

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO  
JEQUITINHONHA E MUCURI – UFVJM

**PRISCILA FERNANDES DE SOUZA**

**SELEÇÃO E PROPAGAÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HYMENAEA***

DIAMANTINA – MG  
2012

**PRISCILA FERNANDES DE SOUZA**

**SELEÇÃO E PROPAGAÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HYMENAEA***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, nível de mestrado, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador: Prof. Reynaldo Campos Santana**  
**Co-orientador: Prof. José Sebastião Cunha Fernandes**

DIAMANTINA – MG  
2012

Ficha Catalográfica  
Preparada pelo Serviço de Biblioteca/UFVJM  
Bibliotecária: Adriana Kelly Rodrigues – CRB-6ª Nº 2572

**S729s**  
**2012**

Souza, Priscila Fernandes de  
Seleção e Propagação de duas Espécies do Gênero *Hymenaea*./ Priscila  
Fernandes de Souza. - Diamantina: UFVJM, 2012.  
71 p.

Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.  
Área de concentração: Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales  
do Jequitinhonha e Mucuri.

Orientador: Prof. Dr. Reynaldo Campos Santana  
Co-orientador: Prof. Dr. José Sebastião Cunha Fernandes

Inclui bibliografia.

1. *H. courbaril*. 2. *H. martiana*. 3. Biometria. 4. Teste de identidade de  
modelos não lineares. I. Santana, Reynaldo Campos. II. Fernandes, José  
Sebastião Cunha. III. Título

**CDD – 630.1**

# **SELEÇÃO E PROPAGAÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HYMENAEA***

**Priscila Fernandes de Souza**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, nível de mestrado, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 16 / 07 / 2012

Prof. Evandro Luiz Mendonça Machado – UFVJM

Prof. Lucas Rezende Gomide – UFLA

Prof. Marcio Leles Romarco de Oliveira – UFVJM

Prof. José Sebastião Cunha Fernandes – UFVJM

Prof. Reynaldo Campos Santana  
Presidente

DIAMANTINA – MG  
2012

“Ser ecologista, não é apenas ser contra aquilo que se chama Progresso, não é apenas ser anti-qualquer coisa ou anti-tudo ou porque está na moda, não é apenas ser por certas manifestações com o seu quê de folclore (que também é, aliás, importante); ser ecologista é sobretudo acreditar que a vida pode ser melhor se as mentalidades mudarem e tiverem em consideração os ensinamentos que a velha Terra e ainda o velho Universo não cessam de nos transmitir.”  
(Fernando Pessoa)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela perseverança, nos momentos mais difíceis.

À minha família e ao Fylype que sempre apoiou meus estudos.

Ao meu orientador Reynaldo Santana, pela paciência e ensinamentos.

Aos meus velhos e novos amigos pelo apoio, ajuda e companheirismo.

Aos técnicos do departamento de engenharia florestal e ao Luiz Felipe pela ajuda na execução dos trabalhos.

À CAPES, FAPEMIG, CNpq e UFVJM, pelo auxílio financeiro.

Ao Co-orientador Cunha e todos os professores que estiveram sempre disponíveis para tirar dúvidas e dar sugestões. E à banca examinadora pelas críticas e sugestões.

Obrigada a todos, sem vocês a execução desse trabalho não seria possível!

## SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
<b>CAPÍTULO I: BIOMETRIA DE FRUTOS E SEMENTES E GERMINAÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DO GÊNERO <i>HYMENAEA</i> .....</b>	<b>15</b>
Resumo.....	15
1.Introdução.....	16
2.Materiais e Métodos.....	17
3.Resultados .....	20
4. Discussão .....	27
5. Conclusão.....	30
6. Referências Bibliográficas.....	30
<b>CAPÍTULO II: GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Hymenaea courbaril</i> SUBMETIDAS A DIFERENTES TEMPOS DE CONGELAMENTO .....</b>	<b>33</b>
Resumo.....	33
1.Introdução.....	34
2.Materiais e Métodos.....	36
3.Resultados .....	38
4. Discussão .....	45
5.Conclusões.....	48
6.Referência Bibliográficas.....	48
<b>CAPÍTULO III: COMPORTAMENTO GERMINATIVO DE SEMENTES AVALIADO PELO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS NÃO LINEARES.....</b>	<b>51</b>
Resumo.....	51
1.Introdução.....	52
2.Materiais e Métodos.....	53
3.Resultados .....	57
4. Discussão .....	60
5.Conclusões.....	62
6.Referência Bibliográficas.....	62
3.CONCLUSÕES.....	64
4.APÊNDICE.....	65

## LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I		Pág.
Figura 1	Porcentagem de germinação de sementes de matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> . M=matriz.	24
Figura 2	Porcentagem de germinação de sementes de matrizes de <i>Hymenaea courbaril</i> . M=matriz.	25
Figura 3	Frutos e sementes de <i>Hymenaea martiana</i> (1) e <i>Hymenaea courbaril</i> (2).	27
CAPÍTULO II		
Figura 1	Curvas de germinação (%) acumulada de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a diferentes tempos de congelamento.	39
Figura 2	Curvas de emergência (%) acumulada de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a diferentes tempos de congelamento.	40
Figura 3	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a diferentes tempos de congelamento.	42
Figura 4	Porcentagem de emergência de plântulas de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a diferentes tempos de congelamento.	42
Figura 5	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetida a diferentes tempos de congelamento.	46
CAPÍTULO III		
Figura 1	Curvas de germinação acumulada para sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento para o modelo $y = a/(1+be^{-cx})$ . Os parâmetros estimados para cada equação encontram-se na Tabela 1.	59



## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I		Pág.
Tabela 1	Resumo da Anova referente ao comprimento (C), largura (L), espessura (E) e peso do fruto e das sementes/fruto de diferentes matrizes das espécies <i>Hymenaea martiana</i> (Hm) e <i>Hymenaea coubaril</i> (Hc).	20
Tabela 2	Valores médios das características comprimento (C), largura (L), espessura (E) e peso do fruto (PF), Peso da semente/fruto (PSe), germinação (G) e IVG de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> e <i>Hymenaea courbaril</i> .	21
Tabela 3	Coefficiente de correlação de Pearson entre as variáveis comprimento do fruto (C), largura do fruto (L), espessura do fruto (E), peso do fruto (PF) e peso das sementes (PSe), porcentagem final de germinação (Germ) e índice de velocidade de germinação (IVG) de matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> e <i>Hymenaea courbaril</i> .	22
Tabela 4	Resumo da Anova referente ao comprimento (C), largura (L) e espessura (E) das sementes de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> (Hm) e <i>Hymenaea coubaril</i> (Hc).	23
Tabela 5	Valores médios das características comprimento (C), largura (L) e espessura das sementes de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> e <i>Hymenaea courbaril</i> .	23
Tabela 6	Resumo da Anova referente à porcentagem final de germinação (Germ) e IVG de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> (Hm) e <i>Hymenaea coubaril</i> (Hc).	24
Tabela 7	Resumo da Anova referente às variáveis altura (A), diâmetro (D) e mortalidade (M) das mudas de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> (Hm) e <i>Hymenaea coubaril</i> (Hc)	26
Tabela 8	Valores médios da altura de mudas de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i> e <i>Hymenaea courbaril</i> em dois tempos (dias)	26
Tabela 9	Valores médios do diâmetro e mortalidade de mudas de diferentes matrizes de <i>Hymenaea martiana</i>	27

## CAPÍTULO II

Tabela 1	Resumo da Anova referente ao IVG e a germinação, em sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à - 20°C.	40
Tabela 2	Resumo da Anova referente à altura, ao diâmetro do coleto e à mortalidade, para mudas provenientes de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à -20°C.	41
Tabela 3	Resumo da Anova referente a variável grau de umidade das sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à - 20°C.	41
Tabela 4	Médias referentes ao grau de umidade das sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) a - 20°C.	41
Tabela 5	Hipóteses avaliadas para a equação de germinação de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas as 5 tempos de congelamento (0,3,6,9 e 12 dias) à - 20°C. Valores da estatística do teste <i>F</i> e graus de liberdade.	43
Tabela 6	Hipóteses avaliadas para a equação de emergência de plântulas de sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas as 5 tempos de congelamento (0,3,6,9 e 12 dias) à - 20°C. Valores da estatística do teste <i>F</i> e graus de liberdade.	44

## CAPÍTULO III

Tabela 1	Sequência e critérios utilizados no teste de identidade de modelos não lineares.	56
Tabela 2	Testes de identidade para equações onde a variável dependente é a taxa de germinação de sementes de <i>Hymenaea courbarile</i> a independente é o tempo (0,3,6,9 e 12 dias) de congelamento (-20 °C) ao qual foram submetidas, com graus de liberdade, estimativas de <i>F</i> e respectivos níveis de significância.	58
Tabela 3	Resumo da Anova referente ao IVG e a porcentagem final de germinação, em sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) a -20 °C.	59
Tabela 4	IVG médio e a porcentagem final de germinação em sementes de <i>Hymenaea courbaril</i> submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à - 20°C.	60

## RESUMO

SOUZA, Priscila Fernandes de: **Seleção e propagação de duas espécies do gênero *Hymenaea***, 2012. 70 p. (Dissertação - Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os padrões de variação fenotípicos de duas espécies do gênero *Hymenaea* com relação às características biométricas dos frutos e sementes, germinação e produção de mudas. Além disso, objetiva ainda analisar o comportamento germinativo de sementes submetidas à temperatura subzero e propor a aplicação uma metodologia que permita avaliar tal comportamento ao longo do tempo. Os frutos utilizados foram coletados em matrizes de Jatobá procedentes de Curvelo-MG e Diamantina-MG. Os experimentos foram conduzidos no Centro Integrado de Propagação de Espécies Florestais – CIPEF/UFVJM em Diamantina, cujos trabalhos foram divididos em três capítulos. No primeiro, foram coletados frutos de cinco matrizes de *Hymenaea courbaril* e de sete matrizes de *Hymenaea matiana*. Foram avaliados quarenta e nove frutos por matriz quanto as seguintes variáveis: peso dos frutos e sementes/fruto, comprimento, largura e espessura. A partir desses frutos, foram avaliadas, aleatoriamente, cem sementes por matriz quanto ao comprimento, à largura e à espessura. Foi realizado também o teste de germinação por matriz e o crescimento de mudas dessas espécies foi avaliado. Houve diferenças significativas para todas as variáveis analisadas entre espécies e matrizes, demonstrando assim a possibilidade de selecionar matrizes específicas de acordo com um determinado interesse. No segundo capítulo, sementes de *Hymenaea courbaril* foram submetidas ao armazenamento em freezer, (-20°C), sob cinco tempos de congelamento (tratamentos): zero, três, seis, nove e doze dias. Avaliaram-se o IVG, a germinação (%) e o crescimento inicial das mudas. Os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis IVG e percentagem de germinação não foram significativos. O teste de identidade de modelos não lineares foi eficaz na discriminação dos efeitos dos tratamentos e evidenciou ainda não haver diferenças entre as curvas ajustadas de germinação acumulada para os tempos de congelamento de seis, nove e doze dias. Foi possível constatar a superioridade do tratamento de três dias de congelamento para as variáveis germinação e emergência. Quanto ao crescimento das mudas, este não foi afetado pelos tratamentos aplicados. O último capítulo consistiu no uso do teste de identidade de modelos não lineares para avaliar a germinação acumulada e compará-lo com índices de valores únicos. Essa metodologia foi eficaz em discriminar os comportamentos germinativos das curvas geradas pelas diferentes equações, ao contrário dos índices de valores únicos que foram estatisticamente iguais.

**Palavras-chave:** *H. courbaril*, *H. martiana*, biometria, teste de identidade de modelos não lineares.

## ABSTRACT

SOUZA, Priscila Fernandes de: **Selection and propagation of two species of the genus *Hymenaea***. 2012. 70 p. (Dissertation – Master in Forest Science) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

The objective of this study was to evaluate the patterns of phenotypic variation in two species of the genus *Hymenaea*, in relation to biometric characteristics of fruits and seeds, germination and seedling production. And also at analyzing the germination of seeds submitted to subzero temperatures and suggest to apply a methodology to assess such behavior over time. The fruits used in this study were collected from matrices of jatoba proceeding from Curvelo-MG and Diamantina-MG. The experiments were conducted in the Integrated Center for Forest Research and Studies ICFRS/UFVJM in Diamantina-MG. Whose works were divided into three chapters. In the first fruits were collected from five matrices of *Hymenaea courbaril* and seven matrices of *Hymenaea matiana*. Were evaluated forty nine fruits by matrices and the following variables: weight of the fruits and seeds, length, width and thickness. These fruits were evaluated randomly one hundred seeds by matrix as length, width and thickness. Was also held by the seed germination test matrix by matrix and evaluated the growth of seedlings of these species. There were significant differences for all variables between species and matrices. Demonstrating, the possibility to select specific matrices under a particular interest. In the second chapter, seeds of *Hymenaea courbaril* were submitted to storage in a freezer (- 20 ° C), in five freezing time (treatments): zero, three, six, nine and twelve days. We evaluated the IVG, germination (% G) and early growth of seedlings. The effects of the treatments on the variables IVG and percentage of germination were not significant. The tests of the identity of nonlinear models was effective in the discrimination of treatment effects. Evidenced also no differences between the adjusted curves of accumulated germination for freezing time six, nine and twelve days. It was possible to confirm the superiority of treatment three days of freezing for germination and emergence. Concerning growth of seedlings, this was not affected by treatments. The last chapter, consisted of the use of the tests of the identity of nonlinear models to evaluate the cumulative germination and compare it with indices of single values. This methodology was effective at discriminating the behavior germination of the curves generated by the different equations, unlike the indices than single values which were statistically equal.

**Keywords:** *H. courbaril*, *H. martiana*, biometrics, tests of the identity of nonlinear models.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Hymenaea* pertence à família Leguminosae, subfamília Caesalpinideae, cujo nome popular é Jatobá. Aproximadamente 25 espécies do gênero *Hymenaea* foram descritas como originadas do continente americano, em sua maioria, com madeira de alto valor comercial. No Brasil, verifica-se a presença de treze espécies (RIZZINI, 1987) que são utilizadas para diferentes finalidades. A madeira pesada (densidade 0,96 g/cm<sup>3</sup>) pode ser usada: na construção civil e na carpintaria, em geral; em acabamentos internos, como vigas, caibros, ripas, batentes de portas, tacos para assoalho, artigos de esporte, cabos de ferramentas e de implementos agrícolas; em construções externas, como obras hidráulicas, postes, dormentes, cruzetas e esquadrias; folhas faqueadas decorativas, móveis, peças torneadas, carroçarias, vagões, engenhos e tonéis (LORENZI, 2002).

O Jatobá é uma árvore grande, com quinze a vinte metros de altura (LORENZI, 2002). Seus frutos apresentam sabor adocicado, aspecto farináceo e cheiro característico, possuem elevado teor de fibra alimentar, cálcio e magnésio e são utilizados na alimentação humana e animal (BATISTA *et al.*, 2011), sendo valorizados pelo seu potencial como alimento (SANO; FONSECA, 2003). A resina, retirada do caule, e a casca do fruto são usadas na medicina popular contra problemas respiratórios (SANO; FONSECA, 2003).

A floração e a frutificação do Jatobá são iniciadas entre oito e doze anos de idade e não são necessariamente anuais; floresce durante os meses de dezembro a fevereiro e seus frutos amadurecem entre agosto e setembro. As sementes podem ser intermediárias ou ortodoxas, com altas taxas de germinação após tratamento para superação da impermeabilidade do tegumento (LORENZI, 2002).

Mesmo com toda importância e ampla utilização desse gênero, há carência de informações sob vários aspectos. Assim, estudos relacionados com o armazenamento de sementes, produção de mudas e variabilidade desse gênero são importantes, tendo em vista um melhor planejamento de futuros programas de melhoramento genético e conservação.

Normalmente, a produção de sementes é limitada por um período de tempo. Este varia em função da espécie e das condições ambientais. Compreender o seu comportamento germinativo é útil para o armazenamento e futura produção de mudas, pois as sementes podem perder sua capacidade germinativa e vigor (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Uma das estratégias para aumentar o tempo de armazenamento das sementes é a redução da temperatura na qual ela é armazenada. A manutenção em temperaturas baixas pode reduzir as taxas metabólicas (BONNER; KARRFALT, 2008).

A descrição do comportamento germinativo de qualquer espécie ainda é um empecilho, pois o uso de índices como o IVG, IVE e porcentagem final da germinação não descrevem de forma contínua esse comportamento (BROWN; MAYER, 1988). Esses índices não permitem que se façam inferências concomitantes sobre o tempo e a germinação. Alternativamente ao uso de índices, as equações podem melhor representar a dinâmica da germinação. E quando se avalia a influencia de diferentes tratamentos sobre o processo germinativo, os resultados expressos pelas equações podem ser comparados pelo teste de identidade de modelos não lineares.

O teste de identidade de modelos não lineares foi proposto por Regazzi (2003), utilizando o teste da razão de verossimilhança conforme Rao (1973), apresentando em detalhes a aplicação desse teste em modelos de regressão não linear, com aproximação dada pela estatística qui-quadrado. Ele concluiu que a metodologia apresentada é geral e pode ser utilizada em qualquer modelo de regressão não-linear.

Com relação à conservação e ao melhoramento genético, estudos da biometria de frutos e sementes são importantes para detectar a variabilidade genética dentro de populações da mesma espécie e as relações com os fatores ambientais, fornecendo subsídios importantes para a diferenciação de espécies do mesmo gênero (CRUZ *et al.*, 2001), pois tais características apresentam um padrão variado.

Se o objetivo é o cultivo comercial, para que este seja viável, é importante que genótipos selecionados reúnam características superiores às das plantas em estado natural, principalmente com relação à produtividade, estabilidade na produção e qualidade de frutos (GANGA *et al.*, 2010). Estudos sobre a variabilidade natural também são fundamentais no delineamento de estratégias de conservação (CRUZ; CARVALHO, 2003).

