Do Fruto De Macaúba.** Dissertação (Mestrado em Armazenagem de produtos agrícolas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

GARNAYAK, D.K.; PRADHAN, R.C.; NAIK, S.N.; BHATNAGAR, N. Moisture dependent physical properties of jatropha seed, **Industrial Crops and Products**, v.27, p.123-129, 2008

GOULART, S. M. **Amadurecimento Pós-Colheita De Frutos De Macaúba E Qualidade Do Óleo Para A Produção De Biodiesel.** Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014. 66f.

GONÇALVES, D.B.; BATISTA, A.F.; RODRIGUES, M.Q.R.B.; NOGUEIRA, K.M.V.; SANTOS V.L. **Ethanol Production From Macaúba (*Acrocomia Aculeata*) Presscake Hemicellulosic Hydrolysate By *Candida Boidinii*** UFMG14. *Bioresource Technology* 146 (2013) 261–266p

GUPTA, R.K; DAS, S.K. Physical properties of sunflower seeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.66, p.1-8, 1997

ICAO JOURNAL, **News And Developments From The International Civil Aviation Organization.** Published in Montréal, Canada. ISSN 0018 8778, 2016. - Vol.71 - No.1

JUNQUEIRA, N. T. V. ; FALEIRO, F. G. ; BRAGA, M. F ; PEIXOTO, J. R. **.Domesticação De Espécies Da Flora Nativa Do Cerrado.** In: Lucília Maria Parronet al.. (Org.). Cerrado: Desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. 1ª ed. Brasília: **Embrapa Cerrados**, 2008, v. 1, p. 125-163.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual De Identificação E Cultivo De Plantas Arbóreas Nativas Do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1992. v1. 352p.

LORENZI, G. M. A. C. ***Acrocomia Aculeata* (Jacq. Lodd. Ex. Mart. – *Arecaceae*): Bases Para O Extrativismo Sustentável.** Curitiba, PR, 2006: Universidade Federal do Paraná. 154f. Tese (Doutorado) – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias/ UFPR, 2006.

MANFIO, C. E. **Análise Genética No Melhoramento Da Macaúba.** 2010. 52f. Tese (*Doctor Scientiae*)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MOHSENIN, N.N. **Physical Properties of Plant and Animal Materials.** New York: Gordon and Breach, 1972, 734 p.

MOLLET, M.; HERZOG, F.; BEHI, Y. E. N.; FARAH, Z.; **Sustainable exploitation of *Borassusaethiopum*, *Elaeisguianeensis* and *Raphiahookeri* for the extraction of palm wine in Côte D'Ivoire.** *Environment, Development and Sustainability*, v.2, n.1, p.45-59, 2000.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; **Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros.** Ed.: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 5ª ED. 2012

MOTOIKE, S. Y. et al. **Produção De Mudanças De Macaúba.** Boletim Técnico: Acrotech, Viçosa-MG, 2010.

MOTOIKE, S. Y. SÁ JUNIOR, A.Q.; LOPES, F.A.; CARVALHO, M.; OLIVEIRA, M.A.R.; **Processo De Germinação E Produção De Sementes Pré-Germinadas De Palmeiras Do Gênero *Acrocomia*.** PI0703180-7 A2, 20 jul. 2007

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso De Estatística Experimental.** Piracicaba FEALQ: 15ª Ed. 2009

PRADHAN, R.C.; NAIK, S.N.; BHATNAGAR, N., SWAINA, S.K., **Moisture-dependent physical properties of Karanja kernel, Industrial Crops and Products.** v.28, p.155-161, 2008.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. **Analysis Of The Floristic Composition Of The Brazilian Cerrado Vegetation Iii: Comparison Of The Woody Vegetation Of 376 Areas** *Edinburgh Journal Of Botany* 60 (1): 57–109 (2003)

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language And Environment For Statistical Computing.** Vienna: Austria R Foundation for Statistical Computing, 2012.

TICKELL, J., 2000. **From the Fryer to the Fuel Tank: The Complete Guide to Using Vegetable Oil as an Alternative Fuel.** Joshua Tickell Publications, New Orleans, 2000. third edition.

TORMAN V.B.L.; COSTER R.; RIBOLDI J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação.** Porto Alegre, RS:Revista HCPA: 32(2):227-234p. 2012.

Artigo II

Influência dos métodos de despolpa nos parâmetros mecânicos e na taxa de germinação de sementes de Macaúba.

Influência dos métodos de despolpa nos parâmetros mecânicos e na taxa de germinação de sementes de Macaúba.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de dois métodos de despolpa do endocarpo da macaúba nos seguintes parâmetros: força de rompimento, deformação alcançada até a ruptura, níveis de danos mecânicos visíveis e a taxa de germinação. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) da Universidade Federal de Viçosa utilizando 200 frutos de macaúba cedidos pela empresa Acrotech. As amostras foram despulpadas manualmente por meio de um ralador e em máquina. Foi desenvolvida uma máquina de compressão por placas paralelas instrumentada para a coleta dos dados de deformação e força de ruptura. Após a ruptura de cada amostra, estas foram classificadas em quatro níveis de dano mecânico observáveis (Intacta, leve, médio e severo). O teor de umidade dos endocarpos foi aferido a partir de seus fragmentos logo após a ruptura pelo método da estufa a 105°C por 24 horas. Os endospermas foram encaminhados para as dependências da Acrotech onde foram realizados os procedimentos de quebra de dormência e teste de germinação. A Acrotech adicionou 100 amostras aos testes para servir de testemunha. Os dados foram comparados com métodos estatísticos paramétricos e não paramétricos dependendo da natureza das variáveis. O método de despolpa do endocarpo interferiu na força requerida para a ruptura, a despulpadora diminuiu a força requerida para romper os endocarpos, a deformação sofreu influência dos métodos de despolpa estudados, os métodos de despolpa afetaram os níveis de dano mecânico observáveis, o endocarpo se comportou como material frágil sem apresentar ponto de bioescoamento e exigiu força máxima para a ruptura de 998,40 e 827,58 kgf para amostras despulpadas manualmente e em máquina, respectivamente. A máquina de despolpa reduziu drasticamente a taxa de germinação.

Influência dos métodos de despolpa nos parâmetros mecânicos e na taxa de germinação de sementes de Macaúba.

Abstract

This study aimed to evaluate the influence of two pulping methods of macaw endocarp the following parameters: breaking strength, achieved strain to break, visible mechanical damage levels and the germination rate. The work was developed in the Laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) of the Universidade Federal de Viçosa using 200 macaw palm fruits given by Acrotech company. The samples were pulped manually by means of a grater and machine. A compression machine with parallel plates instrumented for the collection of data deformation and rupture strength was developed. After the breakdown of each sample were classified into four levels of mechanical damage observable (Intact, mild, medium and severe). The moisture content of endocarps was measured from fragments after the break for using the oven at 105 ° C for 24 hours. The endosperms were referred to the Acrotech premises where breaking dormancy procedures and germination test were performed. The Acrotech added 100 samples for testing and to be a witness. The data were compared by statistical procedures where parametric methods and nonparametric were used accordingly to the nature of variables. The pulping method interfered with the force required to rupture, de-pulping decreased the force required to break the Cores, deformation suffered influence of pulping methods studied, pulping methods affected the mechanical damage levels observed, the endocarp behaved like brittle material without presenting bioyield point and required maximum force to break 998.40 and 827, 58 kgf for samples manually pulped and machinery respectively. The pulping machine has dramatically reduced the germination rate.

1.Introdução

O crescimento do sistema intensivo de produção de macaúba faz surgir uma demanda cada vez maior por sementes pré-germinadas forçando as empresas fornecedoras de mudas a desenvolverem seus processos garantindo mudas em quantidade e qualidade necessárias ao plantio, como é o caso da Acrotech¹, cuja atividade é a produção de sementes e mudas de macaúba.

