



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**AMANDA KAROLINY FERNANDES RAMOS**

**SEMENTES DE ESPÉCIES DA CAATINGA CONTIDAS EM CIBALAS DE  
CAPRINOS E OVINOS: QUALIDADE E USO DA TÉCNICA DE RAIOS X**

**AREIA**

**2023**

**AMANDA KAROLINY FERNANDES RAMOS**

**SEMENTES DE ESPÉCIES DA CAATINGA CONTIDAS EM CIBALAS DE  
CAPRINOS E OVINOS: QUALIDADE E USO DA TÉCNICA DE RAIOS X**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Universidade Federal da Paraíba, como  
parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, para obtenção  
do título de Mestre.

**Orientador (a):** Prof. (a) Riselane de  
Lucena Alcântara Bruno

**AREIA**

**2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

R175s Ramos, Amanda Karoliny Fernandes.

Sementes de espécies da caatinga contidas em cibalas de caprinos e ovinos: qualidade e uso da técnica de raios X / Amanda Karoliny Fernandes Ramos. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

82 f. : il.

Orientação: Riselane de Lucena Alcântara Bruno.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Espécies florestais. 3. Qualidade fisiológica. 4. Pequenos ruminantes. 5. Técnicas radiográficas. I. Bruno, Riselane de Lucena Alcântara. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

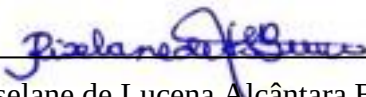
AMANDA KAROLINY FERNANDES RAMOS

**SEMENTES DE ESPÉCIES DA CAATINGA CONTIDAS EM CIBALAS DE  
CAPRINOS E OVINOS: QUALIDADE E USO DA TÉCNICA DE RAIOS X**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Universidade Federal da Paraíba, como  
parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, para obtenção  
do título de Mestre.

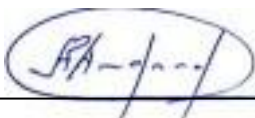
APROVADA: 08/09/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



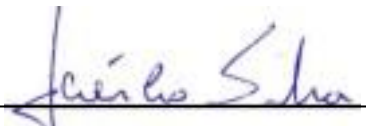
---

Profa Dra Riselane de Lucena Alcântara Bruno (Orientadora)  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



---

Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade  
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFRPE)



---

Prof. Dr. Laércio Junio da Silva  
Universidade Federal de Viçosa (UFV)



---

Prof. Dr. Márcio Dias Pereira  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

**Amanda Karoliny Fernandes Ramos**, filha de Carlos Alberto Ramos da Silva e Neide Fernandes, nasceu no dia 09 de agosto de 1996, na cidade de Natal, RN.

No ano de 2014 concluiu o ensino médio integrado com o curso de Técnico em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Ipanguaçu, RN. Iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica em fevereiro de 2016, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, concluindo em janeiro de 2021. Em março do mesmo ano, iniciou o Mestrado na Universidade Federal da Paraíba, PB, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, Campus II, na área de Agricultura Tropical, linha de pesquisa: Ciência e Tecnologia de Sementes, Bioquímica e Fisiologia Pós-colheita.

Às minhas queridas mãe e avó, **Neide e Terezinha**.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção, força e fé em todos os momentos, principalmente nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal da Paraíba e ao Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade Federal de Viçosa por todo apoio e pela oportunidade de realização da mobilidade acadêmica conjuntamente ao desenvolvimento de parte desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa.

À professora Riselane de Lucena Alcântara Bruno, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, apoio e amizade.

Ao professor Laércio Junio da Silva, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, apoio e amizade.

À professora Denise Cunha Fernandes dos Santos, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho.

Ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), que concedeu as sementes.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia.

Aos integrantes do Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal da Paraíba que ajudaram na condução dos experimentos.

A todos os integrantes do GSem (Grupo de Estudos em Tecnologia de Sementes) da Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Wanderson Andrade Xavier, pela ajuda na condução dos experimentos, companheirismo e amizade.

À minha família, em especial às minhas queridas e amadas, mãe Neide Fernandes e avó Terezinha Maria Fernandes, meus maiores exemplos de força e coragem feminina. Ao meu avô Geraldo Fernandes homem íntegro e de garra. À minha madrinha/ mãe Zeneide Fernandes de Lima, mulher forte que sempre me falou palavras doces e de incentivo. Obrigada pelas palavras de incentivo, carinho e apoio, sem vocês eu não teria chegado até aqui. Eu amo muito vocês!!!

Aos meus irmãos, Maria Izabel, Hélio Thobias e Felipe Fernandes por todo apoio e palavras de incentivo durante minha caminhada.

Ao Laerton Pessoa, meu noivo e amigo. Obrigada pelas sábias palavras, companheirismo, paciência, por compartilhar a vida ao meu lado, por dividir momentos alegres e difíceis, pelos cuidados, incentivo, amor, por tudo! Muito obrigada, meu amor!

À minha querida tia Fernanda Maria de Santana (*In memorian*) que foi uma das minhas maiores incentivadoras, responsável pela paixão que eu descobri pela Agronomia.

Aos meus amigos Kerolayne, Luan Borges, Diego Oliveira, Laura Helena, Felipe Martins, Bruno Fernandes, Júlia Soares, Tainara Maciel Felipe Quevedo, Marcelo Limão, Geovana Queiroz, pelo companheirismo e amizade, e por acreditarem em minha capacidade, muitas vezes, mais que eu mesma.

A todos que acreditam na ciência.

Meus mais sinceros agradecimentos!

## RESUMO

A utilização de metodologias inovadoras e a inclusão de análises não destrutivas na avaliação da qualidade de sementes florestais tem sido promissora para o desenvolvimento da produção florestal. Com isso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência do teste de raios X em sementes florestais da Caatinga e sua relação com a qualidade fisiológica das sementes antes e após a passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos. O estudo foi realizado por meio da análise radiográfica das sementes antes e após a passagem pelo sistema digestório dos pequenos ruminantes, para as quais foram obtidas medidas de área, perímetro, circularidade, densidade relativa e densidade integrada das sementes. As sementes foram submetidas ao teste de germinação, em que se extraíram as variáveis germinação, protrusão radicular, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de protrusão radicular, tempo para atingir 50% de germinação, tempo médio de germinação, velocidade média de germinação, comprimento de plântulas, índice de uniformidade, crescimento e vigor, massa seca de parte aérea, parte radicular e total. A utilização de imagens radiográficas é eficiente na avaliação da morfologia interna das sementes de espécies florestais da Caatinga e as variáveis obtidas indicam relação com a qualidade fisiológica das sementes. Além disso, o raios X é uma técnica fácil, rápida, não destrutiva e gratuita.

**Palavras-chave:** dormência; espécies florestais; qualidade fisiológica; semiárido; pequenos ruminantes; técnicas radiográficas.



## ABSTRACT

The use of innovative methodologies and the inclusion of non-destructive analyzes in assessing the quality of forest seeds has been promising for the development of forestry production. Thus, the objective of this research was to evaluate the efficiency of the X-ray test in Caatinga forest seeds and its relationship with the physiological quality of the seeds before and after passing through the digestive system of goats and sheep. The study was carried out through radiographic analysis of the seeds before and after passing through the digestive system of small ruminants, for which measurements of area, perimeter, circularity, relative density and integrated density of the seeds were obtained. The seeds were submitted to the germination test, in which the variables germination, root protrusion, first germination count, root protrusion speed index, time to reach 50% of germination, average germination time, average germination speed, seedling length, uniformity index, growth and vigor, shoot, root and total dry mass. The use of radiographic images is efficient in the evaluation of the internal morphology of the seeds of forest species in the Caatinga and the variables obtained indicate a relationship with the physiological quality of the seeds. In addition, X-rays are an easy, fast, non-destructive and free technique.

**Keywords:** numbness; forest species; physiological quality; semiarid; small ruminants; radiographic techniques.

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

Figura 1 - A - Número acumulado de sementes de *L. leucocephala*, recuperadas dos caprinos e ovinos; B - Recuperação de sementes, após a passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos .....32

Figura 2 - A - Mapa de calor obtido a partir das características fisiológicas (germinação – GER; primeira contagem de germinação – PCG; índice de velocidade de germinação – IVG; tempo médio de germinação – TMG; velocidade média de germinação – VMG; sementes duras – SD; sementes mortas – SM; comprimento de plântulas – CPL; massa seca de parte aérea – MSPA; massa seca de raiz – MSR; massa seca total - MST) em fator do tempo de recuperação das sementes de *L. leucocephala*. B – Círculo de correlações das variáveis fisiológicas e dos períodos de recuperação. C – *Biplot* da Análise de Componentes Principais. ....35

Figura 3 - A – Número acumulado de sementes de *P. moniliformis* recuperadas dos caprinos e ovinos; B – Recuperação de sementes após a passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos .....38

Figura 4 - A - Mapa de calor obtido a partir das características fisiológicas (germinação – GER; primeira contagem de germinação – PCG; índice de velocidade de germinação – IVG; tempo médio de germinação – TMG; velocidade média de germinação – VMG; sementes duras – SD; sementes mortas – SM; comprimento de plântulas – CPL; massa seca de parte aérea – MSPA; massa seca de raiz – MSR; massa seca total - MST) em fator do tempo de recuperação das sementes de *P. moniliformis*. B – Círculo de correlações das variáveis fisiológicas e dos períodos de recuperação. C – *Biplot* da análise de componentes principais. ....40

### Capítulo II

Figura 1 - Radiografias de sementes de *Senna spectabilis*: semente bem formada (A) semente danificada mecanicamente (B) e má formação da semente (C). ..... 54

Figura 2 - Radiografias de sementes de *Pytirocarpa moniliformis*: semente bem formada (A) e presença de inseto (B). ..... 54

Figura 3 - Radiografias de sementes de *Caesalpinia pyramidalis*: semente bem formada (A) má formação da semente (B) e semente infectada por fungo (C). ..... 54

Figura 4 - Radiografias de sementes de *Caesalpinia ferrea*: semente bem formada (A), presença de inseto (B) má formação da semente (C). ..... 55

Figura 5 - Radiografias de sementes de *Mimosa verrucosa*: semente bem formada (A) semente infectada por fungo (B) e presença de inseto (C). ..... 55

Figura 6 - Radiografias de sementes de *Mimosa tenuiflora*: semente bem formada (A) má formação da semente (B) e presença de inseto (C). ..... 55

Figura 7 - Radiografias de sementes de *Desmanthus virgatus*: semente bem formada (A) má formação da semente (B) e presença de inseto (C). ..... 55

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 8 - Radiografias de sementes de <i>Leucena leucocephala</i> : semente bem formada (A) e presença de inseto (B). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 56 |
| Figura 9 - Radiografias de sementes de <i>Combretum leprosum</i> : semente bem formada (A) e danificada mecanicamente (B). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 56 |
| Figura 10 - Radiografias de sementes de <i>Caesalpinia ferrea</i> : semente bem formada (A), semente danificada mecanicamente (B) e má formação da semente (C). .....                                                                                                                                                                                                                                               | 56 |
| Figura 11 - Radiografias de sementes de <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> : semente bem formada (A) e presença de inseto (B). .....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 57 |
| Figura 12 - Variáveis físicas de sementes de <i>P. moniliformis</i> em cada tempo de excreção pelos caprinos obtidas por meio do ImageJ®: A – Área (mm <sup>2</sup> ); B – Perímetro (mm); C - Circularidade; D - Solidez; E - Raio; F - Desvio padrão da intensidade de pixels; G - Densidade integrada (cinza.mm <sup>2</sup> .pixel <sup>-1</sup> ) e H - Densidade relativa (cinza.pixel <sup>-1</sup> ). ..... | 64 |
| Figura 13 - Variáveis físicas de sementes de <i>P. moniliformis</i> em cada tempo de excreção pelos ovinos obtidas por meio do ImageJ®. A – Área (mm <sup>2</sup> ); B – Perímetro (mm); C- Circularidade; D – Desvio Padrão da Intensidade de Pixels; E - Raio; F - Densidade relativa (cinza.pixel <sup>-1</sup> ); G - Densidade integrada (cinza.mm <sup>2</sup> .pixel <sup>-1</sup> ); H - Solidez .....      | 67 |
| Figura 14 - Variáveis físicas de sementes de <i>L. leucocephala</i> em cada tempo de excreção pelos caprinos obtidas por meio do ImageJ®. A – Área (mm <sup>2</sup> ); B – Perímetro (mm); C - Circularidade; D - Desvio padrão da Intensidade de Pixels; E - Raio; F - Densidade relativa (cinza.pixel <sup>-1</sup> ); G - Densidade integrada (cinza.mm <sup>2</sup> .pixel <sup>-1</sup> ); H - Solidez .....   | 69 |
| Figura 15 - Variáveis físicas de sementes de <i>L. leucocephala</i> em cada tempo de excreção pelos ovinos obtidas por meio do ImageJ®. A – Área (mm <sup>2</sup> ); B – Perímetro (mm); C -Circularidade; D - Desvio padrão da intensidade de pixels; E - Solidez; F - Raio; G -Densidade relativa (cinza.pixel <sup>-1</sup> ); H - Densidade integrada (cinza.mm <sup>2</sup> . Pixel <sup>-1</sup> ). .....     | 72 |

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo I

Tabela 1 Variáveis de qualidade fisiológica das sementes de *Leucaena leucocephala* excretadas em cada período pelos caprinos e ovinos ..... 33

Tabela 2 Variáveis de qualidade fisiológica das sementes de *Pityrocarpa moniliformis* excretadas em cada período pelos caprinos e ovinos. .... 38

### Capítulo II

Tabela 1 Descrição das variáveis utilizadas no processamento digital de imagens em sementes arbóreas provenientes da Caatinga ..... 50

Tabela 2 Teor de água das sementes das 10 espécies nativas da Caatinga ..... 53

Tabela 3 Valores médios das variáveis físicas obtidas por meio da análise automatizada de imagens radiográficas de 10 espécies nativas da Caatinga ..... 57

Tabela 4 Valores médios dos dados obtidos na avaliação do potencial fisiológico de sementes de 10 espécies nativas da Caatinga ..... 60

Tabela 5 Valores médios dos dados obtidos na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de 10 espécies nativas da Caatinga ..... 62

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                                                                                                      | <b>13</b> |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                                                                                                                                                          | <b>15</b> |
| 2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE AS ESPÉCIES .....                                                                                                                                                                   | 15        |
| 2.1.1 <i>Caesalpinia ferrea</i> Mart... ..                                                                                                                                                                    | 15        |
| 2.1.2 <i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tull.....                                                                                                                                                                | 15        |
| 2.1.3 <i>Combretum leprosum</i> Mart.....                                                                                                                                                                     | 16        |
| 2.1.4 <i>Desmanthus virgatus</i> Lam. ....                                                                                                                                                                    | 17        |
| 2.1.5 <i>Leucaena leucocephala</i> Lam. ....                                                                                                                                                                  | 17        |
| 2.1.6 <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth. ....                                                                                                                                                             | 18        |
| 2.1.7 <i>Mimosa tenuiflora</i> Willd. ....                                                                                                                                                                    | 18        |
| 2.1.8 <i>Mimosa verrucosa</i> Benth.....                                                                                                                                                                      | 19        |
| 2.1.9 <i>Pityrocarpa moniliformis</i> Benth. ....                                                                                                                                                             | 20        |
| 2.1.10 <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H. S. Irwin & Barneby.....                                                                                                                                              | 20        |
| 2.2 DORMÊNCIA DE SEMENTES .....                                                                                                                                                                               | 20        |
| 2.3 ESCARIFICAÇÃO QUÍMICA ATRAVÉS DO<br>SISTEMADIGESTÓRIO... ..                                                                                                                                               | 21        |
| 2.4 TESTE DE RAIOS X.....                                                                                                                                                                                     | 22        |
| 2.5 IMAGEJ® .....                                                                                                                                                                                             | 23        |
| <b>3 CAPÍTULO I. GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE <i>Leucaena leucocephala</i><br/>Lam. E <i>Pityrocarpa moniliformis</i> Benth. APÓS A PASSAGEM PELO SISTEMA<br/>DIGESTÓRIO DE PEQUENOS RUMINANTES.....</b> | <b>25</b> |
| RESUMO.....                                                                                                                                                                                                   | 25        |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                                              | 26        |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                                                                                      | 27        |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                                                                  | 31        |
| CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                                                               | 42        |
| <b>4 CAPÍTULO II. USO DO TESTE DE RAIOS X PARA A AVALIAÇÃO DA<br/>QUALIDADEDE SEMENTES DE<br/>ESPÉCIES ORIUNDAS DA<br/>CAATINGA.....</b>                                                                      | <b>43</b> |
| RESUMO.....                                                                                                                                                                                                   | 43        |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                                              | 44        |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                                                                                      | 46        |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                                                                  | 51        |
| CONCLUSÕES.....                                                                                                                                                                                               | 69        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                                                                                                                       | <b>70</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A sobrevivência e o desenvolvimento de espécies florestais dependem de inúmeros fatores extrínsecos e intrínsecos, os quais ocasionam efeitos no potencial germinativo das sementes ao longo do tempo (BAREKE, 2018). Dentre estes fatores, está a dormência, que pode ser caracterizada em fisiológica, morfológica, morfofisiológica, química e física, sendo esta última representada por tegumento rígido restritivo, capaz de inibir a embebição e a oxigenação da semente mesmo em condições favoráveis (BASKIN e BASKIN, 2014; ALMEIDA, 2016).

Com isso, uma estratégia eficaz que possibilita a sobrevivência de espécies da Caatinga em determinado tempo e espaço, é a endozoocoria, processo que ocorre por meio da passagem das sementes pelo sistema digestório de animais (DELIBES, CASTAÑEDA e FEDRIANI, 2019; MUÑOZ-GALLEGO, TRAVESET e FEDRIANI, 2019). Este processo pode ser denominado parcial ou regurgitação, em que as sementes inseridas são regurgitadas, ou total, onde os diásporos são ingeridos e posteriormente excretados (MUÑOZ-GALLEGO, TRAVESET e FEDRIANI, 2019).

Com isso, o sucesso na passagem das sementes pelo sistema digestório pode afetar a aptidão das plantas, apresentando importância no comportamento germinativo e na sobrevivência das espécies. No entanto, para garantir o estabelecimento das plântulas em campo, alguns fatores quantitativos e qualitativos são importantes para o processo de germinação. Por isso, é necessário conhecer os aspectos ecofisiológicos das sementes após sua passagem pelo sistema digestório dos animais, facilitando a compreensão do estabelecimento das plântulas no Caatinga (ALBERT et al., 201).

Dessa forma, para obtenção do estande de plântulas, é necessário garantir a qualidade das sementes, maximizando o potencial produtivo das espécies no campo (JAVORSKI et al., 2018). Assim, o teste de germinação é um método certo e confiável, utilizado na avaliação da qualidade fisiológica de lotes, considerado padrão nas empresas sementeiras (BRASIL, 2009). No entanto, é um teste demorado, subjetivo e que requer profissionais qualificados para sua realização. Por isso, faz-se necessário utilizar testes complementares, para tornar o resultado consistente.

Com o avanço das tecnologias, foram desenvolvidas técnicas promissoras para avaliação da qualidade de sementes, como o teste de raios X, técnica rápida, robusta, menos subjetiva e precisa. Esta técnica é capaz de fornecer informações para caracterização da morfologia interna dos lotes, como anormalidades embrionárias, malformações, preenchimento interno, danos mecânicos e ataques por insetos, muitas vezes correlacionados com os atributos

fisiológicos, como vigor (ARRUDA et al., 2016). Ainda, o avanço no uso de softwares, baseado no processamento digital de imagens, tem otimizado a automatização das análises radiográficas de sementes.

Diante da importância e potencialidade que as espécies mencionadas apresentam para a conservação de áreas degradadas de regiões da Caatinga, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência do teste de raios X em sementes florestais da Caatinga e sua relação com a qualidade fisiológica das sementes antes e após a passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE AS ESPÉCIES

#### 2.1.1 *Caesalpinia ferrea* Mart.

A *Caesalpinia ferrea* C. é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, anteriormente classificada como *Libidibia ferrea*, conhecida popularmente como jucá ou pau-ferro. A planta apresenta de 10 a 20 metros de altura, dependendo do ambiente (FERREIRA et al. 2019), cuja ocorrência natural é no Cerrado e Mata pluvial Atlântica no Sudeste, além da Caatinga no Norte e Nordeste do país (QUEIROZ, 2009; RODRIGUES et al., 2012;).

Dentre seus usos, a *C. ferrea* é recomendada para arborização de áreas urbanas, construção civil e marcenaria (LORENZI, 2013). Além disso, por ser uma árvore tolerante à escassez de água, é potencialmente utilizada na recuperação de áreas degradadas em programas de reflorestamento ou como vegetação marginal dos cursos de água, no controle da erosão e o do assoreamento dos rios (SANTOS, SOUZA e SILVA-MANN, 2012; LORENZI, 2020).

Também é utilizada na produção de extratos aquosos a partir de suas cascas, folhas, frutos e sementes na medicina, por meio de chás, xaropes, e ainda, em práticas terapêuticas como cicatrizante, anti-inflamatório, homeostático, antisséptico, distúrbios respiratórios, reumatismo e gastrite, entre outros (BUENO et al., 2009; LEAL et al., 2019; SACRAMENTO, MARTINS-FILHO e REIS, 2019; SANTOS et al., 2019).

As sementes da *C. ferrea* são ortodoxas e apresentam dormência tegumentar, processo capaz de influenciar a absorção de água pela semente (NOGUEIRA et al., 2010). Este fator atua de maneira estratégica na garantia de sua sobrevivência, contribuindo para a melhor distribuição da germinação em determinado tempo e espaço, de modo que, ocasione limitação à sua propagação e ao cultivo dessa espécie em larga escala (ARAÚJO, SILVA e FERRAZ, 2018).

#### 2.1.2 *Caesalpinia pyramidalis* Tull.

A *Caesalpinia pyramidalis* Tull., é uma espécie arbustiva pertencente à família Fabaceae, anteriormente conhecida como *Poincianella pyramidalis* Tul., é popularmente conhecida como catingueira, catingueira-verdadeira, pau-de-rato ou caatinga-de-porco (MAIA-SILVA et al., 2012). É uma espécie que apresenta rápido crescimento, podendo atingir até 9 metros de altura, cuja ocorrência predominante é no bioma Caatinga (OLIVEIRA et al, 2016a; 2016b).



Dentre seus usos, a *C. pyramidalis* é recomendada para diversas finalidades, como recuperação de áreas degradadas e forragem para alimentação animal, além de ser utilizada na produção de combustível, matéria-prima na construção e uso medicinal (CHAVES et al., 2016). As cascas, folhas, flores e raízes são utilizadas na medicina tradicional na forma de decocção e infusão para a terapia de gastrite, cólica, diarreia, asma, bronquite, diabetes, inflamação, e ainda apresenta funções cicatrizantes (CARTAXO et al., 2010; GONÇALVES et al., 2013).

As sementes de *C. pyramidalis*, assim como a maior parte das leguminosas, apresentam heterogeneidade ocasionada pela dormência física, que aumenta as chances de sobrevivência da espécie, e consequentemente, as análises de sementes em laboratório e a produção de mudas da espécie em viveiro florestal são prejudicadas. Uma vez que, embora as condições sejam ideais e o ambiente esteja favorável, ocorre a redução da germinação e desuniformidade do estande de mudas (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012; MACHADO et al., 2016).

### **2.1.3 *Combretum leprosum* Mart.**

A *Combretum leprosum* Mart. é uma planta semidecídua, heliófita, seletiva xerófito, que pode atingir até 15 metros de altura. É conhecida popularmente como mofumbo, cipoaba e carne-de-vaca (MARQUETE e LOIOLA, 2014). Esta espécie é considerada um arbusto escandente, que pode atingir até 15 m de altura e tem características semidecíduas, heliofíticas e xerofíticas seletivas (LORENZI, 2009).

É utilizada na melhoria das condições de solo, além de contribuir na conservação e estabelecimento de outras espécies na recuperação de áreas degradadas, também é uma planta facilitadora para o processo de sucessão na vegetação da Caatinga brasileira (VIEIRA, 2013). Ainda, apresenta potencial madeireiro, sendo utilizada na fabricação de caixotaria, miolo de compensados e lenha. Além de apresentar potencial na produção apícola (LORENZI, 2009).

As flores são apícolas (LORENZI, 2009) e juntamente com as folhas, são utilizadas pela medicina popular para contenção de sangramentos, prevenção de erupções cutâneas, limpeza e cura de feridas, além de atuar como sedativo, expectorante e anti-inflamatório (HORINOUCI et al., 2013). Ainda, há estudos mostrando o potencial desta espécie na farmacologia, tendo em vista que, a casca de seu tronco e a raiz são utilizadas na produção de extratos etanólicos que possuem atividade gastroprotetora e relaxante torácica (ALVES-FILHO et al., 2015).

### **2.1.4 *Desmanthus virgatus* Lam.**

A *Desmanthus virgatus* Lam. é uma espécie subarborescente, herbácea, pertencente à Família Fabaceae, e conhecida popularmente como jureminha ou jurema. A planta pode chegar a até 2 metros de altura (MOREIRA, 2017).

Dentre seus usos, a *D. virgatus* pode ser utilizada como papel biológico e fonte de nitrogênio, além de ser utilizada na adubação verde (FONTENELE et al., 2009). Esta espécie é recomendada para reflorestamento, por causa de sua capacidade de adaptação natural às regiões de estiagem prolongada (CAVALCANTE, 2010). Também, pode ser utilizada como banco de proteínas ou consórcio com gramíneas (FIGUEIREDO et al., 2000). Apresenta potencial como alimentação para ruminantes (CALADO et al., 2016) e na recuperação de áreas degradadas, como planta de cobertura de solo e espécie sucessiva (SOUZA, 2005).

As sementes da *D. virgatus* apresentam a epiderme e a camada paliçada impermeáveis à água, as paredes são mais espessas (hipodérmica) sobre a maior parte da área da testa, capazes de amortecer impactos e diminuir os riscos de fraturas na camada paliçada (HOPKINSON e ENGLISH, 2004), definindo-as como sementes com tegumento resistente, que garantem a longevidade das sementes, reduzindo as atividades metabólicas causadas pela impermeabilidade do tegumento, restringindo a embebição e oxigenação (ARAGÃO, 1989; SUÑE e FRANKE, 2006; PACHECO et al., 2014).