Indivíduos da mesma espécie podem apresentar padrões variados quanto à germinabilidade, à dormência e ao vigor das plântulas, indicando um fator genético importante (MACHADO *et al.*, 2004), proporcionando, então, a seleção de matrizes potenciais para a produção de mudas vigorosas.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo estudar os padrões de variação fenotípicos de duas espécies do gênero *Hymenaea*, com relação às características biométricas dos frutos e sementes, germinação e produção de mudas, bem como analisar o comportamento germinativo de sementes submetidas à temperatura subzero e aplicar uma metodologia que permita avaliar o comportamento germinativo ao longo do tempo.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, A. G.; ESTEVES, E. A.; DESSIMONI-PINTO, N. A. V.; OLIVEIRA, L. G.; PIRES, S. T.; SANTANA, R.C. Chemical composition of jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* mart.) flour and its effect on growth of rats. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n. 2, p. 173-180, 2011.
- BONNER, F. T.; KARRFALT, R. P. **The woody plant seed manual**. Washington: U.S. Department of Agriculture-Forest Service, 2008. 1224 p.
- BROWN, R. F.; MAYER, D. G. Representing cumulative germinations. 1. A critical analysis of single-value germination indices. **Annals of Botany**, England, v.61, p.171-201, 1988.
- CRUZ, E. D.; CARVALHO, J. E. U. Biometria de frutos e germinação de sementes de *Couratari stellata* A. C. Smith (Lecythidaceae). **Acta amazônica**, v.33, n.3, p.381-388, 2003.
- CRUZ, E. D.; MARTINS, F. O.; CARVALHO, J. E. Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae - Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.2, p.161-165, 2001.
- GANGA, R. M. D.; FERREIRA, G. A.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V.; NASCIMENTO, J.L. Caracterização de frutos e árvores de populações naturais de *Hancornia speciosa* Gomes do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.101-113, 2010.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Ed. Planatarum, 2002. 368p.
- MACHADO, L.L.; RAMOS, M.L.G.; CALDAS, L.S.; VIVALDI, L.J. Selection of parents and clones of mangabeira for in vitro cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.431-435, 2004.
- OLIVEIRA, A.K.M.; SCHLEDER, E.D.; FAVERO, S. Caracterização morfológica, viabilidade e vigor de sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex. S. Moore. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.1, p.25-32, 2006.
- RAO, C.R. **Linear statistical inference and its applications**. New York: John Wiley, 1973.
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n.287, p.9-26, 2003.
- RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras uteis do Brasil: Manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgar Blucher, 1987. 124-128 p.
- SANO, S.M.; FONSECA, C.E.L. **Estabelecimento de progênies de jatobá (*Hymenaea* spp.) em plantio puro no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 14 p.



## CAPÍTULO I

### **Biometria de frutos e sementes e germinação de duas espécies do gênero *Hymenaea***

**Resumo** - O gênero *Hymenaea* pertence à família Fabaceae e possui cerca de 25 espécies descritas no continente americano, das quais treze estão presentes no Brasil. São poucos os estudos de caracterização de frutos e sementes desse gênero, assim como a germinação e o crescimento inicial de mudas envolvendo avaliações por matriz. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a germinação e a biometria de frutos e sementes de duas espécies do gênero *Hymenaea*. Foram desenvolvidos três experimentos que avaliaram biometria, germinação e crescimento inicial das mudas de cinco matrizes de *Hymenaea courbaril* L. e de sete matrizes de *Hymenaea martiana* Hayne. Foram avaliados 49 frutos por matriz, mensurando-se o comprimento, a largura, a espessura, o peso do fruto e o peso das sementes. Destes frutos, foram selecionadas cem sementes por matriz, avaliando-se o comprimento, a largura e a espessura. Essas sementes foram submetidas ao teste de germinação por matriz, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e 25 sementes por parcela. A altura, o diâmetro e a mortalidade foram mensuradas aos trinta e sessenta dias após emergência. Foram calculadas a porcentagem de sementes germinadas e o índice de velocidade de germinação (IVG), e ajustou-se um modelo logístico aos dados de germinação acumulada, cujos comportamentos foram comparados pelo teste de identidade de modelos não lineares. Todos os experimentos foram analisados considerando-se os efeitos entre matrizes e dentro de espécies. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade. As duas espécies apresentaram diferenças significativas entre si quanto à biometria de frutos e sementes, o que permite a diferenciação entre elas. As diferenças observadas para a germinação e crescimento inicial de mudas permitem a seleção de matrizes potenciais para a produção de mudas. Conclui-se que a variabilidade encontrada para os caracteres estudados possibilita a seleção de matrizes promissoras e a diferenciação entre as espécies.

**Palavras chave:** *H. courbaril*, *H. martiana*, seleção de matrizes, variabilidade fenotípica

## 1 Introdução

O gênero *Hymenaea* pertence à família Fabaceae, com nome popular de Jatobá. Existem aproximadamente 25 espécies do gênero *Hymenaea*, descritas como originadas do continente americano. No Brasil, verifica-se a presença de treze espécies (RIZZINI, 1987). O Jatobá é uma árvore grande, com quinze a vinte metros de altura (LORENZI, 2002). Seus frutos possuem uma casca tenra e muito espessa e polpa de sabor adocicado, aspecto farináceo e cheiro característico, com elevado teor de fibra alimentar, cálcio e magnésio, sendo utilizados na alimentação humana e animal (BATISTA *et al.*, 2011). Possui terpenos, oligossacarídeos e polissacarídeos nas sementes, folhas e cotilédones (BRANDÃO *et al.*, 2009; BUSATO *et al.*, 2001; VARGAS-RECHIA *et al.*, 1998; NOGUEIRA *et al.*, 2001; SANTOS; BUCKERIDGE, 2004), substâncias essas que apresentam atividade antimicrobiana (FERNANDES *et al.*, 2005; GONÇALVES *et al.*, 2005).

Mesmo com toda importância e ampla utilização desse gênero, as plantas são normalmente exploradas em condições naturais sem a domesticação das espécies. A biometria de frutos pode fornecer informações para a conservação e exploração dos recursos de valor econômico (GUSMÃO *et al.*, 2006). Principalmente quando se considera o potencial alimentício do gênero, cuja análise do rendimento de polpa dos frutos indica valor tanto para o consumo da fruta fresca, como para utilização agroindustrial (CARVALHO *et al.*, 2003), pois sua polpa pode ser utilizada na produção de farinha devido ao seu alto valor nutricional.

São poucos os estudos de caracterização de frutos e sementes desse gênero, bem como a germinação e crescimento inicial de mudas envolvendo avaliações por matriz. Essas informações são úteis na determinação da variação fenotípica e genotípica (NASCIMENTO *et al.*, 2008; NETO *et al.*, 2011; REGO *et al.*, 2005). A variabilidade genética dentro e entre populações de uma mesma espécie e suas relações com os fatores ambientais são características muito importantes para programas de melhoramento genético (GUSMÃO *et al.*, 2006).

A caracterização biométrica de frutos pode permitir a diferenciação entre espécies do mesmo gênero no campo (CRUZ *et al.*, 2001), como ocorre com a *Hymenaea courbaril* que tem frutos cerca de quatro vezes maior que os frutos de *H. intermedia* (CARPANEZZI; MARQUES, 1981). Tal diferenciação pode ser empregada para detectar a variabilidade genética das espécies.

Informações sobre a germinação das sementes são úteis para entender as estratégias reprodutivas dos vegetais (BASKIN; BASKIN, 2001). Além disso, existem indícios de que

quando indivíduos da mesma espécie apresentam padrões variados quanto à germinação, dormência e vigor das plântulas, tais fatores genéticos podem ser explorados nos programas de melhoramento (MACHADO *et al.*, 2004). O conhecimento sobre o processo germinativo das sementes merece consideração quando são desenvolvidos trabalhos de regeneração, silvicultura e conservação e utilização de recursos genéticos (CRUZ; CARVALHO, 2003).

A domesticação das espécies do gênero *Hymenaea* ainda é incipiente e, por isso, os caracteres a serem levados em consideração no melhoramento genético ainda não estão bem estabelecidos. Dentro desse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar a germinação, biometria de frutos e sementes de duas espécies do gênero *Hymenaea*, testando as hipóteses para se averiguar se há diferença entre as espécies e entre matrizes de cada espécie quanto à biometria de frutos e sementes, germinação e crescimento inicial das mudas.

## 2 Materiais e Métodos

Foram desenvolvidos três experimentos que avaliaram a biometria, a germinação e o crescimento inicial das mudas de cinco matrizes de *Hymenaea courbaril* L. e sete de *Hymenaea martiana* Hayne. As matrizes da *H. courbaril* estão localizadas na Fazenda Experimental do Moura, pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em uma área contínua de 571 hectares localizada no município de Curvelo-MG, nas coordenadas: 18°45' S e 45°25' O e a uma altitude média de 633 metros. As matrizes da *H. martiana* estão localizadas em Mendanha, distrito de Diamantina-MG, nas coordenadas 18°07' S e 43°31' O e a uma altitude média de 702 metros. As matrizes de *H. martiana* encontram-se dentro do perímetro urbano; conseqüentemente, em áreas antropizadas.

Padronizou-se uma distância mínima entre matrizes de trinta metros, de forma a impossibilitar a sobreposição das copas, visto que os frutos foram coletados diretamente do chão.

Todos os experimentos foram analisados considerando-se os efeitos entre matrizes e dentro de espécies, utilizando-se o software Statistica 10.0 (STATSOFT INC., 2010). A seguir, está apresentada a descrição dos três experimentos.

### Experimento 1 – Biometria

Para a biometria de frutos e sementes foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com doze tratamentos (cinco matrizes *Hymenaea courbaril* e sete matrizes de *Hymenaea martiana*). Avaliou-se 49 frutos por matriz (repetições) quanto as seguintes

variáveis: peso do fruto e sementes, obtido com auxílio de uma balança digital, sendo o peso dos frutos expresso em g; comprimento, largura e espessura dos frutos, determinados com auxílio de um paquímetro digital e expressos em milímetros. A relação peso das sementes/fruto foi expressa em porcentagem, considerando-se o peso do fruto como 100%. Destes frutos foram coletadas, de forma aleatória, cem sementes por matriz (repetições) para avaliação biométrica do comprimento, largura e espessura com os instrumentos anteriormente citados.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade. Também foram realizadas análises de correlação de Pearson entre as variáveis biométricas dos frutos, porcentagem final de germinação e IVG, baseando-se na significância de seus coeficientes, a 95 % de probabilidade.

## **Experimento 2 - Germinação**

As sementes foram obtidas por meio da quebra da casca dos frutos com o martelo, separando-se endocarpo das sementes com uso de faca. Em seguida, foram armazenadas por noventa dias em câmara fria (6°C e umidade relativa de 25%), no Centro Integrado de Pesquisa e Estudos Florestais (CIPEF/UFVJM), em Diamantina-MG.

O grau de umidade das sementes (%) foi determinado pelo método da estufa a 105°C  $\pm$  3°C por 24 horas (BRASIL, 2009), três repetições e cinco sementes por matriz. Em função da impermeabilidade do tegumento, as sementes foram quebradas com auxílio de um martelo. Foi calculada a média geral do grau de umidade das sementes para cada espécie.

Antes de realizar o teste de germinação, as sementes foram desinfestadas em solução de cloro ativo a 2,5% por cinco minutos, escarificadas lateralmente em esmeril e colocadas por 24 horas em água destilada para embebição. Após esse período, foram colocadas para germinar em casa de vegetação (coberta com filme plástico-150 microns de espessura). O substrato utilizado foi areia de textura média, lavada e esterilizada em estufa a 200°C por duas horas (BRASIL, 2009). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com doze tratamentos (cinco matrizes *Hymenaea courbaril* e sete matrizes de *Hymenaea martiana*) e quatro repetições contendo 25 sementes por parcela para cada matriz.

Diariamente, realizou-se o umedecimento da areia e a contagem das sementes germinadas. Considerou-se como germinadas as sementes com protrusão radicular superior a 2 mm de comprimento.

Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes germinadas e calculou-se o índice de velocidade de germinação (IVG) segundo Maguire (1962). Os dados foram

submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade. Devido a não normalidade, a porcentagem final de germinação foi transformada em arc seno ( $\sqrt{x}/100$ ).

Foi ajustado o modelo logístico  $y_{ij} = a_i/(1 + b_i e^{-c_i x_{ij}}) + \varepsilon_{ij}$  para a germinação acumulada ao longo do tempo. Devido à característica sigmoideal do processo germinativo, os modelos que melhor se ajustam a esse fenômeno são os não lineares. Tais modelos são também logísticos, uma vez que a variável independente (tempo) é contínua e a variável dependente (germinação) é categórica. Assim, para o modelo escolhido:  $y$  = porcentagem de germinação ou emergência,  $x$  = número de dias,  $a$  = valor máximo esperado,  $b$  = valor de  $y$  quando  $x = 0$  e  $c$  = taxa média de crescimento da curva. Na escolha do modelo, também foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e análise gráfica dos resíduos.

De posse das equações ajustadas, foi realizado o teste de identidade de modelos, segundo a metodologia proposta por Regazzi (2003) e Regazzi & Silva (2004).

### **Experimento 3 - Crescimento inicial das mudas**

Concomitantemente ao teste de germinação, as primeiras plântulas normais desenvolvidas por tratamento foram transplantadas para se avaliar o crescimento inicial em casa de sombra (50% de sombreamento) no CIPEF. Esse experimento foi instalado sob delineamento inteiramente casualizado, preservando-se os mesmos tratamentos do experimento de germinação (doze tratamentos), com quatro repetições e vinte mudas por parcela. Aos trinta e sessenta dias após o último transplante, foram mensuradas a mortalidade, a altura e o diâmetro do coleto das mudas. Os dados foram analisados em nível de média da parcela e o arranjo utilizado foi o de parcelas subdivididas, sendo o tratamento principal (parcela) as matrizes, e o sub tratamento (sub parcela), o tempo. As plântulas foram transplantadas para tubetes de  $280\text{cm}^3$  contendo substrato composto por 70% vermiculita, 30% de casca arroz, adubado com: 400g Osmocote 19:06:10 Mini Prill, 3-4 meses para 200L de substrato; 1,6kg Super simples para 200L de substrato; 1,5kg Sulfato de amônio para 200L de substrato; 0,45kg Cloreto de potássio para 200L de substrato; 30g Sulfato de zinco\*; 30g Sulfato de cobre\*; 30g Sulfato de manganês\*; 60g Acido bórico\* (\*Diluido em 200L de água e utilizado 20L da solução para cada 200L de substrato).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade.

### 3 Resultados

#### Experimento 1 - Biometria

Observaram-se diferenças significativas para comprimento, largura, espessura, peso do fruto e peso das sementes entre espécies e entre matrizes dentro de cada espécie (Tabela 1), com exceção para espessura e peso do fruto das matrizes da *H. courbaril*, que não foram estatisticamente significativos.

Os valores médios observados para comprimento, largura, espessura e peso do fruto e peso das sementes/fruto, foram respectivamente, para a *H. martiana*, de 92,4mm, 44,9mm, 38,2mm, 80,8g e 8,6%; já para a *H. courbaril* foram de 116,6mm, 41,6mm, 33,7mm, 58,0g, 20,9% (Tabela 2).

O comprimento do fruto e a espessura observada para as matrizes de *H. martiana* praticamente não se diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2). Resultado semelhante ocorreu para largura, espessura e peso do fruto nas matrizes de *H. courbaril* (Tabela 2).

**Tabela 1:** Resumo da Anova referente ao comprimento (C), largura (L), espessura (E) e peso do fruto e das sementes/fruto de diferentes matrizes das espécies *Hymenaea martiana* (Hm) e *Hymenaea coubaril* (Hc)

FV	GL	C QM	L QM	E QM	PF QM	PSe QM
<b>Esp e Matrizes</b>	11	58142,0*	8873,6*	320,5*	20635,5 *	2930,3*
<b>Entre Espécies</b>	1	83131,9*	1596,5*	1881,0*	74765,3 *	21682,4 *
<b>Matriz/Espécie</b>	10	55643,1*	9601,4*	164,5*	15222,5 *	1055,1*
<b>Matriz/Hm</b>	6	77010,1*	15657,9*	207,5*	23655,4 *	858,0*
<b>Matriz/Hc</b>	4	23592,4*	516,6*	99,9 <sup>ns</sup>	2573,2 <sup>ns</sup>	1350,8*
<b>Fruto/Matriz</b>	576	7854,0	41,3	17,1	1563,1	66,9
<b>Total</b>	587					
<b>CV (%)</b>		86,2	13,6	34,1	56,1	59,6

\*= significativo a 1% e ns= não significativo, pelo teste t ao nível de significância de 5%. CV (%)= coeficiente de variação.

As correlações entre comprimento e largura do fruto para *H. martiana* foram altas, positivas e significativamente diferentes de zero. Correlações entre comprimento e peso do fruto, largura e peso do fruto, largura e peso da semente também foram positivas e significativas, porém baixas. Considerando a geminação, a correlação entre esta e o peso das

sementes/fruto foi alta, positiva e significativa. Já entre o comprimento e a largura com o IVG também foram altas, significativas, porém negativas. Ao contrário, as correlações entre o IVG e o peso dos frutos e das sementes/fruto foram positivas (Tabela 3).

Para *H. courbaril* as correlações foram mais altas do que as obtidas na *H. martiana*. Entre largura e espessura, largura e peso do fruto, espessura e peso do fruto, a correlação foi alta e positiva, sendo baixa e positiva para a correlação entre espessura e peso das sementes. Com relação ao comprimento e peso do fruto com a germinação, as correlações foram altas, positivas e significativas. E entre o IVG e o comprimento, peso do fruto e das sementes/fruto, também foram altas, positivas e significativas (Tabela 3).

Observou-se que, para ambas a espécies, o IVG e germinação são correlacionados positivamente (Tabela 3).

**Tabela 2:** Valores médios das características comprimento (C), largura (L), espessura (E) e peso do fruto (PF), Peso da semente/fruto (PSe), germinação (G) e IVG de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana* e *Hymenaea courbaril*

	C	L	E	PF	PSe	G	IVG
	-----mm	-----	-----	-----g-----	-----%	-----	-----
<b>Matriz</b>	<b><i>H. martiana</i></b>						
<b>M1</b>	112,2 a	58,7 a	40,3 ab	95,2 b	5,3 c	60,0 a	0,6 cd
<b>M2</b>	138,4 a	56,2 a	38,1 ab	120,5 a	6,5 c	74,0 a	0,9 bc
<b>M3</b>	97,6 a	47,2 b	42,7 a	68,2 cd	11,7 b	21,0 b	0,4 d
<b>M4</b>	105,7 a	49,1 b	38,6 ab	83,3 bc	16,7 a	83,0 a	1,3 a
<b>M5</b>	87,6 a	48,7 b	37,2 ab	57,7 d	7,3 bc	85,0 a	1,2 ab
<b>M6</b>	10,6 b	5,6 c	36,5 ab	80,4 bcd	5,1 c	80,0 a	1,4 a
<b>M7</b>	94,8 a	48,7 b	33,7 b	60,4 cd	7,4 bc	59,0 a	0,7 cd
<b>Média</b>	92,4	44,9	38,2	80,8	8,6	66,0	0,9
<b>Matriz</b>	<b><i>H. courbaril</i></b>						
<b>M1</b>	154,66 a	36,3 b	33,6 a	50,0 a	28,9 a	82,0 a	1,1 a
<b>M2</b>	99,66 b	44,1 a	32,3 a	51,0 a	14,4 c	63,0 a	0,8 a
<b>M3</b>	112,05 ab	44,1 a	34,8 a	65,9 a	18,6 bc	81,5 a	1,0 a
<b>M4</b>	111,93 ab	42,5 a	32,5 a	63,7 a	21,0 b	65,0 a	0,8 a
<b>M5</b>	104,44 b	40,8 a	35,2 a	59,2 a	21,5 b	80,0 a	1,1 a
<b>Média</b>	116,6	41,6	33,7	58,0	20,9	74,3	0,9

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste tukey, ao nível de significância de 5 %.