Entre as fases de processamento para a geração de mudas de macaúba está o processo de ruptura do endocarpo para a extração do endosperma. Esta ruptura pode causar dano mecânico no endosperma, podendo comprometer a formação de uma muda de qualidade causando, assim, a inviabilidade como semente ou influenciar no vigor da muda.

.De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), os danos mecânicos são alguns dos problemas mais graves na produção de sementes. O dano mecânico é consequência da mecanização das atividades agrícolas, constituindo-se num problema praticamente inevitável devido ao fato de as principais fontes desse tipo de injúria se encontrarem em todas as etapas do processo produtivo.

O dano mecânico se refere à injúria causada por agentes físicos no manuseio das sementes, na forma de quebraduras, trincas, cortes e abrasões, podendo ter como consequência a redução da sua qualidade fisiológica logo após a injúria (efeito imediato) e/ou após determinado período de armazenamento (efeito latente) (ARAÚJO et al., 2002).

São muitos os fatores que influenciam a conservação da viabilidade e vigor das sementes: qualidade inicial da semente, vigor da planta-mãe, condições climáticas, danos mecânicos, condições de secagem, teor de umidade, umidade relativa do ar, temperatura de armazenamento, ação de fungos e insetos, tipos de embalagens e duração do armazenamento (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

O beneficiamento dos frutos de macaúba é um dos fatores limitantes à sua utilização, tornando-se necessário buscar novas tecnologias que possam aperfeiçoar todas as fases do processo produtivo. O conhecimento das propriedades mecânicas do

¹A Acrotech, uma empresa de base tecnológica fundada em 2007 na cidade de Viçosa-MG comercializa sementes e mudas de Macaúba.<http://www.acrotech.com.br>Acesso em 27/04/2015

endocarpo da macaúba é de fundamental importância e constitui a base técnica necessária ao desenvolvimento de dispositivos e máquinas capazes de processá-lo com menores perdas, maior produtividade e maior eficiência energética.

Atualmente, o processo de geração de mudas encontra limitações uma vez que a extração do endosperma é obtida pela ruptura do endocarpo por meio de compressão manual. A compressão é realizada em morsas de bancada por pessoas com prática nesta atividade e é apresentada como a solução mais prática. Neste método, o endocarpo é pressionado até a sua ruptura e o trabalhador precisa ser treinado para saber o exato momento em que deve parar a aplicação da força. Um pequeno esforço adicional após a ruptura do endocarpo é o bastante para danificar o endosperma inviabilizando sua germinação. O momento exato de parar a força é determinado por um som característico originado no instante em que o endocarpo se rompe (VILLIBOR et al., 2015).

A falta de parâmetros mecânicos relacionados à macaúba tem se tornado um entrave ao desenvolvimento de máquinas projetadas para a extração de endosperma (VILLIBOR et al., 2015). Para o projeto mecânico, alguns dos pontos de partida seriam a força de ruptura do endocarpo e o deslocamento (deformação) até a ruptura. Além destes parâmetros, se faz necessária a investigação de um mecanismo de ruptura que possa romper o endocarpo causando o menor dano possível ao endosperma.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de dois métodos de despolpa do endocarpo da macaúba nos seguintes parâmetros: força de rompimento, deformação alcançada até a ruptura, níveis de danos mecânicos visíveis e a taxa de germinação.

2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) da Universidade Federal de Viçosa com o objetivo de mensuraros seguintes parâmetros: força de ruptura do endocarpo de macaúba edeformação do endocarpo de macaúba no sentido de aplicação da força. Os níveis de dano mecânico e taxas de germinação foram avaliados qualitativamente através da classificação dos níveis de dano e da categorização das taxas de germinação.

2.1 Amostras

Duzentos frutos de macaúba foram cedidos pela empresa Acrotech localizada próximo à cidade de Viçosa-MG. As amostras são originadas da cidade de Santa Luzia do estado de Minas Gerais.

2.2 Métodos de despolpa

A retirada da polpa das amostras para medição se iniciou após vinte dias corridos a contar da data de coleta dos frutos nas dependências da Acrotech. Neste período, as amostras ficaram armazenadas em uma sala equipada com ar condicionado cuja temperatura de bulbo seco se manteve em torno de 22°C. A umidade relativa da sala não foi controlada.

Para a retirada da polpa da macaúba, foram utilizados dois métodos distintos: despolpa manual e a despolpa em máquina.

2.2.1 *Despolpa manual*

Para o processo de despolpa manual, foi utilizado um ralador convencional de aço inoxidável (Figura 1). Os frutos tiveram sua casca retirada após sua ruptura manual e posteriormente, foram passados no ralador para a retirada da polpa.



Figura 1. Ralador em aço inoxidável utilizado para a despolpa manual.

2.2.2 Despolpa em máquina

Para a retirada da polpa no processo mecanizado, foi utilizada a máquina despulpadora modelo Saturno 1 (Figura 2), constituída de um disco rotativo horizontal equipado com seis facas de aço equidistantes sobre o qual as amostras foram lançadas. Esta máquina possui um sistema de alavanca que força um disco superior estacionário contra a camada de frutos que é prensada contra as facas rotativas. Os constantes impactos das facas contra os frutos realizam a tarefa de descascar (rompendo o pericarpo) e posteriormente retiram gradativamente a polpa do fruto. A pressão do disco superior contra os frutos é aplicada pelo operador por intermédio da alavanca de compressão e o fim do processo de despolpa é verificado visualmente pelo operador da máquina. As sementes são impelidas através da bica lateral.



Figura 2. Máquina despulpadora modelo SATURNO 1.

2.3 Máquina de compressão

Para a compressão das amostras foi desenvolvida uma máquina a partir da instrumentação de uma morsa de bancada equipada com motor elétrico para seu acionamento, transdutor de força (célula de carga) e transdutor de deslocamento linear (Figura 3).

