

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICIAG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA

SARA CANDIDO PIRES

**TEMPO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DORMENTES POR ANÁLISE DE
SOBREVIVÊNCIA**

UBERLÂNDIA/MG

2019

SARA CANDIDO PIRES

**TEMPO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DORMENTES POR ANÁLISE DE
SOBREVIVÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA) – Mestrado, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU), área de concentração em Fitotecnia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Garcia de Santana

Coorientador: Dr. Heyder Diniz Silva

UBERLÂNDIA/MG

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P667t Pires, Sara Candido, 1987
2019 Tempo de germinação de sementes dormentes por análise de sobrevivência [recurso eletrônico] / Sara Candido Pires. - 2019.

Orientadora: Denise Garcia de Santana.
Coorientador: Heyder Diniz Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1354>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Sementes - Dormência. 3. Germinação. 4. Essencias florestais. I. Santana, Denise Garcia de, 1967, (Orient.). II. Silva, Heyder Diniz, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

SARA CANDIDO PIRES

TEMPO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DORMENTES POR ANÁLISE DE
SOBREVIVÊNCIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA) – Mestrado, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU), área de concentração em Fitotecnia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 28 de agosto de 2014.

Dr. Heyder Diniz Silva – Coorientador

data manager /Monsanto

Profa. Dra. Flávia Andrea Nery Silva


docente/UFU

Prof. Dr. Quintiliano Siqueira Schroden Nomelini

docente/UFU

Profa. Dra. Luciana Santos Rodrigues Costa Pinto

docente/IFTM


Prof. Dra. Denise Garcia de Santana
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

*Aos meus pais, Vanderlan e Auxiliadora, aos
meus irmãos, Magnum e Gabriela, e ao meu
cachorro, Eike!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu sabedoria e força para cada passo dessa caminhada.

Aos meus pais, Vanderlan e Auxiliadora.

Aos meus irmãos, Magnum e Gabriela.

Aos meus grandes amigos: Leandro Oliveira (“Cidão”), Uiara Rezende, Malu Maes, César Zandonadi (“Cara de Susto”) e Carolina Oliveira (“Mansa”).

À minha orientadora, Denise Garcia de Santana, obrigada por acreditar em mim e me ensinar com muita paciência e respeito.

Aos meus colegas e amigos do Laboratório de Sementes Florestais da Universidade Federal de Uberlândia (LASEF/UFU), principalmente ao Guilherme Sousa que foi um grande companheiro de muitos aprendizados nessa jornada.

Aos meus mais que especiais Planaltinos, vocês são muito especiais para mim!

Ao Heyder, por me apoiar durante o mestrado.

Aos membros da banca examinadora.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

Muito obrigada!

RESUMO

PIRES, S. C. **Tempo de germinação de sementes dormentes por Análise de Sobrevivência.** 2019. 42f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

A dormência garante que a germinação das sementes ocorra no lugar e na hora certa. Nas análises estatísticas sobre germinação, o tempo é normalmente estimado por medidas (inicial, médio e mediano). Porém, esse método não considera as sementes que morreram no intervalo de observação ou aquelas que sobraram ao final do experimento. Assim, os objetivos desta pesquisa se referem a aplicar modelos de sobrevivência para determinar o tempo de germinação de sementes dormentes de quatro espécies florestais da família Fabaceae, considerando nos modelos as sementes mortas e não embebidas; comparar esses tempos com os obtidos por momentos; e quantificar o risco de morte de sementes, em virtude dos métodos para superação de dormência. Por apresentarem padrão de dormência distinto, escolheram-se as espécies *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba* para formar amostras de procedências e anos diferentes para a garantia de qualidade. Os experimentos de germinação foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições em parcelas constituídas de 25 sementes em esquema fatorial, com estrutura variável em função do número de amostras por espécie e da quantidade de métodos para superar a dormência. As probabilidades de germinação para *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba* por sobrevivência são iguais ou maiores que as porcentagens de germinação acumulada. Ademais, os tempos de germinação de sementes dormentes de *B. virgilioides*, *M. caesapiniifolia*, *P. pendula* e *S. parahyba* são subestimados quando obtidos pelo método dos momentos, pois não levam em consideração as sementes que morreram ou não germinaram até o encerramento do experimento. O único inconveniente da Análise de Sobrevivência é não distinguir a censura por morte ou por sementes duras ao final da investigação. Do ponto de vista fisiológico, sementes mortas apresentam baixa qualidade, e as duras ainda mantêm alto potencial de germinação. É alto o risco de morte de sementes de *P. pendula* e *S. parahyba*, ao serem submetidas aos métodos de superação de dormência, especialmente o desponte. Por outro lado, o ácido sulfúrico e a água quente foram menos letais às sementes de *B. virgilioides* e *M. caesapiniifolia*.

Palavras-chave: espécies florestais; método dos momentos; probabilidade de germinação.

ABSTRACT

PIRES, S. C. **Dormant seeds germination period by Survival Analysis**. 2019. 42p. Dissertation (Master Degree) – Institute of Agrarian Sciences, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2019.

Dormancy ensures that seeds germination occurs at the right time and place. In statistical analyzes on germination, time is usually estimated by measurements (initial, medium and median). However, this method does not consider seeds that died in the time interval or those that remained at the end of the experiment. Thus, the objectives of this research refer to apply survival models to determine the germination period of dormant seeds of four forest species of Fabaceae family, considering dead and unembedded seeds in the models; to compare these times with those obtained by moments; and to quantify the risk of seed death due to dormancy overcoming methods. As they present distinct dormancy pattern, the species *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* and *Schizolobium parahyba* were selected to compose samples from different origins and years to guarantee quality. The germination experiments were conducted in a completely randomized delineation with four repetitions in plots consisting of 25 seeds in a factorial scheme, with variable structure depending on the number of samples per species and the number of methods to overcome dormancy. The germination probabilities for *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* and *Schizolobium parahyba* by survival are equal to or greater than the accumulated germination percentages. Moreover, the dormant seeds germination periods of *B. virgilioides*, *M. caesapiniifolia*, *P. pendula* and *S. parahyba* are underestimated when they are obtained by the method of moments, as they do not consider seeds that died or did not germinate until the end of the experiment. The only inconvenience of Survival Analysis is that it does not distinguish death or hard seed censorship at the end of the research. From the physiological point of view, dead seeds have low quality, and hard ones still have high potential of germination. The risk of death of *P. pendula* and *S. parahyba* seeds is high when submitted to dormancy overcoming methods, especially emerging. On the other hand, sulfuric acid and hot water were less lethal to *B. virgilioides* and *M. caesalpinifolia* seeds.

Keywords: forest species; method of moments; germination probability.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
1.1 Breve histórico sobre a Análise de Sobrevivência.....	11
1.2 Análise de Sobrevivência em germinação de sementes.....	13
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1 Definição das espécies	14
2.2 Experimentos de germinação das sementes.....	14
2.3 Estudo do tempo de germinação por modelos de sobrevivência	16
2.3.1 Estimador de Kaplan-Meier para sementes florestais	16
2.3.2 Comparação de curvas de sobrevivência pelo teste de log-rank	17
2.3.3 Estudo dos tempos de germinação por momentos	18
2.3.4 Risco de morte das sementes pelos métodos de superação de dormência ...	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1 Probabilidades de germinação por Análise de Sobrevivência	20
3.2 Tempos de germinação por sobrevivência e por momentos.....	24
CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	35

INTRODUÇÃO

Poucas características são mais importantes para as plantas do que garantir que a germinação ocorra no lugar e na hora certa. Um mecanismo para alcançar esse objetivo, embora não seja o único, é a dormência das sementes (FENNER; THOMPSON, 2005), um dos aspectos menos conhecidos da Biologia, particularmente devido ao fato de estar relacionada não a uma, mas a múltiplas causas (FINKELSTEIN et al., 2008).

Nas últimas décadas, inúmeros trabalhos e revisões têm procurado esclarecer os mecanismos da dormência (CARDOSO et al., 2009) e seus diferentes tipos. Nesse sentido, os autores divergem a respeito das causas, ao associarem a ausência de germinação às condições ambientais (VEGIS, 1964; VLEESHOUWERS; BOUWMEESTER; KARSSSEN, 1995; BEWLEY, 1997), à interação de fatores ambientais e aos aspectos fisiológicos da semente (KOORNEEF; BENTSINK; HILHORST, 2002; FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006), à regulação hormonal (FINKELSTEIN et al., 2008), a mecanismos associados a vários genes e ao efeito maternal (FOLEY, 2001). Há também discrepâncias quanto aos tipos (NIKOLAEVA, 1977; BEWLEY; BLACK, 1982; BASKIN; NAN; BASKIN, 1998; BASKIN; BASKIN, 2004; BASKIN; BASKIN, 2008), mas é indicado que a dormência é uma característica individual da semente (THOMPSON; OOI, 2010).

Dos tipos de dormência, a de natureza física é conhecida para 17 famílias de angiospermas (GAMA-ARACHCHIGE et al., 2010), com destaque para Fabaceae (VILLERS, 1972; MORRISON et al., 1998). Ela é causada pela impermeabilidade ou permeabilidade parcial do tegumento à água, devido à presença de uma ou mais camadas de células de *Malpighi*, hermeticamente unidas e impregnadas de substâncias repelentes à água, como lignina, calose e cera (BASKIN, 2003; SMITH; WANG; MSANGA, 2003). Entretanto, a embebição não acontece somente pelo tegumento, visto que estruturas especializadas como estrofiolo, fenda hilar e micrópila também podem ser responsáveis pela absorção da água (BASKIN; BASKIN; LI, 2000; HU et al., 2009). Embora sejam “lacunas de absorção” (BASKIN, 2003), é necessário o rompimento do tegumento para ocorrer a germinação.

As condições ambientais no momento da dispersão, como umidade (MARQUES, 2002), temperatura (MILLER, 2000) e herbivoria (LEAL; OLIVEIRA, 2000), são as principais formas de rompimento natural do tegumento ou de superação da dormência. Técnicas de rompimento artificial são muito comuns na pesquisa científica e são chamadas de métodos para superação da dormência ou tratamentos pré-germinativos.

Na análise de germinação, o número de sementes germinadas ao longo do tempo é normalmente contabilizado e, ao final do experimento, também se considera a quantidade de sementes mortas e não germinadas – vale dizer que a mortalidade das sementes não ocorre somente ao final do experimento. Com sementes dormentes, o índice de variáveis é maior porque, quando são submetidas a métodos de superação de dormência, podem morrer em função do próprio método ou até nem mesmo embeber (sementes duras). Nessa categoria estão *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba*, reconhecidas por apresentarem sementes com dormência tegumentar, por restrição à embebição.

Ainda que tenham o mesmo mecanismo de dormência, sementes dessas espécies divergem quanto à resistência do tegumento à embebição. Enquanto em *Parkia pendula*, a serotinosidade das sementes acarreta a dispersão de parte das sementes com dormência e outra, com dormência superada (OLIVEIRA et al., 2006), em *Schizolobium parahyba*, o tegumento extremamente duro e espesso (BRAGA; OLIVEIRA; SOUZA, 2013) leva à total impermeabilidade. Para quantificar o processo fisiológico da germinação e da dormência, pesquisadores contemplam somente a proporção de sementes que germinam (normalmente expressa em porcentagem) e, com menor frequência, o tempo de germinação.

Nesse contexto se calculam medidas pontuais de tempo como inicial, final, médio e mediano (CZABATOR, 1962; NICHOLS; HEYDECKER, 1968; LABOURIAU, 1983; RANAL; SANTANA, 2006) e há modelos matemáticos que relacionam a capacidade com o tempo de germinação (SCOTT; JONES; WILLIAMS, 1984; KOBAYASHI; NAKAMURA, 1986; BERRY; CAWOOD; FLOOD, 1988; TORRES; FRUTOS, 1989; VANELLA, 2003).

Torna-se trivial descrever o curso do tempo de germinação por modelos matemáticos, apenas das sementes que germinam, mas é incomum incorporar ao modelo as sementes que morrem no decorrer do experimento e as que permaneceram dormentes ao final. O método estatístico que contempla essas características é a Análise de Sobrevivência, em que fornece o máximo de informações do processo de germinação das sementes ao contabilizar observações censuradas (SCOTT; JONES; WILLIAMS, 1984), como morte, dormência e outras características.