**Tabela 3:** Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis comprimento do fruto (C), largura do fruto (L), espessura do fruto (E), peso do fruto (PF) e peso das sementes (PSe), porcentagem final de germinação (Germ) e índice de velocidade de germinação (IVG) de matrizes de *Hymenaea martiana* e *Hymenaea courbaril*

	C	L	E	PF	PSe	Germ	IVG
<b><i>H. martiana</i></b>							
<b>C</b>	-	0,55*	0,04 <sup>ns</sup>	0,18*	0,05 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,49*
<b>L</b>	-	-	0,08 <sup>ns</sup>	0,25*	0,11*	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,53*
<b>E</b>	-	-	-	0,07 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
<b>PF</b>	-	-	-	-	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>
<b>Pse</b>	-	-	-	-	-	0,43*	0,47*
<b>Germ</b>	-	-	-	-	-	-	0,83*
<b><i>H. courbaril</i></b>							
<b>C</b>	-	-0,002 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,46*	0,46*
<b>L</b>	-	-	0,50**	0,70**	-0,11 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
<b>E</b>	-	-	-	0,47**	0,13*	0,17 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
<b>PF</b>	-	-	-	-	0,10 <sup>ns</sup>	0,45*	0,46*
<b>Pse</b>	-	-	-	-	-	0,40 <sup>ns</sup>	0,47*
<b>Germ</b>	-	-	-	-	-	-	0,80*

ns: não significativo; \*: significativo a 5% , ao nível de significância de 5% pelo teste t.

Em relação ao comprimento, à largura e à espessura das sementes, foram observadas diferenças significativas entre as espécies e entre as matrizes de cada espécie (Tabela 4). As médias gerais para o comprimento, largura e espessura das sementes, foram, respectivamente, para a *H. martiana*, de 26,99, 17,92 e 13,51mm e, para a *H. courbaril*, foram de 24,03, 17,29 e 12,97mm (Tabela 5).

O comprimento da semente, a largura e a espessura observadas entre as matrizes de *H. martiana* foram mais heterogêneos, ao contrário das matrizes de *H. courbaril* (Tabela 5).



**Tabela 4:** Resumo da Anova referente ao comprimento (C), largura (L) e espessura (E) das sementes de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana* (Hm) e *Hymenaea coubaril* (Hc)

FV	GL	C QM	L QM	E QM
<b>Esp e Matrizes</b>	11	469,9*	159,4*	48,41*
<b>Entre Espécies</b>	1	2508,9*	117,9*	61,27*
<b>Matriz/Espécie</b>	10	401,6*	237,6*	82,08*
<b>Matriz/Hm</b>	6	217,1*	118,6*	55,97*
<b>Matriz/Hc</b>	4	339,5*	230,9*	33,85*
<b>Semente/Matriz</b>	1188	8,25	5,07	4,82
<b>Total</b>	1199			
<b>CV (%)</b>		11,1	12,7	16,6

\*= significativo a 1% ao nível de significância de 5%, pelo teste t. CV (%)= coeficiente de variação.

**Tabela 5:** Valores médios das características comprimento (C), largura (L) e espessura das sementes de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana* e *Hymenaea courbaril*

<i>H. martiana</i>	C	L	E	<i>H. courbaril</i>	C	L	E
Matriz	----- mm -----			Matriz	----- mm -----		
<b>M1</b>	27,6 b	18,8 ab	14,1 a	<b>M1</b>	25,8 a	18,7 a	12,5 b
<b>M2</b>	25,5 de	18,2 bc	13,6 ab	<b>M2</b>	25,6 a	16,1 b	13,4 ab
<b>M3</b>	25,0 e	17,7 c	12,2 c	<b>M3</b>	23,3 b	19,1 a	13,7 a
<b>M4</b>	27,3 b	18,9 a	13,6 ab	<b>M4</b>	21,3 c	16,5 b	12,3 b
<b>M5</b>	29,3 a	18,0 c	13,8 ab	<b>M5</b>	24,1 b	15,9 b	12,9 ab
<b>M6</b>	26,4 cd	18,1 bc	14,5 a				
<b>M7</b>	27,7 b	15,7 d	12,7 bc				
<b>Média</b>	26,99	17,92	13,51		24,03	17,29	12,97

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste tukey, ao nível de 5% de significância.

## Experimento 2 - Germinação

As sementes apresentaram grau de umidade médio de 14,09% e de 14,19% para *H. martiana* e *H. courbaril*, respectivamente. Observou-se diferença estatisticamente significativa para germinação e IVG entre espécies. Exceção foi observada para a germinação entre as matrizes de *H. courbaril* e o IVG entre espécies (Tabela 6).

A média geral para germinação e IVG foram, respectivamente, 66% e 0,9 para *Hymenaea martiana* e 74,3% e 0,9 para *Hymenaea courbaril* (Tabela 2).

As matrizes de *Hymenaea martiana* que apresentaram maior média para germinação foi M5 e, para o IVG, a matriz M4 e M6 (Tabela 2).

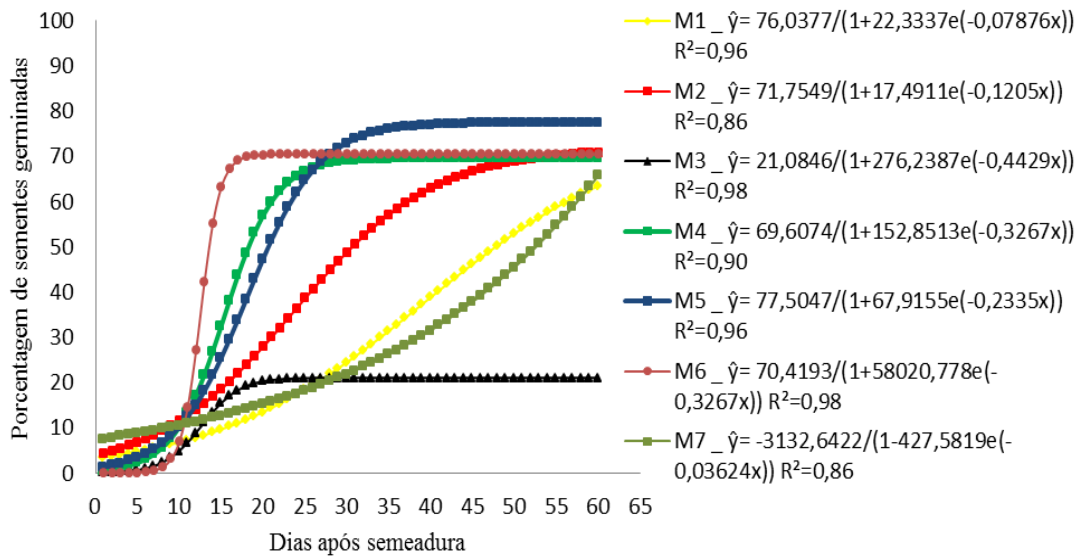
Todas as matrizes, dentro de cada espécie, apresentaram comportamentos germinativos estatisticamente diferentes entre si pelo teste de identidade de modelos não

lineares (Figuras 1 e 2). Porém, o modelo escolhido não foi o adequado para descrever o comportamento germinativo da matriz M7 da *H. martiana* e da matriz M2 da *H. courbaril*.

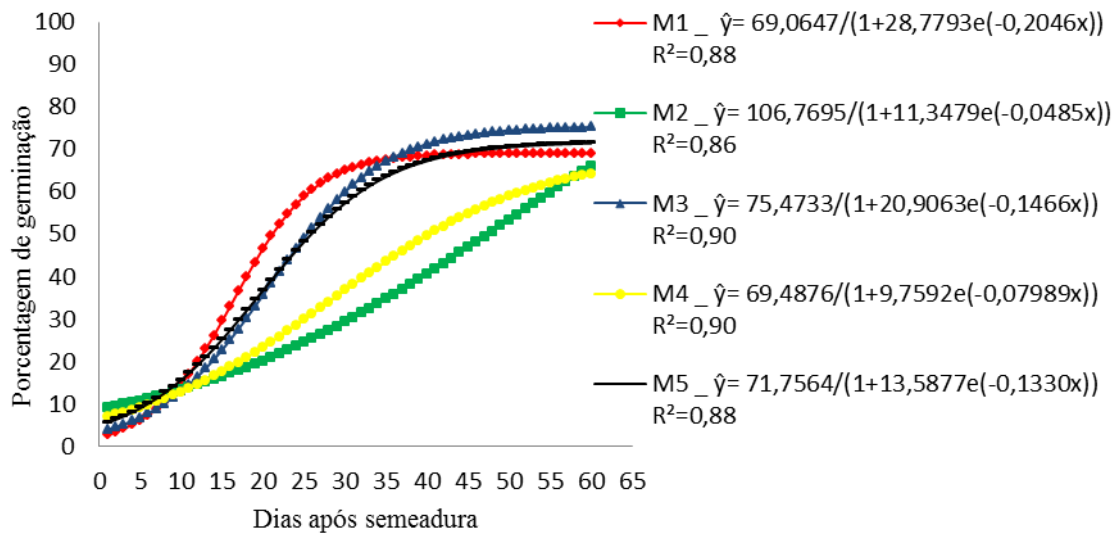
**Tabela 6:** Resumo da Anova referente à porcentagem final de germinação (Germ) e IVG de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana* (Hm) e *Hymenaea courbaril* (Hc)

FV	GL	Germ QM	IVG QM
<b>Esp e Matrizes</b>	11	0,169**	0,31*
<b>Entre Espécies</b>	1	0,099*	0,02 <sup>ns</sup>
<b>Matriz/Espécie</b>	10	0,176**	0,34*
<b>Matriz/Hm</b>	6	0,260**	0,51*
<b>Matriz/Hc</b>	4	0,049 <sup>ns</sup>	0,10**
<b>Rep/Matriz</b>	36	0,0191	0,03
<b>Total</b>	47		
<b>CV (%)</b>		16,6	18,2

ns: não significativo; \* e \*\*: significativo a 5% e a 1% ao nível de significância de 5% pelo teste t, respectivamente. CV (%)= coeficiente de variação.



**Figura 1:** Porcentagem de germinação de sementes de matrizes de *Hymenaea martiana*. M=matriz.



**Figura 2:** Porcentagem de germinação de sementes de matrizes de *Hymenaea courbaril*.

M=matriz.

### Experimento 3 - Crescimento inicial das mudas

Houve diferenças significativas entre as espécies para a altura, mortalidade e diâmetro, porém entre as matrizes *H. courbaril* não houve diferenças significativas para essas variáveis (Tabela 7). As médias gerais para a altura e diâmetro foram, respectivamente, para a *H. martiana*, aos trinta dias, de 6,65cm, 3,43mm; e, aos sessenta dias, de 12,16cm, 3,44mm; para a espécie *H. courbaril* aos trinta dias, foram de 7,64cm, 3,49mm; e, aos sessenta dias, de 15,69cm, 3,52mm (Tabela 8).

Aos trinta dias, não houve diferenças entre as médias de altura das matrizes de ambas as espécies e aos sessenta dias, somente a *H. martiana* apresentou diferenças entre as médias das matrizes, sendo a matriz M5 a de maior média (Tabela 8).

Para a *H. martiana*, as matrizes que apresentaram maior média para a variável diâmetro foi M4 e para a mortalidade, foi M3 (Tabela 9).

**Tabela 7:** Resumo da Anova referente às variáveis altura (A), diâmetro (D) e mortalidade (M) das mudas de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana* (Hm) e *Hymenaea coubaril* (Hc)

FV	GL	A	D	M
		QM	QM	QM
<b>Esp e Mat</b>	11	122,3*	11,0*	4467,7*
<b>Esp</b>	1	119,1**	18,7*	7108,2*
<b>Mat/Esp</b>	10	122,6*	10,2*	4203,6*
<b>Mat/Hm</b>	6	203,0*	16,9*	6403,3*
<b>Mat/Hc</b>	4	1,93 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	904,1 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo (a)</b>	36	80,9	6,0	3465,4
<b>CVa (%)</b>		46,9	25,8	64,2
<b>Tempo</b>	1	1036,3*	0,2 <sup>ns</sup>	2830,4**
<b>Tempo x Esp e Mat</b>	11	31,1**	0,6 <sup>ns</sup>	699,6 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo (b)</b>	36	9,9	0,5	427,4
<b>CVb (%)</b>		30,4	20,9	55,1
<b>Total</b>	95	1820,8	93,4	32063,9

ns: não significativo; \* e \*\*: significativo a 5% e a 1% ao nível de significância de 5% pelo teste t, respectivamente. CV (%)= coeficiente de variação.

**Tabela 8:** Valores médios da altura de mudas de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana* e *Hymenaea courbaril* em dois tempos (dias)

Matriz	-----Tempo-----			
	---30---	-----60-----	---30---	-----60-----
	<i>H. martiana</i>		<i>H. courbaril</i>	
<b>M1</b>	6,9 Aa	8,3 Acd	8,2 Ba	14,9 Aa
<b>M2</b>	7,5 Aa	11,5 Abc	5,4 Ba	17,7 Aa
<b>M3</b>	0 Aa	0 Ad	8,7 Ba	15,7 Aa
<b>M4</b>	9,4 Ba	18,5 Aab	7,7 Ba	14,2 Aa
<b>M5</b>	8,3 Ba	21,9 Aa	8,1 Ba	15,9 Aa
<b>M6</b>	8,7 Ba	14,6 Aabc		
<b>M7</b>	5,6 Ba	10,3 Abc		
<b>Média</b>	6,65	12,16	7,64	15,69

Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, dentro de uma mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey, ao nível de significância de 5 %.

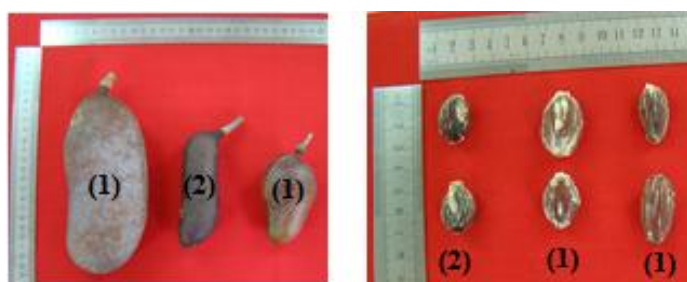
**Tabela 9:** Valores médios do diâmetro e mortalidade de mudas de diferentes matrizes de *Hymenaea martiana*

Matriz	Diâmetro (mm)	Mortalidade (%)
M1	2,6 b	52,7 bc
M2	3,2 ab	57,4 b
M3	0,0 c	100,0 a
M4	4,1 a	26,5 bc
M5	4,1 ab	28,7 bc
M6	3,9 ab	17,6 c
M7	3,5 ab	30,6 bc

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste tukey, ao nível de 5 % ao nível de significância de 5 %.

#### 4 Discussão

A caracterização biométrica de frutos e sementes apresenta um padrão variado, o que pode fornecer subsídios importantes para a diferenciação de espécies do mesmo gênero (CRUZ *et al.*, 2001). Nesse estudo, a *H. courbaril* apresentou frutos com maior comprimento do que a *H. martiana*, porém a *H. martiana* possui frutos mais largos e espessos (Tabela 2). Quanto às sementes, a *H. martiana* possui sementes nitidamente maiores do que a *H. courbaril* (Tabela 6). Sendo assim, tais critérios podem ser utilizados na diferenciação entre essas espécies. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira *et al.* (2011) para duas espécies do gênero *Campomanesia* e por Freitas *et al.* (2009) para duas espécies do gênero *Dimorphandra*.



**Figura 3:** Frutos e sementes de *Hymenaea martiana* (1) e *Hymenaea courbaril* (2).

A *H. martiana* apresentou variabilidade fenotípica (Teste F significativo – Tabelas 1, 4, 6 e 7) para todos os caracteres analisados, diferente da *H. courbaril*, que não apresentou variabilidade para a espessura e peso do fruto, porcentagem final de germinação, altura,

diâmetro do coleto e mortalidade das mudas (Tabelas 1, 6 e 7). Essa variabilidade não encontrada para a *H. courbaril* pode ser explicada pela maior exploração dessa espécie, pois esta se encontra entre na lista de espécies medicinais brasileiras ameaçadas de extinção (IBAMA, 1992). Freitas *et al.* (2006) observaram que, para a *Myracrodruon urundeuva*, o declínio do tamanho populacional e da variabilidade fenotípica e genética dessas populações são caracterizados pela expansão da população humana devido à utilização de forma extrativista e irracional dos recursos naturais, o que pode está ocorrendo com a *H. courbaril*. A conservação dos recursos genéticos, mesmo para populações que apresentam alta taxa de variabilidade genética e estão fora da lista de espécies ameaçadas de extinção, é fundamental para as futuras gerações, no que diz respeito ao melhoramento da espécie e ao aproveitamento de genes específicos de interesse (FREITAS *et al.*, 2006).

A variabilidade fenotípica também pode ser confirmada pelo alto coeficiente de variação obtido para todas as variáveis analisadas. Isso pode ser devido às matrizes de ambas as espécies estarem localizadas em ambiente natural e não terem passado por nenhum processo de seleção anterior ao seu estabelecimento nessas áreas.

A variabilidade encontrada para os caracteres estudados possibilita a seleção de matrizes promissoras (MELCHIOR *et al.*, 2006). Analisando a possibilidade de selecionar matrizes para a produção de sementes, ou seja, matrizes que apresentem uma maior relação do peso da semente/fruto. A *H. courbaril* possui maior relação semente/fruto. Dentro dessa espécie, a matriz que apresentou maior relação foi a M1 e dentro da *H. martiana*, foi a matriz M4 (Tabela 2).

Levando-se em consideração a propagação das espécies, a espécie com maior percentual de germinação foi a *H. courbaril* (Tabela 2); além disso, possui melhor crescimento das mudas e menor mortalidade (Tabelas 8 e 9), possuindo, assim, maior facilidade de propagação. Porém, não houve diferenças significativas para a porcentagem de germinação entre as matrizes, apresentando menor variabilidade (Tabela 1). Para a *H. martiana*, a matriz que apresentou maior percentual de germinação foi M5 e M4 (Tabela 2) e maior crescimento M5 (Tabela 8). Quanto à mortalidade a matriz M3 da *H. martiana* não poderia ser selecionada, pois apresentou 100% de mortalidade aos sessenta dias (Tabela 9), o que demonstra a importância da seleção prévia de matrizes antes da implantação de um programa de melhoramento.