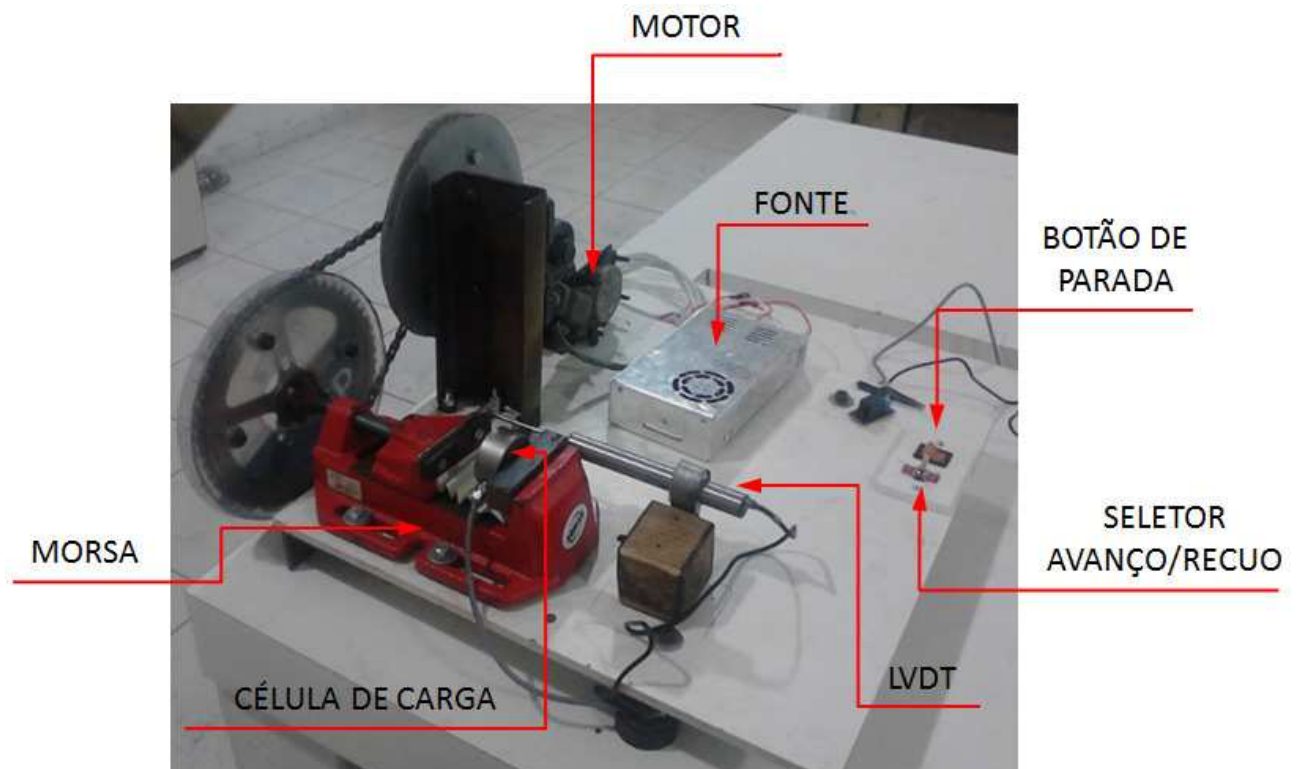


Figura 3:Máquina de compressão para ensaios de ruptura.

A morsa utilizada sofreu adaptações para a montagem da célula de carga, fixação da haste do transdutor de deslocamento, encurtamento do fuso de acionamento em 70 mm, substituição da alavanca de acionamento manual pelo sistema redutor de velocidades e motor. A mandíbula móvel da morsa foi instalada com uma placa de poliamida 6 (substituindo sua placa de fixação) para garantir que a compressão ocorresse de modo que as faces permanecessem paralelas.

A reversão do motor foi obtida por meio de um botão seletor de três posições interagindo com um banco de relés combinados formando uma ponte H.

Na Tabela 1 constam os dados referentes aos materiais utilizados e parâmetros operacionais da máquina.

Tabela 1. Materiais utilizados na máquina de compressão

Item	Descrição/ Fabricante	Características técnicas	Quantidade
1	Moto-reductor elétrico JC/LC-578VA/ Mabuchi	Alimentação: 12V CC Potência Nominal: 12W Rotação de saída: 75rpm Corrente: 15A Torque de saída: 2,5 Nm	1
2	Redutor de velocidades de duplo estágio	Elemento de transmissão: cadeia de elos Relação de transmissão: 1 :9	1
3	Morsa de bancada N°2 / Somar	Fuso: $p = 3\text{mm}$ $\varnothing_{\text{ext.}}: 16\text{mm}$ Rotação do fuso: 8,33 rpm Torque no fuso: 19,04 Nm Velocidade de avanço: 0,417mm/s Força de compressão: 8.744 N	1
4	Transdutor de força CTRE-1000 (Célula de carga)/ MK Controle	Capacidade: 10 kN Repetibilidade: 0,02% Sensibilidade Nominal: 2mV/V Tensão de excitação: 10 a 15V DC/AC	1
5	Transdutor de deslocamento linear (LVDT) LD300-25/ Omega	Tensão de excitação: 5V RMS Frequência de excitação 5 kHz Faixa de medida: $\pm 25\text{mm}$ Alimentação AC	1
6	Relé auxiliar	Tensão de trabalho: 12V CC	4

2.4 Sistema de aquisição de dados

Todos os transdutores foram conectados a um sistema de aquisição de dados, que por sua vez foi conectado a um computador que armazenou os dados para posterior processamento.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8®, gerenciado pelo software HBM Catman® 2.2 instalado em um computador portátil colocado junto à máquina de compressão (Figura 4). Os dados adquiridos pelo computador foram armazenados para posterior processamento.



Figura 4. Dispositivo de aquisição de dados.

Os transdutores utilizados foram previamente calibrados, de modo a reconhecer sua resposta elétrica em função do parâmetro nãoelétrico medido. O sistema foi configurado para obter informações de todos os transdutores utilizados com uma taxa de amostragem de 50 Hz, ou seja, 50 dados para cada segundo de deslocamento da mandíbula móvel contra a amostra. Ao término de cada ruptura os dados foram salvos em uma planilha eletrônica.

2.5 Velocidade de aplicação da força compressiva

A norma ASAE S368.4 da ASABE estabelece a faixa de velocidade de compressão para ensaios de produtos agrícolas entre $2,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a $30 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. A velocidade de compressão utilizada foi de $25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

2.6 Direção de aplicação da força compressiva

Os endocarpos foram posicionados na máquina de maneira que a linha de ação da força compressiva se tornasse colinear com seu eixo. A Figura 5 mostra a posição do vetor de força compressiva e sua direção em relação ao endocarpo.

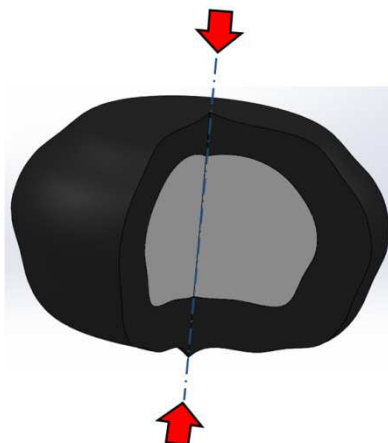


Figura 5. Modelo esquemático do endocarpo e endosperma em corte: direção de aplicação da força de compressão.

Ao se iniciar a compressão, o sistema de aquisição de dados permitiu monitorar as variáveis em tempo real. A aplicação da força foi interrompida manualmente a cada ensaio, por meio do botão de parada instalado na máquina. O momento de parar a aplicação da força foi definido com base no som característico que o endocarpo emite no instante da ruptura.

2.7 Curva força-deformação e ponto de bioescoamento

A variação da força de compressão foi monitorada ao longo do experimento a partir da célula de carga que foi fixada à mandíbula fixa da morsa. Ao realizar a compressão, a mandíbula móvel da morsa se deslocou pressionando a amostra contra a célula de carga (Figura 6).

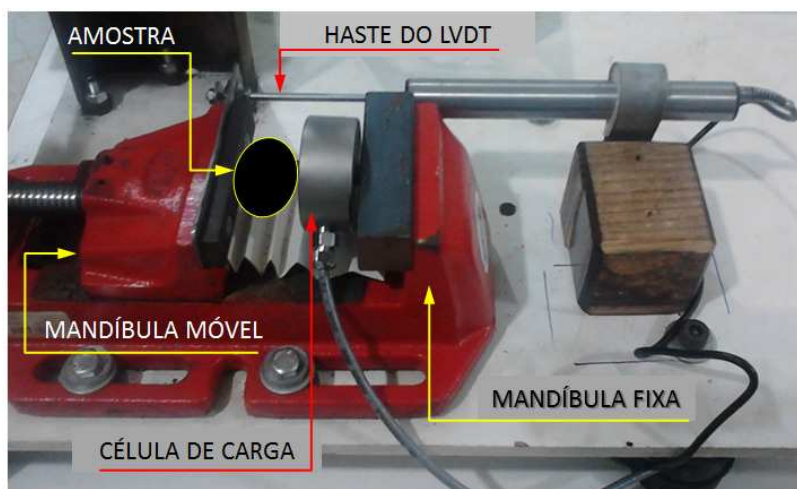


Figura 6. Disposição dos transdutores de força e deslocamento.