Embora seja recente em experimentos de germinação, a Análise de Sobrevivência foi aplicada para estudar o efeito alelopático de *Artemisia herba-alba* na germinação de sementes de *Helianthemum squamatum* (ESCUDEIRO et al., 2000), na interferência de concentrações de D-manitol em sementes de trigo (SARCEVIC; GUNJACA, 2000), na germinação e sobrevivência das plântulas de bromélias epífitas, nas florestas mexicanas úmidas (WINKLER;

HULBER; HIETZ, 2005) e na análise da germinação e emergência de plântulas de espécies invasoras (ONOFRI; GRESTA; TEI, 2010; MCNAIR; SUNKARA; FROBISH, 2012).

Diante do exposto, os objetivos desta pesquisa se referem a aplicar modelos de sobrevivência para determinar o tempo de germinação de sementes dormentes de quatro espécies florestais da família Fabaceae, considerando as sementes mortas e não embebidas; comparar esses tempos com os obtidos por momentos; e quantificar o risco de morte de sementes, em função dos métodos para superação de dormência.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mesmo com a vasta literatura sobre a germinação de sementes, os artigos sobre o tema ainda concentram a discussão na quantidade de sementes que germinam, normalmente expressa em porcentagem. Uma fração menor de artigos inclui, além da capacidade, o tempo despendido com o processo. Essa ideia não é recente, pois, desde De Candolle (1865, citado por LABOURIAU, 1983), os tempos inicial, final, mediano e médio têm sido utilizados por vários autores.

O tempo médio de germinação é o mais aplicado, o que se justifica pela facilidade de cálculo e interpretação, além de representar, de maneira indireta, a velocidade média desse aspecto. No entanto, o período médio calculado pelo método dos momentos, uma medida estatística clássica, perde a finalidade e qualidade de inferência quando a distribuição da germinação não é simétrica; no momento em que parte das sementes da amostra não consegue completar o processo (morte); ou se o tempo de observação precisar ser interrompido. Na maioria dos estudos com germinação de sementes, essas características estão presentes em um mesmo experimento.

Nesses termos, o tempo mediano pode solucionar, em parte, a inferência a partir da média, quando a distribuição é assimétrica, mas não é eficiente para resolver o problema das sementes mortas e da interrupção do experimento. O interesse pelo desenvolvimento de técnicas mais específicas para essas situações surgiu em Cox (1972), e a necessidade de estabelecer, com maior rigor, o tempo de vida de pacientes com doenças graves deu ao procedimento estatístico o nome mais usual da técnica (Análise de Sobrevivência), constituída por um conjunto de métodos usados na avaliação do comportamento de variáveis aleatórias, principalmente o tempo (GIOLO, 2003). Na literatura, modelos de sobrevivência têm sido propostos para inúmeras situações, com base em procedimentos estatísticos clássicos. Assim, é possível encontrar artigos específicos que tratam da Análise de Sobrevivência univariada

(KLEIN; MOESCHBERGER, 1997), multivariada (HOUGAARD, 2000) e acrescida de variáveis latentes (GIOLO, 2003).

A possibilidade de aplicação em outras áreas do conhecimento, além da Medicina, é recente, mas tem aparecido, ainda que de maneira discreta, nos artigos sobre germinação de sementes. A necessidade desse aspecto para a germinação é eminente, pois não se pode desconsiderar que muitas sementes morrem antes do final do processo e que outras não conseguem completá-lo por estarem dormentes.

1.1 Breve histórico sobre a Análise de Sobrevivência

A origem da Análise de Sobrevivência remonta a séculos, sendo possível pontuar algumas datas importantes para o desenvolvimento da técnica. Em 1662, John Graunt publicou em Londres o livro “*Natural and political observations upon the bill of mortality*”, que deu origem a uma nova visão da ciência, pois, pela primeira vez, a morte é registrada como um fenômeno de interesse coletivo. Na obra, os óbitos foram divididos em grupos homogêneos de acordo com a idade, a data do falecimento, o sexo e a causa de morte.

Alguns anos depois, Halley (1693) desenvolveu a primeira tabela de mortalidade, muito semelhante às utilizadas em estudos demográficos e atuariais. No entanto, somente em 1939, Weibull começou uma série de estudos com modelos de regressão exponenciais com foco, principalmente, em produtos industriais (WEIBULL, 1939; 1951; WEIBULL; NYCANDER, 1954).

Kaplan e Meier (1958), no artigo “*Nonparametric estimation from incomplete observations*”, propuseram um estimador não paramétrico para a função de sobrevivência, também conhecido como estimador limite-produto. Por sua vez, Cox (1972) apresentou modelos de regressão e tabelas de vida no *Journal Royal Statistical Society*. Juntos, esses dois textos foram os mais citados na literatura estatística, no período de 1987 a 1989 (STIGLER, 1994), e uma evidência quantitativa desse sucesso é o número de aplicações de Análise de Sobrevivência em Medicina, área da estatística que, segundo os autores, mais se destacou no período avaliado (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

O método atuarial e o de Kaplan-Meier assumiram que as observações censuradas têm a mesma probabilidade de sofrerem um evento do que aquelas que permanecem em observação. A técnica de Kaplan-Meier se difere da atuarial por eliminar a necessidade de assumir que as censuras das observações ocorram uniformemente durante esse intervalo; por conseguinte, apenas as observações censuradas teriam a mesma experiência futura, em detrimento daquelas

que continuam sendo observadas (KAHN; SEMPOS, 1989). Convém salientar que o método de Kaplan-Meier pode ser utilizado para qualquer tamanho de amostra, sobretudo nos estudos com pequena quantidade de observações, enquanto o atuarial é mais apropriado às grandes amostras (LEE, 1980).

Kaplan e Meier (1958) deram início a uma nova área e suscitaram a seguinte pergunta: Como as curvas de sobrevivência podem ser comparadas? A literatura para curvas de testes de sobrevida, considerando duas ou mais amostras, se desenvolveu entre 1960 e 1970, mas ainda estava bastante confusa (AALEN et al., 2009). A questão mais geral (ajustar para covariáveis) foi resolvida pela primeira vez com a introdução dos riscos proporcionais (COX, 1972). Durante a década de 1960 e o início dos anos 1970, uma infinidade de testes para comparar duas ou mais funções de sobrevivência foi sugerida (GEHAN, 1965; MANTEL, 1966; EFRON, 1967; BRESLOW, 1970; PETO; PETO, 1972).

Além dos autores supramencionados, o método de sobrevivência tem modelos estatísticos propostos por outros pesquisadores, como os estimadores de Nelson (1972), Aalen e Johansen (1978) e Klein (1992). Nesse contexto, a aplicação da Análise de Sobrevivência se expandiu para áreas diversas, como as socioeconômicas, agrícolas e industriais, utilizando diferentes modelagens estatísticas para parâmetros variados.

Na Análise de Sobrevivência, a variável resposta se refere geralmente ao período até a ocorrência de um evento de interesse, como o tempo de vida de indivíduos acometidos por determinada doença e das espécies florestais, bem como o tempo até a germinação da semente. Esse intervalo até a germinação da semente é chamado de tempo de sobrevivência ou de falha (termo usado quando o evento é a morte ou alguma característica de erro).

De fato, a principal característica de dados de sobrevivência é a presença de censura, isto é, a observação incompleta do tempo de germinação. Em geral, as censuras podem acontecer de várias formas e conforme mecanismos diversificados, a saber: tipo I, em que o estudo termina em um instante pré-estabelecido e alguns tempos, até a ocorrência da germinação, não são observados para algumas unidades amostrais; tipo II, no qual a investigação é finalizada após haver determinada quantidade pré-estabelecida de censuras (morte ou número de sementes dormentes), dentre as unidades em pesquisa; e a aleatória ocorre, por exemplo, quando uma semente é retirada do estudo sem a germinação (LAWLESS, 1982).

As censuras podem ainda ser classificadas como: à direita, em que a semente está em observação e, em algum tempo no período de estudo, seja pela sua exclusão da amostra ou pelo final da pesquisa, as respectivas informações se tornam inacessíveis; à esquerda, na qual o evento de interesse ocorreu quando uma semente é incluída no grupo de unidades; e intervalar,

tipo mais geral de censura que ocorre em certo intervalo de tempo, mas sem saber o momento exato.

Esses tipos de censura são comuns na análise da germinação, mas impedem os procedimentos estatísticos convencionais, pois tendem a subestimar o tempo de germinação de sementes de espécies com algum tipo de dormência. Em contrapartida, superestimam o tempo de germinação daquelas que apresentam distribuição concentrada nos primeiros tempos (distribuição assimétrica).

1.2 Análise de Sobrevivência em germinação de sementes

As primeiras pesquisas com modelos de sobrevivência em germinação de sementes foram feitas por Scott e Jones (1982), que estudaram a influência da baixa temperatura na germinação de espécies de *Lycopersicon*. Os autores justificaram a Análise de Sobrevivência com o fato os métodos frequentemente utilizados para reportar dados de análise de germinação – como tempo para 50% de germinabilidade, índice de germinação e germinação cumulativa – não descreverem satisfatoriamente a germinação e não disponibilizarem detalhes para realizar comparações.

A partir do mesmo experimento de avaliação da germinação de espécies de *Lycopersicon*, Scott, Jones e Williams (1984) publicaram uma revisão de modelagens para a análise de dados de germinação de sementes, no qual compararam diferentes modelos estatísticos, como porcentagem, velocidade e tempo mediano de germinação, germinação cumulativa e tabela de vida como método de Análise de Sobrevivência. Mais de uma década depois, Sarcevic e Gunjaca (2000) empregaram essa técnica para avaliar a germinação de trigo em variadas concentrações osmóticas, porém expressando os resultados em gráficos de distribuição da sobrevivência pelo estimador de Kaplan-Meier.

Em nenhum dos artigos foram utilizadas espécies com sementes dormentes, como as invasoras e florestais. Sendo assim, Onofri, Gresta e Tei (2010) e McNair, Sunkara e Frobish (2012) conduziram os experimentos com espécies invasoras utilizando diferentes modelagens no método de Análise de Sobrevivência para dados de germinação. Ao estudarem *Lithraea molleoides*, Berger, Ranal e Santana (2014) incluíram nas análises o método de sobrevivência, mais especificamente o estimador de Kaplan-Meier, para o cálculo das probabilidades de germinação de sementes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Definição das espécies

Para a aplicação dos modelos de sobrevivência, escolheram-se as espécies da família Fabaceae com sementes reconhecidamente dormentes, porém com diferenças de permeabilidade do tegumento entre (e dentro das) espécies. As amostras foram formadas por diferentes locais de procedência e ano de coleta, com o intuito de obter sementes com qualidades distintas (Tabela 1).

Tabela 1. Relação das espécies florestais, incluindo nomes científicos e populares, e de amostras com procedência e anos de coleta distintos.

Espécie	Amostras (ano de coleta)	Procedência
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth. Nome popular: sucupira-preta	2008 (A1); 2009 (A2); 2010 (A3)	Uberlândia/MG
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth. Nome popular: sansão-do-campo	2007 (A1); 2009 (A2, A3, A4)	Uberlândia/MG; Instituto Florestal
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp. Nome popular: visgueiro-bolota	2008 (A5); 2009 (A1, A2, A3, A6, A7)	Tucuruí/PA
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake Nome popular: guapuruvu	2009 (A1); 2012 (A2, A3)	Casa Branca; IPEF; Signus Vitae

Fonte: Elaboração da autora.

2.2 Experimentos de germinação das sementes

No teste de germinação, as sementes das espécies analisadas foram dispostas sobre o papel de germinação do tipo mata-borrão, em caixas gerbox (10,5 cm x 10,5 cm). A exceção foi *Schizolobium parahyba*, devido ao maior tamanho das sementes, em que foram dispostas sobre o papel germitest em caixas plásticas com dimensão de 11 cm x 15 cm x 30 cm e envoltas por dois sacos plásticos. Tanto o mata-borrão como o germitest foram previamente embebidos em solução contendo cinco gotas de hipoclorito de sódio (2% a 2,5% de NaClO) para cada 2L de água destilada por dez minutos. O excesso de água do germitest foi retirado por torção, e o do mata-borrão, por escoamento.