Uma abordagem mais precisa pode ser feita utilizando-se as equações ajustadas por meio do teste de identidade de modelos não lineares. Concluiu-se que as matrizes dentro de cada espécie possuem comportamentos germinativos diferentes (Figuras 1 e 2). Porém, o uso

do teste de identidade de modelos limita-se ao ajuste dos dados dos diferentes tratamentos a um mesmo modelo. Em alguns casos, o modelo escolhido pode não ser adequado para todos os tratamentos. Para matriz M7 da *H. martiana* e M2 da *H. courbaril*, o modelo logístico  $y_{ij} = a_i / (1 + b_i e^{-c_i x_{ij}}) + \varepsilon_{ij}$  não se ajustou adequadamente aos dados, apesar do alto coeficiente de determinação (Figuras 1 e 2). Nesse modelo, o coeficiente “a” está relacionado à porcentagem final de germinação; assim, deve estar compreendido entre zero e cem, o que não acontece para a equação ajustada dessas duas matrizes. Mesmo com essa limitação, as curvas geradas pelas equações ajustadas permitem uma avaliação do comportamento germinativo ao longo do tempo. Sendo assim, uma avaliação conjunta da maior taxa de germinação e do percentual final de germinação é importante para a detecção inicial dos melhores materiais genéticos (COSTA *et al.*, 2009). Para a *H. martiana*, a matriz que apresentou tais características foi a M5 e para a *H. courbaril*, foi a matriz M3 (Figuras 1 e 2). Esses resultados corroboram os de Rego *et al.* (2005) e Costa *et al.* (2009), que em seus trabalhos, observaram a presença de matrizes potenciais para a germinação de sementes.

As correlações para a *H. martiana* entre largura do fruto e peso da semente e para a *H. courbaril* entre espessura do fruto e peso das sementes foram positivas e baixas, porém indicam que a seleção praticada com base na largura dos frutos, para a *H. martiana*, e espessura do fruto para a *H. courbaril*, influenciarão positivamente o peso das sementes. Com relação à porcentagem final de germinação, a *H. martiana* encontra-se positivamente associada ao peso das sementes/fruto, ao contrário da *H. courbaril*, na qual a germinação é positivamente associada ao comprimento e peso do fruto. Já o IVG é influenciado negativamente pelo comprimento e largura dos frutos e positivamente pelo peso dos frutos e das sementes/fruto nas matrizes de *H. martiana*, ao contrário da *H. courbaril*, na qual o IVG é positivamente associado ao comprimento do fruto (Tabela 3). Isso é vantajoso, pois há a possibilidade de se obterem ganhos em uma característica de difícil medição (ex. germinação e IVG), mediante a seleção prévia de uma característica de fácil medição (ex. comprimento, largura e peso do fruto) (CARVALHO *et al.*, 1999).

A variação fenotípica existente entre as duas espécies pode ser devido a componentes ambientais não controlados, como a condição de antropização, o solo, o clima, a idade das plantas e também pelas próprias diferenças genéticas entre os indivíduos (GANGA *et al.*, 2010). Supondo-se que parte dessa variabilidade seja genética, almeja-se a seleção daquelas matrizes que produzam frutos com os melhores atributos de qualidade (GANGA *et al.*, 2010), o que pode ser aproveitado em programas de melhoramento..

## 5 Conclusões

Conclui-se que a variabilidade encontrada para as variáveis germinação, crescimento inicial das mudas e biometria de frutos e sementes, além de permitir a diferenciação entre as duas espécies, também permitem a seleção de matrizes promissoras para a produção de sementes e mudas.

## 6 Referências Bibliográficas

BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. San Diego: Academic Press, 2001. 666 p.

BATISTA, A.G.; ESTEVES, E.A.; DESSIMONI-PINTO, N.A.V.; OLIVEIRA, L.G.; PIRES, S.T.; SANTANA, R.C. Chemical composition of jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* mart.) flour and its effect on growth of rats. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.22, n.2, p.173-180, 2011.

BRANDÃO, A.D., DEL BEM, L.E.V., VINCENTZ, M.; BUCKERIDGE, M.S. Expression pattern of four storage xyloglucan mobilization-related genes during seedling development of the rain forest tree *Hymenaea courbaril* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.60, n.4, p.1191–1206, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análises de sementes**. Brasília-DF: MAPA/ACS, 2009.

BUSATO, A.P.; VARGAS-REGINA, C.G.; REICHER, F. Xyloglucan from the leaves of *Hymenaea courbaril*. **Phytochemistry**, Amsterdã, v.58, n.3, p.525-531, 2001.

CARPANEZZI, A.A.; MARQUES, L.C.T. Germinação de sementes de jutaí-açu (*Hymenaea courbaril* L.) e de jutaí-mirim (*H. parvifolia* Huber) escarificadas com ácido sulfúrico comercial. EMBRAPA-CPATU (Circular Técnica 19), Belém, p.1-15, 1981.

CARVALHO, J.E.U.; NAZARÉ, R.F.R.; NASCIMENTO, W.M.O. Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) com rendimento industrial superior. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.326-328, 2003.

CARVALHO, G.P.C.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D.; CASALI, V.W.D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.603-613, 1999.

COSTA, R.B.; CHICHORRO, J.F.; RESENDE, M.D.V.; ROA, R.A.R.; COTTA, T.R.; CEZANA, D.P. Variabilidade genética para o caráter germinação de matrizes de teca, no município de Alegre, ES. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.59, p.57-61, 2009.

CRUZ, E.D.; CARVALHO, J.E.U. Biometria de frutos e germinação de sementes de *Couratari stellata* A. C. Smith (Lecythidaceae). **Acta amazônica**, v.33, n.3, p.381-388, 2003.



CRUZ, E.D.; MARTINS, F.O.; CARVALHO, J.E. Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae - Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.2, p.161-165, 2001.

FERNANDES, T.T., SANTOS, A.T.F., PIMENTA, F.C. Atividade Antimicrobiana das Plantas *Plathymenia reticulata*, *Hymenaea courbaril* E *Guazuma ulmifolia*. **Revista de Patologia Tropical**, Goiás, v.34, n.2, p.113-122, 2005.

FREITAS, M.L.M.; AUKAR, A.P.A.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T.; LEMOS, E.G.M. Variação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão em três sistemas de cultivo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.319-329, 2006.

FREITAS, V. L. O.; ALVES, T. H. S.; LOPES, R. M. F.; LEMOS-FILHO, J. P. Biometria de frutos e sementes e germinação de sementes de *Dimorphandra mollis* Benth. e *Dimorphandra wilsonii* Rizz. (Fabaceae – Caesalpinioideae). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 27-35, 2009.

GANGA, R.M.D.; FERREIRA, G.A.; CHAVES, L.J.; NAVES, R.V.; NASCIMENTO, J.L. Caracterização de frutos e árvores de populações naturais de *Hancornia speciosa* Gomes do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.101-113, 2010.

GONÇALVES, A.L.; ALVES FILHO, A.; MENEZES, H. Estudo comparativo da atividade antimicrobiana de extratos de algumas árvores nativas. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.72, n.3, p.353-358, 2005.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F.A.; FONSECA, E.M. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbacifolia* Rich. ex A. Juss.). **Cerne**, Lavras, v.12, n.1, p.84-91, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Plantas Medicinais Ameaçadas de Extinção**. 1992. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/flora/divs/plantasextincao.pdf>> Acesso em: 13 de janeiro de 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Ed. Planatarum, 2002. 368p.

MACHADO, L.L.; RAMOS, M.L.G.; CALDAS, L.S.; VIVALDI, L.J. Selection of parents and clones of mangabeira for in vitro cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.431-435, 2004.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p.176-177, 1962.

MELCHIOR, S.J.; CUSTÓDIO, C.C.; MARQUES, T.A.; NETO, N.B.M. Colheita e armazenamento de sementes de gabioba (*Campomanesia adamantium* Camb. – Myrtaceae) e implicações na germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.28, n.3, p.141-150, 2006.

NASCIMENTO, V.E.; MARTINS, A.B.G.; HOJO, R.H. Caracterização física e química de frutos de mamey. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.953-957, 2008.

NETO, J.T.F.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, M.S.P. Seleção simultânea em progênies de açazeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.532-539, 2011.

NOGUEIRA, R.T.; SHEPHERD, G.J.; LAVERDE JR, A.; MARSAIOLI, A.J.; IMAMURA, P.M. Clerodane-type diterpenes from the seed pods of *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*. **Phytochemistry**, Amsterdã, v.58, n.8, p.1153-1157, 2001.

OLIVEIRA, M.C.; SANTANA, D. G.; SANTOS, C.M. Biometria de frutos e sementes e emergência de plântulas de duas espécies frutíferas do gênero *Campomanesia*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.446-455, 2011.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n.287, p.9-26, 2003.

REGAZZI, A.J.; SILVA, C.H.O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.22, n.3, p.33-45, 2004.

REGO, F.L.H.; COSTA, R.B.; CONTINI, A.Z.; MORENO, R.G.S.; RONDELLI, K.G.S.; KUMIMOTO, H.H. Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Albizia lebbek*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, 2005.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras uteis do Brasil: Manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgar Blucher, 1987. 124-128 p.

SANTOS, H.P.; BUCKERIDGE, M.S. The Role of the Storage Carbon of Cotyledons in the Establishment of Seedlings of *Hymenaea courbaril* Under Different Light Conditions. **Annals of Botany**, England, v.94, n.6, p.819-830, 2004.

STATSOFT, INC. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**. 2010. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)

VARGAS-RECHIA, C.; REICHER, F.; SIERAKOWSKI, M. R.; HEYRAUD, A.; DRIGUEZ, H.; LIÉNART, Y. Xyloglucan Octasaccharide XXLGol Derived from the Seeds of *Hymenaea courbaril* Acts as a Signaling Molecule. **Plant Physiology**, Waterbury, v.116, n.3, p.1013-1021, 1998.

## CAPÍTULO II

### **Germinação de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a diferentes tempos de congelamento**

**Resumo** - - A espécie *Hymenaea courbaril* é de grande interesse econômico e social, porém carece de informações sobre o armazenamento e quebra de dormência de suas sementes. Este trabalho teve como objetivo avaliar comportamento germinativo de suas sementes em função do armazenamento em temperatura subzero. As sementes foram submetidas ao armazenamento em freezer (-20 °C) em cinco tempos de congelamento (tratamentos): zero, três, seis, nove e doze dias, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado. Foi avaliado também o crescimento das mudas para os mesmos tratamentos do congelamento em parcela subdividida. Todos os dados foram submetidos à análise de variância e a porcentagem de germinação e o IVG, ao teste de identidade de modelos. Os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis IVG e porcentagem de germinação não foram significativos. Testes de identidade de modelos, mais eficazes na discriminação dos efeitos destes tratamentos, mostraram não haver diferenças entre as curvas ajustadas de germinação acumulada para os tempos de congelamento de seis, nove e doze dias, sendo ajustada uma única equação para esses três tratamentos. Foi possível constatar, também por meio desses testes, a superioridade do tratamento de três dias de congelamento (maior velocidade de germinação –  $c = 0,5194$  e maior porcentagem final de germinação –  $a = 97,42$ ) para a variável germinação. Para a emergência, todas as curvas foram significativamente diferentes entre si. O congelamento também não influenciou o crescimento das mudas, o que pode ser explicado pela concentração do período de germinação e emergência de plântulas, e também pelo tipo de reserva da espécie.

**Palavras chave:** Jatobá, temperatura subzero, identidade de modelos.

## 1 Introdução

A espécie *Hymenaea courbaril* L., conhecida como Jatobá-da-mata ou Jatobá, pertence à família Fabaceae. Essa espécie produz madeira de alto valor comercial, com características adequadas para os setores moveleiro, fitoquímico, fármaco e medicinal (LORENZI, 2002).

Seus frutos são utilizados na alimentação humana e animal por possuírem elevado teor de fibra, cálcio e magnésio; a casca dele é utilizada na medicina popular contra problemas respiratórios (SILVA *et al.*, 2001; SANO; FONSECA, 2003). A presença de terpenos, oligossacarídeos e polissacarídeos, isolados das sementes, folhas e cotilédones de *H. courbaril* desperta interesse industrial devido às propriedades antimicrobianas e antioxidantes que a espécie possui (VARGAS-RECHIA *et al.*, 1998; BUSATO, *et al.*, 2001; NOGUEIRA *et al.*, 2001; SANTOS; BUCKERIDGE, 2004; FERNANDES, *et al.*, 2005; GONÇALVES *et al.*, 2005; IMAI *et al.*, 2007; BRANDÃO *et al.*, 2009).

Essa espécie está na lista de espécies medicinais brasileiras ameaçadas de extinção (IBAMA, 1992), sendo explorada basicamente em matas nativas e há restritos estudos quanto a sua silvicultura. O processo de domesticação de uma espécie inicia-se na capacidade de propagação da mesma; conseqüentemente, conhecimentos referentes ao armazenamento e germinação das sementes são essenciais. O Jatobá possui sementes com tegumento duro, ortodoxas, com germinação irregular (LORENZI, 2002), características que tornam onerosa a produção de suas mudas em escala comercial.

O mecanismo de dormência de sementes mais estudado é a dormência tegumentar (tegumento impermeável), que impede as trocas gasosas da semente e a entrada de água nos tecidos circundantes, devido ao arranjo físico e revestimentos químicos na camada paliçada e tem sido descrito amplamente em espécies de leguminosas (RUSSI *et al.*, 1992; BASKIN; BASKIN, 2001).

O rompimento do tegumento duro ocorre naturalmente com o tempo, pelo umedecimento e desidratação, congelamento e descongelamento, fogo nas florestas, passagem através do trato digestivo dos animais, ação natural da acidez do solo e ataque de microrganismos (BASKIN; BASKIN, 2001; MANZANO *et al.*, 2005).

Além disso, a dormência das sementes é um dos fatores que retarda a germinação e a distribui ao longo do tempo, além de contribuir com a perpetuação das espécies florestais ao evitar a germinação em condições desfavoráveis para seu desenvolvimento (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; BONNER; KARRFALT, 2008). Apesar de ser

vantajosa no âmbito de perpetuação das espécies por aumentar as possibilidades de seu estabelecimento, para a produção de mudas em escala comercial tal característica não é desejável.

Normalmente, a produção de sementes é limitada por um período de tempo. Este varia em função da espécie e das condições ambientais. Compreender o seu comportamento germinativo é útil ao armazenamento e futura produção de mudas, pois as sementes podem perder sua capacidade germinativa e vigor (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Uma das estratégias para aumentar o tempo de armazenamento das sementes é a redução da temperatura na qual elas são armazenadas. A manutenção em temperaturas baixas pode reduzir as taxas metabólicas (BONNER; KARRFALT, 2008), principais responsáveis pela perda da viabilidade das sementes durante o armazenamento. Entretanto, há espécies que não toleram grande redução da temperatura, principalmente o congelamento (CHIN *et al.*, 1989).

As sementes podem ser classificadas em três categorias, em função do seu comportamento ao armazenamento: ortodoxa, recalcitrantes e intermediárias (BASKIN; BASKIN, 2001). As sementes ortodoxas toleram a secagem e armazenamento a baixas temperaturas; por outro lado, as recalcitrantes não toleram a secagem e armazenamento a baixas temperaturas; em relação à terceira categoria, as sementes intermediárias, estas toleram a secagem até certo ponto e perdem a viabilidade quando armazenadas a baixas temperaturas (BASKIN; BASKIN, 2001; BONNER; KARRFALT, 2008).

A descrição do comportamento germinativo de qualquer espécie, utilizando-se índices como o IVG, IVE e a porcentagem final da germinação limitam a compreensão do processo, pois não descrevem de forma contínua todas as etapas que ocorrem (BROWN; MAYER, 1988a). Esses índices não permitem que se façam inferências concomitantes sobre o tempo e a germinação. Por exemplo, se um lote tem zero % de germinação nos primeiros nove dias de incubação e 100% durante o décimo dia, ele terá um IVG de 10. Esse mesmo valor de IVG é obtido quando se tem um segundo lote com 10% de germinação no primeiro dia de incubação, mas nenhuma depois (BROWN; MAYER, 1988a).

É muito importante conhecer a dinâmica da germinação em todo o processo ao longo do tempo. Assim, alternativamente ao uso de índices, as equações podem melhor representar a dinâmica da germinação. E quando se avalia a influência de diferentes tratamentos sobre o processo germinativo, os resultados expressos pelas equações podem ser comparados pelo teste de identidade de modelos lineares ou não lineares. O comportamento da germinação de sementes, normalmente, segue tendência não linear.

O teste de identidade de modelos não lineares foi proposto por Regazzi (2003), utilizando-se o teste da razão de verossimilhança conforme Rao (1973), apresentando em detalhes a aplicação desse teste em modelos de regressão não linear, com aproximação dada pela estatística qui-quadrado. Esta metodologia é geral e pode ser utilizada em qualquer modelo de regressão não linear. Assim, espera-se que esse tipo de teste possa ser útil para analisar processos germinativos.

Em virtude do potencial de uso do Jatobá, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o comportamento germinativo das sementes de *Hymenaea courbaril* em função do armazenamento em temperatura subzero, utilizando-se o teste de identidade de modelos não lineares. Foi avaliada a seguinte hipótese: há diferenças entre os tempos de congelamento para as variáveis porcentagem final de germinação, índice de velocidade de germinação e crescimento inicial das plantas?

## 2 Materiais e Métodos

Os frutos de *Hymenaea courbaril* utilizados neste trabalho foram coletados em agosto de 2010, na Fazenda Experimental do Moura, Curvelo-MG, pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri-UFVJM (18°49'19.25"S / 44°24'19.82"O). Um mês após a coleta, as sementes foram retiradas dos frutos, cuja casca foi quebrada com auxílio de um martelo e, com uma faca, separou-se o endocarpo das sementes. Em seguida, as sementes foram armazenadas por noventa dias em câmara fria (6°C e umidade relativa de 25%), no Centro Integrado de Pesquisa e Estudos Florestais (CIPEF) da UFVJM, Diamantina-MG.

No intuito de avaliar-se o efeito do congelamento, foi realizado um pré-teste de germinação com trinta sementes submetidas ao congelamento em freezer com temperatura média de -20°C por zero, três, seis, nove e doze dias, sendo que uma metade não foi escarificada e a outra metade, foi escarificada lateralmente, com lixa número oitenta.

Ao serem retiradas do freezer, as sementes permaneceram 24 horas em câmara fria (6°C e umidade relativa de 25%). Após esse período, foram desinfestadas com uma solução de cloro ativo a 2,5%, por cinco minutos, e mantidas submersas por 24 horas em água destilada para embebição. Foram colocadas para germinar a 30 °C, em câmara de germinação, sob areia de textura média, lavada e esterilizada em estufa a 200°C por duas horas (BRASIL, 2009).

Nesse pré-teste, também avaliou-se a formação de cristais de gelo no interior das sementes. Assim que as sementes foram retiradas do freezer, cinco sementes escarificadas e cinco não escarificadas de cada tratamento foram quebradas longitudinalmente e visualizadas em lupa com aumento de cinco vezes. As sementes foram avaliadas subjetivamente quanto à formação de cristais de gelo, utilizando-se o seguinte critério: ausência de cristais de gelo, cristais de gelo ocupando 5-20% da superfície das sementes, cristais de gelo ocupando 21-50% da superfície das sementes, cristais de gelo ocupando 51-80% da superfície das sementes e cristais de gelo ocupando toda a superfície das sementes.

Com a conclusão do pré-teste, iniciou-se a condução do teste de germinação, no qual foram utilizadas sementes não escarificadas e congeladas. Os tratamentos consistiram no congelamento em freezer, em temperatura média de  $-20^{\circ}\text{C}$  por zero, três, seis, nove e doze dias. Depois de retiradas do freezer, as sementes permaneceram por 24 horas em câmara fria, nas mesmas condições anteriormente citadas.