A haste do transdutor de deslocamento foi fixada à mandíbula móvel de modo a monitorar o deslocamento ao longo da compressão. A deformação total até a ruptura foi calculada sendo a diferença entre a posição final, determinada no ponto de força máxima, e a posição inicial da haste do LVDT referida ao início de cada teste.

A evolução da força em função da deformação foi plotada em um gráfico Força x Deformação, como o da Figura 7. A análise visual do gráfico permitiu o estudo do ponto de bioescoamento que representa o ponto onde um incremento de deformação resulta em um decréscimo de força ou nenhuma alteração.

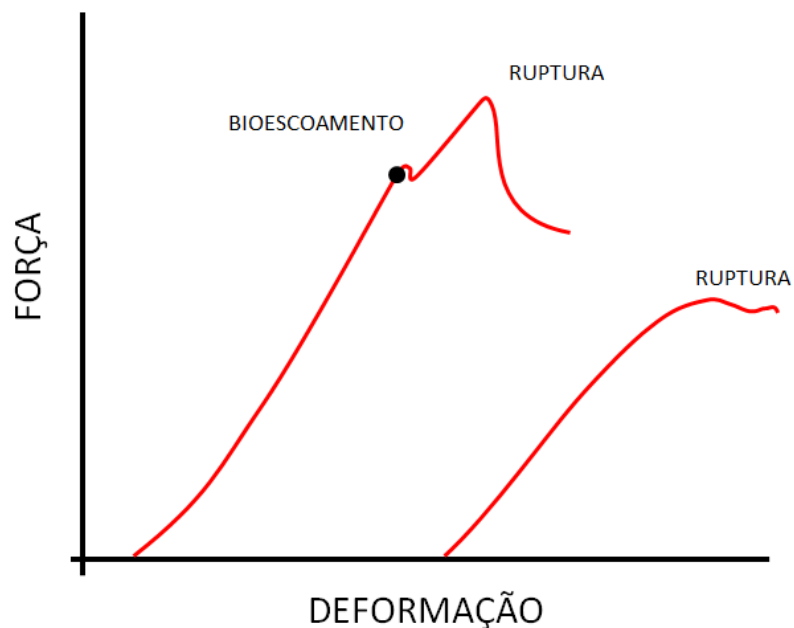


Figura 7. Curvas força-deformação para materiais com e sem ponto de bioescoamento. Adaptado da norma ASAE S368.4 da ASABE.

As curvas foram geradas com base nos dados obtidos das amostras para cada tratamento.

2.8 Danos mecânicos

Após a ruptura de cada amostra, o endosperma extraído foi identificado e colocado em bandejas de papelão que permitissem sua separação (Figura 8).



Figura 8. Endospermas identificados e separados em bandeja de papelão.

Estas amostras passaram, cada uma, por uma análise visual para que se dividisse as amostras em classes com base nos critérios da Tabela 2.

Tabela 2. Níveis de dano detectados visualmente nos endospermas de macaúba

Nível	Condição	Critério de enquadramento
1	Amostra intacta	Amostra não apresentou nenhum dano mecânico aparente
2	Dano leve	Trinca que não envolveu separação Lascamento representante de um área < 30% Esmagamento não envolvendo separação
3	Dano médio	Esmagamento e trinca na região do embrião que não envolveu separação Lascamento representante de uma área entre 30 e 60% Trinca aberta
4	Dano severo	Lascamento representante de área projetada > 60% Esmagamento e trinca na região do embrião que envolveu separação Separação em duas ou mais partes de tamanhos aproximadamente iguais (destruição)

2.9 Teor de umidade dos endocarpos

Os fragmentos de endocarpo rompido foram separados em potes de alumínio a cada ruptura e identificados (Figura 9). Procedeu-se com a pesagem destes fragmentos pelo uso de uma balança eletrônica de precisão com 0,01 gramas de resolução, capacidade 1500g, repetibilidade 0,01g, modelo ARA520 do fabricante OHAUS. As massas foram registradas em uma planilha eletrônica.



Figura 9. Fragmentos de endocarpo de macaúba.

Os potes contendo os fragmentos de endocarpo foram encaminhados para uma estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ onde permaneceram por 24 horas (BRASIL, 1992). Após a retirada das amostras da estufa, realizou-se novamente a pesagem. O teor de umidade em base úmida (w_{bu}) foi determinado em função das massas inicial (m_i) e final (m_f) conforme a Equação 2.1.

$$w_{bu} = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) 100 \quad (2.1)$$

Onde:

m_i = massa dos fragmentos de endocarpo antes da secagem em estufa

m_f = massa dos fragmentos de endocarpo após a secagem em estufa

2.10 Testes de germinação

Após a classificação de dano dos endospermas, estes foram encaminhados para a empresa Acrotech onde foram submetidos aos processos de quebra de dormência e realizados os testes de germinação (Figura 10). Os detalhes deste procedimento se encontram protegidos por patente. Foram incluídas no teste de germinação amostras obtidas a partir do método de extração de endospermas da própria empresa para servir como testemunha. Após a realização do teste de germinação, procedeu-se a contagem

de sucessos cujos dados foram armazenados em planilha eletrônica para posterior análise.



Figura 10. Sementes de macaúba após o teste de germinação.

2.11 Planejamento experimental

Em todas as variáveis contínuas foram realizadas análises de pontos de dados discrepantes (outliers) por meio de diagramas de caixa (boxplots) (MONTGOMERY et al., 2012). Os pontos discrepantes verificados experimentalmente foram rastreados no banco de dados na busca por justificativas para sua eliminação. Apenas os pontos discrepantes gerados por falha na aquisição de dados ou problemas com a amostra durante os testes foram eliminados.

O experimento foi conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado (PIMENTEL-GOMES, 2009), com 2 tratamentos e 5 repetições com amostras compostas por 20 endocarpos totalizando 200 endocarpos de macaúba. Cada endocarpo foi identificado com um número sequencial de 1 a 200 e a ordem de ruptura foi determinada por sorteio. Os tratamentos aplicados foram as variações nos métodos de despolpa. Para os testes de germinação foram incluídas (adicionadas) 5 amostras compostas por 20 endocarpos cada uma, totalizando 300 endocarpos de macaúba. As amostras incluídas para o teste de germinação foram sujeitas ao método de extração de endospermas da Acrotech e serviram de testemunha.

Os dados foram submetidos a uma análise preliminar para a verificação das pressuposições de distribuição normal e homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) dentro de cada tratamento. Para a distribuição normal, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk (TORMAN et al., 2012) e para a homocedasticidade foi aplicado o teste de Bartlett (NOGUEIRA et al., 2013).

As variáveis contínuas que apresentaram normalidade e homocedasticidade foram comparadas pelo teste t de Student (MONTGOMERY et al., 2012). Nos casos em que as pressuposições foram violadas, os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste não-paramétrico de Mann-Whitney (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Os níveis de dano mecânico observável foram dispostos em uma tabela de contingência 2 x 4 (2 métodos de despolpa x 4 níveis de dano) e foram comparados pelo teste não-paramétrico Qui-quadrado de Pearson (SIEGEL et al., 2006). Os níveis de dano não foram submetidos a nenhum teste de verificação de normalidade ou de homocedasticidade (TORMAN et al., 2012).

Os dados de germinação não apresentaram normalidade na análise preliminar, efetuou-se a transformação dos dados com a função $Y = \arcseno(y/n)^{0,5}$, onde y/n é a proporção de sucessos na germinação e Y é a variável transformada, e novamente se aplicou o teste de Shapiro-Wilk que confirmou a não normalidade mesmo para os dados transformados. Os dados então foram verificados com o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (GIBBONS et al., 2003; KATZ, et al., 1980) seguido de teste de Mann-Whitney com correção de Bonferroni para comparações múltiplas (CONOVER et al., 1979).