As caixas plásticas ou do tipo gerbox de cada espécie foram colocadas aleatoriamente em incubadoras do tipo BOD, reguladas a 25 °C, e as sementes ficaram sob luz branca fluorescente contínua. Para cada espécie, as amostras dos tratamentos foram divididas em quatro subamostras de 25 sementes, totalizando 100 unidades dispostas aleatoriamente nas

incubadoras. No tratamento controle, sementes de *B. virgilioides*, *P. pendula* e *S. parahyba* foram desinfestadas com solução de hipoclorito de sódio, ao passo que, para as de *M. caesalpinifolia*, se utilizou a solução de detergente (Tabela 2). As sementes do controle proporcionaram a base para quantificar a intensidade da dormência pelos modelos de sobrevivência.

Além do controle, métodos para superação de dormência e comumente descritos na literatura, como escarificação química (*B. virgilioides*), escarificação mecânica (*S. parahyba*), tratamento térmico (*M. caesalpinifolia*), embebição por 24 horas (*S. parahyba*) e desponte (*M. caesalpinifolia* e *P. pendula*), foram executados. Para isso, outros procedimentos como lavagem em água corrente e destilada e fricção para remover a mucilagem estão detalhados na Tabela 2. A lavagem de sementes, a troca de papel mata-borrão/germitest e o reumedecimento foram realizados quando necessário, de acordo com as peculiaridades de cada espécie.

Tabela 2. Detalhamento das metodologias para análise de germinação de sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth., *Mimosa caesalpinifolia* Benth., *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp. e *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake.

Espécie	Tratamento	Detalhamento da metodologia
<i>B. virgilioides</i>	Controle	0,05% de NaClO por 3' + lavagem em água corrente + enxágue com água destilada por 5'
	Escarificação química	H ₂ SO ₄ por 8' + lavagem em água corrente
<i>M. caesalpinifolia</i>	Controle	Solução detergente por 10' + água corrente + enxágue em água destilada
	Térmico	0,05% de NaClO por 3' + lavagem em água corrente + enxágue com água destilada por 5' + água quente a 70 °C
	Desponte	0,05% de NaClO por 3' + lavagem em água corrente + enxágue com água destilada por 5' + desponte no terço superior (oposto à micrópila) + solução detergente ¹
<i>P. pendula</i>	Controle	0,025% de NaClO por 2' + lavagem em água corrente + fricção até a remoção da mucilagem + enxágue com água destilada
	Desponte	0,025% de NaClO por 2' + lavagem em água corrente + remoção da mucilagem + enxágue com água destilada + desponte no terço superior + 0,025% de NaClO por 2'
<i>S. parahyba</i>	Controle	Imersão por 2' em 0,025% de NaClO + lavagem em água corrente até a retirada da solução + enxágue com água destilada
	Escarificação mecânica	0,025% de NaClO por 2' + lavagem em água corrente + enxágue com água destilada + escarificação na região oposta à micrópila + 0,025% de NaClO + embebição por 24h + solução detergente ¹

¹ Solução de detergente: proporção de cinco gotas de detergente neutro para 100 mL de água destilada, com permanência das sementes ou dos diásporos por cinco a dez minutos na solução, seguida de lavagem em água corrente e permanência em água destilada por três minutos.

Fonte: Elaboração da autora.

As avaliações foram feitas diariamente com anotações sobre o número de sementes com protrusão da raiz e mortas. Ao final dos experimentos – aos 93, 92, 61 e 62 dias para sementes de *B. virgilioides*, *M. caesalpinifolia*, *P. pendula* e *S. parahyba*, respectivamente –, além dessas características foi computada a quantidade de sementes embebidas e não embebidas.

2.3 Estudo do tempo de germinação por modelos de sobrevivência

No estudo do tempo e da probabilidade de germinação, as sementes germinadas e mortas no tratamento controle de *B. virgilioides*, *M. caesalpinifolia*, *P. pendula* e *S. parahyba* foram consideradas para os modelos de sobrevivência. Nos modelos de sobrevivência tradicionais, a função de sobrevivência é o período até a ocorrência de uma falha ou um evento. Ao traçar um paralelo com sementes, esse evento/falha é a germinação, em que o tempo até a ocorrência da germinação é denotado por:

$$F(t) = S(t)$$

As 100 sementes de cada espécie foram representadas pelo par (t_i, δ_i) , sendo t_i o tempo de germinação ou de censura (sementes mortas) e δ_i , a variável indicadora de germinação ou de morte, definida por:

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{se } t_i \text{ é um tempo das sementes germinadas} \\ 0 & \text{se } t_i \text{ é um tempo das sementes mortas} \end{cases}$$

2.3.1 Estimador de Kaplan-Meier para sementes florestais

O método de Kaplan-Meier (KAPLAN; MEIER, 1958) é um dos estimadores não paramétricos de funções de sobrevivência, também chamado de limite-produto. Ele é dado pela expressão:

$$\hat{S}(t) = \prod_{j: t_j < t} \left(1 - \frac{m_j}{n_j} \right) \quad j = 1, 2, 3, \dots, k; \quad t_1 < t_2 < t_3, \dots, < t_k$$

Em que: k é o tempo final de germinação; m_j é a quantidade de sementes germinadas no tempo t_j ; e n_j é o número de sementes sob risco de germinação, ou seja, as sementes que não germinaram ou não morreram no tempo imediatamente anterior a t_j .

Para avaliar a precisão do estimador de Kaplan-Meier, intervalos de confiança (IC) de 95% foram construídos para os tempos médios e medianos de germinação no tratamento controle. Considerou-se a variância assintótica desse estimador, definida por:

$$\hat{S}_{KM}(t) \pm 1,96\sqrt{\hat{V}\hat{a}r[\hat{S}_{km}(t)]}$$

$$\hat{V}\hat{a}r[\hat{S}_{KM}(t)] = [\hat{S}_{KM}(t)]^2 \sum_{j: t_j \leq t} \left[\frac{m_j}{n_j(n_j - m_j)} \right]$$

Em que: $\hat{V}\hat{a}r[\hat{S}_{km}(t)]$ é a expressão de Greenwood (1926); $t_{(j)}$ é o tempo para germinação das sementes; m_i é o número de sementes germinadas em t_j ; e n_j é a quantidade de sementes sob risco de germinação em t_j .

As curvas de germinação por Análise de Sobrevivência foram comparadas, sem inferência, com as curvas de germinação acumulada para cada amostra de *B. virgilioides*, *M. caesalpiniiifolia*, *P. pendula* e *S. parahyba*.

2.3.2 Comparação de curvas de sobrevivência pelo teste de log-rank

Para a comparação entre duas amostras de sementes de cada espécie, considerou-se a hipótese nula $H_0: S_1(t) = S_2(t)$, para todo t no decorrer do experimento, e a distribuição qui-quadrado com um grau de liberdade para amostras de tamanho 100.

$$\chi^2 = \sum_{l=1}^k \frac{(O_l - E_l)^2}{\text{Var}(O_l - E_l)} ; O_l - E_l = \sum_{j=1}^k (m_{lj} - e_{lj});$$

$$e_{1j} = \left(\frac{n_{1j}}{n_{1j} + n_{2j}} \right) (m_{1j} + m_{2j}); e_{2j} = \left(\frac{n_{2j}}{n_{2j} + n_{1j}} \right) (m_{2j} + m_{1j})$$

$$\text{Var}(O_l - E_l) = \sum_{j=1}^k \left(\frac{n_{lj}(n_j - n_{lj}) m_{lj}(n_j - m_j)}{n_j^2(n_j - 1)} \right) \text{ onde: } n_j = \sum_{l=1}^2 n_{lj}; m_j = \sum_{l=1}^2 m_{lj}$$

Em que: O_l é a frequência observada da amostra l ; E_l é a frequência esperada da amostra l ; k é o último tempo de germinação; m_j é o número de sementes germinadas da l^{th} amostra no j^{th} tempo de germinação; e n_j é a quantidade de sementes sob risco de germinação na l^{th} amostra, no j^{th} tempo de germinação.

Para a comparação de três ou mais curvas de sobrevivência, a hipótese nula considerada foi $H_0: S_1(t) = S_2(t) = \dots = S_g(t)$, para todo t no decorrer do experimento e g amostras, com $g - 1$ graus de liberdade.

$$\mathbf{d} = (O_1 - E_1, O_2 - E_2, \dots, O_{g-1} - E_{g-1}); \mathbf{V} = \begin{pmatrix} v_1 & v_{12} & \dots & v_{1,(g-1)} \\ v_{21} & v_2 & \dots & v_{2,(g-1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{(g-1),1} & v_{(g-1),2} & \dots & v_{g-1} \end{pmatrix};$$

para $v_{mn} = \text{Cov}(O_m - E_m, O_n - E_n)$, $v_m = \text{Var}(O_m - E_m)$, $m = 1, 2, 3, \dots, g - 1$,
 $n = 1, 2, 3, \dots, g - 1$

$$\text{Cov}(O_m - E_m, O_n - E_n) = \sum_{j=1}^k \left(\frac{-n_{mj}n_{nj}m_j(n_j - m_j)}{n_j^2(n_j - 1)} \right)$$

$$\text{Var}(O_m - E_m) = \sum_{j=1}^k \left(\frac{n_{mj}(n_j - n_{lj})m_j(n_j - m_j)}{n_j^2(n_j - 1)} \right)$$

Em que: $O_m; O_n$ são as frequências observadas das amostras m e n ; $E_m; E_n$ são as frequências esperadas das amostras m e n ; k é o último tempo de germinação; m_{nj} é o número de sementes germinadas das amostras m^{th} e n^{th} no j^{th} tempo de germinação; e n_{nj} é a quantidade de sementes sob risco de germinação das m^{th} e n^{th} amostras no j^{th} tempo de germinação.

2.3.3 Estudo dos tempos de germinação por momentos

Das medidas de momento, o tempo médio de germinação das sementes foi calculado para cada espécie e amostra. Ele é definido por:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j t_j}{\sum_{j=1}^k n_j}$$

Em que: t_j é o tempo da j^{th} observação (dia); n_j é o número de sementes germinadas no tempo j ; e k é o último tempo (dia) de germinação.

Além do tempo médio, foram feitas estimativas dos tempos para 25%, 50% e 75% de germinação por Análise de Sobrevida, a partir da curva de Kaplan-Meier e por momentos por interpolação linear.

2.3.4 Risco de morte das sementes pelos métodos de superação de dormência

O modelo de riscos proporcionais de Cox, modelo de Cox ou regressão de Cox (COX, 1972) permitiu avaliar o impacto dos métodos no tempo até a ocorrência da germinação. A função de riscos – $h(t)$: “*hazard function*” – é a variável dependente, e os riscos de morte por determinada causa são o produto de uma função não especificada de tempo (comum a todos os indivíduos) e uma função conhecida (referente à combinação linear de covariáveis X_i , em que $i = 1, 2, \dots, k$). A função de riscos $h(t)$ descrita pelas covariáveis foi dada por:

$$h\left(\frac{t}{X_1, X_2, \dots, X_k}\right) = h_o(t) \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)$$

Em que $h_o(t)$ é a parte não paramétrica do modelo. Os coeficientes de regressão (b_i) são estimados pelo método da máxima verossimilhança parcial. Da divisão da equação por $h_o(t)$:

$$\frac{h(t / X_1, X_2, \dots, X_k)}{h_o(t)} = \frac{h_o(t) \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}{h_o(t)}$$

Obtém-se o quociente “função das razões de riscos:

$$\frac{h(t / X_1, X_2, \dots, X_k)}{h_o(t)}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Probabilidades de germinação por Análise de Sobrevida

As curvas de germinação acumulada de *Bowdichia virgilioides* e *Mimosa caesalpinifolia* (Figuras 1a e 1c) que, por construção, não contabilizaram as sementes mortas de ambas as espécies, se assemelharam às funções de sobrevivência (Figuras 1b e 1d). Essa similaridade se restringiu apenas à forma, uma vez que as expectativas de germinação por Análise de Sobrevida foram superiores às da germinação acumulada para ambas as espécies. Igualmente, Scott e Jones (1982), ao compararem a estatística de germinação

acumulada com a Tabela de Vida por Análise de Sobrevivência, obtiveram proporções de germinação por sobrevivência superiores às calculadas por germinação cumulativa.

Desde a década de 1960, pesquisadores têm pesquisado uma alternativa para a modelagem das curvas de germinação acumulada que representem a sequência temporal da germinação, mas sem quantificar sementes de espécies que possuem dormência e morreram no decorrer do experimento (NICHOLS; HEYDECKER, 1968; JANSSEN, 1973; BROWN; MAYER, 1988; TORRES; FRUTOS, 1989; VANELLA, 2003; EL-KASSABY et al., 2008). Apesar disso, ainda se utilizam as curvas de germinação acumulada nos estudos com sementes florestais (JANSEN, 1973; SMIDERLE; SOUZA, 2003; ANDRADE et al., 2006; PEREIRA et al., 2013).