Realizou-se a determinação do grau de umidade das sementes pelo método da estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas (BRASIL, 2009) após essas serem retiradas da câmara fria. Foram utilizadas três repetições, com cinco sementes por tratamento. Em função da impermeabilidade do tegumento, as sementes foram quebradas antes de se realizar o teste de umidade. Calculou-se o grau de umidade (%) e os dados foram submetidos à análise de variância.

Para o teste de germinação, as sementes foram desinfestadas com uma solução de cloro ativo a 2,5 % por cinco minutos, escarificadas lateralmente com lixa número oitenta e colocadas por 24 horas em água destilada para embebição. Após esse período, foram colocadas para germinar nas mesmas condições utilizadas no pré-teste, sob delineamento experimental inteiramente casualizado com os cinco tratamentos ( $-20^{\circ}\text{C}$  por zero, três, seis, nove e doze dias) e quatro repetições contendo 25 sementes por parcela.

Diariamente, realizou-se a contagem das sementes germinadas, considerando-se como germinadas as sementes com protrusão radicular superior a 2 mm de comprimento. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes germinadas e calculou-se o índice de velocidade de germinação (IVG) segundo Maguire (1962). Computou-se também, diariamente, a emergência das plântulas, considerando-se como plântulas a emissão das plúmulas, calculando-se a sua porcentagem.

Concomitantemente ao teste de germinação, todas as plântulas normais foram transplantadas para tubetes de  $280\text{ cm}^3$  contendo substrato composto por 70% de terra de subsolo, 30% de Bioplant® e 4g de Osmocote por tubete em casa de sombra (50% de

sombreamento) no CIPEF/UFVJM. Este experimento foi instalado sob delineamento inteiramente casualizado, preservando-se os tratamentos do experimento de congelamento (zero, três, seis, nove e doze dias de congelamento), com quatro repetições e vinte mudas por parcela. Aos trinta e sessenta dias após o último transplante, foram mensuradas a mortalidade, altura e diâmetro do coleto das mudas. Os dados foram analisados em nível de média da parcela e o arranjo utilizado foi o de parcelas subdivididas no tempo.

Os dados foram submetidos à análise de variância e à análise descritiva. Devido a não normalidade, a porcentagem de germinação foi transformada em arc seno ( $\sqrt{x}/100$ ).

Em função da característica sigmoideal do processo germinativo, os modelos que melhor se ajustam a esse fenômeno são os não lineares. Tais modelos são também logísticos, uma vez que a variável independente (tempo) é contínua e a variável dependente (germinação) é categórica. Dessa forma, foram ajustadas para a germinação e a emergência equações sob o modelo logístico  $y_{ij} = a_i / (1 + b_i e^{-c_i x_{ij}}) + \varepsilon_{ij}$ , no qual  $y$  = porcentagem de germinação ou emergência,  $x$  = número de dias,  $a$  = valor máximo esperado,  $b$  = valor de  $y$  quando  $x = 0$  e  $c$  = taxa média de crescimento da curva. Na avaliação do modelo, foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a análise gráfica dos resíduos. De posse das equações ajustadas, foi realizado o teste de identidade de modelos, segundo a metodologia proposta por Regazzi (2003) e Regazzi & Silva (2004). As equações foram consideradas iguais quando todas as hipóteses testadas foram não significativas. Todas as análises foram realizadas no Statistica 10.0 (STATSOFT INC., 2010).

### 3 Resultados

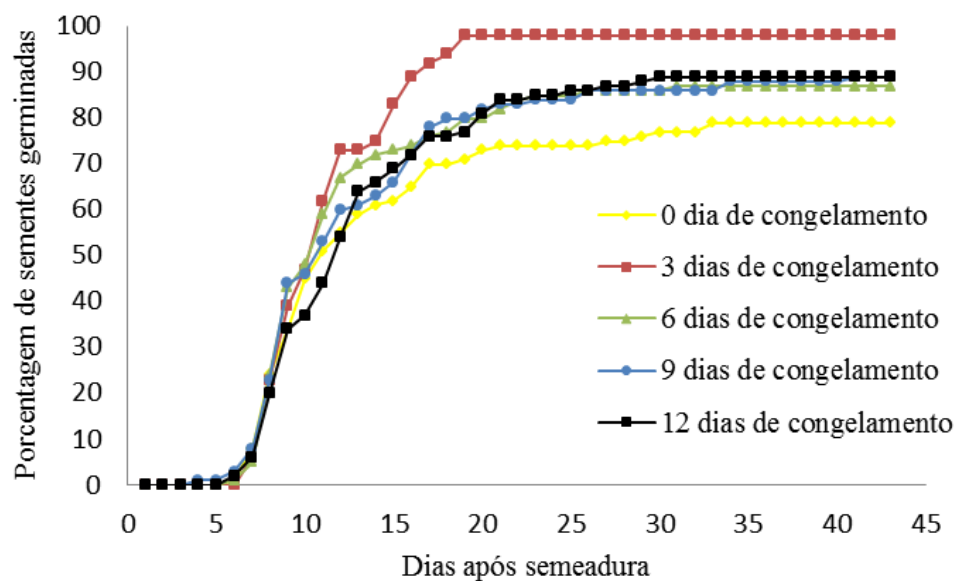
O resultado do pré-teste demonstrou que sementes de *Hymenaea courbaril* escarificadas previamente ao congelamento possuíam taxa de germinação abaixo de 20%.

Observou-se também, nas sementes provenientes do pré-teste, a formação de cristais de gelo em todos os tratamentos, tanto nas sementes escarificadas congeladas quanto nas não escarificadas congeladas. As sementes escarificadas e congeladas por três, seis, nove e doze dias de congelamento apresentaram cristais de gelo ocupando 5-20%, 21-50%, 51-80% e 100% da superfície das sementes, respectivamente. As não escarificadas e congeladas por três, seis, nove e doze dias de congelamento apresentaram cristais de gelo ocupando 0%, 5-20%, 21-50% e 51-80% da superfície das sementes, respectivamente.

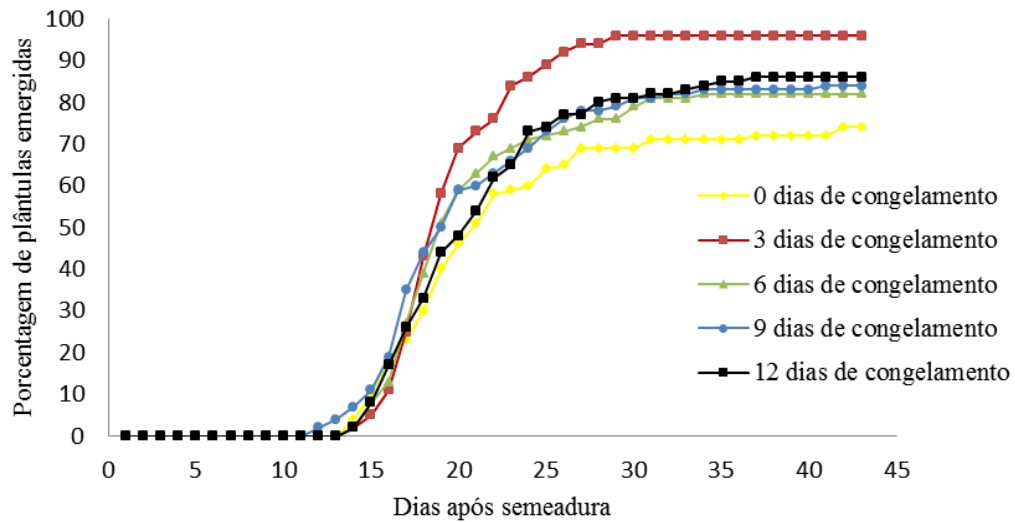


A germinação das sementes de *H. courbaril* iniciou-se a partir do quarto dia e perdurou até aos 33, 19, 31, 41 e 30 dias, para os tratamentos de zero, três, seis, nove e doze dias de congelamento, respectivamente. A percentagem final de germinação acumulada foi de 79%, 96%, 82%, 84% e 86% para os tratamentos de zero, três, seis, nove e doze dias, respectivamente (Figura 1).

Após o décimo segundo dia, ocorreu a emissão do primeiro par de folhas. O tempo necessário para a emergência de todas as plântulas para os tratamentos de zero, três, seis, nove e doze dias foi, respectivamente, de 42, 29, 41, 41 e 37 dias (Figura 2).



**Figura 1:** Curvas de germinação (%) acumulada de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a diferentes tempos de congelamento.



**Figura 2:** Curvas de emergência (%) acumulada de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a diferentes tempos de congelamento.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para a porcentagem de germinação e IVG (Tabela 1). As mudas também não apresentaram diferença significativa ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos para a altura, diâmetro do coleto e mortalidade nas duas medições realizadas (Tabela 2). Houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) entre os tempos de medição. Aos trinta e sessenta dias, respectivamente, as mudas atingiram média de 13,84 cm e 18,34 cm para altura, e 3,28 mm e 3,58 mm para diâmetro do coleto.

**Tabela 1:** Resumo da Anova referente ao IVG e a germinação, em sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

FV	GL	----- IVG -----		----- %Germinação -----	
		QM	P-valor	QM	P-valor
Tratamentos	4	0,274	0,755	0,061	0,422
Resíduo	15	0,579		0,059	
Total	19	0,853		0,119	
CV (%)			25,29		18,73

CV (%) = coeficiente de variação experimental

**Tabela 2:** Resumo da Anova referente à altura, ao diâmetro do coleto e à mortalidade, para mudas provenientes de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à - 20 °C

FV	GL	----- Altura -----		-Diâmetro do coleto-		----- Mortalidade-----	
		QM	P-valor	QM	P-valor	QM	P-valor
Tratamentos	4	0,80	0,6529	0,025	0,459	31,52	0,171
Erro a	15	1,29	-	0,026	-	17,01	-
CVa(%)		7,06		4,74		101,23	
Tempo	1	202,41	0,000	0,915	0,000	11,54	0,481
Trat. X tempo	4	0,08	0,931	0,006	0,399	4,79	0,925
Erro b	15	0,37	-	0,006	-	22,13	-
CVb(%)		3,78		2,20		115,44	
<b>Total</b>	<b>39</b>	<b>204,95</b>	<b>-</b>	<b>0,979</b>	<b>-</b>	<b>86,99</b>	<b>-</b>

CV(%) = coeficiente de variação experimental

O grau de umidade não apresentou diferença significativa (Tabela 3), mantendo-se constante e elevado em todos os tempos de congelamento (Tabela 4).

**Tabela 3:** Resumo da Anova referente a variável grau de umidade das sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) à - 20 °C

FV	GL	QM	F	P-valor
Tratamentos	4	0,062	0,33	0,852
Resíduo	10	0,189		
Total	14	0,251		
CV(%)	2,11			

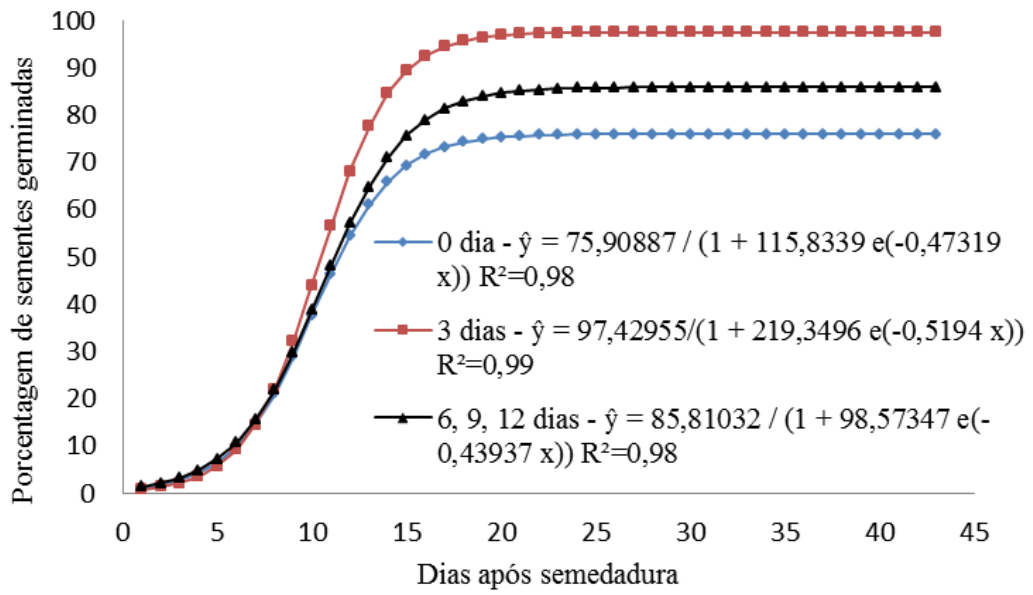
CV(%) = coeficiente de variação experimental

**Tabela 4:** Médias referentes ao grau de umidade das sementes (%) de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) a - 20 °C

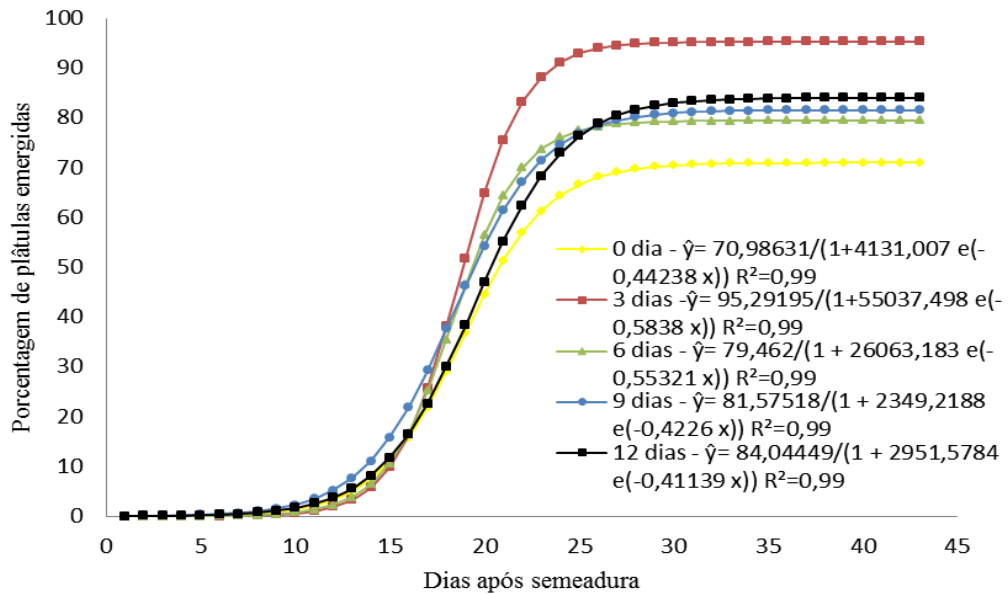
	----- Tempo de congelamento (dias) -----				
	0	3	6	9	12
Média (%)	15,58	15,17	15,60	15,22	15,19
Desvio padrão	0,65	0,21	0,55	0,58	0,31

Observou-se, através dos testes de identidade de modelo, que não houve diferenças significativas entre as curvas ajustadas de germinação acumulada para os tempos de congelamento de seis, nove e doze dias, ajustando-se uma única equação para esses três tempos. Já entre estes e os demais tempos, essa identidade não se verificou (Tabela 5, Figura 3).

Já para a emergência de plântulas, todas as curvas foram significativamente diferentes entre si (Tabela 6, Figura 4).



**Figura 3:** Porcentagem de germinação de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a diferentes tempos de congelamento.



**Figura 4:** Porcentagem de emergência de plântulas de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a diferentes tempos de congelamento.

**Tabela 5:** Testes de identidade para equações onde a variável dependente é a taxa de germinação de sementes de *Hymenaea courbaril* e a independente é o tempo (0,3,6,9 e 12 dias) de congelamento (-20 °C) ao qual foram submetidas, com graus de liberdade, estimativas de F e respectivos níveis de significância

Identidade para o parâmetro a				Identidade para o parâmetro b			
Hipóteses	Fc	GL	P(F)	Hipóteses	Fc	GL	P(F)
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_{12}$	103,28*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_6=b_{12}$	102,55*	1	0,000
$H_0^{(1)}$ : $a_6=a_{12}$	101,79*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_{12}$	30,86*	1	0,000
$H_0^{(1)}$ : $a_3=a_6$	40,08*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_6=b_9$	3,09 <sup>ns</sup>	1	0,086
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_3$	24,72*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_6=b_9=b_{12}$	2,94 <sup>ns</sup>	1	0,094
$H_0^{(1)}$ : $a_3=a_9$	24,32*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_9$	1,44 <sup>ns</sup>	1	0,237
$H_0^{(1)}$ : $a_3=a_{12}$	24,09*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_3=b_6$	0,55 <sup>ns</sup>	1	0,463
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_9$	19,04*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_9=b_{12}$	0,35 <sup>ns</sup>	1	0,557
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_6$	16,82*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_6$	-0,34 <sup>ns</sup>	1	0,563
$H_0^{(1)}$ : $a_6=a_9=a_{12}$	1,02 <sup>ns</sup>	1	0,319	$H_0^{(2)}$ : $b_3=b_9$	-1,52 <sup>ns</sup>	1	0,225
$H_0^{(1)}$ : $a_6=a_9$	0,44 <sup>ns</sup>	1	0,511	$H_0^{(2)}$ : $b_3=b_{12}$	-2,56 <sup>ns</sup>	1	0,117
$H_0^{(1)}$ : $a_9=a_{12}$	0,06 <sup>ns</sup>	1	0,808	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_3$	-2,79 <sup>ns</sup>	1	0,102
Identidade para o parâmetro c				Identidade para os parâmetros a, b e c			
Hipóteses	Fc	GL	P(F)	Hipóteses	Fc	GL	P(F)
$H_0^{(3)}$ : $c_6=c_{12}$	104,10*	1	0,000	$H_0^{(5)}$ : $a_6=a_{12}$ ; $b_6=b_{12}$ ; $c_6=c_{12}$	44,14*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_6=c_9$	3,85 <sup>ns</sup>	1	0,057	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_3$ ; $b_0=b_3$ ; $c_0=c_3$	35,75*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_6=c_9=c_{12}$	3,56 <sup>ns</sup>	1	0,066	$H_0^{(5)}$ : $a_3=a_6$ ; $b_3=b_6$ ; $c_3=c_6$	12,12*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_9$	1,62 <sup>ns</sup>	1	0,210	$H_0^{(5)}$ : $a_3=a_{12}$ ; $b_3=b_{12}$ ; $c_3=c_{12}$	11,32*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_3=c_6$	1,46 <sup>ns</sup>	1	0,234	$H_0^{(5)}$ : $a_3=a_9$ ; $b_3=b_9$ ; $c_3=c_9$	10,74*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_{12}$	0,89 <sup>ns</sup>	1	0,351	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_{12}$ ; $b_0=b_{12}$ ; $c_0=c_{12}$	8,42*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_9=c_{12}$	-0,01 <sup>ns</sup>	1	0,921	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_6$ ; $b_0=b_6$ ; $c_0=c_6$	7,79*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_6$	-0,08 <sup>ns</sup>	1	0,779	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_9$ ; $b_0=b_9$ ; $c_0=c_9$	6,23*	3	0,001
$H_0^{(3)}$ : $c_3=c_9$	-0,59 <sup>ns</sup>	1	0,447	$H_0^{(5)}$ : $a_6=a_9=a_{12}$ ; $b_6=b_9=b_{12}$ ; $c_6=c_9=c_{12}$	2,12 <sup>ns</sup>	6	0,075
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_3$	-1,58 <sup>ns</sup>	1	0,216	$H_0^{(5)}$ : $a_6=a_9$ ; $b_6=b_9$ ; $c_6=c_9$	1,98 <sup>ns</sup>	3	0,133
$H_0^{(3)}$ : $c_3=c_{12}$	-2,88 <sup>ns</sup>	1	0,097	$H_0^{(5)}$ : $a_9=a_{12}$ ; $b_9=b_{12}$ ; $c_9=c_{12}$	0,50 <sup>ns</sup>	3	0,684
Estimativas dos parâmetros a, b e c para tempos de congelamento a -20 °C							
Parâmetros	0 dia	3 dias	6 dias	9 dias	12 dias	6,9,12 dias	
a	75,90887	97,42955	84,47049	85,83696	87,10428	85,81032	
b	115,83390	219,34957	267,17679	68,59787	90,61642	98,57347	
c	0,47319	0,51940	0,57233	0,40420	0,40496	0,43937	
R <sup>2</sup>	0,98214	0,99129	0,98360	0,98143	0,98360	0,98612	

$a_0, b_0, c_0$ : coeficientes da equação 0 dia de congelamento.  $a_3, b_3, c_3$ : coeficientes da equação 3 dias de congelamento.  $a_6, b_6, c_6$ : coeficientes da equação 6 dias de congelamento.  $a_9, b_9, c_9$ : coeficientes da equação 9 dias de congelamento.  $a_{12}, b_{12}, c_{12}$ : coeficientes da equação 12 dias de congelamento. ns: não significativo e \*: significativo à 5% de probabilidade.