As variáveis força de ruptura e nível de dano foram submetidas a uma análise cruzada para a verificação de uma possível relação entre o nível de dano observado e a força de ruptura. Nesta análise, os níveis de dano foram considerados os tratamentos e a variável resposta foi a força de ruptura. Em cada tratamento, foi realizada verificação de normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para a verificação de pelo menos uma diferença significativa entre os efeitos dos tratamentos. Após a detecção de diferenças significativas, aplicou-se o teste de Mann-Whitney, neste caso, com correção de valor P para comparações múltiplas pelo método de Bonferroni.

Todos os testes estatísticos aplicados foram analisados com base em um nível de significância de 5% (PIMENTEL-GOMES, 2009) verificado por intermédio do valor-P (P-value). Todas as análises estatísticas foram efetuadas no software R Studio incorporado ao software R de código aberto (open-source)(R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3. Resultados e discussão

3.1 Força de ruptura

Na Figura 11 estão apresentados os diagramas de caixa para os dados de força de ruptura do endocarpo de macaúba para cada um dos tratamentos estudados. As forças discrepantes inferiores para o método de despolpa manual foram 0 kgf; 240,24 kgf e 305,88 kgf e foram eliminadas. A primeira delas foi originada em uma falha na leitura do aquisitor de dados, as demais, foram causadas por ruptura parcial da amostra. O mesmo ocorreu para os valores discrepantes inferiores no método de despolpa em máquina. As forças 0 kgf; 18,12 kgf; 82,32 kgf e 179,64 kgf foram removidas do conjunto de dados pelas mesmas razões. Os valores discrepantes superiores não foram removidos, pois experimentalmente, estes valores foram observados sob condições normais e apesar de possuir frequência baixa, são importantes para o estudo.

A força máxima requerida para romper endocarpo despulpado manualmente foi 998,40 kgf e para endocarpo despulpado em máquina, o valor máximo observado foi de 827,58 kgf.

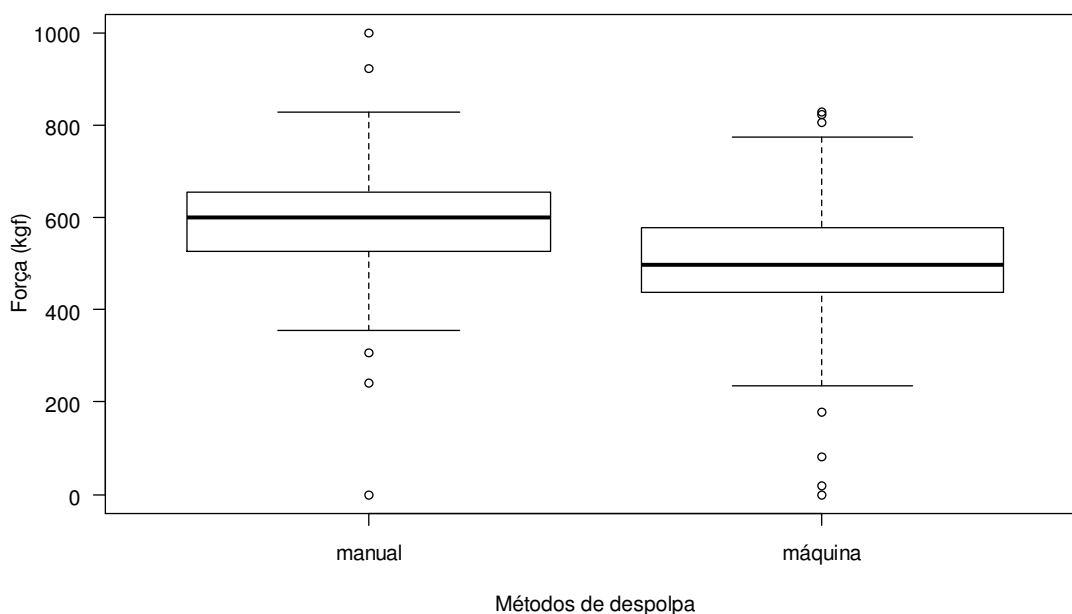


Figura 11. Diagrama box-plot para a força de ruptura: identificação de outliers.

A força média requerida para a ruptura e sua estatística descritiva estão apresentadas na Tabela 3. Os dados apresentaram distribuição normal para os métodos de despolpa em máquina e manual, pelo teste de Shapiro-Wilk com um nível

de significância de 5%. O teste de Bartlett para homogeneidade de variância resultou em valor-P igual a 0,08 que leva à aceitação da homocedasticidade ao nível de significância de 5%.

Tabela 3. Força média de ruptura de sementes de macaúba – estatística descritiva

Métodos de despolpa	Força requerida para ruptura de endocarpo				
	Força média (kgf)	Valor P (Shapiro-Wilk)	Desvio Padrão (kgf)	C.V. (%)	Wbu (%)
1 (máquina)	518,58 a	0,97	28,81	5,56	10,31
2 (manual)	605,55 b	0,71	10,48	1,73	10,36

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste t de Student a 5% de significância.
C.V. = Coeficiente de variação Wbu = Teor de umidade em base úmida (média de 100 amostras)

A força média requerida para romper o endocarpo de macaúba foi significativamente menor para as amostras despulpadas em máquina de acordo com o teste t de Student a um nível de significância de 5% (Valor P = 0,0014). A máquina de despolpa aumentou a variabilidade em relação ao método manual, o que pode ser observado comparando os coeficientes de variação da Tabela 3. Este aumento na variabilidade se torna importante em projeto de máquinas, uma vez que, flutuações maiores nos valores de força requerida para a ruptura representam elementos de máquina mais suscetíveis a falhas por fadiga (BUDYNAS et al., 2008).

A variabilidade maior, levando em conta a magnitude das forças, pode ainda exercer influência no consumo de energia de uma máquina cujo objetivo seja romper os endocarpos. Se a demanda por força aumenta, os níveis de corrente elétrica em um motor elétrico aumentam proporcionalmente e isso pode se traduzir em mais consumo de energia elétrica e conseqüentemente num maior custo operacional.

3.2 Deformação

As deformações observadas do início de aplicação da força de compressão até o instante da ruptura dos endocarpos estão expressas em dois diagramas de caixa na Figura 12.

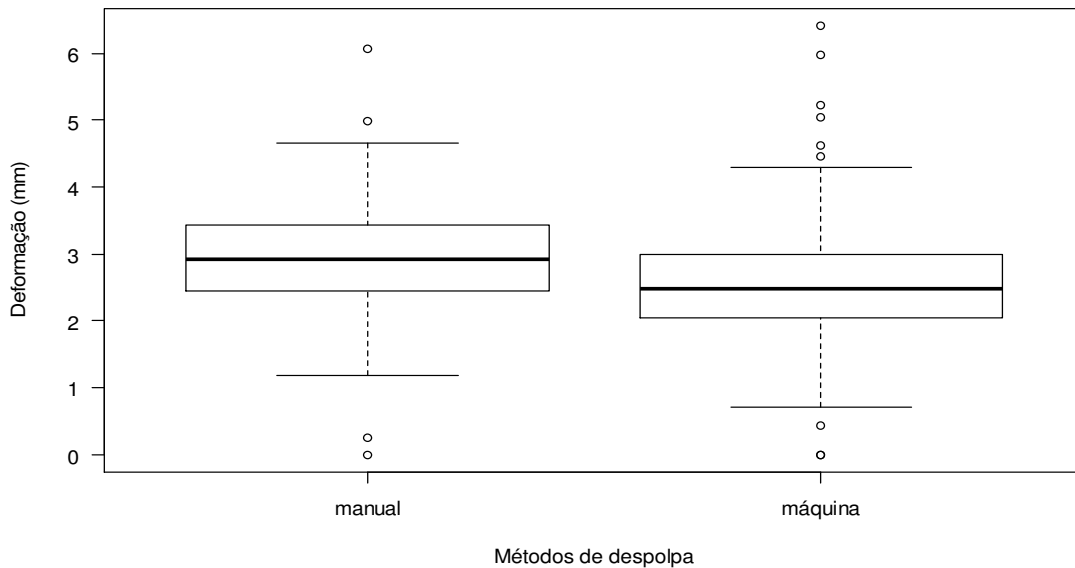


Figura 12. Diagrama box-plot para a deformação: identificação de outliers.