#### **2.1.5 *Leucaena leucocephala* Lam.**

A *Leucaena leucocephala* Lam. é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, conhecida popularmente como leucena. Esta espécie é arbóreo-arbustiva e pode atingir até 20 metros de altura (CARDOSO et al., 2012; CÂMARA et al., 2015).

Essa forrageira é uma alternativa promissora, por ser tolerante a estresses ambientais, apresentar rápida dispersão, ciclo longo, excelente palatabilidade pelos ruminantes, além de apresentar alta capacidade de fixação de nitrogênio, permitindo-lhe ser utilizada em programas de reflorestamento de áreas degradadas (PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2015).

A *L. leucocephala* é considerada uma proteína de alta qualidade nutricional e excelente fonte de macro e micronutrientes (BAYÃO et al., 2016). Além disso, pode ser utilizada como cobertura vegetal e na indústria madeireira, como lenha e sombreamento para animais (HALLIDAY et al., 2013; MENDONÇA et al., 2020). Ainda, mesmo no período de estiagem apresenta-se esverdeada e rebrotando (CÂMARA et al., 2015).

As sementes da *L. leucocephala* possuem tegumento duro, ou seja, indicam dormência, processo que impede o fluxo aquoso e as trocas gasosas e amplia a possibilidade de

estabelecimento e colonização de espécies vegetais, distribuindo a germinação em determinado tempo e espaço (PORCEDDU et al., 2016; PENFIELD, 2017).

#### **2.1.6 *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.**

A *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, conhecida popularmente como unha-de-gato, sansão-do-campo ou sabiá, assim denominada por causa da cor de sua casca e por assemelhar-se à plumagem do pássaro que possui o mesmo nome vulgar. É uma árvore precoce, de rápido crescimento que pode atingir até 10 metros de altura, cuja ocorrência natural predominante é na Caatinga (MAIA, 2012), mas pode ser encontrada na Mata Atlântica (HOLANDA et al., 2015).

Dentre suas utilidades, a *M. caesalpiniaefolia* apresenta capacidade de regeneração e resistência à seca, além de ser uma leguminosa responsável pela fixação do nitrogênio (MARTINS et al., 2015). Esta espécie é recomendada para reflorestamento de áreas degradadas (MAIA, 2012). Ainda, pode ser utilizada na extração de madeira, utilizada para cercas, carvão e lenha, por causa de sua alta densidade e do carbono fixo de 60% (LINS et al., 2020). Também, apresenta potencial como forrageira para a alimentação de ruminantes, devido seu alto teor de proteína bruta, sendo bem selecionada pelos animais durante o pastejo (CALDAS et al., 2010; AZEVEDO et al., 2018).

As sementes de *M. caesalpiniaefolia* possuem propriedades intrínsecas, como a dormência física, que é um processo capaz de distribuir a germinação no tempo e espaço, garantindo que algumas sementes encontrem condições ambientais (temperatura, umidade e luz) favoráveis para o desenvolvimento de plantas adultas, sendo este um mecanismo natural de sobrevivência de algumas espécies (SENA e GARIGLIO, 2008).

#### **2.1.7 *Mimosa tenuiflora* Willd.**

A *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret, é uma espécie decídua, arbustiva pertencente à família Fabacea, conhecida popularmente como jurema-preta, calumbi ou jurema (AZEVEDO et al., 2012). Esta espécie possui crescimento rápido, pode alcançar de 5 a 7 metros e é nativa do Caatinga (BENEDITO et al., 2017).

A *M. tenuiflora* é utilizada na recuperação de áreas degradadas, devido seu crescimento rápido e a capacidade de rebrota durante todo o ano, produzindo carvão e lenha de boa qualidade (SANTISTEBAN et al., 2019). Possui potencial de regeneração de locais erodidos, além de ser fixadora biológica de nitrogênio e de favorecer o aparecimento de espécies mais exigentes. É uma espécie resistente à seca que cresce em solos rasos e surge naturalmente em áreas

degradadas (AZEVEDO et al., 2012). Também é utilizada na produção madeireira e energética (ARAÚJO et al., 2004).

As sementes da *M. tenuiflora* são ortodoxas e apresentam dormência física ou tegumentar, que bloqueia a germinação, inibindo a entrada de água, a oxigenação e a expansão do embrião, possibilitando maior longevidade das sementes e, conseqüentemente, preservando o desenvolvimento das plântulas no campo (LIMA-JÚNIOR, 2010).

#### **2.1.8 *Mimosa verrucosa* Benth.**

A *Mimosa verrucosa* Benth. pertence à família Fabaceae, conhecida popularmente como jurema-da-flor-rosa, jurema-lisa ou jurema-branca. É uma espécie arbórea arbustiva, que pode chegar a até 6 metros de altura. Sua ocorrência natural ocorre na Caatinga (DEMARTELAERE et al., 2010).

Esta espécie apresenta flores com grande potencial ornamental, além de apresentar importante papel para a economia da apicultura, devido ao uso do néctar e pólen no processo de fabricação de mel produzido em inúmeras localidades do Nordeste brasileiro (DEMARTELAERE et al., 2010). Ainda, apresenta-se como importante forrageira na alimentação de animais.

As sementes da *M. verrucosa* são formadas de embrião conspícuo e quase sem endosperma, e ficam revestidas por um tecido membranáceo sem forma definida (QUEIROZ, 2009). A baixa germinação das sementes é ocasionada pela impermeabilidade do tegumento, impedindo que a semente absorva água e reative processos metabólicos que impulsionam a germinação, mesmo em condições favoráveis.

#### **2.1.9 *Pytirocarpa moniliformis* Benth**

A *Pytirocarpa moniliformis* Benth, espécie pioneira, rústica e de rápido crescimento (AZERÊDO, 2009), pertencente à família Fabaceae (SILVA, 2013b). É conhecida popularmente como angico-de-bezerro, carrasco, catanduba, catanduva, muquém, rama-de-bezerro, surucucu e quipembé (BENEDITO et al., 2011). Caracteriza-se como uma planta arbórea, sem espinhos, que pode atingir até 9 metros, cuja ocorrência natural é predominantemente no Bioma Caatinga, no entanto, pode ser encontrada na Mata Atlântica (MAIA-SILVA et al., 2012), seja agrupada ou isolada.

Dentre seus usos, a *P. moniliformis* pode ser indicada para recuperação de áreas degradadas e possui alto valor apícola, pois suas flores são capazes de produzir muito néctar,

servindo de alimento às abelhas (AZERÊDO et al., 2011a). A fração lenhosa e folhosa fornece madeira, lenha, carvão e forragem para a comunidade de baixa renda (AZERÊDO et al., 2011b). A catanduva possui grande destaque no fornecimento de forragem de qualidade para ruminantes (bovinos, caprinos e ovinos).

Geralmente, as sementes nativas da Caatinga apresentam dimensões pequenas (SILVA-JÚNIOR, 2012) e possuem dormência, mecanismo em que a germinação ocorre somente em condições favoráveis (KIILL, 2012). O tipo de dormência que predomina as espécies leguminosas é a tegumentar, que está relacionada à impermeabilidade do tegumento à água (BENEDITO et al., 2008; DANTAS et al., 2014). Esta dormência pode ser superada através da ruptura do tegumento possibilitando a entrada de água (PEREIRA et al., 2015).

#### **2.1.10 *Senna spectabilis* (DC.) H. S. Irwin & Barneby**

A *Senna spectabilis* H. S. Irwin & Barneby é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae e é originária do Brasil (LORENZI, 2002). Conhecida popularmente como canafístula, cássia-do-nordeste ou são-joão (QUEIROZ, 2009; SILVA et al. 2010; SOUZA e BORTOLUZZI, 2015), possui crescimento rápido que pode atingir de 6 a 9 metros de altura. Sua ocorrência natural é principalmente no bioma Caatinga, mas pode ser encontrada no Cerrado e Mata Atlântica (BEZERRA, 2013).

Dentre seus usos, a *S. spectabilis* é recomendada para a restauração de áreas degradadas e possui potencial para utilização no paisagismo urbano (QUEIROZ, 2009). Além disso, é utilizada em estudos químicos, devido seu potencial para indústria medicinal, sendo muito usada pela população local e em tratamento de doenças como leishmaniose, malária e Mal de Alzheimer (NOVAES, 2019). Ainda, mostra potencial na alimentação de pequenos ruminantes (caprinos e ovinos) durante o período de estiagem nas regiões semiáridas do país (ARAÚJO et al., 2000).

As sementes denotam dormência tegumentar, processo metabólico, capaz de reduzir ou inibir as atividades vitais da semente, garantindo a longevidade da espécie (LUBZENS e CERDA, 2010). Dessa forma, é necessário aplicar metodologias que aumentem a germinação e estabelecem a uniformidade das plântulas em campo. Na Caatinga, surgiram alguns avanços em estudos e tecnologias dirigidos às sementes de espécies nativas (MEIADO et al., 2012), principalmente ao relacionar aspectos de germinação, superação de dormência, avaliação do vigor e armazenamento de sementes.

## **2.2 DORMÊNCIA DE SEMENTES**

O processo evolutivo dos seres vivos constitui um dos maiores desafios de estabelecimento e permanência das espécies nos ecossistemas, tendo em vista que os organismos conseguem criar estratégias metabólicas, com o intuito de se adequarem às constantes modificações do meio em que estão inseridas (SEPÚLVEDA e EL-HANI, 2014). Tais mecanismos de adaptação apresentam maior frequência em grande parte de espécies florestais que produzem camadas estruturais em suas sementes, restringindo a passagem de água através de envoltórios (LOPES et al., 2006).

A dormência de sementes é uma destas modificações, e é compreendida como uma estratégia evolutiva benéfica das espécies, de modo que, confere à espécie uma proteção nas camadas da semente impedindo que elas germinem de maneira indiscriminada, garantindo sua longevidade. Uma vez que, a germinação é distribuída ao longo do tempo e espaço, em condições ambientais favoráveis, possibilitando o desenvolvimento e estabelecimento da plântula em campo (BASKIN e BASKIN, 2004).

Este processo pode ser afetado por fatores bióticos, tais como longevidade, viabilidade, grau de maturidade, sanidade, genótipo e dormência, e abióticos como temperatura, luz e água (LIMA et al., 2013; SILVA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018). Segundo Baskin e Baskin (2014), a dormência é classificado com base na forma que impede a germinação, e está dividida em cinco tipos: fisiológica (presença de substâncias inibidoras das reações fisiológicas essenciais para desencadear a germinação), morfológica (embrião ainda imaturo ou não formado integralmente), morfofisiológica (embrião ainda imaturo com a presença de inibidores), física (tegumento impermeável à água) e química (sementes que apresentam tegumento impermeável e com presença de inibidores).

A dormência física (tegumentar) apresenta impermeabilidade do tegumento à água e pode ser encontrada em todos os ambientes, desde os trópicos até os árticos (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012; BASKIN e BASKIN, 2014). Este processo é característico apenas de sementes ortodoxas, que se adequam ao dessecamento em baixos teores de água (variando de 5 a 15%) sem que sua viabilidade seja reduzida, e consequentemente, podem ser desidratadas e armazenadas por longos períodos (BASKIN e BASKIN, 2014).

### **2.3 ESCARIFICAÇÃO QUÍMICA ATRAVÉS DO SISTEMA DIGESTÓRIO**

O aumento na probabilidade de sobrevivência das espécies, ocasionado pela distribuição espacial de diásporos até um local adequado para a germinação, é denominado dispersão de sementes (SCHUPP, JORDANO e GÓMEZ, 2010). Nesse processo estão envolvidos diferentes agentes dispersores, como o vento (anemocoria) e os animais (zoocoria), propícios a dispersão

em longas distâncias (PIRES et al., 2018; MUÑOZ-GALLEGO, TRAVESET e FEDRIANI, 2019).

É importante destacar o papel da passagem das sementes pelo sistema digestório dos animais para a ocorrência da zoocoria (DELIBES, CASTAÑEDA e FEDRIANI, 2019; MUÑOZ-GALLEGO, TRAVESET e FEDRIANI, 2019). A zoocoria apresenta-se de duas maneiras: parcial (regurgitação) ou total. A parcial ou regurgitação, refere-se às sementes que são ingeridas e regurgitadas; e a total, corresponde à ingestão dos diásporos e posterior defecação (BALTZINGER, KARIMI e SHUKLA, 2019).

A germinação das sementes após a ingestão pelo animal tem sucesso garantido, dependendo de fatores quantitativos e qualitativos, entre os quais, estão o número total e palatabilidade das sementes consumidas, e o sistema digestório do ruminante (PAKEMAN, DIGNEFFE e SMALL, 2002; ALBERT et al 2015). O simples fato de as sementes permanecerem nos bancos dos solos não garantem o seu sucesso, sendo a dispersão por meio da endozoocoria de grande relevância para sua sobrevivência.

Dessa forma, ocorrem dois processos no sistema digestório dos ruminantes, o anaeróbio, realizado por bactérias proteolíticas e celulolíticas, e o enzimático, ligado ao abomaso e intestino grosso, o qual possibilita a imersão das sementes na solução ácida (pH 2-5) e em enzimas proteolíticas, amilolíticas e lipolíticas (DEMINICIS et al., 2012). No rúmen ocorre o amolecimento e escarificação (física ou química) do tegumento das sementes, eliminando os possíveis inibidores da germinação ou facilitando a oxigenação, a entrada de água e a reativação de processos metabólicos (TRAVESET e VERDÚ, 2001 ROBLES et al., 2005; ALBERT et al., 2015), além disso, os dentes ocasionam danos que favorecem a escarificação.

Este é um fator importante no aumento da germinação das espécies e na garantia de sucesso de sua dispersão (KNEUPER et al., 2003), muito embora, algumas plantas sejam mortas. Por isso, para obter a eficácia da endozoocoria, é essencial que haja a superação da resistência das sementes, permissão da viabilidade de germinação, e garantia do sucesso no cultivo das plantas em campo (GALETTI et al., 2006; MUÑOZ-GALLEGO, TRAVESET e FEDRIANI, 2019).

## **2.4 TESTE DE RAIOS X**

Grande parte das técnicas tradicionais são assertivas e consistentes, muito embora, apresentem subjetividade nas avaliações, escassez de mão-de-obra qualificada, altos custos trabalhistas, além de serem cansativas e trabalhosas (MAHAJAN et al., 2018).

Por isso, tem sido cada vez mais necessário o desenvolvimento de tecnologias rápidas, precisas, não-destrutivas e confiáveis, aplicáveis na avaliação da qualidade de sementes (ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018). Com isso, o avanço tecnológico vem facilitando o uso de equipamentos de alta performance na avaliação de lotes de sementes. Dentre essas técnicas estão as imagens de raios X, utilizadas predominantemente na área médica e que permitem visualizar a morfologia interna das sementes (MEDEIROS e PEREIRA, 2018), tamanho do embrião (MARCHI e GOMES-JÚNIOR, 2017), identificar sementes cheias, vazias, mal formadas e com anomalias embrionárias (GOMES et al., 2014), de forma não-destrutiva, quando as características não podem ser visualmente observadas (KOTWALIWALE et al., 2014).

Esta tecnologia garante a classificação de inúmeros aspectos físicos e fisiológicos das sementes, de maneira eficiente (GOMES-JUNIOR, 2013). Muito embora, seja uma técnica indicada pelo ISTA (*International Seed Testing Association*) desde os anos 80, no Brasil teve impulso há menos de 30 anos, sendo que houve inúmeras contribuições científicas na avaliação da qualidade de sementes de diversas espécies (CÍCERO, 2010). É uma tecnologia fácil, rápida, reproduzível, não-destrutiva (ABUD et al., 2018), capaz de gerar imagens radiográficas de uma ou várias sementes em poucos segundos (10s), reduzindo o tempo na avaliação de sementes, otimizando assim, o processo de seleção de materiais com maior qualidade (RAHMAN e CHO, 2016).

Com isso, trabalhos utilizando a técnica de raios X em sementes exploram variáveis como, percentual de preenchimento interno da semente, tamanho do embrião, sementes cheias, anomalias embrionárias, identificação de danos mecânicos, ataque de insetos e patógenos, bem como, variáveis associadas à análise física e fisiológica das sementes. Além disso, possibilita a exploração mais aprimorada das características não-visíveis. No entanto, muito embora seja possível avaliar as sementes individualmente em imagens ampliadas, as variáveis geradas podem apresentar erros, devido a interpretações subjetivas (ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018).

## **2.5 IMAGEJ®**

Com o progresso tecnológico, várias ferramentas capazes de obter características de interesse para a indústria vêm sendo desenvolvidas, representando avanço significativo na produção sementeira. O surgimento de técnicas com algoritmos inovadores de processamento digital de imagens (PDI) e a disponibilidade de softwares modernos de fácil execução e baixo custo, tornam possível a automatização dessas avaliações, otimizando as análises, e



consequentemente, obtendo informações confiáveis e reproduzíveis (MEDEIROS et al., 2018). Muito embora, sejam conhecidos poucos sistemas capazes de realizar análises de imagens radiográficas de sementes, destacando-se o Tomato Analyzer<sup>®</sup>, o Image Pro Plus<sup>®</sup> e o ImageJ<sup>®</sup>.

O Tomato Analyzer<sup>®</sup> é um software livre desenvolvido por pesquisadores da Ohio State University, EUA, para realizar o processamento de imagens digitais, específico para frutos de tomateiros, onde os parâmetros são calculados a partir da identificação de limites periféricos de cada parte componente do fruto (BREWER, 2006). No entanto, este software mostrou-se eficaz na avaliação de radiografias de sementes (MARCOS-FILHO et al., 2010; GOMES-JUNIOR et al., 2013; MARCHI e GOMES-JUNIOR, 2017). Outro software é o Image-Pro Plus<sup>®</sup> que é comercial e tem sido utilizado com êxito nas análises de sementes, o mesmo foi desenvolvido pela *Media Cybernetics* em Silver Spring, EUA (DELL'AQUILA, 2007; SILVA et al., 2012).

Por outro lado, o ImageJ<sup>®</sup> é o sistema de processamento digital de imagens mais rápido do mundo, apresenta código aberto (<https://imagej.nih.gov/ij/features.html>), foi escrito em Java e desenvolvido no *National Institutes of Health*, EUA (SCHNEIDER et al., 2012; MIART et al., 2018). É um software que suporta uma ampla gama de formato de arquivos, funciona na maioria dos sistemas operacionais e, recentemente, vem apresentando potencialidade na aplicação de análise de raios X em sementes (SILVA et al., 2013; ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018; NORONHA et al., 2018; PRADO-ALVES et al., 2018).

De fácil utilização, linguagem macro gravável e arquitetura extensível de plugins, e por isso, o ImageJ<sup>®</sup> destaca-se dos demais softwares (RUEDEN et al., 2017). No entanto, as técnicas de PDI em radiografias de sementes limitam-se a análises manuais e semi-automatizadas (SILVA et al., 2013; ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018; NORONHA et al., 2018), consideradas um importante avanço quando comparadas aos métodos tradicionais de avaliação visual, ainda que sejam limitantes para realização em larga escala.

## CAPÍTULO I

### GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE *Leucaena leucocephala* Lam. e *Pityrocarpa moniliformis* Benth. APÓS A PASSAGEM PELO SISTEMA DIGESTÓRIO DE PEQUENOS RUMINANTES

#### RESUMO

Com a tentativa de restaurar áreas degradadas da Caatinga, a endozoocoria, é uma técnica promissora, que tem mostrado o potencial de sobrevivência das espécies após a passagem das sementes pelo sistema digestório de caprinos e ovinos. Com isso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da passagem de sementes de *Leucaena leucocephala* e *Pityrocarpa moniliformis* pelo sistema digestório de pequenos ruminantes, bem como avaliar esse efeito na qualidade fisiológica dessas espécies. As sementes foram fornecidas aos caprinos e ovinos, e as cúbicas coletadas, a cada 24 horas, para extração das sementes. Em seguida, as sementes foram avaliadas quanto à qualidade fisiológica por meio das variáveis germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de plântulas, massa seca de parte aérea, parte radicular e total. Com base nos resultados, as sementes sobrevivem até o período de 168 horas no sistema digestório dos animais e mostram respostas positivas nos testes de germinação e vigor em sementes excretadas até 120 horas. Com isso, o maior tempo de permanência das sementes no sistema digestório desses animais pode ocasionar danos aos embriões ou sua mortalidade. Dentre as variáveis, aquelas que merecem destaque são a velocidade média de germinação, tempo médio de germinação, comprimento de plântulas, massa seca de parte aérea, massa seca total para a avaliação da qualidade das sementes que sobreviveram após a passagem no sistema digestório dos caprinos e ovinos.

**Palavras-chave:** Leucena; catanduva; endozoocoria; caprinos e ovinos;

## INTRODUÇÃO

A Caatinga é um Bioma tipicamente brasileiro e dentre as espécies existentes neste Bioma, está a *Pytirocarpa moniliformis* Benth., que possui elevado potencial para a região do Nordeste brasileiro (AZERÊDO et al., 2011a). A *Leucaena leucocephala* Lam., por sua vez, é indicada para composição de sistemas de reflorestamento em áreas degradadas (BICHOFF et al., 2018), por isso é de grande importância avaliar potencial fisiológico das sementes, para garantir o estabelecimento de mudas vigorosas e uniformes em campo (ATAÍDE et al., 2015).

Com isso, para a garantia da sobrevivência das espécies na Caatinga, é necessário utilizar potencializadores que possibilitem seu desenvolvimento no Bioma. As leguminosas apresentam baixa uniformidade e germinação, recorrente da dormência ocasionada pela impermeabilidade do tegumento à água e à oxigenação. Dessa forma, a endozoocoria possibilita a capacidade evolutiva de sobrevivência das plantas, garantindo longevidade, estabelecimento e a colonização de determinadas plantas, distribuindo sua germinação em determinado espaço e tempo (PORCEDDU, et al., 2016; PENFIELD, 2017).

Por isso, tem-se utilizado pequenos ruminantes na sobrevivência de sementes durante o processo de ingestão. Neste processo, os ácidos presentes no sistema digestório facilitam o rompimento do tegumento e posterior embebição e oxigenação das sementes, favorecendo o processo de germinação após a excreção das sementes, denominado endozoocoria. Existem algumas características que afetam este processo, como tamanho dos animais, regime alimentar, fisiologia digestiva e preferências de habitat espaço-temporal (EYCOTT et al., 2007; JAROSZEWICZ, PIROŹNIKOW e SONDEJ, 2013; PELLERIN et al., 2016; PICARD et al., 2016). Além das características funcionais dos animais, a fenologia da planta também é importante.

Considerando a importância da dormência como estratégia de sobrevivência para distribuição da germinação em determinado espaço e tempo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da passagem de sementes de *Leucaena leucocephala* e *Pytirocarpa moniliformis* pelo sistema digestório de pequenos ruminantes, bem como avaliar esse efeito na qualidade fisiológica dessas espécies.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia e no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia PB. Dentre as espécies utilizadas neste experimento, a *Pityrocarpa moniliformis* foi provida NEMA (Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental) ligado à UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco), de acordo com as proposições e metodologias de acompanhamento e monitorização ecológica do entorno da obra da Transposição do Rio São Francisco e a *Leucaena leucocephala* foi coletada no município de Areia (6° 57' 42'' S e 35° 41' 43'' W), no Estado da Paraíba, Brasil, no ano de 2021.

No experimento foram utilizados 16 animais fêmeas, sendo 8 caprinos da raça “Moxotó” e 8 ovinos da raça “Morada nova”, peso e idade similares, os quais foram alocados em gaiolas individuais, e foram alimentados com as sementes das duas espécies (*L. leucocephala* e *P. moniliformis*). Os animais foram mantidos nesse regime de confinamento, com gaiolas individuais dispostas no sentido leste-oeste, onde continham comedouros e bebedouros, para fornecimento da dieta e água. Em cada espécie vegetal, um total de 800 sementes foi fornecido pela manhã (7:00h), sendo 50% de concentrado e 50% de volumoso, garantindo a ingestão de todas as sementes pelo animal. Então, a parte restante do concentrado/volumoso era fornecida no final da tarde para suprir as necessidades dos animais seguindo as recomendações do NRC (2007).

As cibalas foram coletadas diariamente, até que todos os animais secretassem todas as sementes consumidas. Coletores foram utilizados acoplados às gaiolas para garantia da coleta total das cibalas. Ao final das coletas, foi fornecido apenas ração durante dois dias aos animais, para garantia de que o fluxo de alimentação no sistema digestório sem as sementes fosse regulado.

Diariamente, as cibalas coletadas foram umedecidas em água, e então contabilizado o número de sementes recuperadas com auxílio de uma peneira (BARBOSA, 2011), sendo posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Análise de Sementes (LAS) da UFPB. Ao chegarem no laboratório, as sementes foram desinfestadas com solução de hipoclorito de sódio a 1% por três minutos, obedecendo cada tempo de excreção, sendo posteriormente, lavadas em água destilada estéril, e então, submetidas aos ensaios de qualidade fisiológica.

Os períodos em que as sementes foram excretadas pelos animais foram: 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 e 216 horas, uma testemunha absoluta (sementes que não foram tratadas, isto é, que não passaram pelo sistema digestório dos animais) e dois tratamentos para superação

da dormência, tratamento térmico úmido - imersão em água a 60 °C sendo o tempo de imersão de 1 minuto e corte da região oposta ao hilo para a *Pityrocarpa moniliformis* protocolo proposto por Felix et al. (2021) e para a *Leucaena leucocephala* submeteu-se as sementes em banho maria (a 60 °C por 2 minutos) e escarificação mecânica da região oposta ao hilo, de acordo com PAULINO et al. (2004).

Dentre os testes utilizados, foram realizados os de germinação e vigor (primeira contagem de germinação, IVG, comprimento de plântulas e peso da matéria seca das plântulas), com base na metodologia proposta por Brasil (2009; 2013).

No teste de germinação, o número de sementes baseou-se na quantidade recuperada por tempo de excreção dos animais, em cada espécie florestal, sendo as sementes acondicionadas em rolos de papel do tipo germitest<sup>®</sup>, umedecidos com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de papel foram colocados dentro de sacos plásticos e mantidos em câmara de germinação tipo B.O.D. (*Biological Oxygen Demand*), com temperatura de 25 °C, durante 10 dias (*L. leucocephala*) e 21 dias (*P. moniliformis*) (BRASIL, 2009; 2013), e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais para cada tratamento. Avaliou-se as plântulas normais, anormais, sementes duras e mortas (BRASIL, 2009).

Sementes duras foram aquelas que não absorveram água por um maior que o normal e se mostram, portanto, ao final do experimento com aspecto de sementes recém dispostas no substrato, ou seja, não intumescidas. As sementes mortas, por sua vez, foram aquelas que ao final do experimento não germinaram, não estavam duras e mostraram-se amolecidas e não indicaram sinal de início de germinação (BRASIL, 2009).