**Tabela 6:** Testes de identidade para equações onde a variável dependente é a taxa de emergência de plântulas de *Hymenaea courbaril* e a independente é o tempo (0,3,6,9 e 12 dias) de congelamento (-20 °C) ao qual foram submetidas, com graus de liberdade, estimativas de F e respectivos níveis de significância

Identidade para o parâmetro a				Identidade para o parâmetro b			
Hipóteses	Fc	GL	P(F)	Hipóteses	Fc	GL	P(F)
$H_0^{(1)}: a_0=a_3$	6411,92*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_6=b_{12}$	3,04 <sup>ns</sup>	1	0,088
$H_0^{(1)}: a_3=a_6$	226,41*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_0=b_9$	0,91 <sup>ns</sup>	1	0,343
$H_0^{(1)}: a_3=a_9$	216,60*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_0=b_6$	-4,18*	1	0,047
$H_0^{(1)}: a_3=a_{12}$	125,78*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_3=b_9$	-5,36*	1	0,025
$H_0^{(1)}: a_0=a_{12}$	107,73*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_3=b_{12}$	-5,79*	1	0,021
$H_0^{(1)}: a_0=a_9$	93,02*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_3=b_6$	-8,71*	1	0,005
$H_0^{(1)}: a_0=a_6$	66,86*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_9=b_{12}$	-12,27*	1	0,001
$H_0^{(1)}: a_6=a_{12}$	6,02*	1	0,018	$H_0^{(2)}: b_0=b_{12}$	-48,53*	1	0,000
$H_0^{(1)}: a_9=a_{12}$	-9,37*	1	0,004	$H_0^{(2)}: b_0=b_3$	-58,00*	1	0,000
$H_0^{(1)}: a_6=a_9$	-60,68*	1	0,000	$H_0^{(2)}: b_6=b_9$	-59,81*	1	0,000
Identidade para o parâmetro c				Identidade para os parâmetro a, b e c			
Hipóteses	Fc	GL	P(F)	Hipóteses	Fc	GL	P(F)
$H_0^{(3)}: c_3=c_6$	156,69*	1	0,000	$H_0^{(5)}: a_0=a_3; b_0=b_3; c_0=c_3$	192,47*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_6=c_{12}$	5,383*	1	0,025	$H_0^{(5)}: a_3=a_6; b_3=b_6; c_3=c_6$	56,06*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_0=c_{12}$	2,047 <sup>ns</sup>	1	0,160	$H_0^{(5)}: a_3=a_{12}; b_{12}=b_{12}; c_3=c_{12}$	43,50*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_3=c_{12}$	1,621 <sup>ns</sup>	1	0,210	$H_0^{(5)}: a_3=a_9; b_3=b_9; c_3=c_9$	36,48*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_0=c_9$	0,415 <sup>ns</sup>	1	0,522	$H_0^{(5)}: a_0=a_6; b_0=b_6; c_0=c_6$	32,85*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_0=c_6$	-3,477 <sup>ns</sup>	1	0,069	$H_0^{(5)}: a_0=a_{12}; b_0=b_{12}; c_0=c_{12}$	30,63*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_3=c_9$	-7,950*	1	0,007	$H_0^{(5)}: a_0=a_9; b_0=b_9; c_0=c_9$	25,15*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_9=c_{12}$	-11,526*	1	0,001	$H_0^{(5)}: a_6=a_{12}; b_6=b_{12}; c_6=c_{12}$	7,83*	3	0,000
$H_0^{(3)}: c_0=c_3$	-17,879*	1	0,000	$H_0^{(5)}: a_9=a_{12}; b_9=b_{12}; c_9=c_{12}$	-0,96 <sup>ns</sup>	3	0,419
$H_0^{(3)}: c_6=c_9$	-59,697*	1	0,000	$H_0^{(5)}: a_6=a_9; b_6=b_9; c_6=c_9$	-20,97*	3	0,000
Estimativas dos parâmetros a, b e c para tempos de congelamento a -20 °C							
Parâmetros	0 dia	3 dias	6 dias	9 dias	12 dias		
a	81,575187	95,29195	79,46200	81,57518	84,04449		
b	2349,2188	55037,498	26063,183	2349,2188	2951,5784		
c	0,42260	0,58380	0,55321	0,42260	0,41139		
R <sup>2</sup>	0,99655	0,99686	0,99398	0,99374	0,99600		

$a_0, b_0, c_0$ : coeficientes da equação 0 dia de congelamento.  $a_3, b_3, c_3$ : coeficientes da equação 3 dias de congelamento.  $a_6, b_6, c_6$ : coeficientes da equação 6 dias de congelamento.  $a_9, b_9, c_9$ : coeficientes da equação 9 dias de congelamento.  $a_{12}, b_{12}, c_{12}$ : coeficientes da equação 12 dias de congelamento. ns: não significativo e \*: significativo à 5% de probabilidade.

#### 4 Discussão

A maioria das sementes de espécies ortodoxas se mantém viável após dessecação até um grau de umidade abaixo de 10 % e podem ser armazenadas em temperaturas subzero por um longo período (BONNER; KARRFALT, 2008; SANTOS, 2000). As sementes de *H. courbaril* apresentaram um elevado grau de umidade médio, 15,35 % (Tabela 3). Valor este próximo ao teor de 15%, estabelecido como limite de umidade para armazenamento de sementes a temperaturas inferiores a -15 °C (BONNER; KARRFALT, 2008). Quando o grau de umidade passa desse limite de tolerância, pode ocorrer aumento na taxa respiratória da semente durante o armazenamento, com consequente perda do vigor germinativo. Tal efeito não foi observado nas sementes utilizadas neste estudo, as quais apresentaram elevada capacidade germinativa e produção de plântulas normais quando congeladas por até doze dias em temperatura média de -20°C.

Quando são armazenadas sementes com elevada umidade em temperaturas subzero, pode ocorrer formação de cristais de gelo a partir da água livre presente no interior das células, acarretando injúrias e perda da capacidade germinativa (SANTOS, 2000; FONSECA; FREIRE, 2003). No presente estudo, houve a formação de cristais de gelo, mas a porcentagem final de germinação manteve-se alta. É possível que a grande espessura do tegumento tenha evitado a queda na germinação dessas sementes, uma vez que a escarificação, com consequente diminuição da espessura do tegumento, acarretou um decréscimo considerável na germinação.

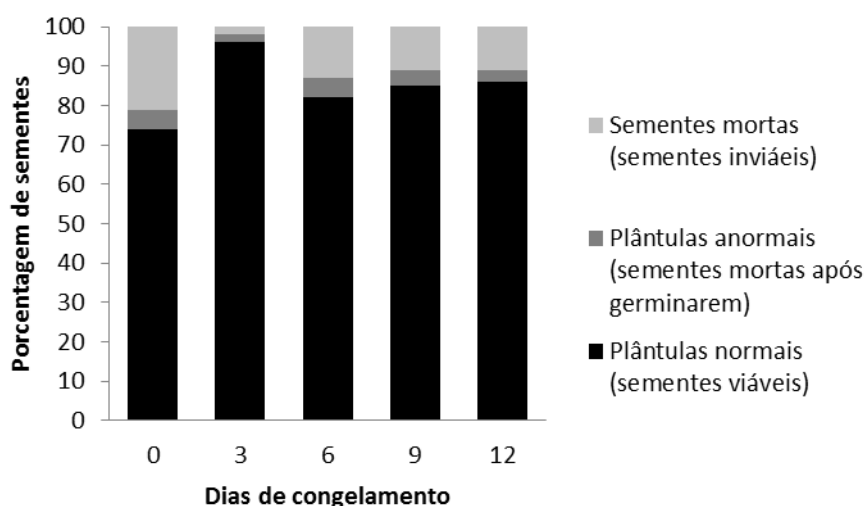
Os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis IVG e a porcentagem de germinação não foram significativos (Tabela 1). Brown & Mayer (1988a) avaliaram vários índices de germinação, entre eles o IVG, e chegaram à conclusão de que, devido à sua ambiguidade, esses não são os mais recomendados para descrever o comportamento da germinação ao longo do tempo. Por outro lado, quando se realizou o teste de identidade de modelos, este foi sensível e discriminou o comportamento germinativo entre os tratamentos (Tabela 5). Estes resultados corroboram o observado por Brown & Mayer (1988b), que concluíram que a melhor opção para caracterizar o comportamento germinativo é o uso das curvas de germinação ajustadas. Sendo assim, qualquer descrição da germinação deve fornecer informações sobre o tempo antes de a germinação começar, a taxa de germinação inicial, e o tempo gasto até o final da germinação (BROWN; MAYER, 1986).

Por meio do teste de identidade de modelos, foi possível constatar a superioridade do tratamento de três dias de congelamento para a variável germinação (Figura 3). O modelo

utilizado ( $y_{ij} = a_i / (1 + b_i e^{-c_i x_{ij}}) + \varepsilon_{ij}$ ) permite fazer inferências, pois cada coeficiente possui um significado: o “ $a$ ” é o valor máximo esperado, o “ $b$ ” é o valor  $y$  quando  $x = 0$  e o “ $c$ ” está relacionado à taxa média de crescimento da curva. Assim, é possível comprovar a superioridade do tratamento de três dias de congelamento que apresentou maior taxa média de crescimento e maior valor máximo esperado (Figura 3). O efeito positivo do congelamento sobre a germinação foi constatado em todos os tratamentos.

Uma visualização mais precisa sobre a superioridade do tratamento de três dias de congelamento pode ser observada ao se analisar a Figura 5. Esse tratamento supera os demais, em porcentagem, de sementes viáveis (plântulas normais), número inferior de sementes mortas e plântulas anormais (sementes mortas após germinarem). Os demais tratamentos (seis, nove e doze dias de congelamento) apresentaram comportamento semelhante e superior à testemunha sem congelamento.

Ainda analisando a Figura 5, o tratamento de três dias de congelamento apresentou uma porcentagem final de germinação 19% superior ao tratamento sem congelamento, superioridade muito expressiva em termos de produção comercial. Por exemplo, para semeadura de dez mil sementes, haveria uma produção estimada de 9800 mudas quando as sementes são congeladas por três dias e a produção de 7900 mudas quando as sementes não são congeladas.



**Figura 5:** Porcentagem de germinação de sementes de *Hymenaea courbaril* submetida a diferentes tempos de congelamento.



O tempo de congelamento de três dias também mostrou-se superior para a variável emergência de plântulas, de acordo com o teste de identidade de modelos, seguida pelos tempos de doze, nove, seis e zero dias (Figura 4). O melhor tratamento apresentou rápida emergência (maior taxa média de crescimento,  $c = 0,58$ ), porcentagem total de emergência de 95% (maior valor máximo esperado) e também foi mais homogêneo em relação ao tempo (Figura 4). Esse resultado reforça o uso da técnica de congelamento, pois é desejável na produção de mudas uma emergência de plântulas rápida e uniforme.

A superioridade dos tratamentos de três, seis, nove e doze dias de congelamento em relação ao tratamento de zero dia, mostrou que sementes de *H. courbaril* congeladas por até doze dias, associado à escarificação lateral das sementes e sua embebição por 24 horas, proporcionou a quebra de dormência, o que pode ser confirmado pela redução do tempo de germinação, manutenção da porcentagem final alta de germinação e emergência e favorecimento da rápida emergência de plântulas. Assim como acontece com a *Annona crassiflora*, a estratificação também pode ter sido a responsável pela quebra de dormência nas sementes de *Hymenaea courbaril* (BERNANRDES *et al.*, 2007).

A germinação, para todos os tratamentos, concentrou-se entre o 7º e o 19º dia, em que atingiu 90%, 100%, 92%, 90% e 87% do total germinado, respectivamente para os tratamentos de zero, três, seis, nove e doze dias de congelamento (Figura 1). Comportamento semelhante foi observado para a emergência, a qual se concentrou entre os 15º e 29º dia. A porcentagem de emergência nesse período em relação ao total foi de 93%, 100%, 93%, 94% e 94%, respectivamente para os tratamentos de zero, três, seis, nove e doze dias de congelamento (Figura 2). Provavelmente, a não diferença estatística observada no crescimento das mudas nos tratamentos aos trinta e sessenta dias (Tabela 2) deu-se em decorrência pela concentração do período de germinação e emergência de plântulas (Figuras 1 e 2). Além disso, essa não diferença encontrada pode ser também devido ao desenvolvimento inicial ser apoiado principalmente pela mobilização do xiloglucano de reserva durante um período de aproximadamente dois meses após a germinação (TINÉ *et al.*, 2000).

Outra inferência que pode ser feita e que carece de mais estudos é que as sementes dessa espécie podem ser armazenadas a temperaturas subzero, pois todos os tratamentos de congelamento melhoraram a germinação e emergência de plântulas sem influenciar o crescimento das mudas. Também, segundo Bonner & Karrfalt (2008), sementes ortodoxas podem ser mantidas em freezers em  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $-20^{\circ}\text{C}$  por mais de três a quatro meses para conservação *ex situ* de germoplasma.

## 5 Conclusão

O tratamento com três dias de congelamento foi superior aos outros para as variáveis analisadas. O congelamento associado à escarificação e à embebição proporcionou quebra de dormência nas sementes.

## 6 Referências Bibliográficas

BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. San Diego: Academic Press, 2001. 666 p.

BERNARDES, T.G.; ESTRÊLA, C.T.; NAVES, R.V.; REZENDE, C.F.A.R.; MESQUITA, M.A.M. Efeito do armazenamento e de fitohormônios na qualidade fisiológica de sementes de araticum (*Annona crassiflora* Mart.). **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 163-168, 2007.

BONNER, F.T.; KARRFALT, R.P. **The woody plant seed manual**. Washington: U.S. Department of Agriculture-Forest Service, 2008. 1224 p.

BRANDÃO, A.D., DEL BEM, L.E.V., VINCENTZ, M.; BUCKERIDGE, M.S. Expression pattern of four storage xyloglucan mobilization-related genes during seedling development of the rain forest tree *Hymenaea courbaril* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.60, n.4, p.1191–1206, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análises de sementes**. Brasília-DF: MAPA/ACS, 2009.

BROWN, R.F.; MAYER, D.G. A critical analysis of Maguire's germination rate index. **Journal of Seed Technology**, v.10, n.2, p. 101-110, 1986.

BROWN, R.F.; MAYER, D.G. Representing cumulative germinations.1. A critical analysis of single-value germination indices. **Annals of Botany**, England, v.61, p.171-201, 1988a.

BROWN, R.F.; MAYER, D.G. Representing cumulative germination. 2. The use of the Weibull function and other empirically derived curves. **Annals of Botany**, England, v.61, p.127-138, 1988b.

BUSATO, A.P.; VARGAS-REGINA, C.G.; REICHER, F. Xyloglucan from the leaves of *Hymenaea courbaril*. **Phytochemistry**, Amsterdã, v.58, n.3, p.525-531, 2001.

CHIN, H.F.; KRISHNAPILLAY, B.; STANWOOD, P.C. Seed moisture: recalcitrant vs. orthodox seeds. **Crop Science Society of America**, Madison, n.14, p.15-22, 1989.

FERNANDES, T.T., SANTOS, A.T.F., PIMENTA, F.C. Atividade Antimicrobiana das Plantas *Plathymenia reticulata*, *Hymenaea courbaril* E *Guazuma ulmifolia*. **Revista de Patologia Tropical**, Goiás, v.34, n.2, p.113-122, 2005.

FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v.171, n.3. p.501–523, 2006.

FONSECA, S.C.L.; FREIRE, H.B. Sementes recalcitrantes: problemas na pós-colheita. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.297-303, 2003.

GONÇALVES, A.L.; ALVES FILHO, A.; MENEZES, H. Estudo comparativo da atividade antimicrobiana de extratos de algumas árvores nativas. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.72, n. 3, p. 353-358, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Plantas Medicinais Ameaçadas de Extinção**. 1992. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/flora/divs/plantasextincao.pdf>> Acesso em: 13 de janeiro de 2012.

IMAI, T.; INOUE, S.; OHDAIRA, N.; MATSUSHITA, Y.; SUZUKI, R.; SAKURAI, M.; JESUS, J. M. H.; OZAKI, S. K.; FINGER, Z.; FUKUSHIMA, K. Heartwood extractives from the Amazonian trees *Dipteryx odorata*, *Hymenaea courbaril*, and *Astronium lecointei* and their antioxidant activities. **Journal of Wood Science**, Japan, v.54, n.6, p.470-475, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Ed. Planatarum, 2002. 368p.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p.176-177, 1962.

MANZANO, P., MALO, J.E.; PECO, B. Sheep gut passage and survival of Mediterranean shrub seeds. **Seed Science Research**, Netherlands, v.15, n.1, p.21–28, 2005.

NOGUEIRA, R.T.; SHEPHERD, G.J.; LAVERDE JR, A.; MARSAIOLI, A.J.; IMAMURA, P.M. Clerodane-type diterpenes from the seed pods of *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*. **Phytochemistry**, Amsterdã, v.58, n.8, p.1153-1157, 2001.

OLIVEIRA, A.K.M.; SCHLEDER, E.D.; FAVERO, S. Caracterização morfológica, viabilidade e vigor de sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex. S. Moore. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.1, p. 25-32, 2006.