Os valores discrepantes inferiores para os endocarpos despolpados pelo método manual foram de 0,0 mm e 0,25 mm. Para o método de despolpa em máquina, os valores inferiores foram de 0,0 mm e 0,43 mm. Estes pontos de dados foram removidos por serem originados em deslizamentos ocorridos do transdutor de deslocamento (LVDT) em seu suporte e em falhas no sistema de aquisição de dados. Estes fenômenos foram observados no ato dos ensaios e a fixação do transdutor corrigida. Os valores discrepantes superiores para a despolpa manual foram de 4,99 mm e 6,07 mm. Para despolpa em máquina, os dados apresentaram um número relativamente maior de discrepantes, sendo esses deslocamentos de 4,45; 4,62; 5,05; 5,22; 5,98; 6,41 mm.

A maioria desses dados foi removida e isso se deu em função desses valores serem resultado do escorregamento da amostra entre as placas de compressão. Este fato explica também o número maior de dados discrepantes nas amostras despolpadas em máquina, uma vez que, ao despolpar, a máquina tornou as amostras mais escorregadias, ao passo que na despolpa manual, pequenas regiões na superfície do

endocarpo permaneceram com mesocarpo remanescente que contribuiu para uma menor incidência de escorregamentos ao longo dos ensaios de compressão.

Foram analisados os gráficos de cada ensaio onde surgiram os valores discrepantes, e nos casos em que os fenômenos explicados acima não aconteceram, os dados foram mantidos para efeito de análise (Tabela 4). Os dados do tratamento 2 não apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade (Valor P = 0,013).

Tabela 4. Deformação de sementes de macaúba – estatística descritiva

Métodos de despolpa	Deformação média observada até a ruptura de endocarpo de macaúba			
	Deformação média (mm)	Desvio Padrão (mm)	C.V. (%)	Wbu (%)
1 (máquina)	2,57	0,22	8,54	10,31
2 (manual)	2,94	0,12	4,04	10,36

As deformações para cada tratamento diferem pelo teste Mann-Whitney a 5% de significância. C.V. = Coeficiente de variação Wbu = Teor de umidade em base úmida (média de 100 amostras)

A variabilidade na deformação até a ruptura aumentou nas amostras despulpadas em máquina. As deformações foram diferentes entre as amostras despulpadas em máquina e manualmente pelo teste de Mann-Whitney com nível de significância de 5% (valor P = 0,00035). O método de despolpa manual, de um modo geral, preserva a estrutura física dos endocarpos fazendo com que sua resistência à ruptura se apresente maior em relação aos endocarpos despulpados em máquina. Isto pode explicar a deformação maior para a ruptura.

Nas amostras despulpadas mecanicamente, o endocarpo sofre constantes impactos que abalam sua estrutura e retiram material gradativamente reduzindo a espessura de sua parede. Tal redução, associada com pontos de concentração de tensões gerados pela ação das facas rotativas, fazem com que o endocarpo exija uma menor força para se romper e também uma menor deformação até a ruptura.

A fragilização dos endocarpos pelo processo mecanizado de despolpa seria benéfica para o processo de extração de endospermas desde que, seus efeitos não representassem quedas nas taxas de germinação das sementes e vigor das mudas.

3.3 Danos mecânicos

A contagem de amostras em cada nível de dano mecânico está disposta na Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição das amostras nos níveis de dano mecânico

Métodos de despolpa	Níveis de dano mecânico observáveis			
	1 (intacto)	2 (leve)	3 (médio)	4 (severo)
1 (máquina)	61(61%)	17(17%)	11 (11%)	11(11%)
2 (manual)	30(30%)	27(27%)	11 (11%)	32(32%)

O teste Qui-quadrado de Pearson apresentou valor $P = 3,869.10^{-5}$ estabelecendo diferença significativa entre os tratamentos a 5% de significância.

O teste de Qui-quadrado de Pearson apresentou valor $P = 3,869.10^{-5}$ estabelecendo diferença significativa entre os tratamentos a 5% de significância.

A proporção de amostras alocadas no nível de dano 1(Figura 13) apresentou valores mais altos nas amostras que foram submetidas ao despolpamento mecanizado. O nível de dano severo apresentou amostras oriundas do despolpamento manual com maior frequência em relação àquelas despolpadas em máquina. Analisando as Tabelas 3 e 4, nota-se a força e a deformação menores nas amostras despolpadas em máquina. Isso pode explicar a menor taxa de danos severos encontradas nessa categoria, uma vez que, a máquina de despulpa fragilizou o endocarpo facilitando a retirada do endosperma de seu interior. Uma investigação a este respeito foi realizada e os resultados estão apresentados nas tabelas 6 e 7.

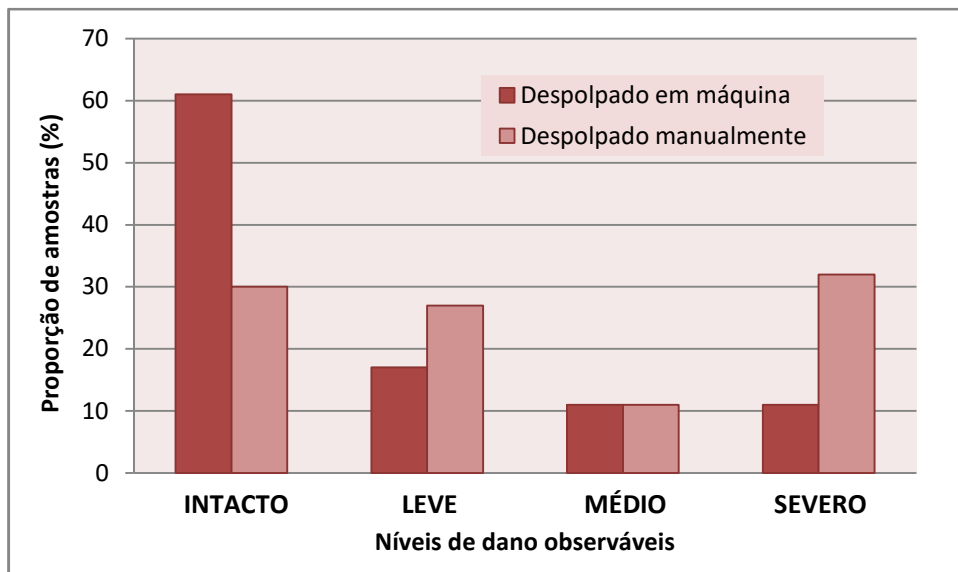


Figura 13. Proporção de amostras em cada nível de dano mecânico observável por tratamento.

A Tabela 6 apresenta as médias das forças de ruptura com base nas amostras enquadradas em cada nível de dano observado. O teste de Shapiro-Wilk para cada tratamento levou à aceitação de normalidade nos dados ao nível de significância de 5% (Valores P = 0,967; 0,902; 0,373; 0,544 para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente).

O teste de Barlett apresentou um valor P de 0,004 conduzindo à variâncias heterogêneas. Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis nos dados, verificou-se pelo menos uma diferença significativa nos tratamentos a um nível de significância de 5% (Valor P = $7,47 \cdot 10^{-12}$).