As sementes que não germinaram (sementes duras) foram avaliadas por meio do teste de tetrazólio. Inicialmente, foi realizada a escarificação mecânica (corte na região lateral) para permitir a entrada de água nas sementes. Em seguida, as sementes de leucena foram pré-condicionadas durante 18 horas, entre folhas de papel umedecido a 25 °C para ativar o metabolismo das sementes. Após isso, o tegumento foi retirado para melhor expor os tecidos e as sementes foram imersas em solução de tetrazólio na concentração de 0,15% no interior de recipientes plásticos (50 mL), durante 2 horas, a 35 °C, no escuro (COSTA, SANTOS e ROSSI, 2009). As sementes de *P. moniliformis*, foram pré-condicionadas por 24 horas para hidratação, facilitando a exposição dos tecidos, bem como a ativação dos processos enzimáticos. A temperatura de pré-embebição foi de 25 °C. Em seguida, o tegumento das sementes foi removido e estas permaneceram em contato com a solução de tetrazólio na concentração de 0,075%, durante 4 horas, na B.O.D à 35 °C, sem presença de luz (DANTAS, MATIAS e RIBEIRO, 2015).

Após o tempo de coloração, a solução foi retirada, o material foi lavado em água corrente, o eixo embrionário foi cuidadosamente retirado do cotilédone e mantidos em água em ambiente refrigerado até o momento da avaliação. Os embriões foram avaliados individualmente quanto à uniformidade, intensidade de cor, presença de áreas brancas leitosas, aparência e localização dos tecidos, manchas no eixo hipocótilo-radícula e região vascular. As sementes foram classificadas como viáveis e inviáveis, de acordo com os padrões indicados por Moore (1972), Delouche (1976) e Grabe (1976) para inúmeras espécies florestais: 1 – viáveis: são aqueles completamente rosa claro ou vermelho vivo e o fim da radícula sem coloração branco leitoso/amarelado; 2 – inviáveis: embriões completamente na coloração vermelho intenso ou branco leitoso/amarelado e parte inicial da radícula descolorida ou avermelhada. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes viáveis.

Para avaliação do vigor de sementes, analisou-se a primeira contagem de germinação, realizado conjuntamente à germinação, e as contagens diárias das plântulas normais no quarto dia para as sementes de *L. leucocephala* (BRASIL, 2009) e sétimo dia para as sementes de *P. moniliformis*, (BRASIL, 2013).

O índice de velocidade de germinação foi conduzido conjuntamente com o teste de germinação, efetuando-se contagens diárias de plântulas normais, dividindo-se pelo número de dias decorrido entre a semeadura e a germinação. O IVG foi calculado empregando-se a fórmula proposta por Maguire (1962).

Além disso, foram realizadas contagens diárias das sementes germinadas para se obter o tempo médio de germinação ao final da última contagem, sendo ao décimo dia para a *L. leucocephala* e ao vigésimo primeiro dia para a *P. moniliformis*, calculados por meio da fórmula proposta por Labouriau (1983), sendo os resultados expressos em dias.

Ao final da última contagem do teste de germinação, as plântulas desenvolvidas em cada repetição foram escaneadas e as imagens geradas analisadas no software ImageJ®. Os comprimentos da parte aérea e da raiz primária das plântulas foram mensurados com base nessas imagens, sendo os resultados expressos mm.plântula<sup>-1</sup>. Calcularam-se as variáveis comprimento total de plântulas e índices de uniformidade (CASTAN et al., 2018) e vigor (SAKO et al., 2001). Posteriormente, as mesmas plântulas foram pesadas em balança analítica de precisão (0,001 g) para obtenção da massa fresca, acondicionadas em papel e levadas para a estufa regulada a 65 °C durante 48 horas; decorrido este período, obteve-se a massa seca, sendo os resultados expressos em g.plântulas<sup>-1</sup> (NAKAGAWA, 1999).

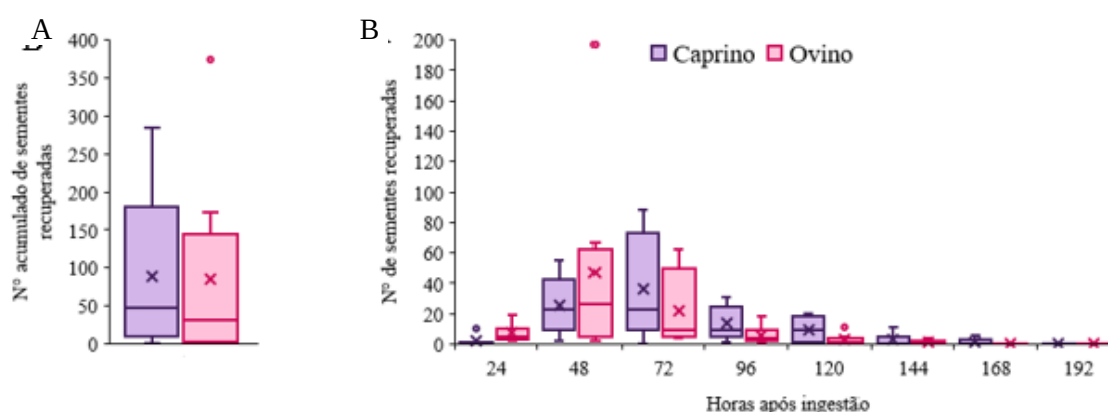
O experimento foi conduzido em esquema fatorial 2x10, utilizando-se 4 repetições de 50 sementes, incluindo 2 espécies citadas e 10 tempos de coletas das cíbalas 24, 48, 72, 96, 120,

144, 168, 192, 216 e 240 h. Os dados foram analisados a partir de gráficos em caixa, mapa de calor e análise de componentes principais com o software estatístico R (CORE TEAM, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pequenos ruminantes, como caprinos e ovinos, alimentam-se da parte aérea das plantas, principalmente as lenhosas, contribuindo para dispersão dos bancos de sementes no solo (HARRINGTON et al., 2011). Tendo em vista que animais domésticos e selvagens transportam sementes viáveis em seu sistema digestório, dispersando-as através das fezes na vegetação natural (MALO e SUÁREZ, 1995; BALTZINGER et al., 2019; SENA e ALMEIDA, 2020).

A recuperação das sementes de *L. leucocephala*, após passarem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos, ocorreu de maneira uniforme em ambas as espécies (Figura 1). Ainda na Figura 1, constata-se nos caprinos recuperação de sementes até o período de 168 horas após a ingestão (Figura 1B) e com base no acúmulo de sementes registra-se (Figura 1A) valores de mediana, mínimos, máximos e o valor médio correspondentes a 47; 0,0; 283 e 88 sementes, respectivamente. Após a passagem das sementes no período de 72 horas no sistema digestório dos caprinos (Figura 1B), observou-se que 50% dos valores de sementes estavam entre 22 e 88 sementes, no entanto, no tempo de 48 horas esses valores foram de 22 e 55 sementes. O período de 96 horas, por sua vez, indicou valores correspondentes a 9,0 e 30 sementes. E por fim, o período de 120 horas denotou valores que oscilaram entre 9,0 e 20 sementes (Figura 1B).



**Figura 1:** A – Número acumulado de sementes de *L. leucocephala*, recuperadas dos caprinos e ovinos; B - Recuperação de sementes, após a passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos.

Quanto à recuperação das sementes nos ovinos, ocorreu até 144 horas após a excreção, onde pôde-se observar valores medianos, mínimos, máximos e valor médio iguais a 31; 0,0; 173 e 84 sementes, respectivamente. Além disso, é importante destacar que o valor médio de sementes acumuladas foi similar nos caprinos e ovinos (Figura 1A). Quanto ao maior número de sementes recuperado no período de 48 horas, houve uma variação de 50% dos valores entre



26 e 66 sementes. Seguido do período de 72 horas, que indicou oscilação de 50% dos valores entre 9,0 e 62 sementes (Figura 1B).

Existem fatores importantes como tamanho, forma, largura e dureza que determinam a probabilidade de as sementes conseguirem sobreviver à mastigação e à ruminação (JAGANATHAN, YULE e LIU, 2016). Assim, a maior sobrevivência das sementes de *L. leucocephala* pode estar relacionada ao seu tamanho (> 4 mm). Ainda, algumas pesquisas sobre ruminantes relacionam de maneira negativa o tamanho e a porcentagem de sementes recuperadas após o consumo e a passagem pelo sistema digestório (MANCILLA, FERNÁNDEZ e MARTÍN, 2012).

Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis de qualidade fisiológica das sementes de *Leucaena leucocephala* e *Pityrocarpa moniliformis* obtidas em cada período de excreção pelos caprinos e ovinos.

**Tabela 1:** Variáveis de qualidade fisiológica das sementes de *Leucaena leucocephala* excretadas em cada período pelos caprinos e ovinos.

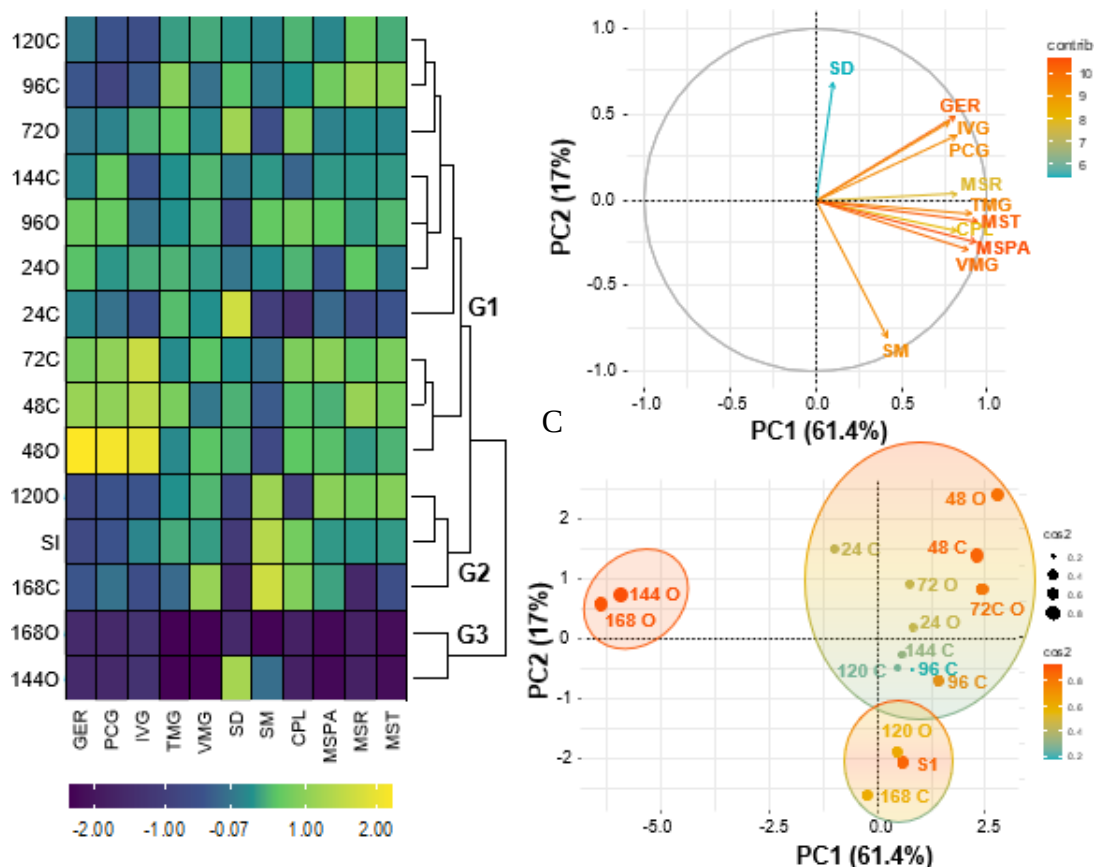
| Tratamento | IVG   |         |      |      |      |        |        |          |           |          |          |
|------------|-------|---------|------|------|------|--------|--------|----------|-----------|----------|----------|
|            | G (%) | PCG (%) |      | TMG  | VMG  | SD (%) | SM (%) | CPL (mm) | MSPA (mg) | MSR (mg) | MST (mg) |
| SI         | 6     | 6       | 1,65 | 3,19 | 0,31 | 8      | 86     | 2,92     | 0,0008    | 0,0006   | 0,0014   |
| 24C        | 12    | 8       | 0,92 | 3,33 | 0,30 | 58     | 30     | 0,29     | 0,0007    | 0,0003   | 0,0010   |
| 24°        | 15    | 10      | 2,00 | 3,25 | 0,31 | 27     | 58     | 1,85     | 0,0006    | 0,0007   | 0,0013   |
| 48C        | 19    | 14      | 3,17 | 3,67 | 0,27 | 36     | 45     | 1,91     | 0,0009    | 0,0008   | 0,0017   |
| 48°        | 27    | 20      | 3,78 | 2,91 | 0,34 | 36     | 37     | 1,95     | 0,0009    | 0,0006   | 0,0015   |
| 72C        | 17    | 14      | 3,39 | 2,94 | 0,34 | 32     | 51     | 2,16     | 0,0011    | 0,0007   | 0,0017   |
| 72°        | 11    | 9       | 2,04 | 3,45 | 0,29 | 49     | 40     | 2,14     | 0,0008    | 0,0006   | 0,0013   |
| 96C        | 8     | 4       | 1,09 | 3,81 | 0,26 | 38     | 54     | 1,66     | 0,0010    | 0,0008   | 0,0018   |
| 96°        | 16    | 12      | 1,42 | 3,00 | 0,33 | 16     | 68     | 2,09     | 0,0009    | 0,0006   | 0,0015   |
| 120C       | 11    | 6       | 0,85 | 3,10 | 0,32 | 33     | 56     | 1,85     | 0,0008    | 0,0007   | 0,0015   |
| 120°       | 6     | 6       | 1,00 | 3,00 | 0,33 | 14     | 80     | 0,70     | 0,0011    | 0,0007   | 0,0018   |
| 144C       | 12    | 12      | 1,00 | 3,00 | 0,33 | 28     | 60     | 1,27     | 0,0008    | 0,0006   | 0,0014   |
| 144°       | 0     | 0       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50     | 50     | 0,00     | 0,0000    | 0,0000   | 0,0000   |
| 168C       | 8     | 8       | 0,83 | 2,50 | 0,40 | 0      | 92     | 2,19     | 0,0009    | 0,0001   | 0,0009   |
| 168°       | 0     | 0       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0      | 0      | 0,00     | 0,0000    | 0,0000   | 0,0000   |

O mapa de calor da *L. leucocephala* apresentado na Figura 2A, mostra a relação das variáveis de caracterização fisiológica com os tempos de recuperação das sementes, demonstrando que, o período de 48 horas ovinos e 48 e 72 horas caprinos foram os mais eficientes para aumento da germinação da *L. leucocephala*. Também, foi possível avaliar que houve a formação de três grupos, sendo que o grupo um foi formado apenas pelo período de 120 horas pelos ovinos e 168 horas pelos caprinos para a variável sementes mortas. O grupo

dois é composto pelo maior número de períodos, correspondente a 67% do total e indicou resultados intermediários, enquanto os menores valores foram registrados nas sementes excretadas pelos ovinos nos tempos de excreção de 144 e 168 horas, componentes do grupo três (Tabela 1).

A Figura 2A mostra que o período de excreção de 48 horas nos ovinos indicou respostas promissoras para as variáveis germinação (27%), primeira contagem de germinação (20%) e índice de velocidade de germinação (3,78). Seguindo dos períodos de 48 e 72 horas caprinos, 24 e 96 horas ovinos, que indicaram respostas positivas para germinação (19, 17; 15 e 16%). Ainda, na primeira contagem de germinação destacaram-se 48, 72 e 144 caprinos, e 96 ovinos (14, 14, 12 e 16%). No índice de velocidade de germinação, também houve destaque nos períodos 48 e 72 caprinos, e 24 e 72 ovinos (3,17 e 3,39; 2,00 e 2,04). O número total de sementes germinadas após a passagem pelo sistema digestório é determinado pela moagem mecânica, a ruminação e a exposição aos sucos digestivos que variam entre as espécies animais (PILTZ, STANTON e WU, 2017). Além de características morfofisiológicas das próprias sementes, como a dureza do tegumento, tamanho e tipo de dormência (FEDRIANI e DELIBES, 2009; JARA-GUERRERO et al., 2018). A dormência física muitas vezes precisa de outros métodos de indução para poder ser superada, tais como temperaturas sazonais e dispersão secundária, tendo em vista que nem sempre ocorre a escarificação das sementes por meio da endozoocoria (JAGANATHAN, YULE e LIU, 2016).

Quanto ao tempo médio de germinação (TMG), os períodos com influência positiva a esta variável foram os de 48 horas nos ovinos, 72 e 168 horas nos caprinos. De acordo com Delibes, Castañeda e Fedriani (2019), o tempo de retenção das sementes no rúmen afetará sementes regurgitadas, seja de maneira positiva (melhorando a germinação) ou negativa (danificando os embriões). Quanto à velocidade média de germinação (VMG) os períodos que se destacaram foram 168, 72, 144 e 120 horas nos caprinos e 48, 96 e 120 horas nos ovinos. Sementes com tempo médio de germinação reduzido e aumento do índice de velocidade de germinação, estão relacionadas à sua permeabilidade, que favorece a entrada de água, potencializando a germinação (FRANKE e BASEGGIO, 1998). Visto que, o aumento da germinação e a uniformidade das plântulas, resultam da redução do tempo de germinação e do aumento no índice de velocidade (RODRIGUES et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2009). Com esses resultados, é possível perceber que a probabilidade de germinação diminui com o aumento do tempo em que as sementes permaneceram no sistema digestório dos pequenos ruminantes.



**Figura 2:** A - Mapa de calor obtido a partir das características fisiológicas (germinação – GER; primeira contagem de germinação – PCG; índice de velocidade de germinação – IVG; tempo médio de germinação – TMG; velocidade média de germinação – VMG; sementes duras – SD; sementes mortas – SM; comprimento de plântulas – CPL; massa seca de parte aérea – MSPA; massa seca de raiz – MSR; massa seca total - MST) em fator do tempo de recuperação das sementes de *L. leucocephala*. B – Círculo de correlações das variáveis fisiológicas e dos períodos de recuperação. C – Biplot da Análise de Componentes Principais.

Por sua vez, alguns períodos apontam uma maior porcentagem de sementes duras (SD), como 24 horas nos caprinos, 144 e 72 horas nos ovinos, 96 e 48 horas nos caprinos e 48 horas nos ovinos. Dessa forma, percebe-se que essas sementes não germinaram, mostrando germinação parecida com as sementes intactas (SI), que não foram consumidas. Visto que, mesmo após a duração das sementes no sistema digestório dos animais não ocorre redução da germinação, provavelmente por causa da rigidez tegumentar das sementes (MICHAEL, STEADMAN e PLUMMER, 2007). Quanto às sementes mortas (SM), os períodos que exibiram maior influência foram de 168 horas nos caprinos, sementes intactas (SI), 120 e 96 horas nos ovinos. Geralmente, ocorre aumento da mortalidade das sementes quando estas permanecem por muito tempo no sistema digestório dos ruminantes, devido ao dano que pode ser ocasionado ao embrião por condições ácidas e enzimas proteolíticas, amilolíticas e lipolíticas, durante a digestão (BLACKSHAW e RODE, 1991; TRAVESET, 1998). A massa

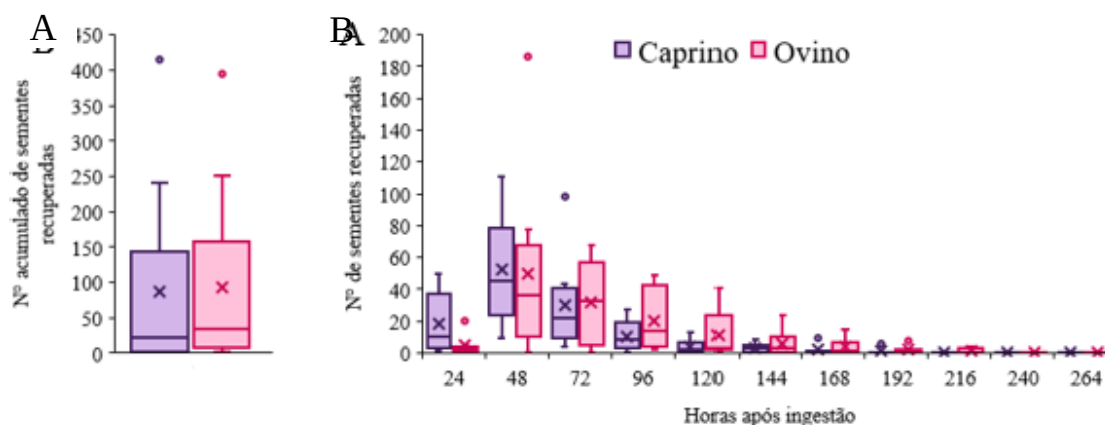
seca de parte aérea (MSPA) mostrou-se superior nos períodos de 72 horas nos caprinos, 120 horas nos ovinos, 48 e 96 horas nos caprinos e ovinos. Com relação à massa seca de raiz (MSR), os períodos de 48, 96, 120 e 72 horas nos caprinos e 24 e 120 horas nos ovinos mostraram sementes mais vigorosas. Por fim, a massa seca de plântula (MSPL) indicou que os períodos de 96 horas caprinos, 120 horas ovinos, 72 e 48 horas caprinos, sobressaíram-se aos demais. Os maiores comprimento e massa seca das plântulas oriundas de sementes que passaram pelo sistema digestório dos caprinos e ovinos, pode ter relação com a liberação de nutrientes pelos excrementos, proporcionando maior vigor às plântulas (TRAVESET, BERMEJO e WILLSON, 2001).

A partir da análise multivariada de componentes principais (PCA), realizada utilizando-se os períodos de recuperação nos caprinos e ovinos das sementes da *L. leucocephala* e as onze características avaliadas, nota-se que há dois componentes principais (CP1 e CP2) com explicações de 78,4% da variabilidade total dos dados. Dessa forma, através de várias combinações lineares, foi possível reduzir à duas dimensões que explicaram um percentual significativo das observações (Figura 2B e 2C).

No círculo de correlação (Figura 2B) nota-se que para PC1 as variáveis que mais contribuíram são massa seca total (MST), massa seca de parte aérea (MSPA) e tempo médio de germinação (TMG), que correspondem a 14,60% de MST; 14,50% de MSPA e 14,30% de TMG. A PC2, por sua vez, destaca as variáveis germinação (G) e primeira contagem de germinação (PCG), que indicam 21,61 de G% e 20,90 de PCG%, às quais situam-se próximos de vetores que compreendem aos tempos de recuperação de 48, 72 e 96 horas para os caprinos e 48 horas para ovinos, uma vez que, a maior parte das sementes foi recuperada nos cinco primeiros períodos após a ingestão das sementes, ou seja, uma quarentena de 5 dias para caprinos e ovinos seria suficiente para o transporte interno das sementes, os quais mostram cargas fatoriais com distribuição semelhantes nos componentes. Esses resultados mostram alta correlação entre as características fisiológicas e os tempos de recuperação das sementes, como exposto na matriz que mostra o grau de correlação entre as variáveis analisadas e os tempos de recuperação das sementes (Figura 2A).

Geralmente, sementes pequenas e redondas são mastigadas com maior dificuldade, sendo mais fácil passarem diretamente pelo sistema digestório dos caprinos e ovinos sem sofrerem danos, mantendo sua viabilidade até a liberação das cíbalas em locais potencialmente propícios à germinação e estabelecimento de plântulas (BARAZA e VALIENTE-BANUET, 2008; MANCILLA et al., 2011).

A *P. moniliformis* após a passagem pelo sistema digestório dos caprinos e ovinos mostrou uma recuperação similar (Figura 3). No entanto, o período que indicou maior taxa de recuperação para os caprinos e ovinos foi o de 48 horas. Nos caprinos registrou-se recuperação de sementes até 192 horas após a passagem pelo sistema digestório, com valores de mediana, mínimo, máximo e valor médio equivalentes a 21; 0,0; 239 e 86 sementes (Figura 3A). Após a passagem pelo sistema digestório dos caprinos a recuperação das sementes a partir do período de 24 horas indicou-se que 50% dos valores das sementes estavam entre 10 e 49 sementes. Por sua vez, o período de excreção de 48 horas denotou que 50% dos valores eram entre 45 e 110 sementes. Ainda, pôde-se observar recuperação nos períodos de 72 e 96 horas que exibiram que 50% dos valores foram entre 21 e 43; e 10 e 27 sementes (Figura 3B).



**Figura 3:** A – Número acumulado de sementes de *P. moniliformis* recuperadas dos caprinos e ovinos; B – Recuperação de sementes após a passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos.

Os ovinos, por outro lado, mostram que a recuperação das sementes decorreu até 168 horas após a excreção, exibindo valores de mediana, mínimos, máximos e valor médio de 33; 0,0; 249 e 92 sementes (Figura 3A). Em relação a recuperação durante os períodos, observa-se que a maior quantidade de sementes recuperadas obteve-se no período de 48 horas, onde 50% dos valores oscilaram entre 36 e 77 sementes. Seguido disso, o período de 72 horas denotou número elevado de sementes recuperadas, correspondente a 50% dos valores entre 31 e 67 sementes. Além disso, vê-se que o período de 96 horas indicou recuperação, onde 50% dos valores variou entre 14 e 48 sementes. Por fim, conseguiu-se observar que o período de 120 horas também mostrou recuperação de sementes, onde 50% dos valores oscilou numa faixa de 3,0 e 40 sementes (Figura 3B). Dessa forma, é possível afirmar que os caprinos e ovinos são úteis para desencadear a dispersão de espécies nativas da Caatinga, a exemplo de *P.*

*moniliformis*, tendo em vista que, as sementes desta espécie foram capazes de sobreviver após ingeridas pelos caprinos e ovinos.

Existem algumas características intrínsecas das sementes como dimensão, formato e longevidade, além disso, o comportamento dos dispersores são indicados os principais fatores responsáveis pela porcentagem de recuperação (PAKEMAN, DIAGNEFFE e SMALL, 2002; ALBERTO et al., 2015). Ainda, é possível afirmar que em grande parte das pesquisas relacionadas à endozoocoria em ruminantes, a maior porcentagem de sementes encontradas nas fezes denotam menor tamanho (MANCILLA et al., 2011; PICARD et al., 2016; BALTZINGER et al., 2019).