RAO, C.R. **Linear statistical inference and its applications**. New York: John Wiley, 1973.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n.287, p.9-26, 2003.

REGAZZI, A.J.; SILVA, C.H.O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.22, n.3, p.33-45, 2004.

RUSSI, L., COCKS, P.S.; ROBERTS, E.H. Coat thickness and hard seediness in some *Medicago* and *Trifolium* species. **Seed Science Research**, Netherlands, v.2, n.4, p.243–249, 1992.

SANO, S.M.; FONSECA, C.E.L. **Estabelecimento de progênies de jatobá (*Hymenaea* spp.) em plantio puro no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 14 p.

SANTOS, I.R.I. Criopreservação: potencial e perspectivas para a conservação de germoplasma vegetal. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.12 (Edição especial), p. 70-84, 2000.

SANTOS, H.P.; BUCKERIDGE, M.S. The Role of the Storage Carbon of Cotyledons in the Establishment of Seedlings of *Hymenaea courbaril* Under Different Light Conditions. **Annals of Botany**, England, v.94, n.6, p.819–830, 2004.

SILVA, M.R.; SILVA M.S.; MARTINS, K.A.; BORGES, S. Utilização tecnológica dos frutos de jatobá-do-cerrado e do jatobá-da-mata na elaboração de biscoitos fontes de fibra alimentar e isentos de açúcares. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.2, p.176-182, 2001.

STATSOFT, INC. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**. 2010. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

TINÉ, M.A.S.; CORTELAZZO A.L.; BUCKERIDGE, M.S. Xyloglucan mobilization in cotyledons of developing plantlets of *Hymenaea courbaril* L. (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Plant Science**, v. 154, n. 2, p. 117–126, 2000.

VARGAS-RECHIA, C.; REICHER, F.; SIERAKOWSKI, M.R.; HEYRAUD, A.; DRIGUEZ, H.; LIÉNART, Y. Xyloglucan Octasaccharide XXLGol Derived from the Seeds of *Hymenaea courbaril* Acts as a Signaling Molecule. **Plant Physiology**, Waterbury, v.116, n.3, p.1013-1021, 1998.

### CAPÍTULO III

#### **Comportamento germinativo de sementes avaliado pelo teste de identidade de modelos não lineares**

**Resumo** - O índice de velocidade de germinação e a porcentagem de germinação são muito utilizados na área de ciências agrárias. Entretanto, estes não refletem o comportamento da germinação de uma forma contínua ao longo do tempo. Para suprir essa limitação, pesquisadores expressam os resultados de seus trabalhos por meio de curvas com ou sem ajustes de modelos matemáticos. Entretanto, são raros os trabalhos que avaliam a diferenciação entre o comportamento dessas curvas com critério estatístico para explicar os efeitos dos tratamentos. O objetivo desse trabalho foi aplicar o teste de identidade de modelos não lineares para avaliar o comportamento da germinação, de forma contínua ao longo do tempo e confrontar os resultados com índices de valores únicos. Para demonstrar a aplicação da metodologia proposta foram utilizados dados de um experimento com jatobá, no qual as sementes foram submetidas a cinco tempos de congelamento a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (zero, três, seis, nove e doze dias). A esses dados, aplicou-se o teste de identidade de modelos não lineares, o índice de velocidade de germinação e a porcentagem final de germinação. O teste de identidade mostrou-se mais eficaz na elucidação do comportamento das curvas de germinação acumulada em relação aos métodos tradicionais, sendo recomendado quando há interesse em se avaliar a evolução da germinação de sementes ao longo do tempo.

**Palavras chave:** *Hymenaea courbaril*, índice de velocidade de germinação, porcentagem final de germinação.

## 1 Introdução

Vários índices têm sido propostos para descrever padrões de germinação de sementes em laboratório e em diferentes condições de campo. Contudo, a utilidade desses índices tem sido questionada, uma vez que diferem-se na medida em que resumem os padrões de germinação (TORRES; FRUTOS, 1989). Tais índices, como o índice de velocidade de germinação de Maguire (MAGUIRE, 1962) e a porcentagem final de germinação ainda são muito utilizados, porém não refletem o comportamento da germinação de uma forma contínua ao longo do tempo (BROWN; MAYER, 1988a). O método mais adequado é aquele que avalia a evolução da taxa de germinação ao longo do tempo e o comportamento de cada fase desse processo (BROWN; MAYER, 1986).

O índice de velocidade de germinação (IVG), desenvolvido por Maguire (1962), avalia o vigor germinativo das sementes, sendo muito empregado por pesquisadores da área de Ciências Agrárias em diversos estudos (GRUS *et al.*, 1984; ALBUQUERQUE *et al.*, 1998; COSTA *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2010). Teoricamente, o IVG é influenciado pelo tempo médio e pela velocidade de germinação das sementes, ou seja, se a germinação ocorrer logo no início da sementeira, o valor do índice será maior do que se ela ocorrer mais tardiamente.

O IVG é influenciado pelo número total de sementes que germinam nas condições do ensaio e, portanto, é adequado para comparações somente em amostras ou tratamentos que apresentem o mesmo número de sementes germinadas (SANTANA; RANAL, 2000). Portanto, em trabalhos cujo principal objetivo é testar hipóteses de efeitos de diferentes fatores sobre a germinação, tal índice só seria apropriado caso essas hipóteses não fossem rejeitadas. O IVG também se torna restrito por não considerar as sementes que não germinaram.

Para suprir essa limitação, vários pesquisadores expressam os resultados de seus trabalhos por meio de curvas de germinação com ou sem ajustes de modelos matemáticos. Os trabalhos desenvolvidos por Brown e Mayer (1988b), Torres e Frutos (1989 e 1990), Timmermans *et al.* (2007) e Joosen *et al.* (2010) utilizaram equações a partir das quais estimam-se parâmetros como velocidade e taxa máxima de germinação. Entretanto, são raros os trabalhos que avaliaram a diferenciação entre o comportamento das curvas sigmoidais, características do processo germinativo, geradas por essas equações.

O teste de identidade de modelos não lineares proposto por Regazzi (2003), Regazzi & Silva (2004) e Regazzi & Silva (2010) possui grande potencial para analisar processos germinativos, pois possibilita avaliar se um conjunto de “g” equações ajustadas são ou não

idênticas em qualquer modelo de regressão não-linear. Ou seja, se o fenômeno em estudo pode ou não ser representado por uma única equação discriminando os tratamentos.

Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo aplicar o teste de identidade de modelos não lineares para avaliar o comportamento da germinação de forma contínua ao longo do tempo e confrontar os resultados com índices de valores únicos. Foram avaliadas as seguintes hipóteses: há diferenças entre os índices e o teste de identidade de modelos e qual deles representa melhor o comportamento germinativo ao longo do tempo?

## 2 Materiais e Métodos

Em função da característica sigmoideal do processo germinativo, os modelos que melhor se ajustam a esse fenômeno são os não lineares. Tais modelos são também logísticos, uma vez que a variável independente (tempo) é contínua e a variável dependente (germinação), é categórica. Para a escolha do modelo, utilizou-se como critérios de seleção o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a análise gráfica dos resíduos. Assim, assumiu-se o uso do modelo logístico para explicar o processo metodológico proposto com base nos trabalhos de Regazzi (2003), Regazzi & Silva (2004) e Regazzi & Silva (2010).

A seguir, são apresentados os passos utilizados no teste de identidade de modelos não lineares.

### Passo 1: Ajuste dos dados a um mesmo modelo

Considerando o ajustamento dos dados observados relativos à “g” equações de regressão não lineares e supondo um modelo logístico, têm-se:

$$y_{ij} = a_i / (1 + b_i e^{-c_i x_{ij}}) + \varepsilon_{ij}, \text{ com } j=1, \dots, n_i, i=1, \dots, g \text{ (1), } a_i, b_i, c_i > 0, \text{ em que:}$$

$y_{ij}$  = valor observado na j-ésima unidade experimental do i-ésimo grupo;

$x_{ij}$  = valor da variável independente associado a  $y_{ij}$ ;

$a_i$  = parâmetro para cada grupo i, sendo o valor máximo esperado para a resposta (assíntota), ou seja,  $a_i$  é o limite da esperança de  $y_{ij}$  quando a variável independente tende ao infinito;

$b_i$  = parâmetro para o i-ésimo grupo que está relacionado com o valor de  $E(y_{ij})$  correspondente a  $x_{ij} = 0$ ;

$c_i$  = parâmetro para o i-grupo que está relacionado com a taxa média de crescimento da curva;

e

$\varepsilon_{ij}$  = erro aleatório não observável no modelo com as pressuposições iniciais  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ .

Tem-se ainda que  $\sum_{i=1}^g n_i = N$  é o número total de observações.

**Passo 2:** Formulação das hipóteses e cálculo dos parâmetros

1.  $H_0^{(1)} : a_1 = \dots a_g (= a)$  vs.  $H_a^{(1)} : \text{nem todos } a_i \text{ são iguais.}$
2.  $H_0^{(2)} : b_1 = \dots b_g (= b)$  vs.  $H_a^{(2)} : \text{nem todos } b_i \text{ são iguais.}$
3.  $H_0^{(3)} : c_1 = \dots c_g (= c)$  vs.  $H_a^{(3)} : \text{nem todos } c_i \text{ são iguais.}$
4.  $H_0^{(4)} : a_1 = \dots a_g (= a), b_1 = \dots b_g (= b) \text{ e } c_1 = \dots c_g (= c)$  vs.  $H_a^{(4)} : \text{pelo menos uma igualdade é uma desigualdade.}$

Para  $i = 1, \dots, g$ , sejam as variáveis “dummy  $D_i$ ” tais que:  $D_i = 1$  se a observação  $y_{ij}$  pertence ao grupo  $i$  ou 0 em caso contrário.

Então, o modelo da equação (1) pode ser escrito como:

$$\sum_{i=0}^n D_u [a_u / (1 + b_u e^{-c_u x_{ij}})] + \varepsilon_{ij} \text{ em que } j=1, \dots, n_i, i=1, \dots, g. \quad (2)$$

### Cálculo de $\hat{a}_i$

Quando os dados são provenientes de germinação, nos primeiros dias após a semeadura, é frequente que a germinação seja zero; nesse caso, recomenda-se adicionar 1 a todos os dados para estimar todos os parâmetros, pois a equação é linearizada nos cálculos dos parâmetros  $\hat{b}_i$  e  $\hat{c}_i$ .

Sejam  $x_A, x_B$  e  $x_C$  três valores equidistantes de  $x$ , isto é,  $x_C - x_B = x_B - x_A = \Delta x$ , e  $y_A, y_B$  e  $y_C$ , os correspondentes valores de  $y$ . Tais valores podem pertencer ou não à amostra disponível. Caso não pertençam, marcam-se em um gráfico todos os pontos correspondentes às observações da amostra, traça-se a curva logística e lêem-se neste gráfico as coordenadas dos três pontos escolhidos, cujas posições no eixo das abscissas sejam equidistantes.

$$\text{A estimativa inicial } \hat{a}_i, \text{ que é dada por: } \hat{a}_i = \frac{y_B(y_A y_B + y_B y_C - 2y_A y_C)}{y_B^2 - y_A y_C} \quad (3)$$

### Cálculo de $\hat{b}_i$ e $\hat{c}_i$

A função resposta pode ser linearizada. Então  $y_{ij} = \frac{\hat{a}_i}{1 + b_i e^{-c_i x_i}}$

$$\ln \left( \frac{\hat{a}_i - y_i}{y_i} \right) = \ln b_i - c_i x_i, \quad y_i > 0 \text{ e } \hat{a}_i - y_i > 0 \quad (4)$$

para  $i = 1, \dots, n_1$

Fazendo  $z_i = \ln \left( \frac{\hat{a}_i - y_i}{y_i} \right)$  e ajustando-se o modelo de regressão linear simples

$z_i = A_1 + B_1 x_i + e_i$ , obtêm-se os valores iniciais do seguinte modo:

$$\text{Equação ajustada: } \hat{z}_1 = \hat{A}_1 + \hat{B}_1 x_i, \text{ assim } \hat{b}_i = e^{\hat{A}_1} \text{ e } \hat{c}_i = -\hat{B}_1. \quad (5)$$

**Passos 3 e 4:** Cálculo da soma de quadrados do resíduo da regressão e comparação entre as equações por meio dos testes F ou qui-quadrado.



As estimativas iniciais dos modelos restritos são obtidas por uma simples inspeção apropriada. Por exemplo, em  $\varpi_1$ , a média das estimativas iniciais de  $a_1$  e  $a_2$  é usada como estimativa inicial de  $a$ , uma vez em que  $H_0^{(1)}$  tem-se a restrição  $a_1 = a_2 = a$ .

Assim, prossegue-se com o cálculo dos parâmetros e da soma de quadrados do resíduo da regressão (SQRR) para cada equação gerada em cada hipótese testada e para o modelo completo. Utilizou-se o método de Gauss Newton para o cálculo dos parâmetros.

Designaremos de completo o modelo ajustado sob nenhuma restrição em  $\Omega$ , e de reduzido  $\varpi$ , o modelo ajustado sob as restrições definidas em  $H_0$ .

Assim, é possível comparar as equações ajustadas para vários grupos de dados. A metodologia apresentada se baseia no teste da razão de verossimilhança, com aproximação dada pela estatística  $\chi^2$  ou teste F. Para um número total de observações suficientemente grande ( $N \geq 120$ ), as duas aproximações são praticamente equivalentes. Para amostras menores, a aproximação dada pela estatística F deve ser a preferida, uma vez que a taxa de erro tipo I é menor, independentemente do valor de  $N$ .

A estatística do teste da razão de verossimilhança para este problema é  $L = (\hat{\sigma}_\Omega^2 / \hat{\sigma}_\varpi^2)$ , sendo  $\hat{\sigma}_\Omega^2$  a estimativa de máxima verossimilhança de  $\sigma^2$  sem qualquer restrição no espaço paramétrico (modelo completo)  $\hat{\sigma}_\varpi^2$  a estimativa de máxima verossimilhança de  $\sigma^2$  com as restrições lineares colocadas em  $H_0$ .

Para grandes amostras de tamanho  $N$ , conforme Rao (1973), tem-se que para o teste de  $H_0$  a estatística do teste da razão de verossimilhança é:  $\chi^2_{\text{calculado}} = -N \ln (\hat{\sigma}_\Omega^2 / \hat{\sigma}_\varpi^2) = -N \ln (\text{SQRR}_\Omega / \text{SQRR}_\varpi)$ . (6)

A regra de decisão consiste em rejeitar  $H_0$  a um nível de significância  $\alpha$  se  $\chi^2_{\text{observado}} \geq \chi^2_\alpha(v)$ , em que  $v = p_\Omega - p_\varpi$  é o número de graus de liberdade, sendo  $p_\Omega$  e  $p_\varpi$  o número de parâmetros estimados nos modelos completo e reduzido, respectivamente, e SQRR é a soma de quadrados do resíduo da regressão. Para os testes  $H_0^{(1)}$ ,  $H_0^{(2)}$ ,  $H_0^{(3)}$  e  $H_0^{(4)}$ , cada um possui, aproximadamente, distribuição de qui-quadrado com  $(g-1)$ ,  $(g-1)$ ,  $(g-1)$  e  $3(g-1)$  graus de liberdade, respectivamente.

O teste aproximado da razão de verossimilhança para a estatística F é:

$$F_{\text{observado}} = ((\text{SQRR}_\varpi - \text{SQRR}_\Omega) / v) / (\text{SQRR}_\Omega / (N - Gp)) \quad (7)$$

$$F_{\text{tabelado}} = (\alpha; v; N - gp) \quad (8)$$

onde:  $g$  é o número de grupos de dados comparados e  $p$  é o número de parâmetros da regressão.

Se  $F_{\text{observado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ , rejeita-se  $H_0$ .

Na Tabela 1 encontra-se de forma resumida a sequência e os critérios adotados para comparar equações ajustadas que expressam o comportamento germinativo ao longo do tempo.

**Tabela 1:** Sequência e critérios utilizados no teste de identidade de modelos não lineares

Passo	Sequência	Critério
1	Ajuste dos dados a um único modelo.	Escolher o melhor modelo de crescimento. De acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e análise gráfica de resíduos.
2	Formulação das hipóteses e cálculo dos parâmetros.	Uso de variáveis “dummy” para comparar os pares de equações; Somar uma constante um (1) ao $y_i$ ; $\hat{a}_i = \frac{y_B(y_{AYB} + y_{BYC} - 2y_{AYC})}{y_B^2 - y_{AYC}}$ Para $\hat{b}_i$ e $\hat{c}_i$ deve-se realizar a linearização da equação ajustada.
3	Cálculo da soma de quadrados do resíduo da regressão	Para cada equação gerada em cada hipótese testada e para o modelo completo.
4	Comparação entre as equações por meio do teste F ou qui-quadrado.	Para $N \geq 120$ : teste F ou qui-quadrado, para $N < 120$ : teste F.

y = germinação acumulada; N = tamanho da amostra.

Para demonstrar a aplicação da metodologia proposta, foram utilizados dados de um experimento com *Hymenaea courbaril*, no qual as sementes foram submetidas a cinco tempos de congelamento à  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  (zero, três, seis, nove e doze dias) e a germinação avaliada diariamente.

Os resultados do teste de identidade de modelos não lineares foram confrontados com os obtidos ao se utilizar o índice de velocidade de germinação - IVG (MAGUIRE, 1962) e com a porcentagem final de germinação - G%, onde:

$$IVG = (NSG_1/DPC) + \dots + (NSG_n/DUC)$$
, onde  $NSG_1$  = número de sementes germinadas (ou número de plântulas normais) na primeira contagem;  $NSG_n$  = número de sementes germinadas (ou número de plântulas normais) na última contagem; DPC = dias até a primeira contagem; DUC = dias até a última contagem.

$$G\% = (NSG_n/NTS) \times 100$$
, NSG = número total de sementes germinadas no último dia da contagem; NTS=número total de sementes.

Todas as análises foram realizadas no Statistica 10.0 (STATSOFT INC., 2010).

### 3 Resultados

Os resultados referentes às quatro hipóteses formuladas para cada combinação de dois tratamentos (tempo de congelamento a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) encontram-se na Tabela 2. Os cinco tratamentos considerados originaram dez comparações para cada hipótese levantada, gerando um total de quarenta comparações; e mais três comparações quando compararam-se os tratamentos seis, nove e doze dias de congelamento conjuntamente.

Na Figura 1, encontram-se representados graficamente os dados para os tratamentos considerados, referentes à evolução da germinação acumulada em função do tempo (dias) após a semeadura, bem como as curvas determinadas pelos respectivos modelos.