Tabela 6. Força média de ruptura e níveis de dano observados

Nível de dano	Força média de ruptura (kgf)	Desvio Padrão (kgf)	C.V.
1 (intacto)	502,11	87,44	17,42%
2 (leve)	570,00	99,96	17,54%
3 (médio)	576,54	125,26	21,73%
4 (severo)	638,49	64,42	10,09%

Existe pelo menos uma diferença significativa nos tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. C.V. = Coeficiente de variação

Na Tabela 7 se encontram os resultados do teste de Mann-Whitney aplicado para identificar em quais níveis de dano haviam diferenças significativas. O valor P indicado para cada comparação foi corrigido pelo método de Bonferroni.

Tabela 7. Resultado do teste de Mann-Whitney corrigido por Bonferroni

Tratamentos comparados	Valor P	Nível de significância	Resultado *
1 – 2 (intacto-leve)	0,016	5%	S
1 – 3 (intacto-médio)	0,014	5%	S
1 – 4 (intacto-severo)	$6,5 \cdot 10^{-12}$	5%	S
2 – 3 (leve-médio)	1,000	5%	NS
2 – 4 (leve-severo)	0,004	5%	S
3 – 4 (médio-severo)	0,147	5%	NS

* S = Difere significativamente NS = Não difere significativamente

Os dados das Tabelas 6 e 7 sugerem que os endospermas extraídos com forças menores apresentam uma maior probabilidade de apresentar baixo nível de dano mecânico. Ao exigir uma força de ruptura mais alta, o endosperma é esmagado com mais facilidade (na compressão por placas paralelas) já que, no instante em que se rompe, o endocarpo libera a placa de compressão (mandíbula móvel) para avançar contra o endosperma.

A ruptura ocorre, frequentemente, seguida da penetração de fragmentos do endocarpo na superfície do endosperma. Para a execução da ruptura do endocarpo com maior preservação da integridade física do endosperma, se faz necessária a implementação de um sistema de controle da força aplicada, no caso de placas paralelas, ou até mesmo o desenvolvimento de um mecanismo de ruptura com geometria que minimize os efeitos pós ruptura.

3.4 Germinação

Os resultados da contagem de endospermas germinados estão apresentados na Tabela 8. Os dados não apresentaram distribuição normal para o tratamento 2 pelo teste de Shapiro-Wilk com nível de significância de 5% (Valor P = 0,0001).

O teste de Kruskal-Wallis apresentou pelo menos uma diferença significativa para os tratamentos com um nível de significância de 5% (Valor P = 0,002).

Tabela 8. Número de sucessos na germinação para cada tratamento

Métodos de despolpa	Número de sementes germinadas
1 (máquina)	4 a
2(manual)	23 b
3 (Acrotech)	45 c

Valores seguidos de letras distintas diferem significativamente pelo teste de Mann-Whitney a 5% de significância.

O teste de Mann-Whitney apresentou valores P, corrigidos por Bonferroni, iguais a 0,028; 0,033 e 0,028 para as comparações de tratamentos 1 e 2; 1 e 3; e 2 e 3, respectivamente, estabelecendo diferença entre todos os tratamentos a 5% de significância.

Em cada tratamento, 100 amostras foram submetidas ao processo de germinação, das amostras despulpadas em máquina, apenas 4% germinaram mesmo as amostras apresentando 61% de endospermas intactos. O processo de despolpa manual apresentou um percentual de germinação maior, apesar de ser um processo que apresentou altas frequências de dano severo. Na figura 14 é possível observar três sementes que germinaram, das quais, duas apresentam dano mecânico nível 3 (médio). Isso pode ser uma indicação de que os níveis de dano mecânico visíveis podem não ser um fator determinante na taxa de germinação de macaúba.

A influência do método de despolpa sobre a germinação pode estar ligada ao dano interno, causado ao embrião. Este dano é impossível de ser observado a olho nú e por este motivo, na mecanização dos processos cujo objetivo é gerar mudas de macaúba com maior produtividade e qualidade, se faz necessário um cuidado maior por parte do projetista no que tange ao desenvolvimento de uma máquina para despolpa.

Durante a realização da despolpa manual na realização deste trabalho, observou-se que o óleo do mesocarpo (polpa) dificulta sobremaneira a retirada do mesmo. A execução da retirada utilizando um ralador imerso em água apresentou maior facilidade e rapidez no despulpamento manual.



Figura 14. Sementes danificadas que germinaram.

As amostras submetidas ao processo de extração de endospermas da Acrotech apresentaram um número maior de sucessos na germinação. Isso pode ser devido ao processo de retirada dos endospermas que é executado sem a realização de despolpa. Além disso, a empresa seleciona as amostras (endospermas) a serem encaminhados para os testes de germinação. Tal seleção se dá por análise visual de danos mecânicos visíveis, onde as amostras danificadas são descartadas.

Os dados indicam haver influência dos processos de despolpa na taxa de germinação da macaúba. A despolpa em máquina, por submeter os endocarpos a constantes impactos, abala o embrião localizado no interior do endosperma inviabilizando grande parte das sementes. Nada se pode afirmar quanto à influência dos níveis de dano na germinação pelo método Acrotech, uma vez que não foi realizado testes com amostras danificadas oriundas do lote testemunha

3.5 Gráficos força-deformação

Foram selecionadas 6 curvas de força contra deformação entre os dados de amostras cujo processo de despolpa foi em máquina (Figura 15). As amostras A37 e A108 apresentaram curvas características de materiais frágeis, todavia, esse não foi o

padrão observado na maioria das amostras. As amostras A13, A144 e A153 apresentam curvas típicas da maioria das observações, nota-se inclusive, que os valores de força máxima na ruptura e de deslocamento estão bem próximos dos valores médios encontrados. A amostra A111 apresentou uma curvatura atípica em relação às demais, porém, não foi a única a apresentar este perfil. Esta amostra possuía dois endospermas em seu interior, essa poderia ser a causa dessa curvatura atípica.

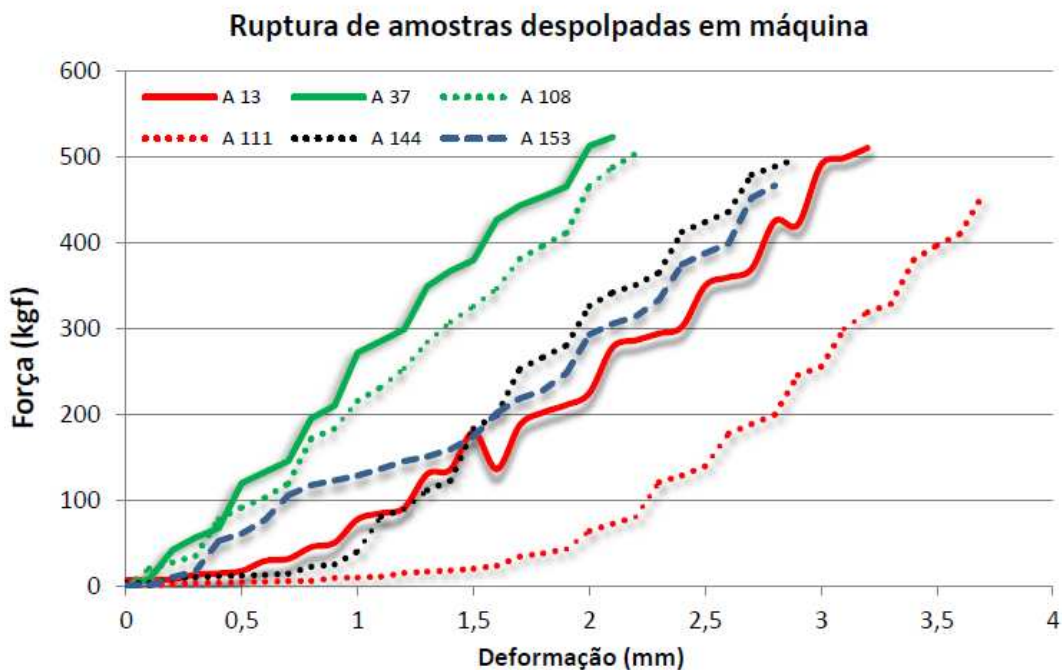


Figura 15. Curvas força-deformação para amostras despulpadas em máquina. A 13 = amostra 13, A 37 = amostra 37 e etc.