Aos 93 dias após semeadura, tempo final de observação, os 96,5% de probabilidade de germinação por sobrevivência das sementes de A1 de *B. virgilioides* contrastaram com 85% de germinação acumulada. De forma similar, aos 92 dias após a semeadura, a probabilidade de sobrevivência de 68,3% para sementes da A3 de *M. caesalpinifolia* foi superior a 52% de germinação acumulada.

Pela ausência de sementes mortas, o percentual de germinação acumulado e a probabilidade de sobrevivência se igualaram em 29% para sementes da A2 de *B. virgilioides*. Para *M. caesalpinifolia*, sementes da A3, com mortalidade 30% maior em comparação à A2, causaram inversão entre a germinação acumulada e a função de sobrevivência. Enquanto as sementes da A2 apresentaram, em relação à A3, maior índice de germinação acumulado – 56% contra 52% –, e a probabilidade de germinação (57,4%) foi inferior à da A3 (68,3%). Similarmente, variadas probabilidades de germinação entre amostras da mesma espécie também foram encontradas por Berger, Ranal e Santana (2014), que obtiveram resultados diferentes entre 0% e 50,79% aos 150 dias após a semeadura, em se tratando de seis amostras de diásporos de *Lithraea molleoides* Vell. (Eng.).

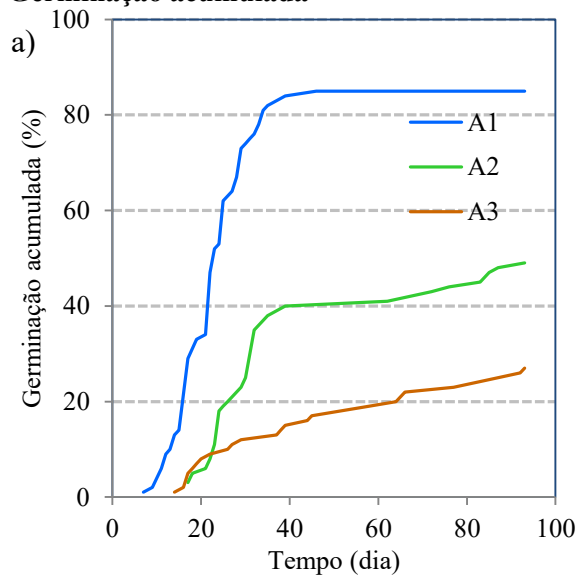
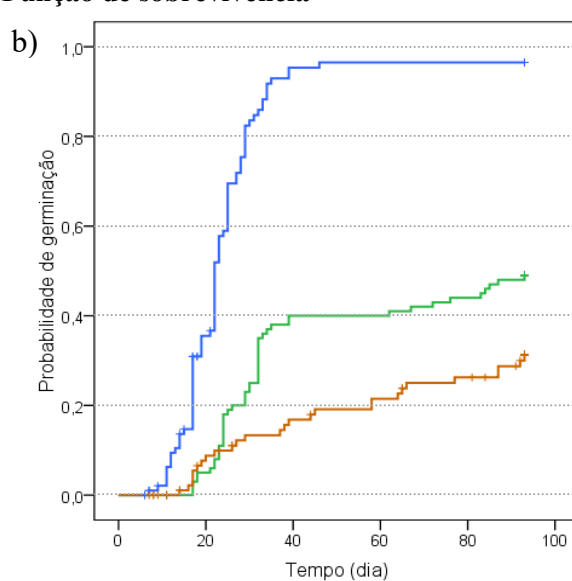
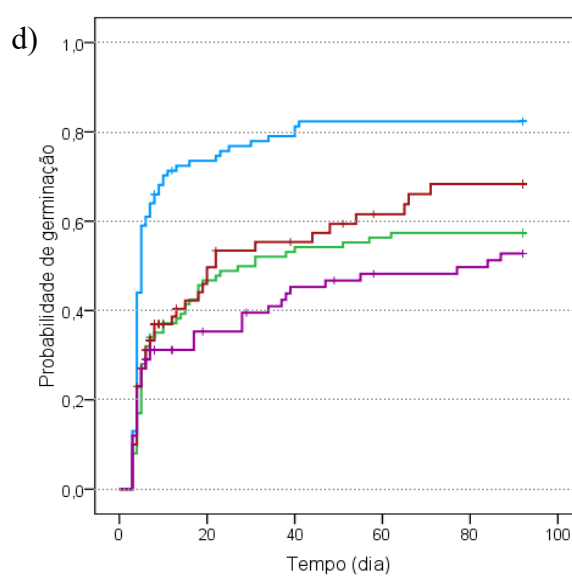
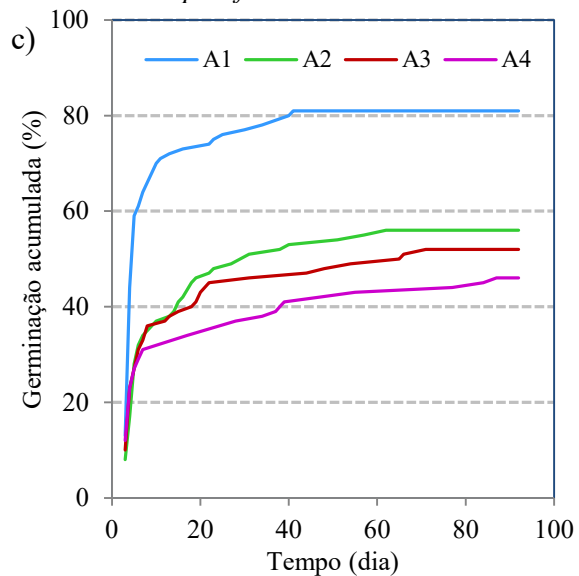
*Bowdichia virgilioides***Germinação acumulada****Função de sobrevivência***Mimosa caesalpinifolia*

Figura 1. Curvas de germinação acumulada (a; c) e probabilidades de germinação pelo método não paramétrico de Kaplan-Meier (b; d), em função do tempo de germinação para sementes de *Bowdichia virgilioides* e *Mimosa caesalpinifolia*. UFU, Uberlândia/MG, 2014.

Diferentemente dos resultados encontrados para as espécies *B. virgilioides* e *M. caesalpiniiifolia*, as curvas de germinação acumulada e as probabilidades de germinação por sobrevivência de *P. pendula* e *S. parahyba* foram equiparáveis não somente quanto à forma (Figura 2). A capacidade de germinação das sementes de *P. pendula* e *S. parahyba* abaixo de 14% e 10%, respectivamente, diminuiu as probabilidades de germinação, mas com motivos distintos: enquanto *P. pendula* teve percentuais reduzidos pela alta mortalidade das sementes, *S. parahyba* apresentou índices menores pela forte dormência das sementes no tratamento controle.

Nesse contexto, a presença de sementes mortas (censura) ao longo da germinação ou a interrupção do experimento antes de a última semente germinar (censura) e sua incorporação no modelo foram importantes na predição da probabilidade de germinação de sementes com capacidade de acima de 50%, como em *B. virgilioides* e *M. caesalpiniiifolia*. Todavia, a incorporação dessa censura ao modelo para espécies com germinação abaixo de 15% foi irrelevante.

Amplas discrepâncias entre amostras de uma mesma espécie, como consequência de diferenças nos estádios de dormência, levaram as sementes a não atingirem o tempo para 50% de germinação, como A2 e A3 de *B. virgilioides* (Figura 1b). Por problemas de alta mortalidade em *P. pendula* e pela intensa dormência no tratamento controle em *S. parahyba*, sementes de várias amostras das duas espécies não atingiram probabilidades de germinação superiores a 10%. Tal fato coaduna com os resultados observados por McNair, Sunkara e Frobish (2012), que investigou a germinação de *Japonica arvensis* colhida em diferentes locais e encontrou variadas probabilidades que variaram de 30 a 80%.

Essa variação de intensidade de dormência foi explicada por El-Kassaby et al. (2008) que, em estudos de representação matemática e parâmetros de extração na germinação de sementes, notaram que o índice de dormência de *Pinnus* variou significativamente entre as famílias. Isso indica que o nível de dormência é um atributo específico para a família e está sob forte controle genético (no sentido amplo herdabilidade/repetibilidade de 0,93%). Ademais, mesmo quando coletadas de uma única matriz, sementes florestais podem apresentar diferenças no grau de dormência, no tamanho das sementes e na maturidade fisiológica (OROZCO-SEGOVIA; SANCHEZ-CORONADO; VAZQUEZ-YANES, 1993).

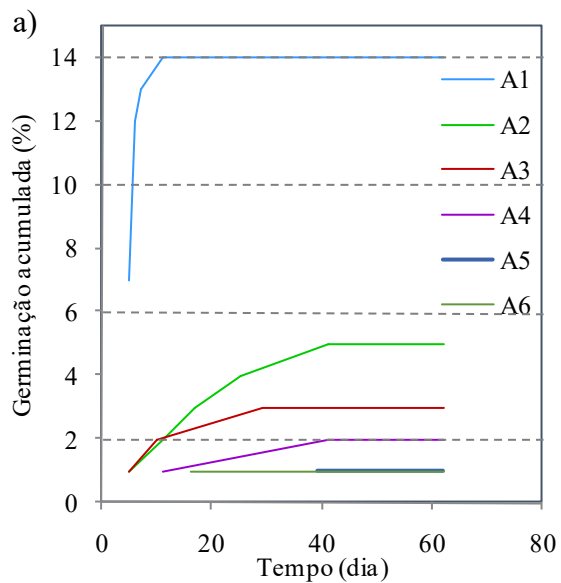
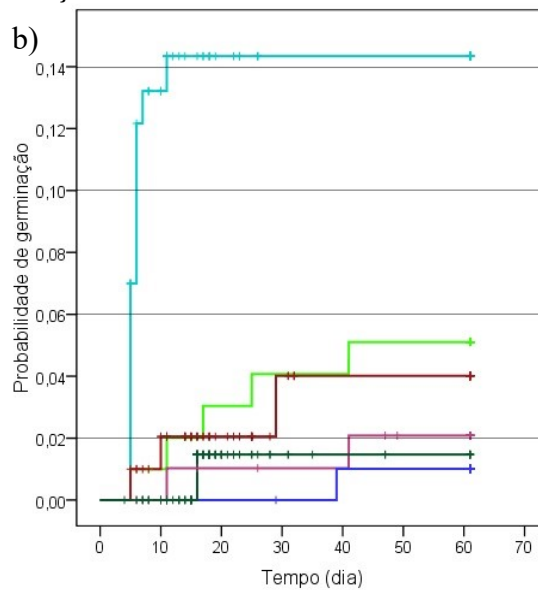
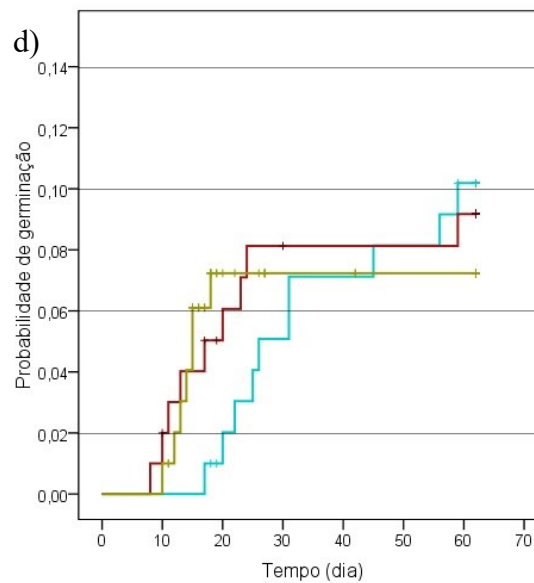
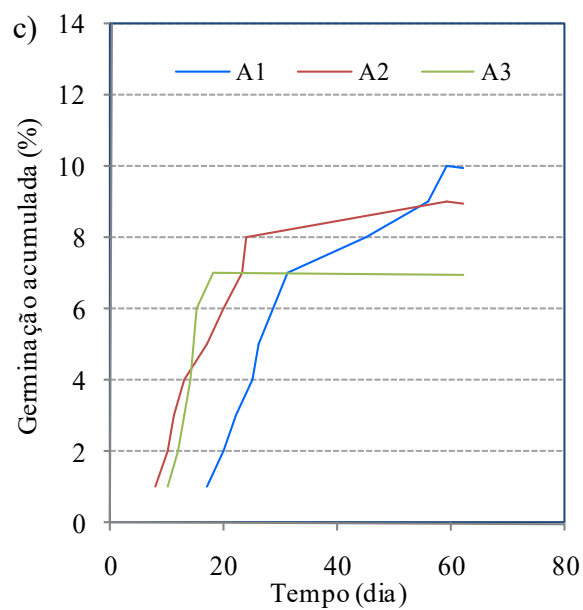
*Parkia pendula***Germinação acumulada****Função de sobrevivência***Schizolobium parahyba*

Figura 2. Curvas de germinação acumulada (a; c) e de probabilidades de germinação estimadas pelo método não paramétrico de Kaplan-Meier (b; d) em função do tempo de germinação para sementes de *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba*. UFU, Uberlândia/MG, 2014.