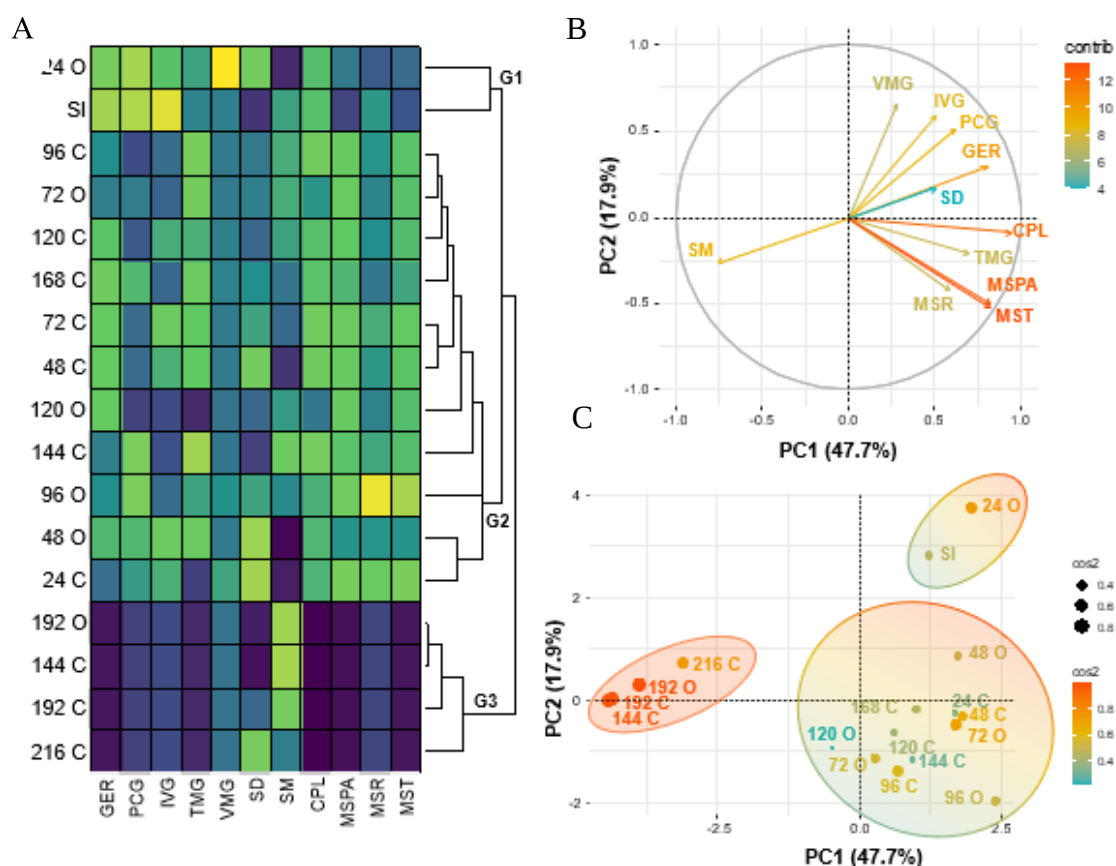
Na Tabela 2 são apresentadas as variáveis de qualidade fisiológica das sementes de *Leucaena leucocephala* e *Pytirocarpa moniliformis* obtidas em cada período de excreção pelos caprinos e ovinos.

**Tabela 2:** Variáveis de qualidade fisiológica das sementes de *Pytirocarpa moniliformis* excretadas em cada período pelos caprinos e ovinos.

| Tratamento | G (%) | PCG (%) | IVG  | TMG   | VMG  | SD (%) | SM (%) | CPL (mm) | MSPA (mg) | MSR (mg) | MST (mg) |
|------------|-------|---------|------|-------|------|--------|--------|----------|-----------|----------|----------|
| SI         | 21    | 18      | 3,84 | 4,51  | 0,24 | 6      | 73     | 0,81     | 0,0005    | 0,0003   | 0,0007   |
| 24C        | 7     | 6       | 1,08 | 1,33  | 1,00 | 43     | 50     | 0,75     | 0,0017    | 0,0005   | 0,0022   |
| 24°        | 16    | 17      | 1,28 | 5,91  | 8,00 | 32     | 52     | 0,80     | 0,0008    | 0,0001   | 0,0009   |
| 48C        | 14    | 3       | 1,08 | 8,13  | 0,13 | 32     | 54     | 0,94     | 0,0015    | 0,0003   | 0,0018   |
| 48°        | 12    | 8       | 1,57 | 8,74  | 0,12 | 42     | 46     | 0,76     | 0,0010    | 0,0003   | 0,0013   |
| 72C        | 14    | 3       | 1,56 | 8,05  | 0,13 | 22     | 64     | 0,97     | 0,0015    | 0,0004   | 0,0019   |
| 72°        | 8     | 4       | 0,28 | 9,43  | 0,12 | 17     | 75     | 0,61     | 0,0015    | 0,0002   | 0,0017   |
| 96C        | 9     | 1       | 0,37 | 9,77  | 0,13 | 16     | 75     | 0,98     | 0,0015    | 0,0003   | 0,0018   |
| 96°        | 9     | 12      | 0,35 | 6,00  | 0,55 | 22     | 69     | 0,73     | 0,0016    | 0,0013   | 0,0030   |
| 120C       | 13    | 2       | 1,02 | 6,63  | 0,23 | 14     | 73     | 0,81     | 0,0014    | 0,0002   | 0,0017   |
| 120O       | 14    | 0       | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 14     | 72     | 0,50     | 0,0015    | 0,0002   | 0,0017   |
| 144C       | 8     | 12      | 0,08 | 13,00 | 0,08 | 8      | 84     | 0,98     | 0,0014    | 0,0003   | 0,0017   |
| 144O       | 0     | 0       | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0      | 100    | 0,00     | 0,0000    | 0,0000   | 0,0000   |
| 168C       | 15    | 8       | 0,31 | 8,86  | 0,28 | 19     | 66     | 0,82     | 0,0013    | 0,0002   | 0,0014   |
| 192C       | 0     | 0       | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 2      | 98     | 0,00     | 0,0000    | 0,0000   | 0,0000   |
| 192C       | 0     | 0       | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 14     | 86     | 0,00     | 0,0000    | 0,0000   | 0,0000   |
| 216C       | 0     | 0       | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 33     | 67     | 0,00     | 0,0000    | 0,0000   | 0,0000   |

Com base no mapa de calor apresentado na Figura 4A é possível observar a correlação das variáveis de caracterização fisiológica com os tempos de recuperação de sementes. É possível destacar a formação de três grupos, onde o segundo grupo que é aquele com maior número de períodos corresponde a 65% do total e indicou resultados intermediários, enquanto o primeiro grupo formou-se pelos tratamentos 144 e 192 horas ovinos e 192 e 216 horas caprinos. Os menores valores foram registrados para os períodos de 24 horas ovinos e sementes

intactas (SI). Dessa forma, uma série de fatores podem influenciar diretamente a germinação das sementes após a passagem pelo sistema digestório dos ruminantes, como o processo de ruminação; a ação dos microrganismos relacionados à degradação de alimentos e ação química quando entram em contato com o abomaso; subprodutos da degradação de carboidratos, tais como carboidratos de cadeia curta; e temperatura ruminal e pH interno que pode variar de acordo com a natureza do alimento (OLIVEIRA et al., 2013).



**Figura 4:** A - Mapa de calor obtido a partir das características fisiológicas (germinação – GER; primeira contagem de germinação – PCG; índice de velocidade de germinação – IVG; tempo médio de germinação – TMG; velocidade média de germinação – VMG; sementes duras – SD; sementes mortas – SM; comprimento de plântulas – CPL; massa seca de parte aérea – MSPA; massa seca de raiz – MSR; massa seca total - MST) em fator do tempo de recuperação das sementes de *P. moniliformis*. B - . B – Círculo de correlações das variáveis fisiológicas e dos períodos de recuperação. C – Biplot da análise de componentes principais.

Ainda com base nesta figura, avalia-se que as sementes intactas (SI) indicaram uma porcentagem de germinação correspondente a 21%, uma vez que, é possível que as sementes que passaram pelo sistema digestório dos caprinos e ovinos tiveram seus embriões danificados

pelas substâncias ácidas presentes, ocasionando sua morte, e conseqüentemente, as sementes intactas (SI) apresentaram maior germinação (Tabela 2). Também, foi possível destacar os períodos de 24 horas ovinos, 168 horas caprinos, 48, 72, 120 horas caprinos, 120 horas ovinos e 48 horas ovinos, quanto à germinação, uma vez que, a deposição no excremento pode mostrar conseqüências importantes para a semente, incluindo a germinação (TRAVERSE e VERDÚ, 2001). Com relação à primeira contagem de germinação (PCG), foi possível separar as sementes controle (SI), 24, 96 e 48 horas ovinos e 144 horas caprinos (18%, 17%, 8% e 12%; e 12%). O índice de velocidade de germinação, por sua vez, indicou destaque nas sementes intactas (SI), 48 e 24 horas ovinos, 72, 24, 48 e 120 horas caprinos (3,84; 1,28 e 1,57; e 1,52; 1,08; 1,08 e 1,02).

Quanto ao tempo médio de germinação (TMG), o período de 24 horas nos caprinos se destacou dos demais, tendo em vista que as sementes germinaram em menor tempo. Provavelmente isso tenha ocorrido por conta das sementes menores e mais esféricas atravessarem o sistema digestório dos ruminantes em menos tempo, aumentando assim, a taxa e velocidade de germinação (WHITACRE e CHAMADA, 2006; BALTZINGER et al., 2019). Com relação à velocidade média de germinação (VMG), o período de 24 horas nos ovinos aumentou a rapidez da germinação das sementes. As plântulas que tiveram suas sementes modificadas fisicamente, denotam o tempo médio de germinação reduzido e a elevação do índice de velocidade de germinação, que têm relação com a permeabilidade do tegumento, tendo em vista que facilitará a entrada de água na semente, dando início ao processo de germinação (FRANKE e BASEGGIO, 1998).

Por outro lado, grande parte das sementes que se mostraram duras e muito lignificadas, não sofreram maceração durante a mastigação, fato que explica a grande quantidade de sementes intactas (duras) resgatadas dos excrementos (GONÇALVES et al., 2013). Neste caso, as sementes duras apontaram germinação parecida com as sementes intactas (SI), para o período de 24 horas pelos caprinos, 48 horas pelos ovinos, 216 horas pelos caprinos, para os períodos de 24 horas nos ovinos e 48 horas nos caprinos e 96 horas nos ovinos. Isso acontece porque as sementes de *P. moniliformis* indicam dormência tegumentar, fator intrínseco que ocasiona redução da germinação das sementes mesmo após a passagem pelo sistema digestório dos animais (MICHAEL, STEADMAN e PLUMMER, 2007), uma vez que, as sementes exibem tegumento fortemente lignificado capaz de protegê-las à medida que atravessam o sistema digestório dos animais (ZHANG et al., 2021).

Com relação às sementes mortas houve maior porcentagem nos períodos de 144 e 192 horas pelos ovinos e 144 horas pelos caprinos. Além disso, foi possível separar os períodos de



72 horas pelos ovinos, 96 e 120 horas pelos caprinos, as sementes intactas (SI) e os de 120 e 96 horas pelos ovinos. Visto que, a porcentagem de sementes mortas aumenta quando estas permanecem muito tempo no sistema digestório dos animais, pois quanto maior a exposição dessas sementes aos ácidos gástricos, mais danos são acometidos aos embriões (MANCILLA, FERNÁNDEZ e MARTÍN, 2012; JARA-GUERRERO et al., 2018). O comprimento de plântulas, a massa seca de parte aérea e a massa seca total mostraram-se variáveis eficientes para definição dos períodos mais eficientes, destacando-se para o comprimento total os períodos de 144 horas, 96 horas, 72 horas, 48 horas, 168 horas e 120 horas pelos caprinos, além desses, 24 horas pelos ovinos, 48 horas pelos ovinos, 24 horas pelos caprinos e 96 horas pelos ovinos.

Quanto à massa seca de parte aérea, os períodos que se destacaram foram 24 horas nos caprinos, 96 horas nos ovinos, 72 horas nos caprinos e ovinos, 48 horas e 96 horas nos caprinos, 120 horas caprinos e ovinos, 144 horas e 168 horas nos caprinos. A massa seca de parte radicular mostrou os períodos de 96 horas ovinos, 24, 72 e 144 horas nos caprinos como os mais potenciais. A massa seca total, por sua vez, aponta respostas significativas nos períodos de 96 horas nos ovinos, 24 horas nos caprinos, 72, 48 e 96 horas nos caprinos, 72 horas nos ovinos, 144 horas nos caprinos e 120 horas nos caprinos e ovinos. Com isso, é possível afirmar que as sementes que entram em contato com os ácidos presentes no sistema digestório dos caprinos formam plântulas maiores, mais vigorosas e uniformes, e isso pode estar relacionado à liberação de nutrientes pelos excrementos dos animais (TRAVERSESET, BERMEJO e WILLSON, 2001).

Com base na análise multivariada de componentes principais (PCA), realizada utilizando-se os períodos de recuperação nos caprinos e ovinos das sementes de *P. moniliformis* e as onze variáveis de análise fisiológica, percebe-se que há dois componentes principais (CP1 e CP2) que explicaram 65,3% da variabilidade total de dados. De forma que, as várias combinações lineares possibilitaram a redução à duas dimensões que explicaram uma porcentagem significativa das observações (Figuras 4B e 4C).

No tocante a correlação (Figuras 4B e 4C), observa-se que para PC1 as variáveis que mais contribuem são: comprimento de plântulas (CPL), massa de parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) com as contribuições correspondentes a 17, 57% para CPL; 12,98% para MSPA e 14,19 % para MST. A PC2, por outro lado, mostra que as variáveis que mais contribuem são índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (G) com valores contribuintes de 15,64% para IVG; 14,41 para PCG e 12,89% para G%, que estão situadas próximas aos vetores que compreendem os tempos de recuperação das sementes de 48 e 72 horas para os caprinos, pois, a maioria das sementes que sobreviveram foram recuperadas nas 120 primeiras horas após a ingestão pelos caprinos e

ovinos, isto mostra que um período de quarentena equivalente a 5 dias para estes animais seria suficiente para reduzir o risco de transporte interno sementes, de acordo com as cargas fatoriais de distribuição semelhante nos componentes. Com base nesses resultados, é possível mensurar a alta correlação entre as variáveis fisiológicas e os tempos de recuperação das sementes, como mostrado na matriz de correlação (Figura 4A). Dessa forma, as variáveis exibidas são eficientes na classificação de qualidade fisiológica das sementes em detrimento ao tempo de recuperação das sementes pelos animais. Uma vez que, o maior tamanho e massa das plântulas podem estar ligados ao contato com a liberação dos nutrientes presentes nos excrementos dos animais. De forma que, estudos mostram que os excrementos mesmo não apontando resultados positivos na germinação das sementes, podem beneficiar o desempenho de plântulas, quanto ao comprimento e massa de plântulas (VALENTA e FEDIGAN, 2009; VEGA e GODÍNEZ-ALVAREZ, 2010). Com isso, foi possível observar nesta pesquisa que o aumento da viabilidade de uma amostra, ou seja, o crescimento rápido e uniforme de plântulas vigorosas, é ocasionada através da diminuição no tempo de germinação e do aumento no índice de velocidade.

## CONCLUSÕES

Sementes de *Leucaena leucocephala* e *Pytiocarpa moniliformis* ingeridas pelos caprinos e ovinos indicam que o sistema digestório desses pequenos ruminantes induz o aumento da germinação e vigor das sementes contidas nas cíbalas excretadas;

O sistema digestório dos caprinos e ovinos, ao influenciar o vigor das sementes de *L. leucocephala* contidas nas cíbalas, causa alterações na massa seca de parte aérea, massa seca total, menor tempo médio de germinação e velocidade média de germinação;

O sistema digestório dos caprinos e ovinos, também, influencia o vigor das sementes de *P. moniliformis* contidas nas cíbalas, entretanto seu efeito se dá apenas em relação ao comprimento da plântula.

## CAPÍTULO II

### USO DO TESTE DE RAIOS X PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEMENTES DE ESPÉCIES ORIUNDAS DA CAATINGA

#### RESUMO

A técnica de raios X é utilizada na avaliação da qualidade de sementes florestais, por ser rápida e não destrutiva. Por isso, o objetivo deste estudo foi associar as informações obtidas por meio do processamento digital de imagens radiográficas com a qualidade fisiológica de sementes florestais nativas da Caatinga, antes e após passarem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos. Amostras de sementes de 10 espécies foram submetidas à análise automatizada de raios X para obtenção de variáveis relacionadas à morfologia da semente e integridade dos tecidos. Em seguida, as sementes foram analisadas quanto ao potencial fisiológico por meio das variáveis germinação, protrusão radicular, índice de velocidade de protrusão radicular e tempo para atingir 50% de germinação, comprimento de plântulas, índices de crescimento, uniformidade e vigor. Com isso, foi possível observar que houve relação entre as variáveis obtidas com a análise radiográfica e as da qualidade fisiológica das sementes antes e após passarem pelo sistema digestório dos caprinos e ovinos. As sementes com baixa qualidade fisiológica denotam menor densidade de tecido, menor circularidade e maior assimetria positiva. O raios X é uma técnica considerada válida para firmar uma relação entre a qualidade física e fisiológica das sementes.

**Palavras-chave:** Espécies florestais, radiografias de sementes, ImageJ®, morfologia interna de sementes.

## INTRODUÇÃO

Sementes com alta qualidade física e fisiológica aumentam a probabilidade de sucesso do estande de mudas florestais (SOUZA et al., 2017). Portanto, é essencial garantir o controle de qualidade das sementes para posterior seleção de plantio e descarte de sementes (PINHEIRO et al., 2022). O teste de germinação é o principal para avaliar a qualidade fisiológica das sementes florestais (BRASIL, 2013). Entretanto, é um teste destrutivo e que muitas vezes não permite identificar danos capazes de comprometer a qualidade fisiológica das sementes. Por isso, é necessário incluir análises não destrutivas e de alto desempenho na avaliação do potencial das sementes florestais (MEDEIROS et al., 2018; MUKASA et al., 2019; PINHEIRO et al., 2020).

Dentre essas técnicas, está o teste de raios X, método rápido e eficiente na avaliação da morfologia interna de espécies florestais (ABUD et al., 2010; MEDEIROS et al., 2018). Alguns estudos realizados recentemente, mostram a possível relação entre as variáveis físicas obtidas com o teste de raios X e a germinação e o desempenho de plântulas, a exemplo das sementes de *Terminalia argentea* Mart. (GOMES et al., 2014), *Platypodium elegans* Vog. (GOMES et al., 2016), *Senna multijuga* Rich (MARCHI; GOMES-JÚNIOR, 2017), *Leucaena leucocephala* Lam. (MEDEIROS et al., 2018), *Moquiniastrium polymorphum* Less. (FARIA et al., 2019).

Esta técnica possibilita a visualização de fissuras, presença de insetos ou patógenos, preenchimento embrionário (SILVA et al., 2013; NORONHA; MEDEIROS; PEREIRA, 2018), tamanho do embrião (MARCHI e GOMES-JÚNIOR, 2017), identificação de sementes cheias, malformadas, ou anomalias embrionárias (GOMES et al., 2014). No entanto, o processo para avaliação visual das imagens radiográficas é lento e os resultados são subjetivos, dependentes das interpretações dos analistas. Com isso, torna-se necessária a automação desta técnica para aprimorar os resultados obtidos (ABUD, CÍCERO e GOMES, 2018).

A automação ocorre por meio da utilização de softwares capazes de facilitar a obtenção dos resultados. Dentre esses sistemas, está o ImageJ® (*US National Institute of Health*; <http://imagej.nih.gov/ij>), software de código aberto utilizado para processamento e análise de imagens. O ImageJ® é uma ferramenta aberta para análise de imagens (SCHNEIDER, RASBAND e ELICEIRI, 2012) que permite a quantificação de áreas vazias e cheias, medidas de forma e textura, determinação da densidade de pixels em imagens radiográficas, além de variáveis físicas que podem estar relacionadas ao potencial fisiológico das sementes (MEDEIROS et al., 2018).

A crescente necessidade de mudas arbóreas nativas para recuperação de áreas vem aumentando a utilização de novas técnicas. Muito embora existam poucas informações sobre técnicas emergentes para analisar o potencial fisiológico de espécies nativas da Caatinga. Com isso, o objetivo deste estudo foi associar as informações obtidas por meio do processamento digital de imagens radiográficas com a qualidade fisiológica de sementes florestais nativas da Caatinga, antes e após passarem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nos Laboratórios de Pesquisa de Sementes e Laboratório de Entomologia, do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Inicialmente, foram utilizadas sementes de onze espécies florestais arbóreas, canafístula (*Senna spectabilis* Irwin & Barneby), catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.), catingueira (*Poincianella pyramidalis* Tul.), jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart.), jureminha (*Desmanthus virgatus* Lam.), jurema-branca (*Mimosa verrucosa* Benth.), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Willd.), leucena (*Leucaena leucocephala* Lam), mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart.) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), provenientes da caatinga.

### Obtenção dos lotes de sementes

As sementes de *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *C. pyramidalis*, *C. ferrea*, *M. tenuiflora* foram obtidas por meio do NEMA (Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental) ligado à UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco); as de *D. virgatus* e *M. verrucosa* coletadas no município de Santa Luzia (6° 52' 2'' S e 36° 55' 16'' W); as de *L. leucocephala*, *C. ferrea* e *M. caesalpiniaefolia* coletadas no município de Areia (6° 57' 42'' S e 35° 41' 43'' W), no estado da Paraíba, Brasil, e as de *C. leprosum* coletada no município de Umarizal (5° 59' 50'' S e 37° 48' 26'' W).

Com essas sementes foram conduzidos dois experimentos. No primeiro foi ajustada a metodologia de análise do teste de raios X para cada uma das espécies avaliadas, sendo que as sementes também foram avaliadas quanto à qualidade fisiológica. No segundo experimento, as sementes de *P. moniliformis* e *L. leucocephala* que passaram pelo sistema digestório de pequenos ruminantes e não germinaram, foram caracterizadas por meio do teste de raios X.

### Análises físicas

As sementes foram avaliadas quanto ao teor de água pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C durante 24 horas, com base nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando-se duas subamostras de 5 g de sementes por lote. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O teste de raios X foi utilizado para permitir a observação da morfologia interna das sementes, sendo utilizadas quatro repetições de 25 sementes para os lotes de *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *L. leucocephala*, *D. virgatus*, *M. verrucosa*, *M. tenuiflora*, *C. ferrea* e *M. caesalpiniaefolia*, e cinco repetições de 20 sementes para os lotes de *C. pyramidalis*, *C. ferrea* e *C. leprosum*, devido ao tamanho das sementes.

As sementes foram dispostas com o eixo embrionário voltado para baixo e fixadas em papel adesivo, para posterior identificação. Em seguida, as sementes foram colocadas no interior do equipamento Faxitron, modelo MX-20 (Faxitron X-ray Corp. Wheeling, IL, EUA) onde foram geradas as imagens radiográficas. Para isto, foi necessário ajustar o equipamento, quanto ao tempo de exposição, distância focal, tensão e contraste.

A partir dos resultados obtidos em ensaios preliminares, o equipamento foi calibrado quanto ao tempo de exposição de 10 segundos, tensão de 32 kV, distância focal de 27,8 cm para as espécies *D. virgatus* e *M. tenuiflora* e de 41,6 cm para as espécies *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *C. pyramidalis*, *L. leucocephala*, *C. ferrea*, *M. verrucosa*, *C. leprosum*, *C. ferrea* e *M. caesalpiniaefolia*. O contraste da imagem foi calibrado em 4580 (*width*) e 4980 (*center*) para *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *M. verrucosa*, *D. virgatus*, *L. leucocephala*, *C. leprosum* e *M. caesalpiniaefolia*; em 7850 (*width*) e 3294 (*center*) para a catingueira e o *C. ferrea*; em 3699 (*width*) e 5234 (*center*) para a *M. tenuiflora* e por fim, 2810 (*width*) e 1440 (*center*) para o *C. ferrea*. As imagens digitais geradas foram salvas em computador no formato TIFF, processadas e em seguida analisadas.

### **Análises físicas em sementes que passaram pelo sistema digestório dos animais**

Após a realização do teste de germinação das sementes coletadas das cíbalas dos animais, as sementes que não germinaram de *P. moniliformis* e *L. leucocephala* foram selecionadas em cada um dos períodos de coleta (a quantidade foi conforme à excreção pelos animais), de modo que, foram dispostas em papel adesivo, identificado de acordo com o nome da espécie e a posição de cada semente. Em seguida, foram submetidas ao teste de raios X, considerando os mesmos padrões de tempo de exposição, distância focal, tensão e contraste, utilizados anteriormente na padronização para cada espécie.

### **Análise das imagens radiográficas**

As imagens radiográficas foram avaliadas utilizando-se o software ImageJ<sup>®</sup>, baseando-se na metodologia semi-automatizada de Medeiros et al. (2018). Nas imagens radiográficas foi



possível selecionar individualmente as sementes e o eixo-embrionário. Inicialmente as imagens foram convertidas para 8 bits, seguido da calibração da escala em milímetros, seleção da área a ser analisada e utilização da máscara de *threshold* para garantir a diferença de contrastes entre os componentes das imagens. Após isso, executou-se o comando “Analyze particle” no software.

Dessa maneira, foi possível determinar as seguintes variáveis: área ( $\text{mm}^2$ ), perímetro (mm), circularidade (0,0-1,0), solidez (0,0-1,0), desvio padrão da intensidade de pixels, raio, densidade relativa ( $\text{cinza} \cdot \text{pixel}^{-1}$ ) e densidade integrada ( $\text{cinza} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{pixel}^{-1}$ ) (Tabela 1).