Não foi possível observar pontos de bioescoamento, portanto, o endocarpo sob compressão comporta-se como um material de baixa ductilidade. Comparando com a figura 7, a amostra A13 ao atingir deformação próxima a 1,5mm apresentou uma redução brusca na força, isso porém, não deve ser entendido como um ponto de bioescoamento, uma vez que a causa dessa distorção na curva foi uma acomodação do corpo entre as placas de compressão da máquina.

Foram selecionadas 6 curvas de força contra deformação entre os dados de amostras cujo processo de despulpa foi manual (Figura 16).

Ruptura de amostras despolpadas manualmente

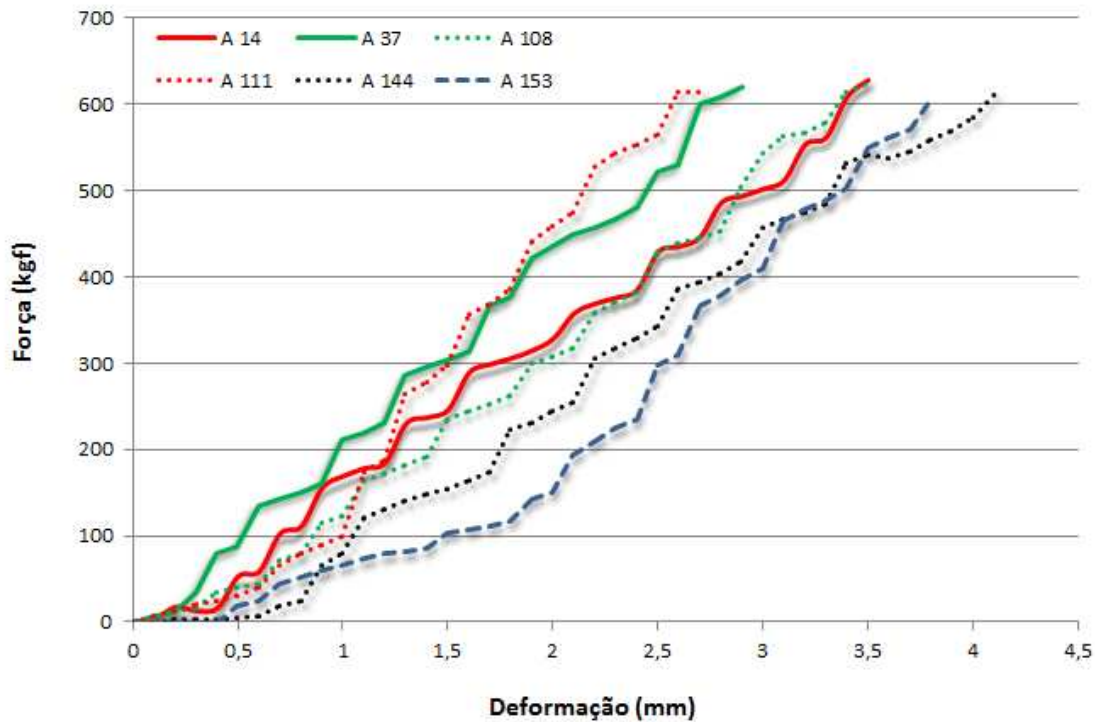


Figura 16. Curvas força-deformação para amostras despolpadas manualmente. A 13 = amostra 13, A 37 = amostra 37 e etc.

Analisando o gráfico da figura 16 chega-se a conclusão que as curvas possuem um padrão na sua forma, a evolução da força em função do deslocamento não apresenta variações como pode-se observar na figura 15. As forças requeridas para a ruptura, bem como as deformações são, de um modo geral, maiores em relação ao apresentado para as amostras despolpadas em máquina.

4. Conclusões

Com base nas condições sob as quais este trabalho foi realizado, concluiu-se que:

- O método de despolpa do endocarpo de macaúba interfere na força requerida para a ruptura;
- O despulpamento na máquina estudada diminuiu a força requerida para romper o endocarpo;
- A máquina de despolpa aumentou a variabilidade da força requerida para a ruptura dos endocarpos de macaúba;
- Os métodos de despolpa estudados influenciaram na deformação requerida para a ruptura dos endocarpos de macaúba;
- O método de despolpa interferiu no dano mecânico observável;
- A realização do despulpamento na máquina estudada reduziu os níveis de dano mecânico observáveis;
- Forças de rupturas maiores danificaram mais o endosperma extraído na compressão por placas paralelas;
- O endocarpo de macaúba, sob compressão, se comporta como um material frágil;
- O despulpamento realizado na máquina estudada diminuiu a taxa de germinação.
- O dano mecânico observável não é fator determinante para a viabilidade da semente, outros fatores como por exemplo, o impacto mecânico podem abalar o embrião e inviabilizar a germinação.

Diante das conclusões deste estudo, é notória a necessidade de desenvolvimento de um mecanismo eficiente de classificação, despolpa e ruptura do endocarpo de macaúba com objetivo de extrair o endosperma mantendo sua viabilidade como semente.

5. Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, E.F.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C.; ARAÚJO, R.F. **Qualidade Fisiológica De Sementes De Milho-Doce Submetidas À Debulha, Com Diferentes Graus De Umidade.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 101-110, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, DF, 1992. 365p.
- BUDYNAS, R.G.; NISBETT J.K. **Shigley's Mechanical Engineering Design.** 9th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2008.
- CALLEGARI-JACQUES SM. **Bioestatística princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artmed; 2003.
- CARVALHO, F.M. **Influência Da Temperatura Do Ar De Secagem E Da Utilização Do Ácido Etilenodiaminotetracético Na Qualidade Do Óleo E Caracterização Do Fruto De Macaúba.** Dissertação (Mestrado em Armazenagem de produtos agrícolas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia E Produção.** 4. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2000. 588 p.
- CONOVER, W. J. AND IMAN, R. L. **On Multiple-Comparisons Procedures.** Technical Report LA-7677-MS, Los Alamos Scientific Laboratory, 1979.
- GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric statistical inference.** 4 ed. New York: Marcel Dekker, 2003
- KATZ, B. M.; MCSWEENEY, M. **A multivariate Kruskal-Wallis test with post hoc procedures.** Multivariate Behavioral Research, 15, p. 281-297, 1980.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; **Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros.** Ed.: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 5ª ED. 2012
- NOGUEIRA D.A.; PEREIRA G.M. **Desempenho de testes para homogeneidade de variâncias em delineamentos inteiramente casualizados.** Sigmae, Alfenas, v.2, n.1, p. 7-22. 2013.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso De Estatística Experimental.** Piracicaba FEALQ: 15ª Ed. 2009
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language And Environment For Statistical Computing.** Vienna: Austria R Foundation for Statistical Computing, 2012.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JR, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento.** 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 448 p.

TORMAN V.B.L.; COSTER R.; RIBOLDI J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação.** Porto Alegre, RS:Revista HCPA: 32(2): 227-234p. 2012.

VILLIBOR, G.P.; LISBOA, B.H.M.; JUNIOR, J.K.K.; PINTO, F.A.C. **Machine design parameters: rupture force and displacement of macaw palm endocarp.** Rio de Janeiro:23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering, 2015.