Discrepâncias nas probabilidades de germinação não estiveram restritas às espécies e foram observadas entre as três amostras de *B. virgilioides* ($P < 0.011$; Tabela 1); para a A1 de *M. caesalpinifolia* e *P. pendula*, em relação às demais ($P < 0.000$); e entre A3 e A5 ($P < 0.048$) da última espécie. Contudo, as probabilidades de germinação de *S. parahyba* se mantiveram indistintas ($P > 0.759$).

Embora muito comuns em análise de germinação, as curvas acumuladas de germinação e os ajustes de modelos não lineares de regressão não possuem métodos estatísticos rigorosos para testar hipóteses relativas a diferenças entre as curvas (RICHTER; SWITZER, 1982; BASKIN; BASKIN, 1983; CARNEIRO; GUEDES, 1992). A possibilidade de inferência acerca do comportamento das sementes por Análise de Sobrevivência permitiu comprovar que a dormência causada por restrição do tegumento à água, característica das espécies, foi variável entre amostras, o que revela intensidades distintas de dormência. As diferenças e semelhanças no comportamento da germinação das sementes entre amostras de uma espécie se limitaram à análise gráfica, quando executada por germinação acumulada – esse foi o principal limitante da representação.

Tabela 3. Probabilidades associadas à estatística qui-quadrado do teste de log-rank para comparação entre as amostras de sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth., *Mimosa caesalpinifolia* Benth, *Parkia pendula* Benth. e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake.

Espécie	Amostra	Amostra				
		A2	A3	A4	A5	A6
<i>B. virgilioides</i>	A1	0.011	0.000			
	A2		0.000			
<i>M. caesalpinifolia</i>	A1	0.000	0.000	0.000		
	A2		0.646	0.297		
	A3			0.076		
<i>P. pendula</i>	A1	0.014	0.003	0.001	0.000	0.001
	A2		0.918	0.255	0.166	0.371
	A3			0.233	0.048	0.483
	A4				0.977	0.982
	A5					0.363
<i>S. parahyba</i>	A1	0.885	0.759			
	A2		0.890			

Fonte: Elaboração da autora.

3.2 Tempos de germinação por sobrevivência e por momentos

De maneira geral, os tempos médios e os tempos para atingir 25%, 50% e 75% de germinação por momentos foram inferiores àqueles encontrados na Análise de Sobrevivência para as espécies *B. virgilioides*, *M. caesalpinifolia*, *P. pendula* e *S. parahyba* (Tabela 4). Esse

resultado comprova a tendência de o método dos momentos subestimar os tempos de germinação de sementes com censura por dormência (sementes duras ao final do experimento) e por mortalidade.

Essa subestimação se deve ao fato de o cálculo dos tempos para germinação considerar somente a proporção de sementes germinadas numa amostra em um período especificado (GOODCHILD; WALKER, 1971). Isso contrapõe as medidas de tempo por sobrevivência que incluem a maior quantidade de informações e é facilmente adaptado aos estudos de germinação de sementes porque acomoda as observações censuradas, as germinações que possuem uma distribuição anormal e as variâncias heterogêneas (SCOTT; JONES; WILLIAMS, 1984), o que constitui um modelo adequado para espécies que possuem dormência.

Os 12% de mortalidade das sementes da A1 de *B. virgilioides* e o índice reduzido de sementes não embebidas (3%) no encerramento do experimento aproximaram os tempos médios por momentos e por sobrevivência, assim como os demais quartis (Tabela 4). Para A2, a ausência de censura por mortalidade nas sementes contribuiu para que o tempo de germinação de 25% das sementes por sobrevivência ficasse pela metade, comparado com a A3 para o mesmo quartil de germinação, até quando ambas apresentaram percentuais de sementes duras semelhantes próximos a 50%. Com a ausência de censura por morte da A2 de *B. virgilioides*, a censura por encerramento do experimento antes de a última semente germinar elevou os tempos médios de sobrevivência, no que tange aos tempos por momentos.

Para o quartil 25%, a elevação ocorreu apenas para A3 gerada pela frequência constante de sementes mortas ao longo dos 93 dias de observação (Figura 3c) e pelo alto número de sementes remanescentes ao final do experimento. Resultados similares de superestimação do tempo de germinação pelo método de sobrevivência, em comparação à técnica tradicional, foram obtidos por Scott, Jones e Williams (1990). No estudo da influência das observações censuradas de germinação de tomate, notaram-se diferenças de um a três dias a mais no tempo médio de germinação por sobrevivência, em comparação com o cálculo que não considera as censuras.

Tabela 4. Tempos médio, mediano e para germinação de 25% e 75% de sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth., *Mimosa caesalpinifolia* Benth., *Parkia pendula* Benth. e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, calculados por Análise de Sobrevivência e momentos.

Espécie	Amostra	G(%)	$\hat{S}(t)$	Censura		Tempo médio(dia)		Tempo (dia)					
				Morta(%)	Dura(%)	\bar{t}	$t_{\hat{S}(t)}$	25%	$t_{\hat{S}(t)}$	50%	$t_{\hat{S}(t)}$	75% (dia)	$t_{\hat{S}(t)}$
<i>Bowdichia virgilioides</i>	A1	85.0	96.6	12.0	3.0	22.4	25.1	17.0	17.0	22.0	22.0	27.5	28.0
	A2	49.0	49.0	0.0	51.0	36.7	65.4	24.0	30.0	30.0	-	34.5	-
	A3	27.0	31.3	20.0	53.0	44.2	78.1	19.0	66.0	38.0	-	65.0	-
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>		G(%)	$\hat{S}(t)$	Morta(%)	Dura(%)	\bar{t}	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{25\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{50\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{75\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$
	A1	81.0	82.3	3.0	16.0	7.7	22.8	4.0	4.0	4.0	5.0	6.5	23.0
	A2	56.0	57.4	4.0	40.0	12.7	46.6	4.0	5.0	5.5	31.0	17.5	-
	A3	52.0	68.3	34.0	14.0	13.5	42.0	4.0	5.0	5.0	22.0	17.3	-
	A4	46.0	52.8	23.0	31.0	16.5	54.0	4.0	5.0	3.0	84.0	28.0	-
<i>Parkia pendula</i>		G(%)	$\hat{S}(t)$	Morta(%)	Dura(%)	\bar{t}	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{25\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{50\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{75\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$
	A1	14.0	14.3	32.0	54.0	5.9	53.1	5.0	-	5.50	-	6.0	-
	A2	5.0	5.1	3.0	92.0	19.8	58.8	8.0	-	17.0	-	33.0	-
	A3	2.0	4.0	7.0	91.0	26.0	60.3	11.0	-	26.0	-	41.0	-
	A4	3.0	2.1	53.0	44.0	14.7	59.3	5.0	-	10.0	-	29.0	-
	A5	1.0	1.0	1.0	98.0	39.0	60.8	39.0	-	39.0	-	39.0	-
<i>Schizolobium parahyba</i>		G(%)	$\hat{S}(t)$	Morta(%)	Dura(%)	\bar{t}	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{25\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{50\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$	$t_{75\%}$	$t_{\hat{S}(t)}$
	A1	10.0	10.2	3.0	87.0	33.2	59.1	21.5	-	28.5	-	47.8	-
	A2	9.0	9.2	4.0	87.0	20.6	58.2	10.5	-	17.0	-	23.5	-
	A3	7.0	7.2	26.0	67.0	13.9	58.5	12.0	-	14.0	-	15.0	-

Fonte: Elaboração da autora.

No tocante às amostras de *M. caesalpinifolia*, os tempos por momentos e sobrevivência para 25% de germinação se igualaram próximos a cinco dias, devido à não ocorrência de censura por morte nesse período. Isso fez com que o tempo para germinação de 25% do total de sementes germinadas fosse igual ao de 25% da amostra (100 sementes) (Figura 4). Em contrapartida, os 16% de sementes não germinadas e não mortas da A1 de *M. caesalpinifolia* concentrada, ao final do experimento, distanciou as estimativas de tempo médio por momentos (7.7 dias) e por sobrevivência (22.8 dias). Tal fato também foi observado com o tempo para germinação de 75% das sementes, apresentando uma diferença de 17 dias entre os modelos estudados. Esses resultados podem ser ratificados pelos experimentos de Onofri, Gresta e Tei (2010), no que diz respeito às espécies *Lactuca serriola* e *Lobelia erinus* – nesse caso, o período para germinação de 50% das sementes por sobrevivência foi, em média, dois dias maior do que o tempo de 50% calculados por momentos.

A assimetria da distribuição da germinação pelo período, característica das sementes que possuem dormência, influenciou nos tempos médios e nos quartis. Apesar de as censuras por mortalidade atuarem com grande importância nas probabilidades de germinação por sobrevivência, na determinação dos tempos não foi possível diferenciar o impacto causado pelos tipos de censura. Essa não diferenciação é vista nitidamente nos tempos médios de germinação por sobrevivência das espécies de *P. pendula* e *S. parahyba*: por apresentarem um número total de censuras semelhantes, os tempos médios não expressaram grandes divergências entre as amostras.

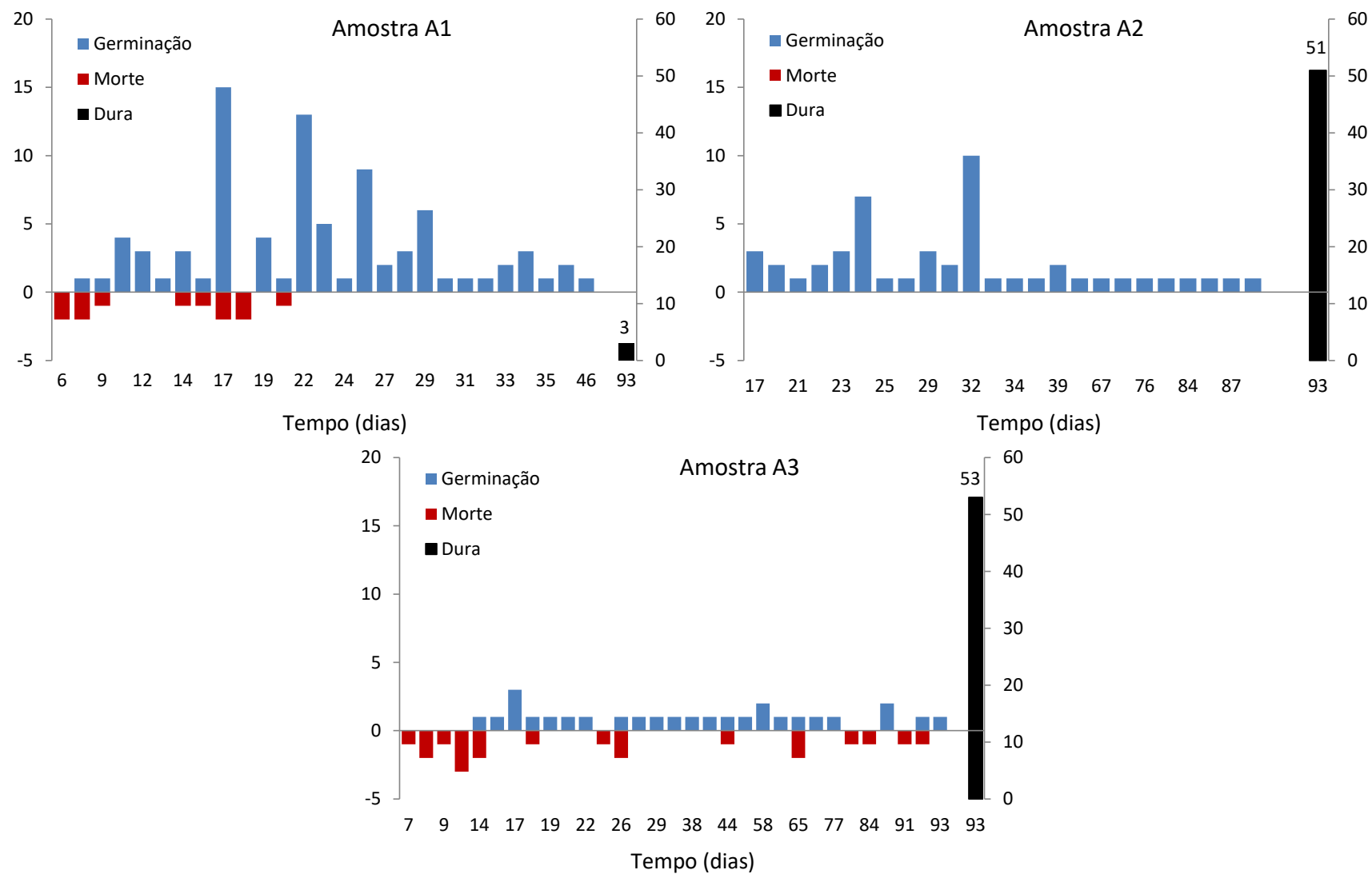
Bowdichia virgilioides

Figura 3. Distribuição da germinação, morte e sementes remanescentes de *Bowdichia virgilioides* Kunth. pelo tempo (dias).