**Tabela 1:** Descrição das variáveis utilizadas no processamento digital de imagens em sementes de espécies arbóreas provenientes da Caatinga.

| Variável                               | Descrição                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área                                   | Seleção obtida em pixels quadrados e posteriormente em unidades de milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ )                                                                                       |
| Perímetro                              | O comprimento do limite externo da semente, em milímetros (mm).                                                                                                                                 |
| Circularidade                          | Obtida com base na equação: $C = 4\pi * \text{área}/(\text{perímetro})^2$ . Em que os valores iguais a 1,0 demonstram um círculo perfeito e à medida que tendem a 0 sugerem uma forma alongada. |
| Solidez                                | Valor escalar de 0,0 a 1,0, indicado com relação a seleção de área convexa da semente                                                                                                           |
| Desvio padrão da intensidade de pixels | Medida que expressa o grau de dispersão dos dados da intensidade de pixels. Isto é, expressa a uniformidade.                                                                                    |
| Raio                                   | Proporção da elipse ajustada da semente a partir dos eixos maior e menor                                                                                                                        |
| Densidade relativa                     | Expressa em cinza $\text{pixel}^{-1}$ ; essa variável é igual à soma dos valores de cinza de todos os pixels na área de seleção dividida pelo número de pixels da seleção                       |
| Densidade Integrada                    | Expressa em cinza $\text{mm}^2 \text{pixel}^{-1}$ , corresponde a soma dos valores dos pixels na imagem ou seleção, ou seja, ao produto de área e densidade relativa.                           |

## Avaliação da qualidade fisiológica

Após a obtenção das imagens de raios X, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, permanecendo-as no substrato na mesma posição de quando foram analisadas para obtenção das imagens radiográficas, de modo a relacionar as avaliações fisiológicas com os dados de imagem individualmente para cada semente. Para o teste de germinação, foram utilizadas caixas plásticas transparentes (11 x 11 x 3 cm) ou rolos de papel (de acordo com a metodologia de cada espécie), sendo as folhas de papel *germitest* umedecidas com água destilada, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. As contagens diárias foram feitas até o vigésimo primeiro dia para a *P. moniliformis*, ao vigésimo dia para os dois lotes de *C. ferrea*, ao décimo nono dia para o *C. leprosum*, ao décimo quarto dia para a *S. spectabilis*, *C. pyramidalis*, *M. verrucosa*, *M. tenuiflora* e *D. virgatus*, ao décimo dia para as sementes de *L. leucocephala* e *M. caesalpiniaefolia*. O IVG foi calculado por meio da fórmula proposta por Labouriau (1983), sendo os resultados expressos em dias.

A partir desses dados, foi possível obter as seguintes variáveis: percentual de protrusão radicular (radícula maior que 2 mm), porcentagem de germinação (plântulas com comprimento maior que 20 mm, com raízes e cotilédones visíveis e desenvolvimento normal), índice de velocidade de protrusão radicular e  $T_{50}$  (tempo para atingir 50% de germinação). Os índices foram calculados utilizando-se o pacote *SeedCalc* do R, e as equações descritas em Silva et al. (2019).

Para avaliação do vigor das sementes, analisou-se a primeira contagem de germinação, realizado conjuntamente ao teste de germinação, sendo as contagens do número de plântulas normais realizadas no quarto dia para as sementes de *L. leucocephala* (BRASIL, 2009), no quinto dia para as sementes de *D. virgatus* (QUEIROZ, 2012), quinto dia para as sementes de *M. caesalpiniaefolia* (BRASIL, 2013), sétimo dia para as sementes de *P. moniliformis*, *C. pyramidalis* e *M. tenuiflora* (BRASIL, 2013), décimo nono dia para o *C. leprosum* (BRASIL, 2009) e no vigésimo dia para as sementes de *C. ferrea* (BRASIL, 2013). Após o teste de germinação, as plântulas e as sementes que não germinaram foram escaneadas. As imagens foram utilizadas na medição manual do comprimento do hipocótilo, raiz primária e comprimento total da plântula por meio do software ImageJ®. Os dados de comprimento foram processados utilizando-se o pacote *SeedCalc* do R (Silva et al., 2019) e os índices gerados

foram: crescimento de plântulas, uniformidade (CASTAN et al., 2018) e vigor (SAKO et al., 2001).

Posteriormente, as mesmas plântulas foram acondicionadas em papel e levadas para a estufa regulada a 65 °C durante 48 horas. Decorrido este período, foram pesadas em balança analítica de precisão (0,001 g) para aferição da massa seca. Os resultados foram expressos em g plântulas<sup>-1</sup> (NAKAGAWA, 1999).

### **Análise estatística**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições de 25 sementes para cada uma das dez espécies avaliadas, onde foram obtidas as médias e o desvio padrão das variáveis fisiológicas e das obtidas por meio do software ImageJ<sup>®</sup>. Os dados foram analisados com o software estatístico R (*R CORE TEAM*, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

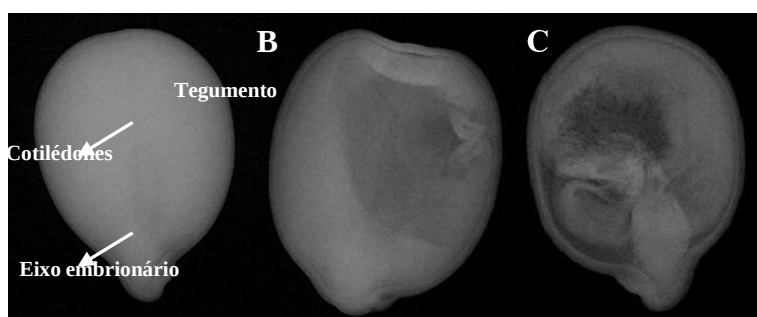
### Experimento I

Com base na primeira etapa deste estudo, como resultado das análises do teste de raios X associadas à qualidade fisiológica das sementes das 10 espécies avaliadas, observa-se (tabela 2) os valores do teor de água das sementes das respectivas espécies nativas da Caatinga.

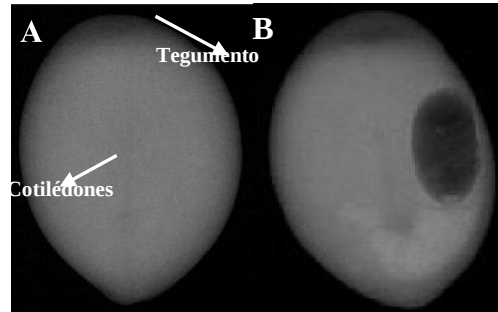
**Tabela 2:** Teor de água das sementes das 10 espécies nativas da Caatinga.

| Espécies                    | Teor de água (%) |
|-----------------------------|------------------|
| <i>S. spectabilis</i>       | 11               |
| <i>P. moniliformis</i>      | 12,7             |
| <i>C. pyramidalis</i>       | 9,4              |
| <i>L. leucocephala</i>      | 12,5             |
| <i>C. ferrea*</i>           | 11,1             |
| <i>C. ferrea*</i>           | 14,6             |
| <i>C. leprosum</i>          | 11,4             |
| <i>M. verrucosa</i>         | 8,9              |
| <i>M. caesalpiniiifolia</i> | 9,8              |
| <i>M. tenuiflora</i>        | 12,8             |
| <i>D. virgatus</i>          | 9,5              |

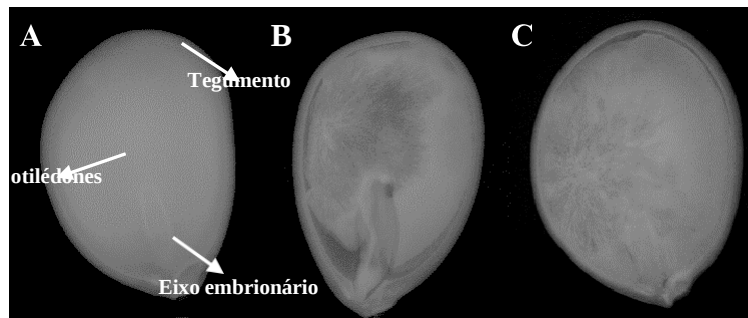
Os dados sobre teor de água são de grande importância, pois estão diretamente relacionados com a densidade óptica das imagens de raios X, tendo em vista que, altos teores de água das sementes reduzem a absorção de radiação pelos tecidos, comprometendo a visualização detalhada da morfologia interna (SIMAK, 1991); além de afetar os resultados da avaliação da qualidade fisiológica (MARCOS-FILHO, 2015). A associação com contraste, tempo de exposição, distância focal e tensão utilizados para cada espécie possibilitou a obtenção de imagens radiográficas com boa resolução e detalhes da morfologia interna das sementes (Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11).



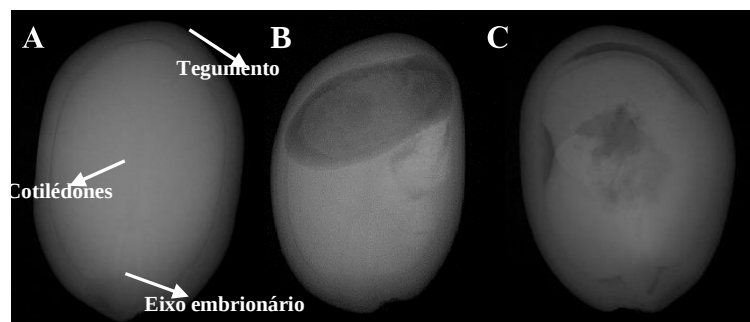
**Figura 1:** Radiografias de sementes de *Senna spectabilis*: semente bem formada (A) semente danificada mecanicamente (B) e má formação da semente (C).



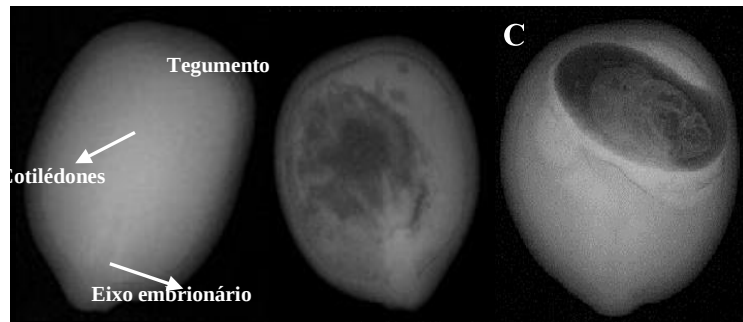
**Figura 2:** Radiografias de sementes de *Pytirocarpa moniliformis*: semente bem formada (A) e presença de inseto (B).



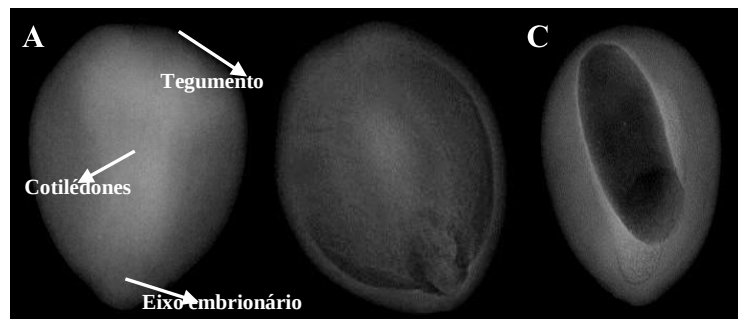
**Figura 3:** Radiografias de sementes de *Caesalpinia pyramidalis*: semente bem formada (A) má formação da semente (B) e semente infectada por fungo (C).



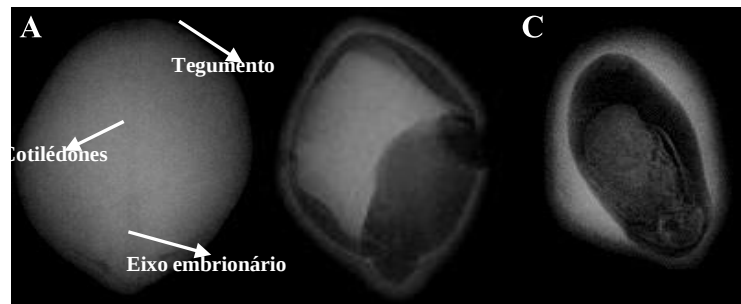
**Figura 4:** Radiografias de sementes de *Caesalpinia ferrea*: semente bem formada (A), presença de inseto (B) má formação da semente (C).



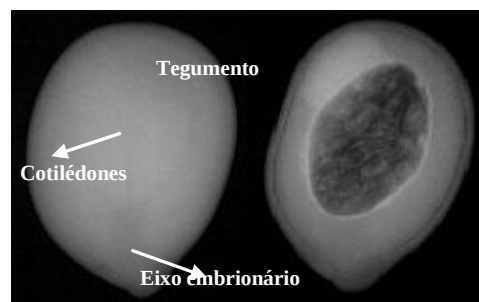
**Figura 5:** Radiografias de sementes de *Mimosa verrucosa*: semente bem formada (A) semente infectada por fungo (B) e presença de inseto (C).



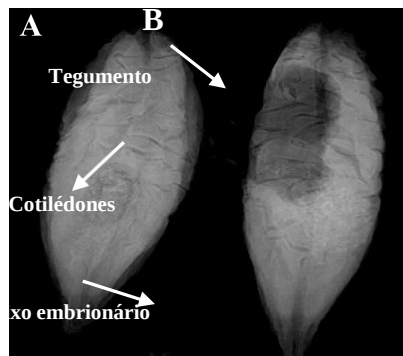
**Figura 6:** Radiografias de sementes de *Mimosa tenuiflora*: semente bem formada (A) má formação da semente (B) e semente predada por inseto (C).



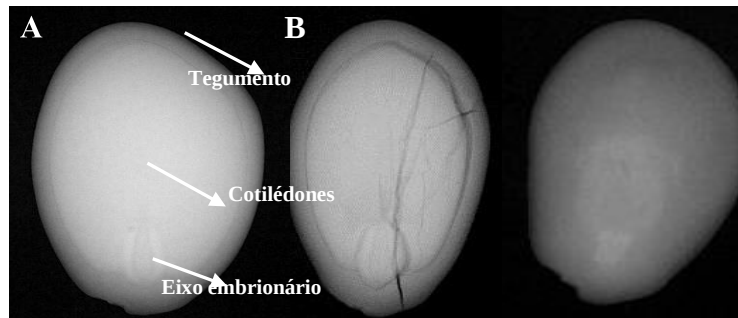
**Figura 7:** Radiografias de sementes de *Desmanthus virgatus*: semente bem formada (A) má formação da semente (B) e semente predada por inseto (C).



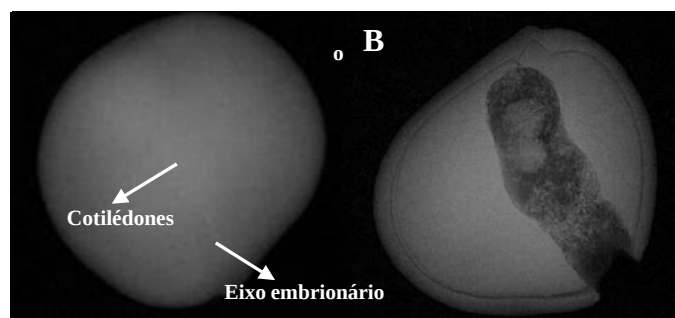
**Figura 8:** Radiografias de sementes de *Leucaena leucocephala*: semente bem formada (A) e semente predada por inseto (B).



**Figura 9:** Radiografias de sementes de *Combretum leprosum*: semente bem formada (A) e danificada mecanicamente (B).



**Figura 10:** Radiografias de sementes de *Caesalpinia ferrea*: semente bem formada (A), semente danificada mecanicamente (B) e má formação da semente (C).



**Figura 11:** Radiografias de sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia*: semente bem formada (A) e semente predada por inseto (B).

A técnica de raios X permitiu a observação de estruturas críticas das sementes, como o eixo embrionário de algumas das espécies avaliadas (Figuras 1, 3, 4, 5, 8 e 10). De forma geral,

foi possível identificar sementes com má formação e sementes danificadas (Figuras 1B, 1C, 3B, 4C, 6B, 7B, 9B e 10C). Sementes quando atacadas por insetos apresentam áreas com menor densidade, evidenciando o local de predação (Figuras 2B, 6C e 8B). Em alguns casos foi possível visualizar o inseto dentro da semente (Figuras 4B, 5C e 7C) e, também, a presença de fungos no interior das sementes, caracterizada por zonas circulares de baixa densidade e ramos miceliais aparentes (Figuras 3C e 5B). Outros danos também foram observados, como rachaduras nos cotilédones (Figura 10B), que podem ter sido ocasionadas durante a colheita ou processamento.

Muito embora a análise radiográfica realizada por analistas seja mais simples e sensível, mas, destaca-se ser um processo trabalhoso, demorado e que pode levar a erros inerentes à sua subjetividade. Assim, no presente estudo foi utilizado o software ImageJ<sup>®</sup> para processar as imagens e obter variáveis relacionadas à qualidade física das sementes. Na Tabela 3 estão as variáveis obtidas com uso do ImageJ<sup>®</sup>, através da análise das radiografias das sementes das 10 espécies florestais da Caatinga.

**Tabela 3:** Valores médios das variáveis físicas obtidas, por meio da análise automatizada de imagens radiográficas, de 10 espécies nativas da Caatinga.

| Espécies                    | Área<br>mm <sup>2</sup> | Densidade<br>relativa<br>Cinza<br>mm <sup>2</sup><br>pixel <sup>-1</sup> | Desvio<br>padrão da<br>intensidade<br>de pixels | Perímetro<br>mm | Circularidade | Raio  | Densidade<br>Integrada<br>cinza<br>pixel <sup>-1</sup> | Solidez |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------|--------------------------------------------------------|---------|
| <i>S. spectabilis</i>       | 19,57                   | 105,50                                                                   | 21,21                                           | 17,56           | 0,80          | 6,03  | 1821,49                                                | 0,98    |
| <i>P. moniliformis</i>      | 23,09                   | 99,97                                                                    | 24,88                                           | 18,79           | 0,82          | 6,38  | 2309,77                                                | 0,99    |
| <i>C. pyramidalis</i>       | 77,73                   | 61,57                                                                    | 15,23                                           | 36,06           | 0,75          | 11,58 | 4813,99                                                | 0,99    |
| <i>L. leucocephala</i>      | 24,77                   | 107,60                                                                   | 27,94                                           | 19,93           | 0,78          | 7,01  | 2681,65                                                | 0,99    |
| <i>C. férrea</i>            | 43,46                   | 93,53                                                                    | 27,38                                           | 26,35           | 0,78          | 8,87  | 4065,32                                                | 0,99    |
| <i>C. férrea</i>            | 33,57                   | 156,40                                                                   | 43,21                                           | 23,64           | 0,76          | 8,39  | 5321,28                                                | 0,99    |
| <i>C. leprosum</i>          | 32,02                   | 112,01                                                                   | 33,68                                           | 33,42           | 0,37          | 11,49 | 3594,02                                                | 0,96    |
| <i>M. verrucosa</i>         | 26,49                   | 99,37                                                                    | 31,88                                           | 21,01           | 0,76          | 6,35  | 2644,69                                                | 0,99    |
| <i>M. caesalpiniiifolia</i> | 25,49                   | 81,41                                                                    | 23,21                                           | 21,46           | 0,70          | 6,32  | 2079,70                                                | 0,98    |
| <i>M. tenuiflora</i>        | 19,29                   | 77,77                                                                    | 26,27                                           | 18,99           | 0,67          | 5,55  | 1509,67                                                | 0,98    |
| <i>D. virgatus</i>          | 10,10                   | 64,41                                                                    | 22,34                                           | 15,13           | 0,62          | 4,41  | 651,23                                                 | 0,96    |

Por meio das radiografias digitais foram obtidas as características de tamanho e forma das sementes. Os valores médios de área, perímetro e circularidade para as sementes de *S. spectabilis* foram de 19,57 mm<sup>2</sup>, 17,67 mm e 0,80; para *P. moniliformis* de 23,09 mm<sup>2</sup>, 18,79 mm e 0,82; para *C. pyramidalis* de 77,73 mm<sup>2</sup>, 15,23 mm e 0,75; *L. leucocephala* de 24,77 mm<sup>2</sup>, 19,93 mm e 0,78; *C. ferrea* de 33,57 a 43,46 mm<sup>2</sup>, 23,64 a 26,35 mm e 0,76 a 0,78; *C.*



*leprosum* de 32,02 mm<sup>2</sup>, 3342 mm e 0,37; *M. verrucosa* de 26,49 mm<sup>2</sup>, 21,01 mm e 0,76; *M. caesalpiniaefolia* de 25,49 mm<sup>2</sup>, 21,46 mm e 0,70; *M. tenuiflora* de 19,29 mm<sup>2</sup>, 18,99 mm e 0,67 e para a *D. virgatus* 10,10 mm<sup>2</sup>, 15,13 mm e 0,62. Assim, por meio das análises das imagens radiográficas foi possível avaliar esses parâmetros individualmente para cada semente, o que pode ser utilizado para a seleção de lotes de sementes com maior qualidade física, com sementes maiores e mais bem formadas.

As informações de forma e tamanho de sementes têm relação direta com o crescimento inicial das plântulas, tendo em vista que, as dimensões das sementes têm correlação com o conteúdo de substâncias nutritivas. Além disso, sabe-se que sementes maiores são mais nutridas, possuem embrião bem formado e com maior quantidade de reserva, sendo provavelmente as mais vigorosas (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012; BARROSO et al., 2016). Além disso, essas características quando obtidas por meio de metodologias de alta precisão, podem beneficiar diversos campos de pesquisa de plantas, como programas de produção de mudas.

Ao se realizar a escolha de lotes de sementes é ideal que sejam uniformes e que denotem dimensões superiores, às quais tem mais chances de germinar e formar plântulas mais vigorosas, devido principalmente ao estado nutricional dos embriões que possuem maior estoque de reservas (MARCOS-FILHO, 2015). No entanto, características físicas podem não ter correlação direta com a qualidade fisiológica das sementes para todas as espécies (PEÑALOZA e DURÁN, 2015), principalmente para as espécies florestais.

As variáveis densidade relativa e densidade integrada apresentaram valores médios de 105,50 e 1821,49 para a *S. spectabilis*; 99,97 e 2309,77 a *P. moniliformis*; 61,57 e 4813,99 a *C. pyramidalis*; 107,60 e 2681,65 a *L. leucocephala*; as duas espécies de *C. ferrea* variaram de 93,53 a 156,40 para densidade relativa e de 4065,32 a 5321,28 para densidade integrada; o *C. leprosum* apresetou 112,01 e 3594,02; a *M. verrucosa* 99,37 e 2644,69; a *M. caesalpiniaefolia* 81,41 e 2079,70; a *M. tenuiflora* 77,77 e 1509,67 e a *D. virgatus* 64,41 e 651,23. De acordo com os resultados obtidos, houve grande variação na densidade das sementes dentro dos lotes de cada espécie e entre as espécies. A densidade da semente é uma característica genética, mas que também pode ser influenciada pelas condições ambientais durante a formação das sementes, grau de maturidade, processo de deterioração e predação (GOMES et al., 2016).

Há poucos estudos em que as densidades relativa e integrada em sementes de espécies florestais foram estudadas, no entanto, essas variáveis apontam grande potencial para avaliação de lotes (ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018). Ambas mostram uma ideia de resistência de determinado tecido à passagem dos raios X e de acordo com Kotwaliwale et al.

(2014) são calculadas utilizando-se os valores de cinza de cada pixel da imagem, de forma que, um feixe de raios X, quando incide em um objeto, pode ser espalhado (dispersão de Compton) ou absorvido (colisão fotoelétrica).

Com relação à variável solidez, a qual pode ser utilizada como medida de densidade (MARTINOVIC et al., 2018), e observa-se que os valores médios entre as onze espécies variaram de 0,96 a 0,99. Tal variável exhibe valores aproximados de 1 que corresponde a uma estrutura mais rígida, enquanto valores mais baixos mostram limites de cavidades irregulares (SOLTYS et al., 2005). Dessa forma, há redução da diferença entre a área da semente e a área convexa da semente, quando há maior solidez, obtendo-se valores dessa variável próximos de 1,0 o que indica boa formação de sementes e sem danos (RIBEIRO et al., 2021).

Em estudo sobre raios X em sementes é importante realizar a avaliação da morfologia interna ocupada pelo eixo embrionário, presença de danos mecânicos, deterioração dos tecidos ou má formação das sementes (FORTI et al., 2010; GOMES-JUNIOR et al., 2013; GOMES et al., 2014; MARCHI e GOMES JUNIOR, 2017; NORONHA et al., 2018). Embora, todas as características citadas sejam exemplificadas pela densidade relativa, uma vez que sementes deterioradas ou com menor preenchimento exibem redução dos níveis de cinza na imagem radiográfica. Dessa forma, imagens com menores níveis claros (radiopacidade) e maiores níveis escuros (radioluminescência) podem ser identificadas por meio da variável densidade relativa (MEDEIROS et al., 2018).

O contraste é um fator importante na avaliação das imagens radiográficas, tendo em vista que, para realizar a comparação de densidades relativas das sementes obtidas de diferentes imagens radiográficas, é necessário padronizá-las no equipamento para garantir a calibração da imagem (*width* e *center*). Ainda, com relação à densidade relativa, pode haver influência de outros objetos com maior densidade que estejam inclusos com as sementes quando as imagens forem obtidas, como resquícios de frutos, pedras e impurezas. Além disso, mesmo em configurações similares de energia e corrente elétrica, a utilização de diferentes sistemas de raios X pode obter resultados distintos, por causa dos diferentes detectores de raios X utilizados (KOTWALIWALE et al., 2014). No entanto, a alta resolução aliada ao contraste é promissora na diferenciação dos materiais presentes nas imagens a partir das suas densidades (BUSHBERG et al., 2002).

Apesar de variáveis físicas obtidas a partir do processamento digital de imagens radiográficas serem interessantes e eficientes na caracterização de espécies, é imprescindível analisar os dados de carácter fisiológico para analisar a germinação e vigor das sementes. Neste sentido, alguns estudos com *Leucena leucocephala* (MEDEIROS et al., 2018) e *Crambe*

*abyssinica* (RIBEIRO et al., 2021) mostraram fortes relações entre espaço vazio e qualidade fisiológica das sementes, nos quais sementes que apresentam menor preenchimento eram menos vigorosas.

Na Tabela 3, estão contidos os valores médios e o erro-padrão das variáveis obtidas por meio da avaliação da qualidade fisiológica das sementes das espécies da Caatinga.

**Tabela 4:** Valores médios dos dados obtidos na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de 10 espécies nativas da Caatinga.

| Espécies                   | Germinação (%) |               | Protrusão Radicular (%) |                                        | IVG <sup>1</sup> |               | T <sup>2</sup> (dias) |               |
|----------------------------|----------------|---------------|-------------------------|----------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------|---------------|
|                            | Média          | Desvio-padrão | Média                   | Desvio-padrão da intensidade de pixels | Média            | Desvio-padrão | Média                 | Desvio-padrão |
|                            |                |               |                         |                                        |                  |               |                       |               |
| <i>S. spectabilis</i>      | 73             | 3,27          | 96                      | 16,77                                  | 11,82            | 0,94          | 1,08                  | 0,03          |
| <i>P. moniliformis</i>     | 89             | 5,66          | 92                      | 6,00                                   | 12,04            | 0,63          | 1,48                  | 0,02          |
| <i>C. pyramidalis</i>      | 80             | 3,53          | 95                      | 11,73                                  | 11,082           | 1,18          | 1,40                  | 0,10          |
| <i>L. leucocephala</i>     | 90             | 3,83          | 95                      | 5,16                                   | 12,58            | 0,80          | 1,47                  | 0,03          |
| <i>C. ferrea</i>           | 79             | 6,52          | 94                      | 11,40                                  | 8,22             | 0,48          | 1,78                  | 0,16          |
| <i>C. ferrea</i>           | 82             | 7,30          | 92                      | 5,16                                   | 7,28             | 0,61          | 2,65                  | 0,07          |
| <i>C. leprosum</i>         | 96             | 4,47          | 97                      | 2,24                                   | 5,32             | 0,28          | 3,29                  | 0,06          |
| <i>M. verrucosa</i>        | 80             | 6,00          | 87                      | 5,66                                   | 15,38            | 1,11          | 1,15                  | 0,11          |
| <i>M. caesalpiniifolia</i> | 93             | 0,0           | 100                     | 0,0                                    | 17,41            | 1,51          | 1,24                  | 0,05          |
| <i>M. tenuiflora</i>       | 65             | 8,25          | 67                      | 8,87                                   | 7,33             | 1,03          | 1,67                  | 0,09          |
| <i>D. virgatus</i>         | 12             | 1,88          | 13                      | 3,27                                   | 1,53             | 0,17          | 1,64                  | 0,10          |

<sup>1</sup> Índice de Velocidade de germinação. <sup>2</sup> T<sub>50</sub> – tempo médio para germinação de 50% das sementes.

Pela porcentagem de germinação, sendo esta considerada a porcentagem de plântulas normais no final da última contagem após a montagem após o teste, foi possível analisar que houve variação de 65 a 93% de germinação para as sementes de diferentes espécies, isso mostra que, todas as espécies pesquisadas encontram-se dentro dos padrões de qualidade conforme às Instruções Normativas (2011), indicando alta qualidade fisiológica, exceto a *D. virgatus* com um potencial germinativo de 12 %. A protrusão radicular seguiu o mesmo padrão observado na germinação. Contudo, considerou-se para esta análise apenas a protrusão da radícula (> 2 mm).

As sementes das diferentes espécies avaliadas possuem variação de 1,15 a 3,29 com relação ao tempo médio de germinação (T<sub>50</sub>). Por outro lado, a velocidade de germinação das sementes variou entre 1,53 e 17,41. O índice T<sub>50</sub> e o IVE são informações importantes ligados ao vigor de sementes, visto que, a irregularidade no tempo de protrusão radicular e a germinação das sementes podem resultar em irregularidades no desenvolvimento e crescimento das plantas (MARCOS-FILHO, 2015; FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016). De acordo com Soares et al.

(2018), o IVE é uma variável com muita sensibilidade na detecção de pequenas diferenças na qualidade das sementes.

Com relação aos valores de comprimento de plântulas, apresentados na Tabela 4, pode-se observar os valores médios de 222,47 mm para *L. leucocephala*, 167,95 mm para *C. pyramidalis*, 156,77 mm para *C. leprosum*. Houve variação de 125,67 a 132,74 mm para a *C. ferrea*. A *S. spectabilis* com 78,48 mm e a *P. moniliformis*, 128,76 mm. As espécies de *M. verrucosa*, *M. caesalpiniifolia* e *M. tenuiflora* exibiram valores médios de 130,08 mm, 122,80 mm e 77,33 mm, e por fim, a *D. virgatus* obteve um comprimento médio de 13,37 mm.

No tocante aos índices de uniformidade, crescimento e vigor (Tabela 5), houve variação de 77 a 822 para a uniformidade, de 580 a 12129 para o crescimento e 429 a 8726 para o vigor das plântulas das espécies avaliadas. Isto mostra que maiores taxas de desenvolvimento, crescimento e uniformidade podem estar correlacionadas com a maior capacidade de as sementes transferirem suas reservas para o desenvolvimento do eixo embrionário (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016), o que depende das características morfológicas das sementes de cada espécie, como tamanho e densidade tecidual.

**Tabela 5:** Valores médios dos dados obtidos na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de 10 espécies nativas da Caatinga.

| Espécies                   | Comprimento de Plântulas (mm) |               | Índice       |               |             |               |       |               |
|----------------------------|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|-------------|---------------|-------|---------------|
|                            |                               |               | Uniformidade |               | Crescimento |               | Vigor |               |
|                            | Média                         | Desvio-padrão | Média        | Desvio-padrão | Média       | Desvio-padrão | Média | Desvio-padrão |
| <i>S. spectabilis</i>      | 78,48                         | 24,93         | 632          | 124,72        | 3883        | 1463,59       | 2907  | 1060,7        |
| <i>P. moniliformis</i>     | 128,76                        | 8,84          | 787          | 7,18          | 7404        | 798,61        | 5419  | 560,73        |
| <i>C. pyramidalis</i>      | 167,95                        | 24,36         | 747          | 97,65         | 6582        | 5241,56       | 7032  | 996,44        |
| <i>L. leucocephala</i>     | 222,47                        | 41,3          | 787          | 34,14         | 12129       | 2323,45       | 8726  | 1638,93       |
| <i>C. ferrea</i>           | 125,67                        | 8,44          | 700          | 44,25         | 6912        | 428,11        | 5048  | 338,95        |
| <i>C. ferrea</i>           | 132,74                        | 9,18          | 721          | 29,44         | 7491        | 749,27        | 5460  | 520,93        |
| <i>C. leprosum</i>         | 156,77                        | 12,76         | 795          | 80,46         | 9452        | 780,42        | 6855  | 550,64        |
| <i>M. verrucosa</i>        | 130,08                        | 10,83         | 749          | 21,58         | 5948        | 220,86        | 4388  | 159,31        |
| <i>M. caesalpiniifolia</i> | 122,8                         | 7,14          | 822          | 41,04         | 6555        | 575,65        | 4835  | 409,36        |
| <i>M. tenuiflora</i>       | 77,33                         | 12,31         | 598          | 112,96        | 3459        | 646,21        | 2599  | 487,8         |
| <i>D. virgatus</i>         | 13,37                         | 3,86          | 77           | 32,87         | 580         | 189,88        | 429   | 142,77        |

Os índices de crescimento, uniformidade e vigor são indicativos da qualidade fisiológica das sementes (Tabela 4). Esses índices foram indicados em outras pesquisas por possibilitar o acesso às informações importantes com relação ao crescimento inicial e uniformidade de plântulas, podendo classificar as sementes com base na sua qualidade fisiológica (SAKO et al., 2001; CASTAN et al., 2018).

Os valores baixos de desvio padrão mostram que a média representa os valores reais do conjunto de dados com exatidão, evidenciando a precisão do experimento quando estes parâmetros são atendidos (MENEGATTI et al., 2017). A precisão e sensibilidade das análises estão associadas à amostragem, ao emprego do método de caracterização física, que é viável utilizando apenas a análise computadorizada de imagens.

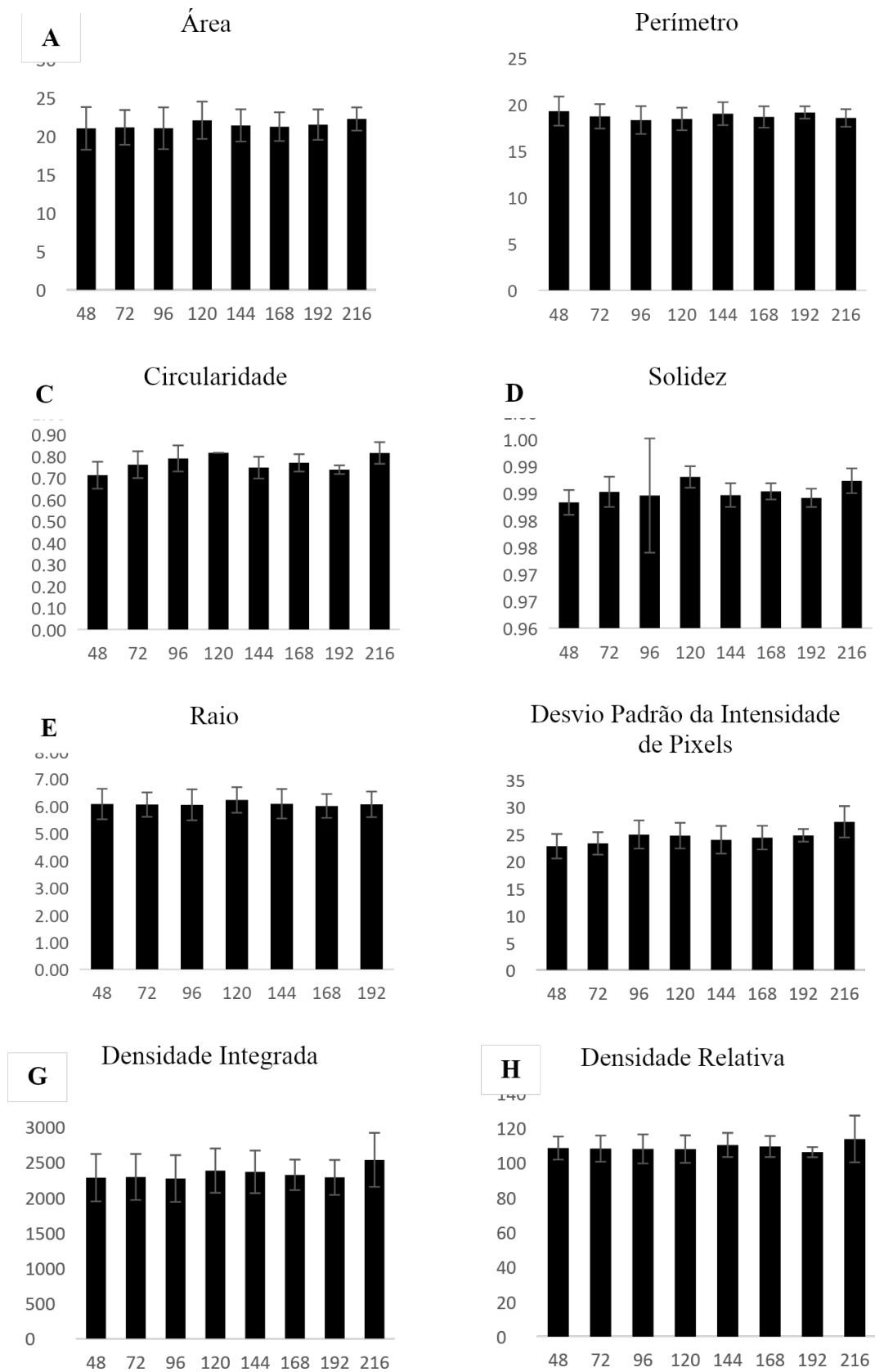
### *Experimento II*

Na segunda etapa deste trabalho, foi analisada a morfologia interna das sementes que passaram pelo sistema digestório de pequenos ruminantes e que não germinaram, com o intuito de investigar os efeitos desse tratamento.

Nas figuras 12 a 15 estão descritas as variáveis obtidas por meio da avaliação física das sementes de *P. moniliformis* e *L. leucocephala* obtidas em cada tempo de excreção dos caprinos e ovinos realizadas por meio das análises de imagens radiográficas.

De acordo com as características físicas obtidas das sementes de *P. moniliformis* coletadas dos caprinos em diferentes tempos (48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 e 216 horas) de excreção, observa-se que com relação à área e o perímetro (Figura 12A e 12B), não houve diferença significativa entre os tempos. Com relação à circularidade (Figura 12C) e à solidez (Figura 12D), os períodos com maiores valores foram os de 120 e 216 horas, diferindo-se dos demais.

Quanto ao raio das sementes (Figura 12E), não houve diferença significativa entre os períodos. O período com maior desvio padrão da intensidade de pixels (Figura 12F) em relação aos demais, foi o de 216 horas. Essas informações são importantes, visto que alguns estudos destas variáveis estão relacionados com a maturação das sementes (ABUD et al., 2018; JAVORSKI et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018). Dessa forma, sementes bem formadas exibiram maiores valores para essas variáveis. A partir disso, é possível identificar e classificar sementes com características desejáveis para produção de mudas. A densidade relativa (Figura 12G) e integrada (Figura 12H) denotam valores superiores para o período de 216 horas. Tendo em vista que ambas variáveis possuem estreita relação com a densidade do tecido. Ou seja, quanto mais denso o tecido maior o valor de cinza. Sabe-se que há relação estreita entre estas variáveis e a formação tecidual interna da semente, uma vez que, sementes malformadas e menos cheias apresentam níveis de cinza mais baixos (MEDEIROS et al., 2018). Além disso, mesmo que as sementes provenientes do período de 216 horas tenham permanecido no sistema digestório dos animais por mais tempo, não houve modificações da integridade tecidual delas, por isso as sementes coletadas neste período exibiram maiores níveis de cinza.



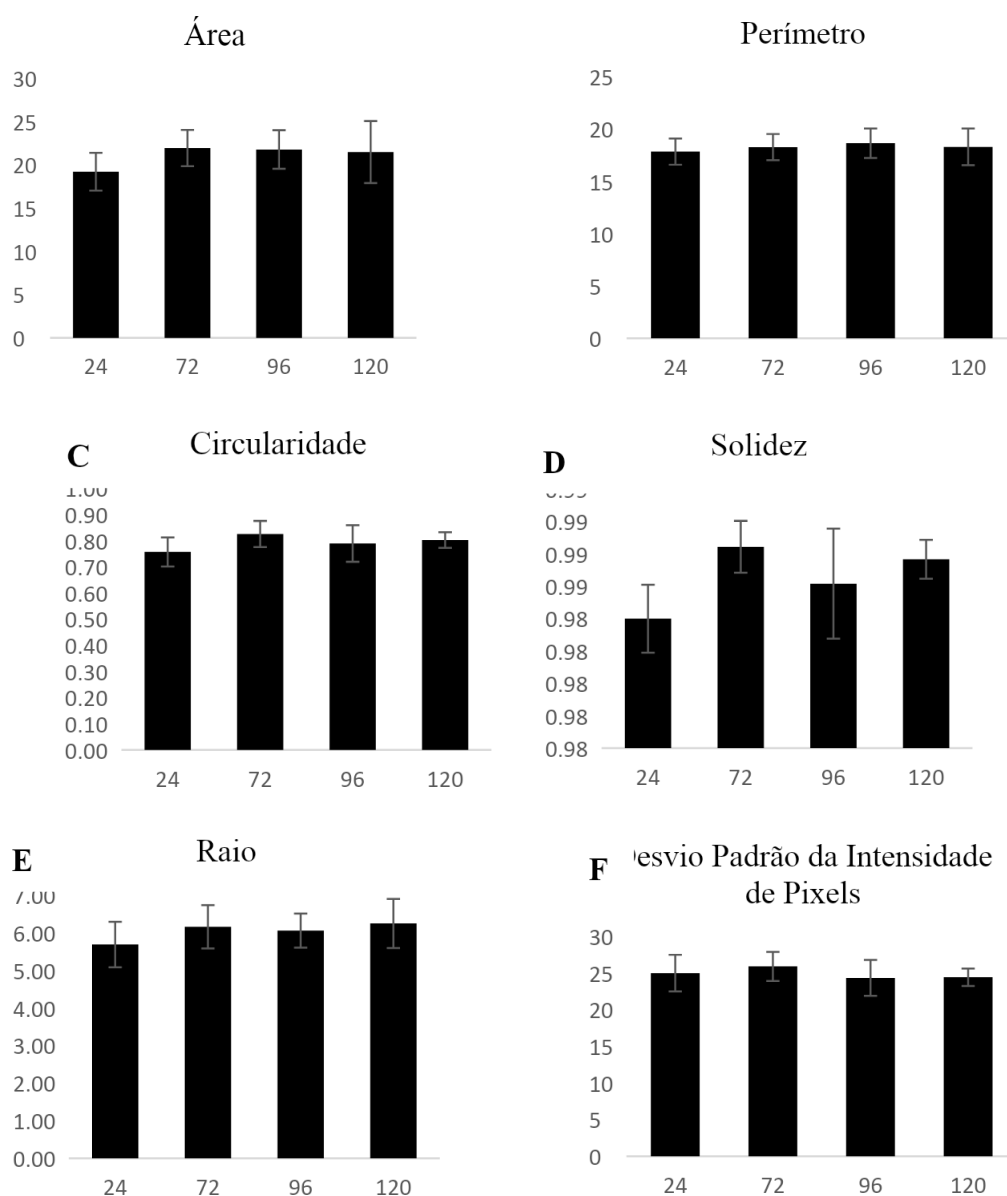
**Figura 12:** Variáveis físicas de sementes de *P. moniliformis* em cada tempo de excreção pelos caprinos obtidas por meio do ImageJ®: A – Área (mm²); B – Perímetro (mm); C - Circularidade; D - Solidez; E - Raio; F - Desvio padrão da intensidade de pixels; G - Densidade integrada (cinza.mm².pixel<sup>-1</sup>) e H - Densidade relativa (cinza.pixel<sup>-1</sup>).

De acordo com as características físicas obtidas das sementes de *P. moniliformis* coletadas dos ovinos em diferentes tempos (24, 72, 96 e 120) de excreção, pôde-se avaliar quanto à área (Figura 13A) que os tempos de 72, 96 e 120 horas diferiram dos demais. Por outro lado, o perímetro das sementes (Figura 13B) não mostrou diferença entre os tempos. Segundo Abud et al. (2018), a área das sementes pode ter relação direta com o vigor, tendo em vista que, as reservas nutritivas disponíveis para germinação e crescimento das plântulas são maiores em sementes com maiores áreas. Marchi e Gomes-Júnior (2017) destacaram para sementes de *Senna multijuga*, que quanto maior a área do embrião maior a qualidade fisiológica das sementes com relação à área do tecido de reserva. Quanto à circularidade (Figura 13C), os tempos de 72, 96 e 120 horas sobressaíram-se no período de 24 horas. O desvio padrão da intensidade de pixels (Figura 13D), por sua vez, indicou que não houve diferença significativa entre os períodos. Por isso, sementes oriundas dos períodos iniciais de excreção possuem maior viabilidade e vigor, uma vez que, por serem excretadas mais rapidamente ocorrem menos modificações em suas características morfológicas internas e externas.

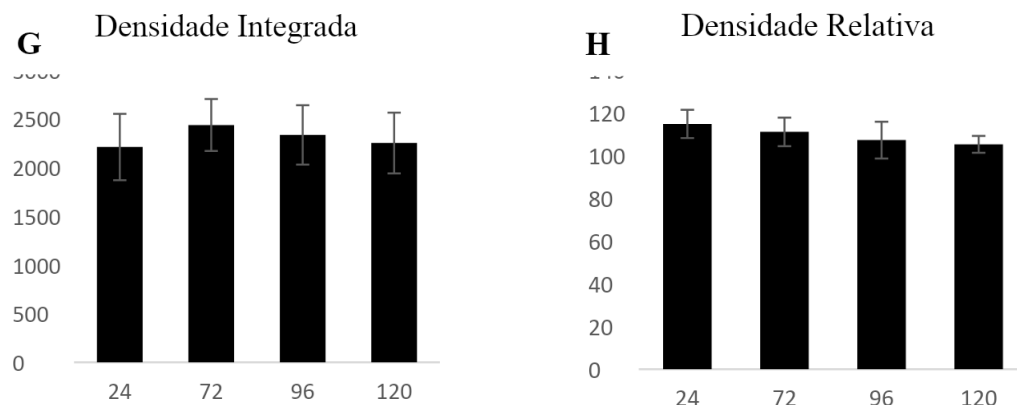
Diferente disso, em relação ao raio das sementes (Figura 13E) os períodos com diferenças significativas foram os de 72 e 120 horas, seguidos do período de 96 horas. O contrário aconteceu na densidade relativa (Figura 13F), uma vez que, os períodos com maior quantidade de pixels de cinza foram os de 24 e 72 horas e isso mostra que, quanto menos tempo as sementes passaram no sistema digestório dos animais, maiores os níveis de cinza das sementes. E quanto mais tempo elas permanecem no sistema digestório dos ruminantes, maior a perda de densidade, isto é, ocorre a redução dos níveis de cinza das sementes. Já a densidade integrada (Figura 13G) indicou que as sementes oriundas dos períodos de 72 e 96 horas possuíram maiores níveis de cinza. Através da densidade integrada da semente, calculada com base na área e na densidade relativa, é possível classificá-las em vigorosas ou não, uma vez que, a área do eixo embrionário aliada à análise da densidade de seu tecido pode ser utilizada para relatar sobre a integridade do tecido e a quantidade de reserva disponível para o crescimento do embrião. Em estudos realizados com *Brassica oleracea* (ABUD et al., 2018), o uso de variáveis relacionadas ao preenchimento tecidual das sementes, obtido por meio de imagens radiográficas, foi promissor e apresentou correlação forte com o potencial fisiológico de sementes. Maiores densidades significam que as sementes são mais vigorosas e originam mudas normais e com maior comprimento.

Com relação à solidez (Figura 13H), houve destaque no período de 120 horas. É possível afirmar que as sementes de maior circularidade possuem menor perímetro. O cálculo da solidez baseia-se no raio que envolve a área da semente e seu fechamento convexo. Fatores

relacionados à curvatura são utilizados para indicar a capacidade de preenchimento celular e para expressar irregularidades côncavas ou convexas que são utilizadas para realizar uma análise precisa da área total da estrutura (LOBO et al., 2016). Quando se utiliza a solidez na medição da densidade ela apresenta consistência (MARTINOVIC et al., 2016), de modo que, valores mais próximos de 1 refletem uma estrutura sólida, ao mesmo tempo que, valores menores significam irregularidades (SOLTYS et al., 2005). Dessa maneira, para sementes que apresentam maior solidez, a diferença entre a área da semente e a área convexa da semente reduz, chegando a valores de solidez aproximados de 1,0, que pode estar relacionado à boa formação da sementes e sem danos (RIBEIRO et al., 2021).





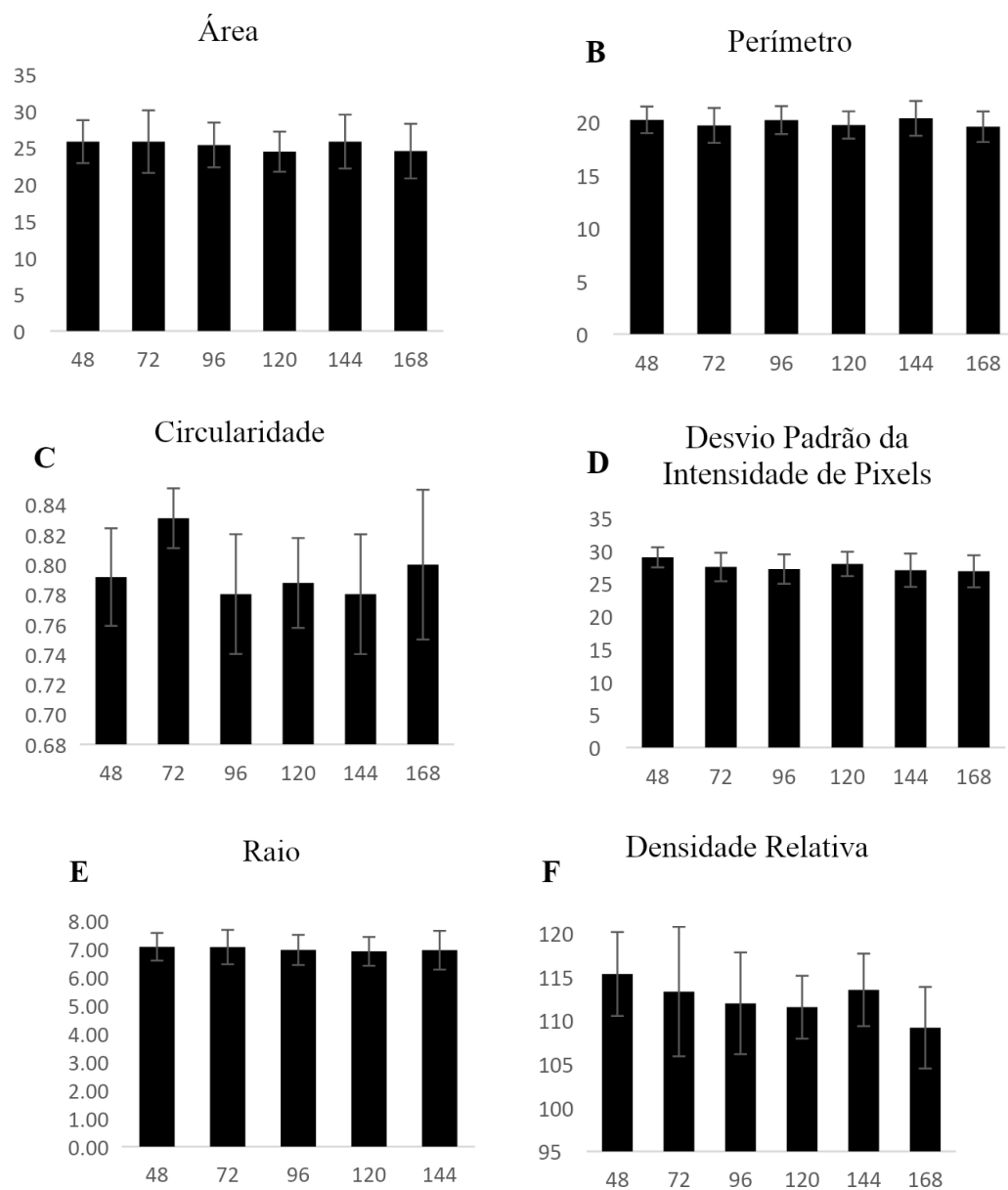


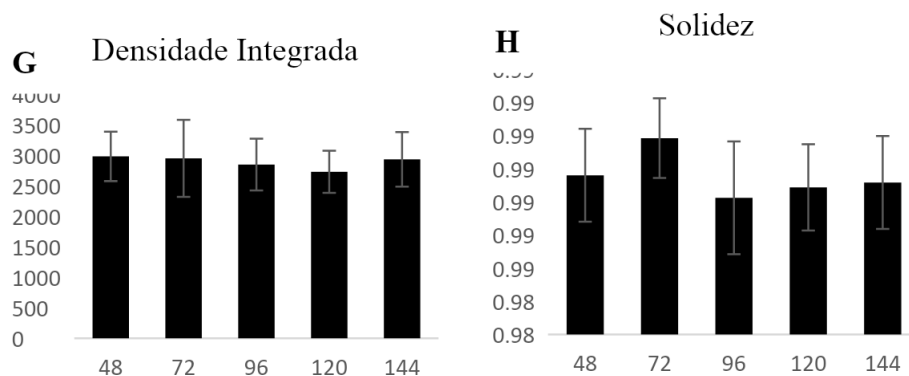
**Figura 13:** Variáveis físicas de sementes de *P. moniliformis* em cada tempo de excreção pelos ovinos obtidas por meio do ImageJ®. A – Área (mm<sup>2</sup>); B – Perímetro (mm); C- Circularidade; D – Desvio Padrão da Intensidade de Pixels; E - Raio; F - Densidade relativa (cinza.pixel<sup>-1</sup>); G - Densidade integrada (cinza.mm<sup>2</sup>.pixel<sup>-1</sup>); H - Solidez.