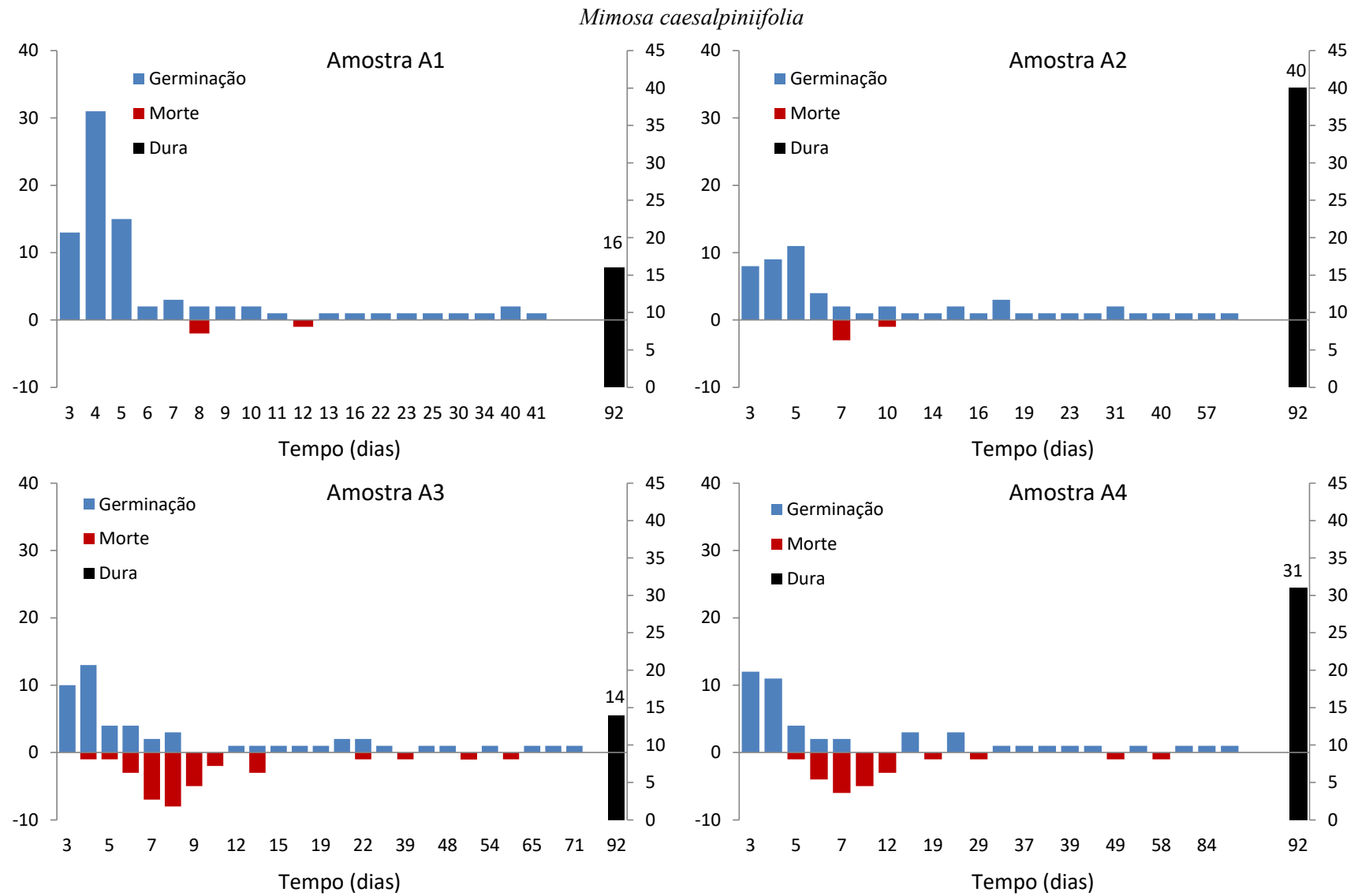


Figura 4. Distribuição da germinação, morte e sementes remanescentes de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. pelo tempo (dias).

Tempos médios de germinação de sementes entre 5,9 e 39,0 dias, das amostras de *P. pendula*, contrastaram com tempos médios em torno de 60 dias por Análise de Sobrevivência. Para *S. parahyba*, os tempos médios atingiram o máximo 33 dias por momentos, e por sobrevivência, 59 dias (Tabela 4). Para essas espécies, o tempo médio de germinação calculado por sobrevivência ficou próximo ao tempo final do experimento; logo, a única certeza de sementes que possuem alta intensidade de dormência é de que o tempo de germinação é maior que o tempo final do experimento (SCOTT; JONES; WILLIAMS, 1990; MCNAIR; SUNKARA; FROBISH, 2012).

Cumprе ressaltar que os mesmos fatores que influenciaram nos cálculos de expectativas de germinação incidiram nas estimativas dos tempos médios para essas espécies, o que impossibilitou a inferência dos tempos quartis para 25%, 50% e 75% de germinação, pois nenhuma delas atingiu probabilidade de germinação igual ou superior a 25% (Figuras 5 e 6). Como os tempos por momentos para atingir 25%, 50% e 75% de germinação dependem apenas das sementes germinadas, as estimativas foram feitas mesmo com os baixos percentuais de germinação das sementes de *P. pendula* e *S. parahyba*.

Em *P. pendula*, a única germinação das sementes ocorrida na A5, aos 39 dias e na 6, aos 16 dias, igualou os tempos médio, mediano e os quartis 25% e 50% por momentos (Figura 5; Tabela 4). Por sobrevivência, a estimativa de tempo médio para ambas as espécies foi de 60 dias, e as duas amostras da espécie revelaram um problema da Análise de Sobrevivência: a não distinção da censura por morte da censura por dormência. Fisiologicamente, A5 e A6 apresentaram comportamentos muito distintos, pois, enquanto as sementes da A5 ainda mantêm a capacidade de germinar, as da A6 estão mortas.

Parkia pendula

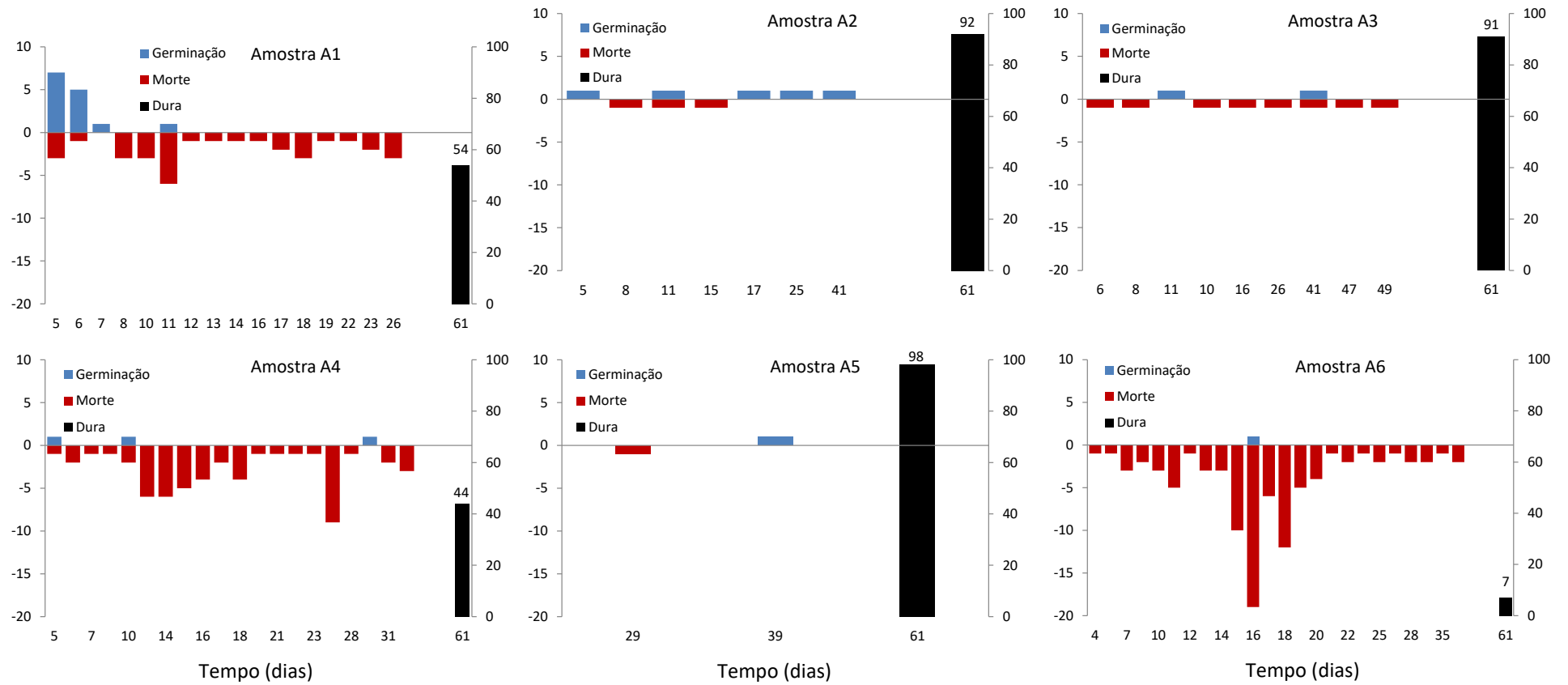


Figura 5. Distribuição da germinação, morte e sementes remanescentes de *Parkia pendula* Benth pelo tempo (dias).

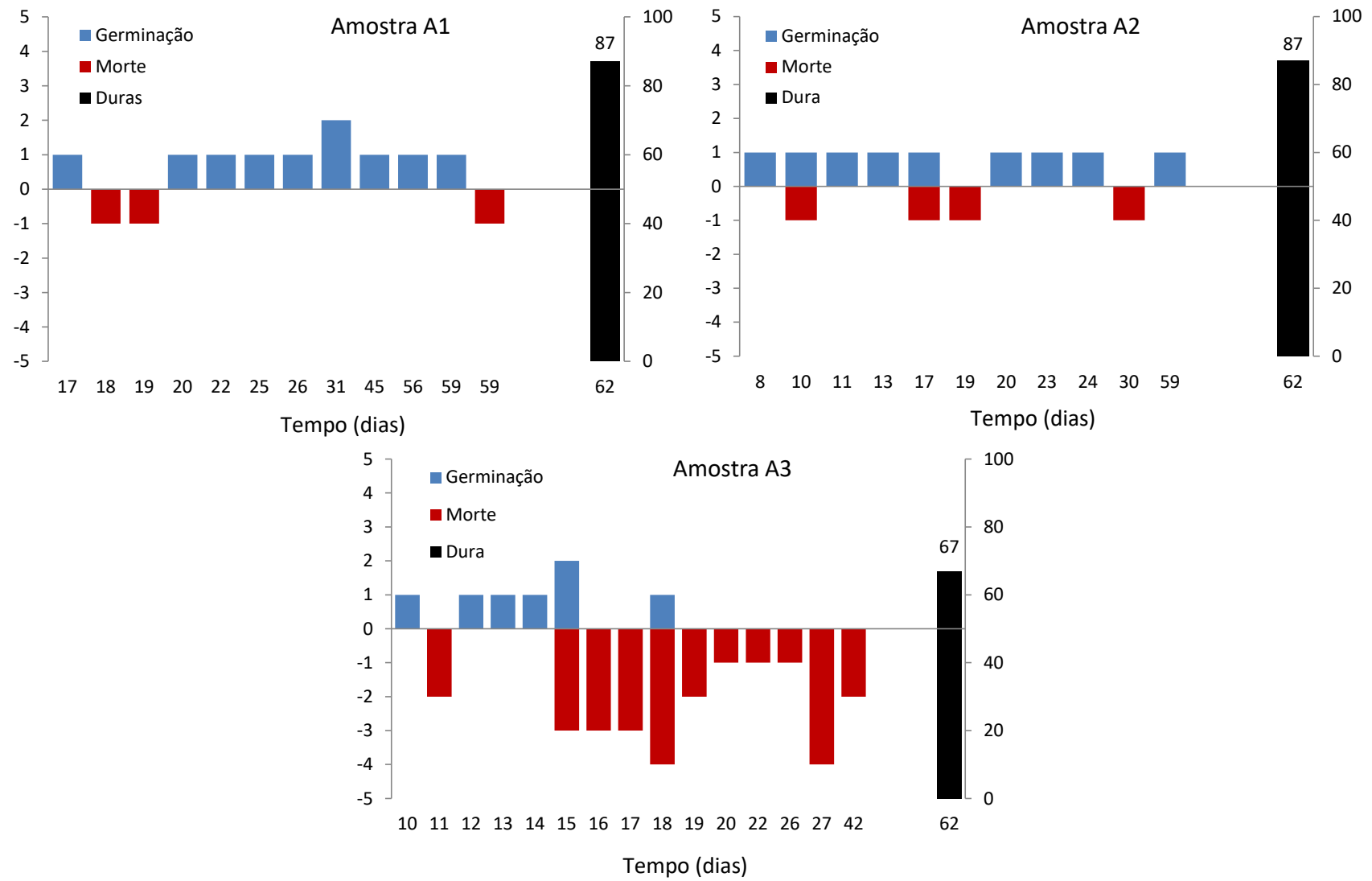
Schizolobium parahyba

Figura 6. Distribuição da germinação, morte e sementes remanescentes de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake pelo tempo (dias).

No que se refere a *B. virgilioides*, *M. caesalpinifolia*, *P. pendula* e *S. parahyba*, o risco de morte das sementes causada pelos tratamentos pré-germinativos variou entre espécies e amostras. Em *B. virgilioides*, o risco de morte das sementes de A3 pelo ácido sulfúrico foi 2,4 vezes maior, quando comparado com o da testemunha (Tabela 5). Um dos fatores que pode ter levado a esse índice foi a não seletividade do tratamento com ácido sulfúrico, ou seja, realizou-se a escarificação por ácido de maneira igual para todas elas, sem considerar se as sementes de uma mesma amostra estavam ou não com a dormência superada.

Para *M. caesalpinifolia*, o tratamento com água quente não potencializou a morte de sementes, com exceção de A1. Da mesma forma, o tratamento pré-germinativo com água quente, para quebra de dormência em sementes florestais, se mostrou eficiente em diversos estudos sobre o incremento de germinação relativo à testemunha (FREITAS et al., 2013; SPERANDIO; LOPES; MATHEUS, 2013). Em contrapartida, nas sementes de *Cassia excelsia* escarificadas em água fervente por cinco minutos, observaram-se baixas taxas de germinação e de velocidade de germinação, paralela à maior ocorrência de danos às membranas celulares, causando incrementos no extravasamento de eletrólitos e exsudados (JELLER; PEREZ, 1999). A morte das sementes pela escarificação em água quente foi também verificada em *Senna siamea*, após imersão em água a 45 °C, por 72 e 96 horas (DUTRA et al., 2007); e em *Stylosanthes scabra*, na qual 100% das sementes foram consideradas mortas após a escarificação em água fervente por um minuto (ARAUJO et al., 2002).

As mortes em sementes poderiam estar relacionadas a danos celulares, em virtude da imersão das sementes em água quente. Isso ocasionaria danos às membranas celulares e maior desnaturação das enzimas atinentes à respiração celular, podendo ocasionar a morte dos tecidos (SHIMIZU et al., 2011). Por outro lado, quando as sementes foram submetidas ao desponte, o risco de morte aumentou – quatro vezes maior para A4.

Notaram-se maiores percentuais de risco de morte quando as sementes de *P. pendula* e *S. parahyba* foram submetidas ao desponte e à escarificação mecânica, concomitantemente. A ação desses métodos de superação de dormência nas sementes aumentou em até 84,9 e 98,6 vezes o risco de morte das sementes da A2 de *P. pendula* e da A1 de *S. parahyba*, respectivamente. Apesar de tais métodos serem os mais indicados para a quebra de dormência em espécies de *P. pendula* e *S. parahyba* (BRASIL, 2011; PEREIRA et al., 2011; SHIMIZU et al., 2011), os altos tempos de germinação contribuíram para a elevação do risco de morte.

Tabela 5. Risco relativo (HR) de morte de sementes de *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba*, causado pelos métodos de superação de dormência, intervalo de confiança de 95% e *p*-valor.

Espécie		Amostras	HR	IC 95%	<i>p</i> -valor
<i>Bowdichia virgilioides</i>	Testemunha vs Ácido sulfúrico	A1	1.955	0.961- 3.979	0.064
		A2	4751.699	0.000-6.746 x 10 ²⁸	0.774
		A3	2.411	1.200-4.844	0.013
<i>Mimosa caesapiniifolia</i>	Testemunha vs Água quente	A1	3.908	1.102-13.859	0.035
		A2	2.662	0.751-9.435	0.129
		A3	1.019	0.628-1.651	0.940
		A4	1.373	0.770-2.449	0.283
<i>Mimosa caesapiniifolia</i>	Testemunha vs Desponte	A1	3.199	1.441-7.101	0.004
		A2	234.777	0.000-1.454 x 10 ¹⁵	0.716
		A3	1.822	1.374-2.418	0.000
		A4	4.081	2.552-6.527	0.000
<i>Parkia pendula</i>	Testemunha vs Desponte	A1	8.409	4.693-15.068	0.000
		A2	84.907	17.114-421.251	0.000
		A3	7.366	4.692-11.566	0.000
		A4	25.25	4.766-133.826	0.000
		A5	1.000	0.004-250.625	1.000
		A6	2.205	1.629-2.984	0.000
<i>Schizolobium parahyba</i>	Testemunha vs Escarificação mecânica	A1	98.583	21.686-448.151	0.000
		A2	47.887	13.361-171.638	0.000
		A3	4.533	1.860-11.049	0.001

Fonte: Elaboração da autora.

CONCLUSÕES

As probabilidades de germinação para *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba* por sobrevivência são iguais ou maiores que as porcentagens de germinação acumulada.

Nesse sentido, os tempos de germinação de sementes dormentes de *Bowdichia virgilioides*, *Mimosa caesapiniifolia*, *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba* são subestimados quando obtidos pelo método dos momentos, pois não levam em consideração as sementes que morreram ou não germinaram até o final do estudo. O único inconveniente da Análise de Sobrevivência é não distinguir a censura por morte ou por sementes duras ao final do experimento. Do ponto de vista fisiológico, sementes mortas apresentam baixa qualidade, e as duras ainda mantêm alto potencial de germinação.

É alto o risco de morte de sementes de *Parkia pendula* e *Schizolobium parahyba*, quando submetidas aos métodos de superação de dormência, especialmente o desponte. Por outro lado, o ácido sulfúrico e a água quente foram menos letais às sementes de *Bowdichia virgilioides* e *Mimosa caesapiniifolia*.

REFERÊNCIAS

- AALEN, O. O.; ANDERSEN, P. K.; BORGAN, O.; GILL, R. D.; KEIDING, N. History of applications of martingales in survival analysis. **Electronic Journal for History of Probability and Statistics**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-28, 2009.
- AALEN, O. O.; JOHANSEN, S. An empirical transition matrix for nonhomogeneous Markovchains based on censored observations. **Scandinavian Journal of Statistics**, [s.l.], v. 5, p. 141-150, 1978.
- ANDRADE, A. C. S. P.; PEREIRA, T. S.; FERNANDES, M. J.; CRUZ, A. P. M.; CARVALHO, A. S. R. Substrato, temperatura de germinação e desenvolvimento pós-seminal de sementes de *Dalbergia nigra*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 517-523, 2006.
- ARAUJO, E. F.; ARAUJO, R. F.; SILVA, R. F.; GALVÃO, J. C. C. Superação da dureza de sementes e frutos de *Stylosanthes scabra* J. Vogel e seu efeito na germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 24, n. 2, p. 77-81, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100013>.
- BASKIN, C. C. Breaking physical dormancy in seeds-focusing on the lens. **New Phytologist**, [s.l.], v. 158, p. 227-238, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00751.x>.
- BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 14, p. 1-16, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>.
- BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. Germination ecology of *Veronica arvensis*. **Journal of Ecology**, [s.l.], v. 71, p. 57-68, 1983. DOI: <https://doi.org/10.2307/2259963>.
- BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. Some considerations for adoption of Nikolaeva's formula system into seed dormancy classification. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 18, p. 131-137, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1017/S096025850803674X>.
- BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C.; LI, X. Taxonomy, ecology, and evolution of physical dormancy in seeds. **Plant Species Biology**, [s.l.], v. 15, p. 139-152, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1442-1984.2000.00034.x>.
- BASKIN, J. M.; NAN, X.; BASKIN, C. C. A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of *Senna* (Fabaceae). **Seed Science Research**, [s.l.], v. 8, p. 501-512, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258500004475>.
- BERGER, A. P. A.; RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. Variabilidade na dormência dos diásporos de *Lithraea molleoides* (Vell.) Eng. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 1-13, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509814570>.
- BERRY, G. J.; CAWOOD, R. J.; FLOOD, R. G. Curve fitting of germination data using the Richards function. **Plant, Cell and Environment**, [s.l.], v. 11, p. 183-188, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1988.tb01135.x>.

BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**, Waterbury, v. 9, p. 1055-1066, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055>.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seed in relation to germination**: viability, dormancy and environmental control. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 375p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68643-6>.

BRAGA, L. F.; OLIVEIRA, A. C. C.; SOUSA, M. P. Morfometria de sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Schizolobium amazonicum* Huber (Ducke) – Fabaceae. **Científica**, v. 41, n. 1, p. 1-10, 2013.

BRASIL. Instrução Normativa n. 35, de 14 de julho de 2011. Acrescentar ao *caput* do art. 1º da Instrução Normativa n. 44, de 23 de dezembro de 2010, as sementes de *Acacia polyphylla*, *Cariniana estrellensis*, *Cedrela fissilis*, *Cedrela odorata*, *Cytharexylum myrianthum*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Jacaranda micrantha*, *Ormosia arborea*, *Parapipta deniarigida*, *Parkia pendula*, *Platymeni areticulata*, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, *Senna macranthera*, *Tabebuia chrysotricha* e *Tabebuia roseo-alba*. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 jul. 2011.

BRESLOW, N. E. A generalized Kruskal-Wallis test for comparing K samples subject to unequal patterns of censorship. **Biometrika**, [s.l.], v. 57, p. 579-594, 1970. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.579>.

BROWN, R. R.; MAYER, D. G. Representing cumulative germination: a critical analysis of single-value germination indices. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 61, p. 117-125, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087534>.

CARDOSO, V. J. M. Conceito e classificação da dormência em sementes. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 619-630, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1304.06>.

CARNEIRO, J. W. P.; GUEDES, T. A. Influência da temperatura no desempenho germinativo de sementes de cenoura (*Daucus carota* L.), avaliada pela função de distribuição de Weibull. **Revista Brasileira de sementes**, Pelotas, v. 14, n. 2, p. 207-213, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v14n2p207-213>.

COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R.; **Análise de sobrevivência aplicada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 367p.

COX, D. R. Regression models and life-tables. **Journal of the Royal Statistical Society**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 187-220, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1972.tb00899.x>.

CZABATOR, F. J. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. **Forest Science**, [s.l.], v. 8, p. 386-396, 1962.