Com base em análises físicas da integridade do tecido das sementes de *L. leucocephala* coletadas dos caprinos, em diferentes tempos (48, 144 e 168 horas) de excreção, realizadas por meio da análise automatizada de radiografias digitais, observa-se com relação à área (Figura 14A) que, houve diferença entre os tempos de excreção, sendo os períodos de 48, 72 e 96 horas aqueles que relatam maiores valores de área. Com relação ao perímetro (Figura 14B), não houve diferença significativa entre os tratamentos. A circularidade (Figura 14C) mostrou que o período de 72 horas trouxe diferença significativa em relação aos demais. Esta variação pode estar relacionada a influência de fatores como o tempo em que as sementes ficaram dentro do sistema digestório dos animais. Características quanto ao tamanho e forma podem estar correlacionadas com variações fisiológicas (WHAN et al., 2014; MEDEIROS et al., 2018). Dessa forma, é possível que quanto menos tempo as sementes permaneçam no sistema digestório dos pequenos ruminantes, menos alterações na morfologia interna e externa das sementes são ocasionadas pelas substâncias ácidas, por isso, estas variáveis denotam valores superiores nos períodos iniciais de excreção.

Com relação ao desvio padrão da intensidade de pixels (Figura 14D) e ao raio (Figura 14E), observou-se que não houve diferença entre os períodos avaliados. A variável densidade relativa (Figura 14E) mostra que o período de 48 horas difere dos demais, uma vez que, esse tempo mostra as sementes de maiores densidades de pixels. Diferente disso, na variável densidade integrada (Figura 14G) não são observadas diferenças significativas entre os tempos de excreção das sementes pelos caprinos. As densidades relativa e integrada estão diretamente ligadas com os valores de cinza dos pixels nas imagens. No tocante à forma em que os raios X

podem ser transmitidos, espalhados ou absorvidos, quanto menor a densidade do tecido, maior refletância e menor absorção dos raios (RAHMAN e CHO, 2016). Resultados parecidos foram encontrados em espécies como *Ricinus communis* (KOBORI et al., 2012), *L. leucocephala* (MEDEIROS et al., 2018) e *Jatropha curcas* (PINHEIRO et al., 2020). Visto isso, é possível afirmar que as sementes mais bem formadas são aquelas coletadas nos períodos iniciais de excreção. Presume-se ainda que, sementes que mostram maior rigidez tegumentar são acometidas por menos alterações em suas características morfológicas externas e internas, como observado para a *L. leucocephala*. Já a solidez (Figura 14H), o tempo destacado foi o de 72 horas.





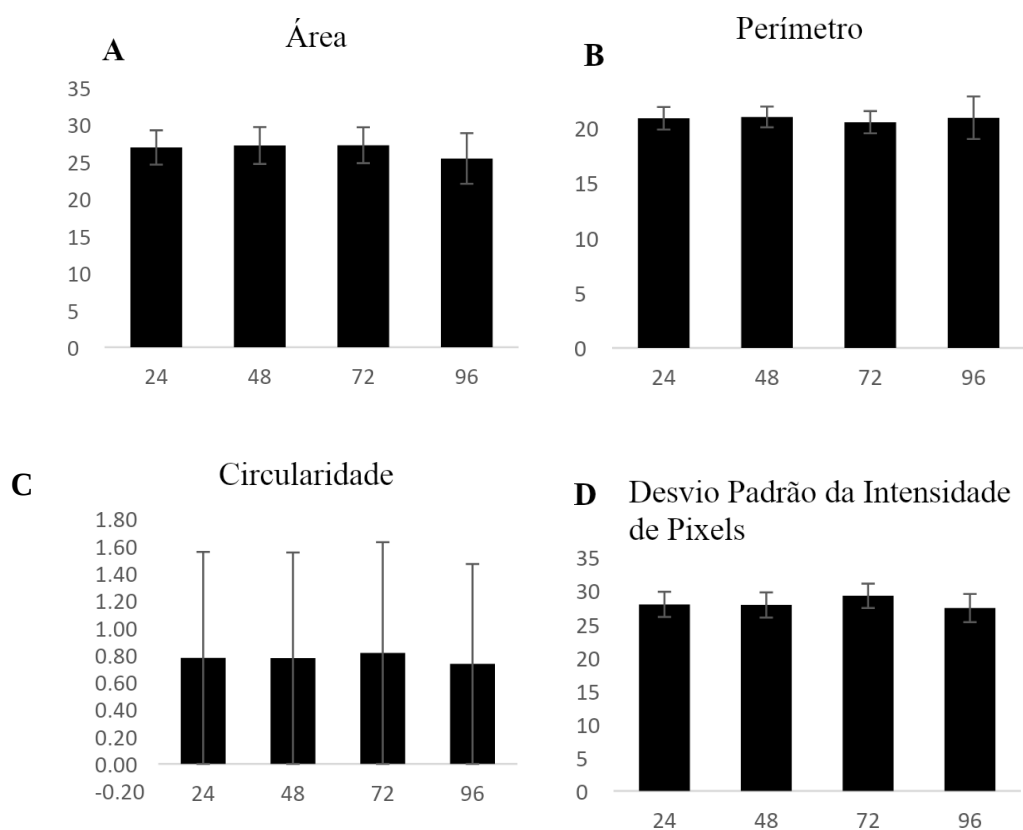
**Figura 14:** Variáveis físicas de sementes de *L. leucocephala* em cada tempo de excreção pelos caprinos obtidas por meio do ImageJ®. A – Área (mm²); B – Perímetro (mm); C - Circularidade; D - Desvio padrão da Intensidade de Pixels; E - Raio; F - Densidade relativa (cinza.pixel⁻¹); G - Densidade integrada (cinza.mm².pixel⁻¹); H - Solidez.

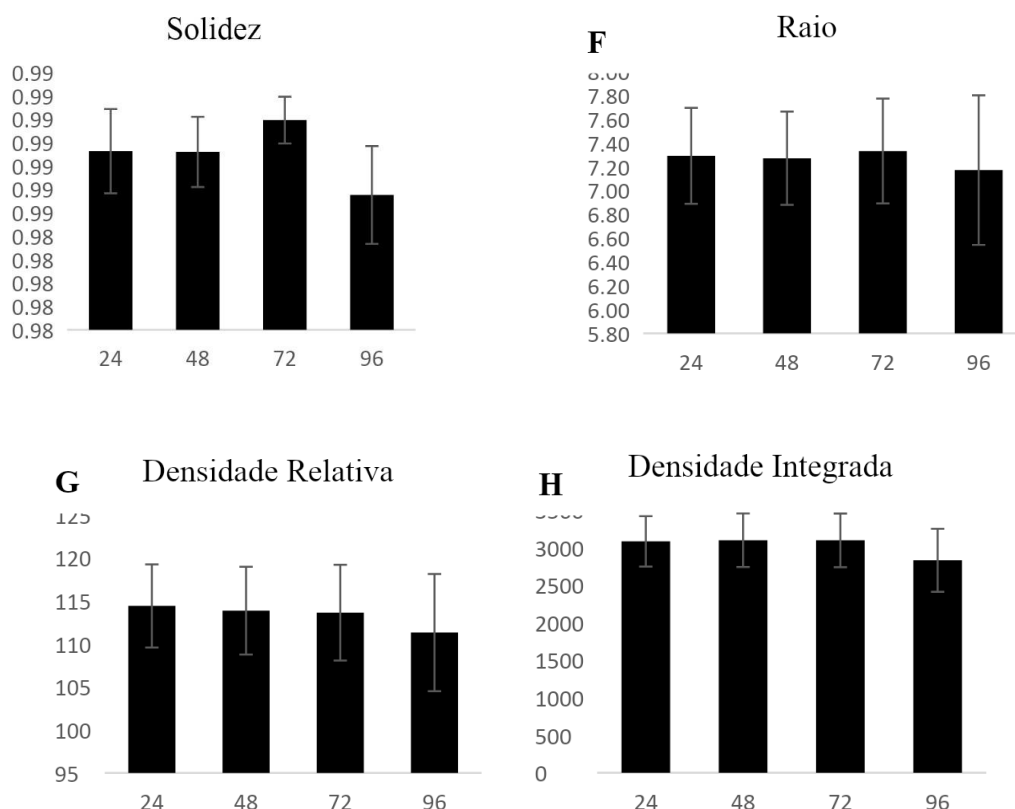
Analisando-se as variáveis físicas obtidas das sementes de *L. leucocephala* coletadas dos ovinos em diferentes tempos (48, 72, 96, 120, 144 horas) de excreção realizadas por meio da análise automatizada de radiografias digitais, observa-se para a variável área (Figura 15A), os períodos de 24, 48 e 72 horas foram os que se destacaram. O perímetro (Figura 15B), a circularidade (Figura 15C) e o desvio padrão da intensidade de pixels (Figura 15D) expõem resultados similares, ao mostrar que não houve diferença entre os tempos com relação ao tamanho e forma das sementes. A solidez (Figura 15E) indicou que o maior valor foi obtido no período de 72 horas. Por sua vez, o raio (Figura 15F) não denotou diferença entre os períodos avaliados. De forma geral, descritores de tamanho e forma das sementes compõem estudos básicos sobre plantas, desde a formação e o desenvolvimento da semente, tendo em vista que, quando as sementes possuem maiores taxas de reservas ocorre maior probabilidade de sucesso dessas plântulas em campo, pois estas são maiores e mais vigorosas (WHAN et al., 2014; LUCENA et al., 2017). Desta forma, é possível afirmar que a permanência das sementes por menos tempo no sistema digestório dos pequenos ruminantes não ocasionou modificações significativas quanto às características físicas como área, comprimento, circularidade, solidez, perímetro das sementes, além disso, não houve interferência negativa quanto à integridade tecidual e o enchimento das sementes, uma vez que, as sementes provenientes desses períodos originaram plântulas vigorosas e com alto potencial para estabelecimento em campo.

As densidades relativa e integrada (Figura 15G e 15H) mostraram que houve diferença significativa entre os tempos de 24, 48 e 72 horas; quanto aos níveis de cinza dos pixels houve destaque para o período de 96 horas. Isto mostra que, os ácidos presentes no sistema digestório dos pequenos ruminantes não ocasionaram danos na morfofisiologia das sementes e por isso,

estas indicam elevada integridade tecidual interna, e consequentemente, possuem alta viabilidade e vigor mesmo após serem excretadas pelos animais.

Alguns estudos demonstram relação direta entre os níveis de cinza avaliados por meio da análise de imagens radiográficas e atributos fisiológicos de qualidade das sementes, como germinação e comprimento de plântulas (SILVA et al., 2013; ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018; NORONHA et al., 2018). A técnica de raios X é uma das poucas capazes de visualizar a morfologia interna das sementes, possibilitando a identificação de danos físicos e má formações embrionárias (ARKHIPOV et al., 2019). Com isso, essa técnica permitiu a visualização dos danos ocasionados pelo processo de digestão das sementes, desde a mastigação até possíveis alterações ocasionadas no período em que as sementes permaneceram no sistema digestório de pequenos ruminantes.





**Figura 15:** Variáveis físicas de sementes de *L. leucocephala* em cada tempo de excreção pelos ovinos obtidas por meio do ImageJ®. A – Área (mm²); B – Perímetro (mm); C -Circularidade; D - Desvio padrão da intensidade de pixels; E - Solidez; F - Raio; G -Densidade relativa (cinza.pixel<sup>-1</sup>); H - Densidade integrada (cinza.mm<sup>-2</sup>. Pixel<sup>-1</sup>).

Diante do exposto, afirma-se que o uso da técnica de raios X foi eficiente em indicar danos ocasionados pela ação da mastigação ou dos ácidos existentes no sistema digestório dos pequenos ruminantes, considerando que, a permanência das sementes no intestino dos animais pode ocasionar modificações morfofisiológicas nas sementes como área, comprimento, circularidade, solidez, perímetro das sementes e consequentemente, indica a integridade dos tecidos internos e o enchimento das sementes, após permanência destas no intestino dos animais. Também, observou-se eficiência na avaliação de suas estruturas internas e na diferenciação de sementes bem formadas, malformadas, com danos mecânicos e predadas por insetos ou patógenos. E, ainda, que a utilização do software ImageJ® permite o uso dessas análises em larga escala, de maneira rápida e robusta, obtendo-se variáveis promissoras relacionadas à integridade física das sementes e a sua qualidade fisiológica, que podem ser facilmente relacionadas com a permanência das sementes por mais ou menos tempo no sistema digestório dos animais.

## CONCLUSÕES

A análise semiautomatizada de imagens radiográficas possibilita avaliar a morfologia interna e associar a qualidade fisiológica das sementes das espécies *L. leucocephala* e *P. moniliformis* antes e após a sua passagem pelo sistema digestório de caprinos e ovinos;

A técnica de raios X é adequada para a identificação de danos nas sementes, tanto ocasionados pelo sistema digestório dos caprinos e ovinos, como aos associados à mastigação ou ação do suco gástrico do sistema digestório, bem como àqueles devido aos possíveis danos mecânicos ou ataque de insetos e patógenos.

## REFERÊNCIAS

- ABUD, H. F.; CICERO, S. M.; GOMES-JUNIOR, F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. **Acta Scientiarum**, v. 40, p. e34950, 2018.
- ALBERTO, A.; AUFFRET, A. G.; COSYNS, E.; COUSINS, S. A. O.; D'HONDT, B.; Eichberg, C. et al. seed dispersal by ungulates as an ecological filter: A trait-based meta-analysis. **Oikos**, v. 124, p. 1109 - 1120, 2015.
- ALMEIDA, F. A. **Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de alface sob diferentes temperaturas na germinação**. Dissertação (Mestrado em Agricultura e biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, p. 42, 2016.
- ALVES-FILHO, F.; CAVALCANTI, P. M.; PASSAGLIA, R. C.; BALLEJO, G. Long-lasting endothelium dependent relaxation of isolated arteries caused by an extract from the bark of *Combretum leprosum*. **Einstein**, Sao Paulo, v. 13, n. 3, p. 395-403, 2015.
- ARAÚJO, L. V. C.; LEITES, J. B. Estimativas de Produção de Biomassa de um povoamento de jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. Com cinco anos de idade. **Revista Biomassa e Energia**, v. 1, p. 347 – 352, 2004.
- ARAÚJO, A. V.; SILVA, M. A. D.; FERRAZ, A. P. F. Superação de dormência de sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) LP Queiroz var. ferrea. **Magistra**, v. 29, n. 3/4, p. 298-304, 2018.
- ARRUDA, N.; CICERO, S. M.; GOMES-JUNIOR, F. G. Radiographic analysis to assess the seed structure of *Crotalaria juncea* L. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 2, p. 161-168, 2016.
- ARKHIPOV, M. V.; PRIYATKIN, N. S.; GUSAKOVA, L. P.; POTRAKHOV, N. N.; GRYAZNOV, A. Y.; BESSONOV, V. B.; OBODOVSKII, A. V.; STAROVEROV, N. E.; X-ray computer methods for studying the structural integrity of seeds and their importance in modern seed science. **Technical Physics**, v. 64, p. 582-592, 2019.
- ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; FLORES, A. V.; CASTRO, R. V. O. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 438-444, 2015.
- AZERÊDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Determining the viability of *Piptadenia moniliformis* Benth. seeds with the tetrazolium test. **Journal of Seed Science**, v. 33, n. 1, p. 61-68, 2011a.
- AZERÊDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Temperature and substrate for the germination of *Piptadenia moniliformis* Benth. seeds. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 479-488, 2011b.
- AZEVÊDO, S. M. A.; BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A. B.; FREIRE, L. O. Crescimento de Plântulas de Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild) Poir.) em Solos de Áreas Degradadas da Caatinga. **Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 150 – 160, 2012.
- AZEVÊDO, T. K. B.; CARDOSO, M. G. A.; CAMPOS, D. B. P.; SOUZA, D. G.; NUNES, L. J.; GOMES, J. P. S.; SILVA, G. G. C. Substâncias tânicas presentes em partes da árvore

sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) em plantio comercial de 5 anos. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 263–274, 2018.

BALTZINGER, C.; KARIMI, S.; SHUKLA, U. Plants on the move: hitch-hiking on ungulates distributes diaspores across landscapes. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 38, 2019.

BARAZA, E.; VALIENTE-BANUET, A. Seed dispersal by domestic goats in a semiarid thorn scrub of Mexico. **Journal Arid Environmental**, v. 72, p. 1973–1976, 2008.

BARBOSA, Renata Harumi Takamine. **Caprinos na Dispersão e Germinação de Sementes de Leguminosas Forrageiras Tropicais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2011. Disponível em: <https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/jspui/3734> . Acesso em: 20 de junho de 2022.

BAREKE, T. Biology of seed development and germination physiology. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 8, n. 4, p. 336-346, 2018.

BARROSO, R. F., SILVA, F. A., NÓBREGA, J. S., SILVA E SILVA, L. J., NOVAIS, D. B.; FERREIRA, V. S. Biometria de frutos e sementes de *Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke. **Revista Verde**, v. 11, n. 5, p. 155-160, 2016.

BASKIN C. C.; BASKIN J. M. **Seeds: Ecology, biography, and evolution of dormancy and germination**. 2.ed. Academic Press, Kentucky, 2014.

BAYÃO, G. F. V.; EDVAN, R. L.; CARNEIRO, M. S. S.; FREITAS, N. E.; PEREIRA, E. S.; PACHECO, W. F.; BEZERRA, L. R.; ARAÚJO, M. J. Desidratação e composição química do feno de leucena (*Leucena leucocephala*) e gliricidia (*Gliricidia sepium*). **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v. 17, n. 3, p. 365-373, 2016.

BENEDITO, C. P.; TORRES, S. B.; RIBEIRO, M. C. C.; NUNES, T. A. Superação da dormência de sementes de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 1, p. 90-93, 2008.

BENEDITO, C. P.; RIBEIRO, M. C. C.; TORRES, S. B.; CAMACHO, R. G. V.; SOARES, A. N. R.; GUIMARÃES, L. M. S. Storage of catanduva seed (*Piptadenia moniliformis* Benth.) in different environments and packaging. **Journal of Seed Science**, v. 33, n. 1, p. 28-37, 2011.

BENEDITO, C. P.; RIBEIRO, M. C. C.; TORRES, S. B.; GUIMARÃES, I. P.; OLIVEIRA, K. J. B. “Dormancy overcoming, temperatures and substrates on germination of *Mimosa tenuiflora* Willd. Seeds”. **Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 125-134, 2017.

BEZERRA, T. T. *Senna spectabilis* var *excelsa* (Schard.) H. S. Irwin & Barneby. In. FILHO, J. A. de S.; MEIADO, M. V.; RABBANI, A. R. C.; SIQUIERA, A. A.; VIEIRA, D. C. M. (Org.). Guia de campo de árvores das Caatingas. Vol. II, Curitiba: Editora Progressiva Ltda., p. 67, 2013.

BICHOFF, R. S.; ALBUQUERQUE, A. N.; MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S.; OLIVEIRA, R. S.; OLIVEIRA-NETO, C. F.; VIÉGAS, I. J. M.; PEDROSO, A. J. S.;



ALVES, D. N. A.; SODRÉ, D. C.; VALENTE, G. F. Overcoming seed dormancy and evaluation of viability in *Leucaena leucocephala*. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 168-172, 2018.

BLACKSHAW, R. E.; RODE, L. M. Effect of ensiling and rumen digestion by cattle on weed seed viability. **Weed Science**, v. 39, p. 104–108, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para a análise de sementes de espécies florestais**. Brasília: MAPA/ACS, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.

BREWER, M. T. Development of a Controlled Vocabulary and Software Application to Analyze Fruit Shape Variation in Tomato and Other Plant Species. **Plant Physiology**, v. 141, p. 15–25. 2006.

BUENO, N. R.; CAMPOS, É. P.; SILVA, M. S.; REZENDE, K. S.; LIMA, B. B. M. Levantamento Etnofarmacológico e Farmacológico de Plantas Medicinais Comercializadas em Rondonópolis (MT). **Biodiversidade**, v. 2, p. 2–20, 2009.

BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLDT, E. M.; BOONE, J. M. The essential physics of medical imaging. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 2002.  
CALDAS, G. G.; SANTOS, M. V. F.; LIRA-JÚNIOR, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; CUNHA, M. V.; LIRA, M. A.; BEZERRA-NETO, E.; GALDINO, A. C. Caracterização morfológica e química de *Mimosa caesalpiniiifolia* submetida à adubação com P. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, n. 228, p. 529-538, 2010.

CÂMARA, C. S.; ALVES, A. A.; MOREIRA FILHO, M. A.; GARCEZ, B. S.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Dietas contendo fenos de leucena ou estilosantes para cabras Anglo-Nubianas de tipo misto em lactação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 443-450, 2015.

CARDOSO, E. A.; ALVES, A. U.; CAVALCANTE, I. H. L.; FARIAS, S. G. G.; SANTIAGO, F. E. M. Métodos para superação de dormência de sementes de leucena. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 220-224, 2012.

CARTAXO, S. L.; SOUZA, M. M. A.; ALBUQUERQUE, U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 131, p. 326–342, 2010.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012.

CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, v. 75, p. 167–172. 2018.

CHAVES, T. P.; FERNANDES, F. H.; SANTANA, C. P.; SANTOS, J. S.; MEDEIROS, F. D.; FELISMINO, D. C.; SANTOS, V. L.; CATÃO, R. M.; COUTINHO, H. D.; MEDEIROS, A. C. Evaluation of the interaction between the *Poincianella pyramidalis* (Tul.) LP Queiroz

extract and antimicrobials using biological and analytical models. **PloS One**, v. 11, e0155532, 2016.

CICERO, S. M. Aplicação de imagens radiográficas no controle de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 20, p. 48–51. 2010.

COSTA, C. J.; SANTOS, C. P. ROSSI, P. Recomendações para o teste de tetrazólio em sementes de leucena (*Leucaena leucocephala* e *L. leucocephala* x *L. diversifolia*). Comunicado técnico. 2009.

DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; MENDES, R. B.; RIBEIRO, R. C. “As sementes da Caatinga são...”: um levantamento das características das sementes da Caatinga. **Informativo Abrates**, v.24, n.3, 2014.

DANTAS, F. B.; MATIAS, J. R.; RIBEIRO, R. C. Teste de tetrazólio para avaliar viabilidade e vigor de sementes de espécies florestais da Caatinga. **Abrates**, v. 25, n. 1, 2015.

DELL’AQUILA, A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis. **Biologia Plantarum**, v. 51, p. 777–781. 2007.

DELOUCHE, J. C.; STILL, T. W.; RASPET, M.; LIENHARD, M. O teste de tetrazólio para viabilidade da semente. Brasília, DF: AGIPLAN, 1976.

DELIBES, M.; CASTAÑEDA, I.; FEDRIANI, J. M. Spitting seeds from the cud: a review of an endozoochory exclusive to ruminants. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, v. 265, 2019.

DEMARTELAERE, A. C. F.; OLIVEIRA, A. K.; GOÉS, G. B.; LIMA, G. K. L.; PEREIRA, M. F. S. A flora apícola no semi - árido brasileiro. Revisão literária. **Revista Verde**, v. 5, n. 1, p. 17 – 22, 2010.

EYCOTT, A.; WATKINSON, A.; HEMAMI, M-R.; DOLMAN P. The dispersal of vascular plants in a forest mosaic by a guild of mammalian herbivores. **Oecologia**, v. 154, p. 107-118, 2007.

FARIA, J. C. T.; MELO, L. A.; ASSUMPÇÃO, C. R. M.; BRONDANI, G. E.; BREIER, T. B.; FARIA, J. M. R. Physical quality of seeds of *Moquiniastrum polymorphum*. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 79, n. 1, p. 63–69, 2019.

FELIX, F. C.; MEDEIROS, J. A. D.; FERRARI, C. S.; CHAGAS, K. P. T.; CASTRO, M. L. L.; SOUZA, W. M. A. T.; VIEIRA, F. A.; PACHECO, M. V. Selection of *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R. W. Jobson mother trees for seeds production. **Forest Sciences**, v. 16, n. 2, 2021.

FERREIRA, D. Q.; FERRAZ, T. O.; ARAÚJO, R. S.; CRUZ, R. A. S.; FERNANDES, C. P.; SOUZA, G. C.; ORTIZ, B. L. S.; SARQUIS, R. S. F. R.; MIRANDA, J. C. M. M.; GARRETT, R.; CARVALHO, J. C. T.; OLIVEIRA, A. E. M. F. M. *Libidibia ferrea* (Jucá), a traditional anti-inflammatory: A study of acute toxicity in adult and embryos Zebrafish (*Danio rerio*). **Pharmaceuticals**, v. 12, p. 175, 2019.

FINCH-SAVAGE, W.E.; BASSEL, G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567-591, 2016.

FONTENELE, A. C. F; ARAGÃO, W. M; RANGEL, J. H. de A; ALMEIDA, S. A. Leguminosas tropicais: *Desmanthus virgatus* (L.) Willd. uma forrageira promissora. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 15, n. 1-4, p. 121-123, 2009.

FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; PINTO, T. L. F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar {TMG}113-{RR}, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 123–133. 2010.

FEDRIANI, J. M.; DELIBES, M. Functional diversity in fruit-frugivore interactions: a field experiment with Mediterranean mammals. **Ecography**, v. 32, n. 6, 983-992, 2009.

FRANKE, L. B.; BASEGGIO, J. Superação da dormência em sementes de *Desmodium incanum* DC. e *Lathyrus nervosus* Lam. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, p. 420-424, 1998.