DUTRA, A. S.; MEDEIROS FILHO, S.; TEOFILLO, E. M.; DINIZ, F. O. Germinação de sementes de *Senna siamea* (Lam.) H. S. Irwin e *Caesalpinioideae*. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 29, n. 1, p. 160-164, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100022>.

EFRON, B. The two sample problem with censored data. In: BERKELEY SYMPOSIUM ON MATHEMATICAL STATISTICS AND PROBABILITY, 5., 1967, Pelotas. **Proceedings...** Pelotas: Berkeley, 1967, p. 831-853.

EL-KASSABY, Y. A.; MOSS, I.; KOLOTELO, D.; STOEHR, M. Seed germination: mathematical representation and parameters extraction. **Forest Science**, [s.l.], v. 54, p. 220-227, 2008.

ESCUADERO, A.; ALBERT, M. J.; PITA, J. M.; PÉREZ-GARCÍA, F. Inhibitory effects of *Artemisia herba-alba* on the germination of the gypsophyte *Helianthem unsquamatum*. **Plant Ecology**, [s.l.], v. 148, p. 71-80, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009848215019>.

FENNER, M.; THOMPSON, K. **The ecology of seeds**. Cambridge: University Press, 2005. 250p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614101>.

FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, [s.l.], v. 171, p. 501-523, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>.

FINKELSTEIN, R.; REEVES, W.; ARIIZUMI, T.; STEBER, C. Molecular aspects of seed dormancy. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 387-415, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>.

FOLEY, M. E. Seed dormancy: An update on terminology, physiological genetics, and quantitative trait loci regulating germinability. **Weed Science**, [s.l.], v. 49, p. 305-317, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0305:SDAUOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0305:SDAUOT]2.0.CO;2).

FREITAS, A. R.; LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T.; MENGARDA, L. H. G.; VENANCIO, L. P.; CALDEIRA, M. V. W. Superação da dormência de sementes de jatobá. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], v. 33, n. 73, p. 85-89, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.350>.

GAMA-ARACHCHIGE, N. S.; BASKIN, J. M.; GENEVE, R. L.; BASKIN, C. C. Identification and characterization of the water gap in physically dormant seeds Geraniaceae, with special reference to *Geranium carolinianum*. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 105, p. 977-990, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcq078>.

GEHAN, E. A. A generalized Wilcoxon test for comparing arbitrarily singly censored samples. **Biometrika**, [s.l.], v. 52, p. 203-223, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2307/2333825>.

GIOLO, S. R. **Variáveis latentes em Análise de Sobrevida e curvas de crescimento**. 2003. 115f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GOODCHILD, N. A.; WALKER, M. G. A. Method of measuring seed germination in physiological studies. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 35, p. 615-621, 1971. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084504>.

GRAUNT, J. **Natural and political observations upon the bill of mortality**. London: Thomas Roycroft, 1662.

GREENWOOD, M. The natural duration of cancer. **Reports on Public Health and Medical Subjects**, London, v. 33, p. 1-26, 1926.

HALLEY, E. An estimate of the degrees of mortality of mankind, drawn from the curious tables of the births and funerals at the city of Breslaw, with an attempt to ascertain the price of annuities upon lives. **Philosophical Transactions**, [s.l.], v. 17, p. 596-610, 1693. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstl.1693.0007>.

HOUGAARD, P. **Analysis of multivariate survival analysis**. New York: Springer-Verlag, 2000. 542p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1304-8>.

HU, X. W.; WANG, Y. R.; WU, Y. P.; BASKIN, C. C. Role of the lens in controlling water uptake in seeds of two Fabaceae (Papilionoideae) species treated with sulphuric acid and hot water. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 19, p. 73-80, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258509301099>.

JANSSEN, J. G. M. Effects of light, temperature and seed age on the germination of the winter annuals *Veronica arvensis* L. and *Myosotis mosissima* Rochel ex. Schult. **Oecologia**, [s.l.], v. 12, p. 141-146, 1973. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00345513>.

JELLER, H.; PEREZ, S. C. J. G. A. Estudo da superação da dormência e da temperatura em sementes de *Cassia excelsa* Schrad. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 21, n. 1, p. 32-40, 1999. DOI: <https://doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v21n1p32-40>.

KAHN, H. A.; SEMPOS, C. T. **Statistical methods in epidemiology**. Oxford: Oxford University Press, 1989.

KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observation. **Journal of the American Statistical Association**, [s.l.], v. 53, p. 457-481, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1958.10501452>.

KLEIN, J. P. Semiparametric estimation of random effects using Cox model based on the EM algorithm. **Biometrics**, [s.l.], v. 48, p. 795-806, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2307/2532345>.

KLEIN, J. P.; MOESCHBERGER, M. L. **Survival analysis: techniques for censored and truncated data**. New York: Springer-Verlag, 1997. 502p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2728-9>.

KOBAYASHI, K.; NAKAMURA, H. Comparison between a normal distribution function model and a segmented exponential curve model to describe the loss of germinability of vegetable seeds by dry heat treatment. **Vegetable and Ornamental Research Station**, [s.l.], v. 14, p. 685-692, 1986.

KOORNEEF, M.; BENTSINK, L.; HILHORST, H. Seed dormancy and germination. **Current Opinion in Plant Biology**, [s.l.], v. 5, p. 33-36, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(01\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(01)00219-9).

LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Washington: OEA, 1983. 174p.

LAWLESS, J. F. **Statistical models and methods for lifetime data**. New York: John Wiley and Sons, 1982. 552p.

LEAL, I. R.; OLIVEIRA, P. S. Foraging ecology of attine ants in a Neotropical savanna: seasonal use of fungal substrate in the cerrado vegetation of Brazil. **Insectes Souciaux**, [s.l.], v. 47, p. 376-382, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00001734>.

LEE, E. **Statistical methods for survival data analysis**. Belmont: Life Time Learning, 1980. 557p.

MANTEL, N. Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising nits consideration. **Cancer Chemotherapy Reports**, [s.l.], v. 50, p. 163-170, 1966.

MARQUES, M. C. M. **Dinâmica da dispersão de sementes e regeneração de plantas da planície litorânea da Ilha do Mel**. 159f. 2002. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MCNAIR, J. N.; SUNKARA, A.; FROBISH, D. How to analyze seed germination data using statistical time-to-event analysis: non-parametric and semi-parametric methods. **Seeds Science Research**, [s.l.], v. 22, p. 75-95, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258511000547>.

MILLER, M. Fire Autoecology. In: BROWN, J. K.; SMITH, J. K. **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora**. Rocky Mountain: Department of Agriculture, Forest Service, 2000, p. 9-34.

MORRISON, D.A.; MCCLAY, K.; PORTER, C.; RISH, S. The role of the lens in controlling heat-induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 82, p. 35-40, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0640>.

NELSON, W. Theory and applications of hazard plotting for censored failure data. **Technometrics**, [s.l.], v. 14, p. 945-965, 1972. DOI: <https://doi.org/10.2307/1267144>.

NICHOLS, M. A.; HEYDECKER, W. Two approaches to the study of germination data. **Proceedings of the International Seed Testing Association**, [s.l.], v. 33, p. 531-540, 1968.

NIKOLAEVA, M. G. Factors controlling the seed dormancy pattern. In: KHAN, A. A. **The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination**. Amsterdam: North-Holland, 1977, p. 51-74.

ONOFRI, A.; GRESTA, F.; TEI, F. A new method for the analysis of germination and emergence data of weed species. **Weed Research**, [s.l.], v. 50, p. 187-198, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00776.x>.

OROZCO-SEGOVIA, A.; SANCHEZ-CORONADO, M. E.; VAZQUEZ-YANES, C. Effect of maternal light environment on seed germination in *Piper auritum*. **Functional Ecology**, [s.l.], p. 395-402, 1993. DOI: <https://doi.org/10.2307/2390026>.

PEREIRA, M. O.; SOUZA-LEAL, T.; LAGAZZI, G. C. P. M. Avaliação de métodos de escarificação na superação de dormência de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Fabaceae:

caesalpinioideae). **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 119-129, 2011.

PEREIRA, S. R.; LAURA, V. A.; SOUZA, A. L. T. Superação de dormência de sementes como estratégia para restauração florestal de pastagem tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 148-156, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200004>.

PETO, R.; PETO, J. Asymptotically efficient rank invariant test procedures (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society Series**, [s.l.], v. 135, p. 185-206, 1972. DOI: <https://doi.org/10.2307/2344317>.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process. **Revista Brasileira de Botânica**, [s.l.], v. 29, p. 1-11, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002>.

RICHTER, D. D.; SWITZER, G. L. A technique for determining quantitative expressions of dormancy in seeds. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 50, n. 4, p. 459-463, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086385>.

SARCEVIC, H.; GUNJACA, J. Survival analysis of the wheat germination data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY INTERFACES, 22., 2000, Pula. **Proceedings...** Pula: ITI, 2000, p. 307-310.

SCOTT, S. J.; JONES, R. A. Low temperature seed germination of *Lycopersicon* species evaluated by survival analysis. **Euphytica**, [s.l.], v. 31, p. 869-883, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00039227>.

SCOTT, S. J.; JONES, R. A.; WILLIAMS, W. A. Generation means analysis of right-censored response-time traits: Low temperature seed germination in tomato. **Euphytica**, [s.l.], v. 48, p. 239-244, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00023656>.

SCOTT, S. J.; JONES, R. A.; WILLIAMS, W. A. Review of data analysis for seed germination. **Crop Science**, [s.l.], v. 24, p. 1192-1199, 1984. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>.

SHIMIZU, E. S. C.; PINHEIRO, H. A.; COSTA, M. A.; SANTOS FILHO, B. G. Aspectos fisiológicos da germinação e da qualidade de plântulas de *Schizolobium amazonicum* em resposta à escarificação das sementes em lixa e água quente. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 791-800, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000500004>.

SMIDERLE, O. J.; SOUSA, R. C. P. Dormência em sementes de paricarana (*Bowdichia virgilioides* Kunth – Fabaceae – Papilionidae). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 25, n. 2, p. 48-52, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000400007>.

SMITH, M.; WANG, T. B. S. P.; MSANGA, H. P. Dormancy and germination. In: UNITED STATES. **Tropical Tree Seed Manual**. Washington: USDA Forest Services; Reforestation, Nurseries, & Genetics Resources, 2003.

SPERANDIO, H. V.; LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T. Superação de dormência em sementes de *Mimosa setosa* Benth. **Comunicata Scientiae**, [s.l.], v. 4, n. 4, p. 385-390, 2013.

STIGLER, S. M. Citation patterns in the journals of statistics and probability. **Statistical Science**, [s.l.], p. 94-108, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1214/ss/1177010655>.

THOMPSON, K.; OOI, M. K. J. To germinate or not: more than just a question of dormancy. **Seed Science Research**, [s.l.], v. 20, p. 209-211, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258510000267>.

TORRES, M.; FRUTOS, G. Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 29, n. 3, p. 409-415, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(89\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0098-8472(89)90016-6).

VANNELLA, S. Mathematical function applied in the cumulative germination studies. **Seed Science & Technology**, [s.l.], v. 31, p. 231-248, 2003. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.2.02>.

VEGIS, A. Dormancy in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, [s.l.], v. 15, p. 185-224, 1964. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.001153>.

VILLERS, T. A. Seed Dormancy. In: KOZLOWSKY, T. T. **Seed Biology**. New York: Academic Press, 1972, p. 220-282.

VLEESHOUWERS, L. M., BOUWMEESTER, H. J.; KARSSSEN, C. M. Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. **Journal of Ecology**, London, v. 83, p. 1031-1037, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2307/2261184>.

WEIBULL, B.; NYCANDER, B. The distribution of compounds formed in the reaction between ethylene oxide and water, ethanol, ethylene glycol, or ethylene glycol monoethyl ether. **Acta Chemica Scandinavica**, [s.l.], v. 8, n. 5, p. 847-858, 1954. DOI: <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.08-0847>.

WEIBULL, W. A statistical theory of the strength of materials. **Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag**, [s.l.], n. 151, 1939.

WEIBULL, W. A statistical distribution function of wide applicability. **Journal of Applied Mechanics**, [s.l.], v. 103, p. 293-297, 1951.

WINKLER, M.; HULBER, K.; HIETZ, P. Effect of canopy position on germination and seedling survival of epiphytic bromeliads in a Mexican humid montane Forest. **Annals of Botany**, [s.l.], v. 95, p. 1039-1047, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.08-0847>.