GALETTI, M.; DONATTI, C. I.; PIRES, A. S.; GUIMARÃES, P. R.; JORDANO, P. Seed survival and dispersal of an endemic Atlantic forest palm: the combined effects of defaunation and forest fragmentation. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, p. 141-149, 2006.

GOMES-JUNIOR, F. G.; CHIQUITO, A. A.; MARCOS-FILHO, J. Semi-automated assessment of the embryonic area of cucumber seeds and its relationship to germination and seedling length. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 183–189. 2013.

GOMES, K. B. P.; MARTINS, R. C. C.; MARTINS, I. S.; GOMES-JÚNIOR, F. G. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae) pelo teste de raios X. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 752-759, 2014.

GOMES, K. B. P.; MATOS, J. M. M.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Teste de raios-X para avaliar o potencial fisiológico de sementes de *Platypodium elegans*. **Revista de Pesquisa da Ciência de Sementes**, v. 9, n. 2, p. 29-35, 2016.

GONÇALVES, M. F. M.; MELO-NASCIMENTO, W. A.; SANTOS, L. C.; EUGÊNIA, M.; SILVA, S.; SILVA, J. L. F.; GUILHERME, B. C. Conhecimento e uso da cantigueira e do angico um santa cruz do Caibaríe- PE. XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2013, Recife, UFRPE, 2013a.

GONÇALVES, G. S.; ANDRADE, L. A.; GONÇALVES, E. P.; OLIVEIRA, L. S. B.; DIAS, J. T. Qualidade fisiológica de sementes de algaroba recuperadas de excrementos de muare. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 593-602, 2013b.

GRABE, D. F. Manual do teste de tetrazólio. Brasília: AGIPLAN, 1976.

HALLIDAY, M. J.; PADMANABHA, J.; MCSWEENEY, C. S.; KERVEN, G.; SHELTON, H. M. Leucaena toxicity: a new perspective on the most widely used forage tree legume. **Tropical Grasslands**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2013.

HARRINGTON, K.; BESKOW, W.; HODGSON, J. Recuperação e viabilidade de sementes ingeridas por caprinos. **NZ Plant Protect**, v. 64, p. 75-80, 2011.

HIGA, A. R.; SILVA, L. D. Pomar de sementes de espécies florestais nativas. Curitiba: FUPEF, 2006.

HOLANDA, A. E. R.; MEDEIROS-FILHO, S.; DIOGO, I. J. S. Influência da luz e da temperatura na germinação de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.- Fabaceae). **Gaia Scientia**, v. 9, n. 1, p. 22-27, 2015.

HOPKINSON, J. M.; ENGLISH, B. H. Germination and hardseededness in *Desmanthus*. **Tropical Grasslands**, v. 38, p. 01-16, 2004.

HORINOUCI, C. D. D. S.; MENDES, D. A. G. B.; SOLEY, B. S.; PIETROVSKI, E. F.; FACUNDO, V. A.; SANTOS, A. R. S.; CABRINI, D. A.; OTUKI, M. F. *Combretum leprosum* Mart. (Combrataceae): Potential as an antiproliferative and anti-inflammatory agent. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 145, n. 1, p. 311 – 319, 2013.

Instrução Normativa no 56 de 8 de dezembro de 2011. Regulamenta a produção, a comercialização e a utilização de sementes e mudas de espécies florestais, nativas e exóticas, visando garantir sua procedência, identidade e qualidade. Diário Oficial da União, 2011b.

JAGANATHAN, G. K.; YULE, K.; LIU, B. On the evolutionary and ecological value of breaking physical dormancy by endozoochory. **Perspectives in Plant Ecology**, Evolution and Systematics, v. 22, p. 11-22, 2016.

JARA-GUERRERO, A.; ESCRIBANO-AVILA, G.; ESPINOSA, C. I.; DE LA CRUZ, M.; MÉNDEZ, M. White-tailed deer as the last megafauna dispersing seeds in Neotropical dry forests: the role of fruit and seed traits. **Biotropica**, v. 50, p. 169-177, 2018.

JAVORSKI, M.; OTTE, D.; CASTAN, C.; SANTANNA, S.; GOMES-JUNIOR, F. G.; CICERO, S. M. Image analysis to evaluate the physiological potential and morphology of pearl millet seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, p. 127-134. 2018.

JAROSZEWICZ, B.; PIROŻNIKOW, E.; SONDEJ, I. Endozoochory by the guild of ungulates in Europe's primeval forest. **Forest Ecology and Management**, v. 305, p. 21-28, 2013.

KIILL, L. H. P. Fenologia reprodutiva e dispersão das sementes de quatro espécies da Caatinga consideradas ameaçadas de extinção. Informativo Abrates, Brasília, v. 22, n. 3, p. 12- 15, 2012.

KOBORI, N. N.; CICERO, S. M.; MEDINA, P. F.; Teste de raios X na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Journal of Seed Science**, v. 34, p. 125-133, 2012.

KNEUPER, C. L.; SCOTT, C. B.; PINCHAK, W. E. Consumption and dispersion of mesquite seeds by ruminants. **Journal of Range Management**, v. 56, p. 255–259, 2003.

KOTWALIWALE, N.; SINGH, K.; KALNE, A.; JHA, S. N.; SETH, N.; KAR, A. X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 1-15, 2014.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.

LEAL, J. B.; SILVA, M. M.; COSTA, J. M.; ALBUQUERQUE, L. C. S.; PEREIRA, M. D. G. S.; SOUSA, R. L. Etnobotânica de plantas medicinais com potencial anti-inflamatório utilizadas pelos moradores de duas comunidades no município de Abaetetuba, Pará. **Biodiversidade**, v. 3, p. 110–125, 2019.

LIMA, J. S.; CHAVES, A. P.; MEDEIROS, M. A.; RODRIGUES, G. S. O.; BENEDITO, C. P. Métodos de superação de dormência em sementes de flamboyant (*Delonix regia*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 104-109, 2013.

LINS, T. R.; BRAZ, R. L.; DE SOUZA JUNIOR, C. G. C.; CORREIA, H. T. V.; SILVA, T. C.; WALTER, L. S. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de galhos de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Biofix Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 39-43, 2020.

LOBO, J.; SEE, E. Y. S.; BIGGS, M.; PANDIT, A. An insight into morphometric descriptors of cell shape that pertain to regenerative medicine. **Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine**, v. 10, n. 7, p. 539-553, 2016.

LOPES, J. C.; DIAS, P. C.; MACEDO, C. M. P. Tratamentos para acelerar a germinação e reduzir a deterioração das sementes de *Ormosia nitida* Vog. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 171-177, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2002, 197p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, v. 2, 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Ed. Instituto Plantarum, p. 384, 2013.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 8. ed. Nova Odessa: Plantarum, p. 384, 2020.

LUCENA, E. O.; NÓBREGA LÚCIO, A. M. F.; BAKKE, I. A.; PIMENTA, M. A. C.; RAMOS, T. M. Biometria e qualidade fisiológica de sementes de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Marth.) de diferentes matrizes do semiárido paraibano. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 13, n. 4, p. 275-280, 2017.

MACHADO, C. G.; OLIVEIRA, S. S. C.; CRUZ, S. C. C.; MENDONÇA, N. G. Biometria e caracterização morfológica de sementes de araticum, oriundas de matrizes de Palminópolis-GO. **Global Science and Technology**, v. 9, p. 41-47, 2016.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-77, 1962.

MAIA, G. N. Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades. Fortaleza: Printcolor Gráfica e Editora, p. 413, 2012.

MAIA-SILVA, C.; SILVA, C. I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Guia de Plantas – visitadas por abelhas na Caatinga, Fundação Brasil Cidadão. p. 99, 2012.

MALO, J. E.; SUAREZ, F. Mamíferos herbívoros como dispersores de sementes em um deserto mediterrâneo. **Oecology**, v. 104, p. 246-255, 1995.

MANCILLA, J. M. L.; FERNÁNDEZ, R. A.; MARTÍN VICENTE, A. Low viability and germinability of commercial pasture seeds ingested by goats. **Small ruminant research**, v. 107, n. 1, p. 12-15, 2012.

MARCHI, J. L.; GOMES-JUNIOR, F. G. Use of image analysis techniques to determine the embryo size of *Senna multijuga* (Rich.) seeds and its relation to germination and vigor. **Journal of Seed Science**, v. 39, p. 13–19, 2017.

MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JÚNIOR, F. G.; BENNETT, M. A.; WELLS, A. A.; STIEVE, S. Using tomato analyzer software to determine embryo size in x-rayed seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 146-153, 2010.

MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2.ed. Londrina: **ABRATES**, 2015, 659 p.

MARQUETE, N.; VALETE, M. C. Combretaceae. In: FORZZA, R. C. et al. (org.) Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson, Instituto do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010.

MARTINS, P. G. S.; LIRA-JÚNIOR, M. A.; FRACETTO, G. G. M.; SILVA, M. L. R. B.; VINCENTIN, R. P.; LYRA, M. C. C. P. *Mimosa caesalpiniiifolia* rhizobial isolates from different origins of the Brazilian Northeast. **Archives of Microbiology**, v. 197, p. 1-10, 2015.

MARTINOVIC, T.; CIRIC, D.; PANTIC, I.; LALIC, K.; RASULIC, I.; DESPOTOVIC, S.; LALIC, I.; DJURICIC, D.; BUMBASIREVIC, V.; KRAVICSTEVOVIC, T. Unusual shape and structure of lymphocyte nuclei is linked to hyperglycemia in type 2 diabetes patients. **Tissue and Cell**, v. 52, p. 92-100, 2018.

MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. SAPL®: a free software for determining the physiological potential in soybean seeds. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 3, p. 222-228, 2018.

MEDEIROS, A. D.; ARAÚJO, J. O.; ZAVALA-LEÓN, M. J.; SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. S. Parameters based on x-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 643-652, 2018.

MEDEIROS, H. L. S.; BENEDITO, C. P.; DANTAS, N. B. L.; COUTO-JÚNIOR, J. R. S.; RAMALHO, L. B. DORMANCY OVERCOMING AND PRECONDITIONING IN *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. SEEDS. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 720-727, 2020.

MEIADO, M. V.; SILVA, F. F. S.; BARBOSA, D. C. A.; SIQUEIRA-FILHO, J. A. Diásporos da Caatinga: uma revisão. In: SIQUEIRA-FILHO, J. A. (Org.). Flora das Caatingas do Rio São Francisco: História Natural e Conservação. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, p. 306-365, 2012.

MENEGATTI, R. D.; MANTOVANI, A.; NAVROSKI, M. C.; SOUZA, A. G. Genetic divergence among provenances of *Mimosa scabrella* Benth. based on seed analysis. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 366-371, 2017.

MENDONÇA, A. J. T.; SILVA, M. C. C.; BERTO, F. H. R.; GONDIN, A. R. O.; MEDEIROS, M. N. V.; LINS, W. L. Superação de dormência em sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. com métodos físicos e químicos. **Revista Verde**, v. 15, n. 3, p. 325-329, 2020.

MIART, F.; FONTAINE, J. X.; PINEAU, C.; DEMAILLY, H.; THOMASSET, B.; VAN WUYTSWINKEL, O.; PAGEAU, K.; MESNARD, F. MuSeeQ, a novel supervised image analysis tool for the simultaneous phenotyping of the soluble mucilage and seed morphometric parameters. **Plant Methods**, v. 14, p. 112, 2018.

MICHAEL, P. J.; STEADMAN, K. J.; PLUMMER, J. A. Seed development in *Malva parviflora*: Onset of germinability, dormancy and desiccation tolerance. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 47, p. 683–688, 2007.

MOORE, R. P. Interpretation of color differences in tetrazolium testing. **Seed Technologist News**, v. 44, n. 3, p. 22-24, 1972.

MUKASA, P.; WAKHOLI, C.; MO, C.; OH, M.; JOO, H.-J. J.; SUH, H. K.; CHO, B.-K. K. Determination of viability of *Retinispora* (Hinoki cypress) seeds using FT-NIR spectroscopy. *Infrared Physics and Technology*, [s.l.], v. 98, p. 62–68, 2019.

MUÑOZ-GALLEGU, R.; TRAVESET, A.; FEDRIANI, J. M. Non-native mammals are the main seed dispersers of the ancient Mediterranean palm *Chamaerops humilis* L. in the Balearic Islands: rescuers of a lost seed dispersal service?. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 161, 2019.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p. 2.1-2.24, 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, goats, cervids, and new worlds camelids**. 1.ed. Washington: National Academic Press, p. 384, 2007.

NOGUEIRA, N. W.; MARTINS, H. V. G.; BATISTA, D. P.; RIBEIRO, M. C. C.; BENEDITO, C. P. Grau de dormência das sementes de jucá em função da posição na vagem. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 39-42, 2010.

NORONHA, B. G.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 393, 2018.

NOVAIS, R. M. **Análise estereoquímica dos alcaloides piperidínicos isolados de *Senna spectabilis* e avaliação do potencial anticolinesterásico**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

OLIVEIRA, O. F. Caatinga of Northeastern Brazil: Vegetation and floristic aspects. In: CORREA-RIET, F.; PFISTER, J.; SCHILD, A.L.; WIERENGA, T. Poisoning by plants, mycotoxins, and related toxins. **CAB International**, p. 2-24, 2009.

OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, G. N.; SILVA, R. F.; VIEIRA, H. D. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **Inter Science Place**, v. 2, p. 1-21, 2009.

OLIVEIRA, V. D. S.; NETO, S.; ADELSON, J.; VALENÇA, R. D. L. Características químicas e fisiológicas da fermentação ruminal de bovinos em pastejo. **Revista científica eletrônica de medicina veterinária**, v. 9, n. 20, 2013.

OLIVEIRA, J. C. S.; DAVID, J. P.; DAVID, M. Chemical composition of root barks and flowers of *Poincianella pyramidalis* (Fabaceae). **Química Nova**, v. 39, p. 189–193, 2016a.

OLIVEIRA, J. C. S.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Biflavonoids from the bark roots of *Poincianella pyramidalis* (Fabaceae). **Phytochemistry Letters**, v. 16, p. 18–22, 2016b.

OLIVEIRA, A. K. M.; RIBEIRO, J. W. F.; PEREIRA, K. C. L.; RONDON, E. V.; BECKER, T. J. A.; BARBOSA, L. A. Superação de dormência em sementes de *Parkia gigantocarpa* (Fabaceae – Mimosidae). **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 533-540, 2018.

PACHECO, M. V.; ARAÚJO, F. S.; FERRARI, C. S.; BRUNO, R. L. A. Germinação de sementes de *Combretum leprosum* Mart. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 154-162, 2014.

PAKEMAN, R. J.; DIGNEFFE, G.; SMALL, J. L. Ecological correlates of endozoochory by herbivores. **Functional Ecology**, v. 16, n. 3, p. 296- 304, 2002.

PELLERIN, M.; PICARD, M.; SAÏD, S.; BAUBET, E.; BALTZINGER, C. Complementary endo- zoochorous long-distance seed dispersal by three native herbivorous ungulates in Europe. **Basic and Applied Ecology**, v. 17, n. 4, p. 321–332, 2016.

PEÑALOZA, P.; DURÁN, J. M.; Association between biometric characteristics of tomato seeds and seedling growth and development. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 267-272, 2015.



PENFIELD, S. Seed dormancy and germination. **Current Biology**, v. 27, n. 17, p. 874-878, 2017.

PEREIRA, K. T. O.; AQUINO, G. S. M.; ALVES, T. R. C.; BENEDITO, C. P.; TORRES, S. B. Electrical conductivity test in *Piptadenia moniliformis* Benth. seeds. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 4, p. 199-205, 2015.

PICARD, M.; CHEVALIER, R.; BARRIER, R.; BOSCARDIN, Y.; BALTZINGER, C. Functional traits of seeds dispersed through endozoochory by native forest ungulates. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, n. 5, p. 987–998, 2016.

PILTZ, J. W.; STANTON, R. A.; WU, H. Effect of ensiling and in sacco digestion on the viability of seeds of selected weed species. **Weed Research**, v. 57, p. 382–389, 2017.

PINHEIRO, D. T.; MEDEIROS, A. D.; ZAVALA-LÉON, M. J.; DIAS, D. C. F. S.; SILVA, L. J. Physical and physiological quality of *Jatropha curcas* L. seeds at different maturity stages using image analysis. **Industrial Crops and Products**, v. 146, 2020.

PINHEIRO, D.T.; CAPOBIANGO, N. .; MEDEIROS, A. D.; CAIAFA, K. F.; DIAS, D. C. F. S.; PINHEIRO, A. L. Assessment of the physical and physiological quality of *Piptadenia gonoacantha* seeds (Mart.) J. F. Macbr. using image analysis. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 44, 2020.

PIRES, M. M.; GUIMARÃES, P. R.; GALETTI, M.; JORDANO, P. Pleistocene megafaunal extinctions and the functional loss of longdistance seed- dispersal services. **Ecography**, v. 41, p. 153-163. 2018.

PORCEDDU, M.; MATTANA, E.; PRITCHARD, H. W.; BACCHETTA, G. Sequential temperature control of multiphasic dormancy release and germination of *Paeonia corsica* seeds. **Journal of Plant Ecology**, v. 9, n. 4, 2016.

PRADO-ALVES, M. V.; PINHO, É. V. R. VON; SANTOS, H. O.; PRADO-ALVES, G. C.; CARVALHO, M. L. M.; BUSTAMANTE, F. O. Image analysis, quality and maturation of jiló (*Solanum gilo*) seeds. **Agrociencia**, v. 52, p. 267–278. 2018.

QUEIROZ, L. P. Leguminosas da caatinga. [s.l.] Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.

QUEIROZ, I. V. **Ocorrência e germinação de sementes de *Desmanthus* sp.** 2012. **Coletadas no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

R CORE TEAM. R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2018.

RAHMAN, A.; CHO, B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. **Seed Science Research**, v. 26, p. 285–305. 2016.

RIBEIRO, A. S.; NERI, T. F. S.; MEDEIROS, A. D.; MILAGRES, C. C.; SILVA, L. J. Use of radiographic images for rapid and non-destructive assessment of crambe seed quality. **Journal of Seed Science**, v. 43, e202143001, 2021.

ROBLES, A. B.; CASTRO, J.; GONZALES-MIRAS, E.; RAMOS, M. E. Effects of ruminal incubation and goats' ingestion on seed germination of two legume shrubs: *Adenocarpus decorticans* Boiss. and *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. **Options Méditerranéennes**, v. 67, p. 111-115, 2005.

RODRIGUES, A. C. D. C.; OSUNA, J. T. A.; QUEIROZ, S. R. D. O.; RIOS, A. P. S. Effect of substrate and luminosity on the germination of *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae, Mimosoideae). **Revista Árvore**, v. 31, p. 187-193, 2007.

RODRIGUES, M.; SILVA, R. C. M. Caesalpinieae (Leguminosae - Caesalpinioideae) do Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, Município de Moju, PA, Brasil. **Hoehnea**, v. 39, n. 3, p. 489–516, 2012.

RUEDEN, C. T.; SCHINDELIN, J.; HINER, M. C.; DEZONIA, B. E.; WALTER, A. E.; ARENA, E. T.; ELICEIRI, K. W. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. **BMC Bioinformatics**, v. 18, p. 1–26. 2017.

SACRAMENTO, A. A.; MARTINS-FILHO, I. E.; REIS, L. A. Estudo etnobotânico das plantas medicinais comercializadas numa feira livre num município do interior da Bahia. **Revista Enfermagem Atual In Derme**, v. 89, n. 27, 2019.

SAKO, Y.; MCDONALD, M. B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A. F.; BENNETT, M. A. A system for automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, v. 29, p. 625–636. 2001.

SANTISTEBAN, R. M.; CABRERA, S. P.; NETO, J. F.; SILVA, E. M. S.; CORREIA, R. C.; ALVES, R. F.; SANTOS, F. A. R.; CAMARA, C. A.; SILVA, T. M. S. Análises melissopalinológicas, físico-químicas, atividade antirradicalar e perfil químico por uplc-dad-qtof-ms/ms dos méis de *Frieseomelitta doederleini* (ABELHA BRANCA): comparação com os fenólicos presentes nas flores de *Mimosa tenuiflora* (jurema preta). **Química Nova**, v. 42, n. 8, p. 874-884, 2019.

SANTOS, A. R. F. D.; SOUZA, E. M. D.; SILVA-MANN, R. Perfis enzimáticos de genótipos de *Caesalpinia ferrea* var. *leyostachia* e *Cassia grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 37-43, 2012.

SANTOS, E. Q.; COSTA, J. F. D. S.; PEREIRA, M. D. G. D. S.; COSTA, J. M.; SOUSA, R. L. Etnobotânica da flora medicinal de quintais na comunidade Mamangal, Rio Meruú, Igarapé-Miri, Pará. **Scientia Plena**, v. 15, p. 1–1, 2019.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, p. 671–675. 2012.

SENA, C. M.; GARIGLIO, M. A. **Sementes Florestais: Colheita, Beneficiamento e Armazenamento**. MMA. Natal: 2008.

SENA, F. H.; ALMEIDA, J. S. Avaliação da germinação de sementes de *Spondias tuberosa* arr. espalhados por cabras. *Journal Meio Ambiente. Anal. Programa* 5, p. 186–193, 2020.

SEPÚLVEDA, C; EL-HANI, C. H. Obstáculos epistemológicos e sementes conceituais para a aprendizagem sobre adaptação: uma interpretação epistemológica e sociocultural dos desafios no ensino de evolução. *Acta Scientiae*, v.16, n.2, p.237-263, 2014.

SCHUPP, E. W.; JORDANO, P.; GÓMEZ, J. M. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *New Phytologist*, v. 188, n. 2, p. 333-353, 2010.

SILVA, F. D. O. Constituintes químicos das folhas de *Senna spectabilis* (DC) Irwin e Barneby var. *Excelsa* (Schrad.) Irwin e Barneby. *Química Nova*, v. 33, n. 9, p. 1874-76, 2010.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M.; BENNETT, M. Relationship between eggplant seed morphology and germination. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 34, p. 597–604. 2012.

SILVA-JUNIOR, V. T.; LIMA, J. M. G. M.; RODRIGUES, C. W. M. S.; BARBOSA, D. C. A. *Erythrina velutina* Willd. (Leguminosae-Papilionoideae) ocorrente em Caatinga e brejo de altitude de Pernambuco: biometria, embebição e germinação. *Revista Árvore*, v. 36, n. 2, p. 247-257, 2012.

SILVA, V. N.; SARMENTO, M. B.; SILVEIRA, A. C.; SILVA, C. S.; CICERO, S. M. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, p. 1158–1169. 2013a.

SILVA, M. F. S. **Estudo químico e avaliação da atividade antibacteriana de *Pityrocarpa moniliformis* (Benth) Luckon & r. W. Jobson (Fabaceae)**. 2013b. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2013b.

SILVA, R. R. D.; VIANA, B. L. Métodos para superação da dormência de sementes de *Apeiba tibourbou*. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia-CONTECC. Fortaleza: setembro, ano 2, v. 1. 2015.

SILVA, A. R.; SILVEIRA, R. R.; AUMOND, A.; SILVEIRA, A. B. S.; CADEMARTORI, C. V. Frugivoria e Dispersão de Sementes de *Euterpe edulis* Mart. (Arecacea) por Mamíferos e Aves Silvestres na Mata Atlântica do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 18, n. 3, p. 138-158, 2017.

SILVA, L.J.; MEDEIROS, A.D.; OLIVEIRA, A.M.S. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. *Journal of Seed Science*, v. 41, n. 2, p. 250-257, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267>  
SIMAK, M. Testing of forest tree and shrub seeds by X-radiography. In: GORDON, A.G.; GOSLING, P.; WANG, B.S.P. (Ed.) *Tree and shrub seed handbook*. Zurich: ISTA, p. 1-8, 1991.

SOARES, T. F. S. N.; FREITAS, B. A. L.; FERREIRA-FILHO, J. G. A.; DIAS, D. C. F. S.; FIALHO, C. A.; MEDEIROS, A. D.; OLIVEIRA, R. M.; OLIVEIRA, A. S. Assessment of

seed vigor tests for *Crambe abyssinica*. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.12, p.527-533, 2018.

SKERMAN, P. J; CAMERON, D. G; RIVEROS, F. Leguminosas forrageiras tropicales. Roma: FAO, p. 707, 1991.

SOLTYS, Z.; ORZYLOWSKA-SLIWINSKA, O.; ZAREMBA, M.; ORLOWSKI, D.; PIECHOTA, M.; FIEDOROWICZ, A.; JANECKO, K.; ODERFELDNOWAK, B. Quantitative morphological study of microglial cells in the ischemic rat brain using principal component analysis. **Journal Neurosci Methods**, v. 146, n. 1, p. 50-60, 2005.

SOUZA, V. C.; BORTOLUZZI, R. L. C. Senna. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, P. B.; COSTA, W. S.; PINHEIRO, A. L.; COELHO, D. J. S. **Ecologia, Manejo, Silvicultura e Tecnologia de Espécies Nativas da Floresta Atlântica**. Viçosa: UFV, 2017.

SUÑÉ, A. D.; FRANKE, L. B. Superação de dormência e metodologias para testes de germinação em sementes de *Trifolium riograndense* Burkart e *Desmanthus depressus* Humb. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 29-36, 2006.

TRAVERSE, A., BERMEJO, T. AND WILLSON, M. Effect of Manure Composition on Seedling Emergence and Growth of Two Commonshrub Species of Southeast Alaska. **Plant Ecology**, v. 155, p. 29-34, 2001.

VALENTA, K.; FEDIGAN, L. M. Efeitos da passagem intestinal, fezes e manuseio de sementes na latência e taxa de germinação em sementes consumidas por macacos-prego (*Cebus capucinus*). **American Journal of Biological Anthropology**, v. 138, p. 486-492, 2009.

VEGA, G.S. D. L.; GODÍNEZ-ALVAREZ, H. Effect of gut passage and dung on seed germination and seedling growth: donkeys and a multipurpose mesquite from a Mexican inter-tropical desert. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 521-524, 2010.

VIEIRA, I. R.; ARAÚJO, F. S.; ZANDEVALLI, R. B. Shrubs promote nucleation in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 92, p. 42-45, 2013.

WHAN A. P.; SMITH, A. B.; CAVANAGH, C. R.; RAL, J-P. F.; SHAW, L. M.; HOWITT, C. A.; BISCHOF, L. GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. **Plant Methods**, v. 10, p. 1-10, 2014.

WHITACRE, M. K.; CALL, C.A. Recovery and germinability of native seed fed to cattle. **Western North American Naturalist**, v. 66, p. 121-128, 2006.