A hipótese da identidade completa do modelo ( $H_0^{(4)}$ ) não foi rejeitada para as comparações entre seis e nove e entre nove e doze dias de congelamento (Tabela 2); sendo assim, foi efetuado o teste de identidade de modelos não lineares entre essas três equações. Os resultados desse teste confirmaram a igualdade entre esses três tratamentos (Tabela 2). Dessa forma, representou-se esses três tratamentos em uma única equação (Figura 1). As equações para os tratamentos de zero e três dias de congelamento foram estatisticamente diferentes entre si e entre as demais, implicando em uma equação para cada um destes tratamentos (Tabela 2, Figura 1). Ainda em relação à Figura 1, pode-se observar que, para cada equação, foram ínfimos os desvios entre os dados observados e os respectivos esperados, observação esta confirmada pelos altos coeficientes de determinação (Tabela 2).

A identidade entre os parâmetros “ $a_0$ ” e “ $a_3$ ” em todas as combinações envolvendo os tempos de zero e três dias de congelamento, tanto entre si como em combinações com os demais tratamentos, foram rejeitadas. Também foi rejeitada a identidade entre “ $a_6$ ” e “ $a_{12}$ ”. Não foram rejeitadas as identidades entre “ $a_6$ ” e “ $a_9$ ” ou entre este último e “ $a_{12}$ ” (Tabela 2).

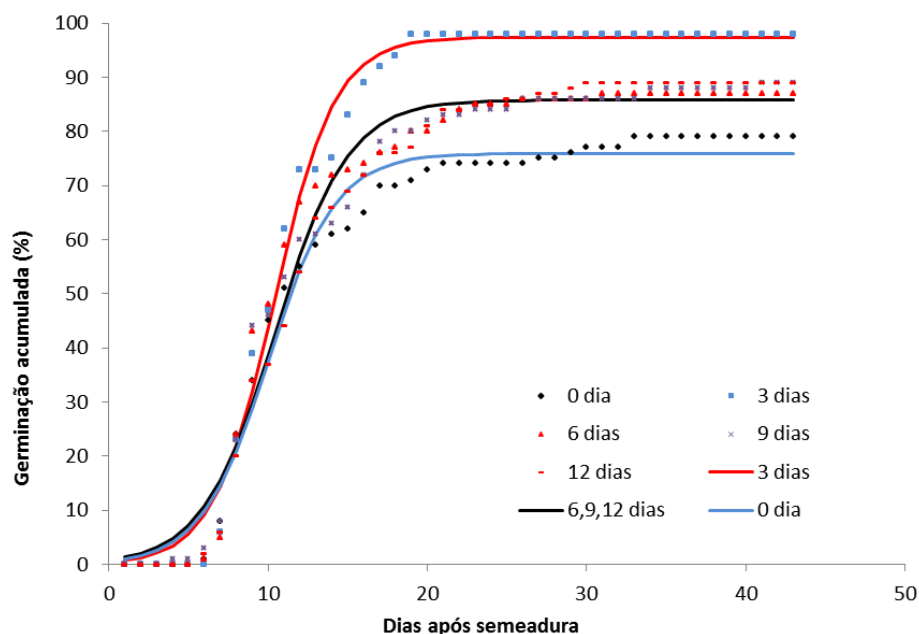
Em relação às comparações das estimativas dos parâmetros “ $b_i$ ”, a estimativa de “ $b_{12}$ ” diferiu significativamente de “ $b_0$ ” e “ $b_6$ ”. Nenhuma das outras comparações foi rejeitada (Tabela 2).

Observa-se que o parâmetro “ $c$ ” difere significativamente apenas para os tempos de seis e doze dias de congelamento (Tabela 2). Porém, quando se avaliou a hipótese da igualdade entre o parâmetro “ $c$ ” das equações seis, nove e doze dias de congelamento conjuntamente, estes não deferiram estatisticamente (Tabela 2).

**Tabela 2:** Testes de identidade para equações onde a variável dependente é a taxa de germinação de sementes de *Hymenaea courbarile* a independente é o tempo (0,3,6,9 e 12 dias) de congelamento (-20 °C) ao qual foram submetidas, com graus de liberdade, estimativas de F e respectivos níveis de significância

Identidade para o parâmetro a				Identidade para o parâmetro b			
Hipóteses	Fc	GL	P(F)	Hipóteses	Fc	GL	P(F)
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_{12}$	103,28*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_6=b_{12}$	102,55*	1	0,000
$H_0^{(1)}$ : $a_6=a_{12}$	101,79*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_{12}$	30,86*	1	0,000
$H_0^{(1)}$ : $a_3=a_6$	40,08*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_6=b_9$	3,09 <sup>ns</sup>	1	0,086
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_3$	24,72*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_6=b_9=b_{12}$	2,94 <sup>ns</sup>	1	0,094
$H_0^{(1)}$ : $a_3=a_9$	24,32*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_9$	1,44 <sup>ns</sup>	1	0,237
$H_0^{(1)}$ : $a_3=a_{12}$	24,09*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_3=b_6$	0,55 <sup>ns</sup>	1	0,463
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_9$	19,04*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_9=b_{12}$	0,35 <sup>ns</sup>	1	0,557
$H_0^{(1)}$ : $a_0=a_6$	16,82*	1	0,000	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_6$	-0,34 <sup>ns</sup>	1	0,563
$H_0^{(1)}$ : $a_6=a_9=a_{12}$	1,02 <sup>ns</sup>	1	0,319	$H_0^{(2)}$ : $b_3=b_9$	-1,52 <sup>ns</sup>	1	0,225
$H_0^{(1)}$ : $a_6=a_9$	0,44 <sup>ns</sup>	1	0,511	$H_0^{(2)}$ : $b_3=b_{12}$	-2,56 <sup>ns</sup>	1	0,117
$H_0^{(1)}$ : $a_9=a_{12}$	0,06 <sup>ns</sup>	1	0,808	$H_0^{(2)}$ : $b_0=b_3$	-2,79 <sup>ns</sup>	1	0,102
Identidade para o parâmetro c				Identidade para os parâmetros a, b e c			
Hipóteses	Fc	GL	P(F)	Hipóteses	Fc	GL	P(F)
$H_0^{(3)}$ : $c_6=c_{12}$	104,10*	1	0,000	$H_0^{(5)}$ : $a_6=a_{12}$ ; $b_6=b_{12}$ ; $c_6=c_{12}$	44,14*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_6=c_9$	3,85 <sup>ns</sup>	1	0,057	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_3$ ; $b_0=b_3$ ; $c_0=c_3$	35,75*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_6=c_9=c_{12}$	3,56 <sup>ns</sup>	1	0,066	$H_0^{(5)}$ : $a_3=a_6$ ; $b_3=b_6$ ; $c_3=c_6$	12,12*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_9$	1,62 <sup>ns</sup>	1	0,210	$H_0^{(5)}$ : $a_3=a_{12}$ ; $b_3=b_{12}$ ; $c_3=c_{12}$	11,32*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_3=c_6$	1,46 <sup>ns</sup>	1	0,234	$H_0^{(5)}$ : $a_3=a_9$ ; $b_3=b_9$ ; $c_3=c_9$	10,74*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_{12}$	0,89 <sup>ns</sup>	1	0,351	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_{12}$ ; $b_0=b_{12}$ ; $c_0=c_{12}$	8,42*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_9=c_{12}$	-0,01 <sup>ns</sup>	1	0,921	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_6$ ; $b_0=b_6$ ; $c_0=c_6$	7,79*	3	0,000
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_6$	-0,08 <sup>ns</sup>	1	0,779	$H_0^{(5)}$ : $a_0=a_9$ ; $b_0=b_9$ ; $c_0=c_9$	6,23*	3	0,001
$H_0^{(3)}$ : $c_3=c_9$	-0,59 <sup>ns</sup>	1	0,447	$H_0^{(5)}$ : $a_6=a_9=a_{12}$ ; $b_6=b_9=b_{12}$ ; $c_6=c_9=c_{12}$	2,12 <sup>ns</sup>	6	0,075
$H_0^{(3)}$ : $c_0=c_3$	-1,58 <sup>ns</sup>	1	0,216	$H_0^{(5)}$ : $a_6=a_9$ ; $b_6=b_9$ ; $c_6=c_9$	1,98 <sup>ns</sup>	3	0,133
$H_0^{(3)}$ : $c_3=c_{12}$	-2,88 <sup>ns</sup>	1	0,097	$H_0^{(5)}$ : $a_9=a_{12}$ ; $b_9=b_{12}$ ; $c_9=c_{12}$	0,50 <sup>ns</sup>	3	0,684
Estimativas dos parâmetros a, b e c para tempos de congelamento a -20 °C							
Parâmetros	0 dia	3 dias	6 dias	9 dias	12 dias	6,9,12 dias	
a	75,90887	97,42955	84,47049	85,83696	87,10428	85,81032	
b	115,83390	219,34957	267,17679	68,59787	90,61642	98,57347	
c	0,47319	0,51940	0,57233	0,40420	0,40496	0,43937	
R <sup>2</sup>	0,98214	0,99129	0,98360	0,98143	0,98360	0,98612	

$a_0, b_0, c_0$ : coeficientes da equação 0 dia de congelamento.  $a_3, b_3, c_3$ : coeficientes da equação 3 dias de congelamento.  $a_6, b_6, c_6$ : coeficientes da equação 6 dias de congelamento.  $a_9, b_9, c_9$ : coeficientes da equação 9 dias de congelamento.  $a_{12}, b_{12}, c_{12}$ : coeficientes da equação 12 dias de congelamento. ns: não significativo e \*: significativo à 5% de probabilidade.



**Figura 1:** Curvas de germinação acumulada para sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento para o modelo  $y = a/(1+be^{-cx})$ . Os parâmetros estimados para cada equação encontram-se na Tabela 2.

O Resumo da Análise de Variância para as variáveis IVG e a porcentagem final de germinação, referente aos cinco tratamentos, (tempo de congelamento a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) encontram-se na Tabela 3.

Para as variáveis IVG e a porcentagem final de germinação, não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes tempos de congelamento (Tabela 3) apesar das diferenças observadas na dispersão dos dados originais (Figura 1).

O IVG médio e a porcentagem final de germinação média para cada tempo de congelamento encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 3:** Resumo da Anova referente ao IVG e a porcentagem final de germinação, em sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

FV	GL	-----IVG-----		-----%Germinação-----	
		QM	P-valor	QM	P-valor
Tratamentos	4	0,274	0,755	0,061	0,422
Resíduo	15	0,579		0,059	
Total	19	0,853		0,119	
Coeficiente de variação		25,29%		18,73%	

**Tabela 4** – IVG médio e a porcentagem final de germinação em sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas a 5 tempos de congelamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias) a -20 °C

Variáveis	-----Tempo de congelamento (-20°C) em dias-----				
	0	3	6	9	12
IVG médio	1,72	2,35	2,13	2,12	2,02
Porcentagem final de germinação	79%	98%	87%	88%	89%

#### 4 Discussão

Os parâmetros “ $a_i$ ” representam a porcentagem máxima de sementes germinadas e é atingido assintoticamente com o aumento do tempo. Observando-se estimativas desses parâmetros (Tabela 2, Figura 1), verifica-se que, de fato, as sementes submetidas a três dias de congelamento atingiram a maior proporção de germinação. Como a estimativa do parâmetro “ $a_3$ ” foi significativamente diferente das demais, conclui-se então que os três dias de congelamento a -20 °C promoveram uma proporção final de germinação significativamente superior aos demais. Por outro lado, a porcentagem final de germinação, bem como o IVG, não foram significativos pelo teste F, ao considerar-se a Anova tradicional (Tabela 3). Portanto, o teste para identidade entre os parâmetros “ $a_i$ ” do modelo em questão foi mais eficaz para detectar as diferenças finais na taxa de germinação.

No presente modelo, o parâmetro “ $b$ ” define o ponto onde a reta corta o eixo “ $y$ ”. Ou seja, o valor esperado de “ $y$ ” quando “ $x$ ” tem valor nulo. Embora esse ponto, especificamente, tenha pouca importância do ponto de vista biológico, o valor de “ $b$ ” tem também implicações no comportamento da curva para valores de “ $x$ ” acima de zero. Quanto maior for o valor de “ $b$ ”, para um mesmo valor de “ $c$ ”, maior será o intervalo, semelhante a uma assíntota, em que a curva permanece próxima ao eixo “ $x$ ”. No presente trabalho, tal aspecto é importante, uma vez que o eixo “ $x$ ” se refere ao tempo e, portanto, quanto maior for “ $b$ ”, maior será o tempo em que a germinação levará para se iniciar. Considerando-se essas assertivas e os testes de identidade para as estimativas de “ $b$ ” (Tabela 2), pode-se concluir que, no trabalho em questão, o tempo (ou intervalo deste), onde a germinação teve seu início, não foi significativamente diferente em qualquer combinação envolvendo zero e nove dias de congelamento. Este é mais um aspecto que o IVG e a porcentagem final de germinação não permitem elucidar, mostrando novamente a eficácia do teste de identidade de modelos em estudos de germinação.

O parâmetro “ $c$ ” determina a inclinação máxima da curva. Ou seja, para um determinado “ $b$ ”, quanto menor for o valor de “ $c$ ” maior será o valor de “ $x$ ” referente à

curvatura máxima ou ponto de inflexão. Ressalta-se que os parâmetros “*b*” e “*c*” não são independentes; desta maneira, a identidade para os dois parâmetros analisados conjuntamente poderá ser não rejeitada, mesmo que o seja para cada parâmetro isoladamente.

Para os dados sob análise, considerando-se que no eixo “*x*” estão os valores de tempo, quanto menor for a estimativa de “*c*” mais lentamente a germinação ocorrerá (Figura 1). O que se pode inferir é que a germinação com doze dias de congelamento foi mais lenta do que a com seis (Tabela 2). As estimativas de “*c*” para os demais tempos de congelamento não diferiram entre si.

É oportuno ressaltar aqui uma observação: a identidade entre as estimativas de “*b*” foi rejeitada para os tempos de seis e doze dias de congelamento, mas não o foi para de seis e nove (Tabela 2). Ocorre que a diferença entre estas estimativas de “*b*” para o primeiro caso foi maior que para o segundo (Tabela 2). Essa aparente contradição pode ser decorrente da ação conjunta destes dois parâmetros.

Para os testes de identidade do modelo completo, observa-se que não foi rejeitada a identidade entre os tempos de congelamento com seis e nove dias e com nove e doze dias de congelamento. Embora tenha sido rejeitada, considerando-se seis e doze dias de congelamento, a identidade dos modelos não o foi quando se considerou um único modelo para tempo de congelamento a partir de seis dias (Tabela 2). Portanto, pode-se concluir que um único modelo representa o comportamento germinativo da espécie a partir de seis dias de congelamento (Figura 1).

O uso de equações para demonstrar o comportamento germinativo de sementes em relação aos índices de valor único foi ressaltado em alguns trabalhos (BROWN; MAYER, 1988b; TORRES; FRUTOS, 1989 e 1990; TIMMERMANS *et al.*, 2007; JOOSEN *et al.*, 2010).

Embora mais elucidativo que o método tradicional, o enfoque dado em tais trabalhos também deixa a desejar, uma vez que, em experimentos nos quais há mais de um tratamento sob hipótese, limita-se à estimação de parâmetros que determinam o melhor modelo para cada tratamento. O teste de identidade de modelos permite a comparação entre os parâmetros estimados, possibilitando o detalhamento do fenômeno biológico.

Na literatura, são encontrados diversos trabalhos que utilizam o teste de identidade de modelos lineares e não lineares. Estes são utilizados com frequência em outras áreas, tais como Zootecnia, Ciência do solo, Plantas daninhas, Ecofisiologia, dentre outras, o que demonstra a sua utilidade não apenas na germinação de sementes (SARMENTO *et al.*, 2006; CASALI, *et al.*, 2008; SILVA, *et al.*, 2008; TIRONI, *et al.*, 2009; POMPELLI, *et al.*, 2012).

Entretanto, sua aplicação ainda é pouco frequente e necessita ser melhor explorada na área de sementes.

## 5 Conclusão

O uso do teste de identidade de modelos não lineares é adequado e pode ser adotado para melhor elucidar o processo germinativo ao longo do tempo.

## 6 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, M.C.F.; RODRIGUES, T.J.D.; MONOHARA, L.; TEBALDI, N.D.; SILVA, L.M.M. Influência da temperatura e do substrato na germinação de sementes de saguaraji (*Colubrina glandulosa* Perk. – Rhamnaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.20, n.2, p.108-111, 1998.

BROWN, R.F.; MAYER, D.G. A critical analysis of Maguire's germination rate index. **Journal of Seed Technology**, v.10, n.2, p.101-110, 1986.

BROWN, R.F.; MAYER, D.G. Representing cumulative germinations. 1. A critical analysis of single-value germination indices. **Annals of Botany**, England, v.61, p.171-201, 1988a.

BROWN, R.F.; MAYER, D.G. Representing cumulative germination. 2. The use of the Weibull function and other empirically derived curves. **Annals of Botany**, England, v.61, p.127-138, 1988b.

CASALI, O.A.; DETMANN, E.; VALADARES-FILHO, S.C.; PEREIRA, J.C.; HENRIQUES, L.T.; FREITAS, S.G.; PAULINO, M.F. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n. 2, p.335-342, 2008

COSTA, C. B. N.; LAMBERT, S. M.; BORBA, E. L.; QUEIROZ, L. P. Post-zygotic Reproductive Isolation Between Sympatric Taxa in the *Chamaecrista desvauxii* Complex (Leguminosae–Caesalpinioideae). **Annals of Botany**, England, v.99, p.625-635, 2007.

GRUS, V.M.; DEMATTE, M.E.S.P.; GRAZIANO, T.T. Germinação de sementes de pau-ferro e cássia-javanesa submetidas a tratamentos para quebra de dormência. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.6, n.2, p.29-36, 1984.

JOOSEN, R.V.L.; KODDE, J.; WILLEMS, A.J.; LIGTERINK, W.; VAN DER PLAS, L.H.; HILHORST, W.M. Germinator: a software package for high-throughput scoring and curve fitting of Arabidopsis seed germination. **The Plant Journal**, v.62, p.148-159, 2010.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p.176-177, 1962.



POMPELLI, M.F.; ANTUNES, W.C.; FERREIRA, D.T.R.G.; CAVALCANTE, P.G.S.; WANDERLEY-FILHO, H.C.L.; ENDRES, L. Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. **Biomass and bioenergy**, v.36, p.77-85, 2012.

RAO, C.R. **Linear statistical inference and its applications**. New York: John Wiley, 1973.

REGAZZI, A.J.; SILVA, C.H.O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.22, n.3, p.33-45, 2004.

REGAZZI, A.J.; SILVA, C.H.O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p.315-320, 2010.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n.287, p.9-26, 2003.

SANTANA, D.G.; RANAL, M. Análise estatística na germinação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.12(Edição Especial), p.205-237, 2000.

SARMENTO, J. L.R.; REGAZZI, A.J.; SOUSA, W.H.; TORRES, R.A.; BREDA, F.C.; MENEZES, G.R.O. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.2, p.435-442, 2006.

SILVA, E.B.; SILVA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; FARNEZI, M.M. M.; FERREIRA, C.A.; COSTA, H.A.O.; HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2007-2013, 2008.

STATSOFT, INC. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**. 2010. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

TIMMERMANS, B.G.H.; VOS, J.; NIEUWBURG, J. VAN; STOMPH, T.J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L. Germination rates of *Solanum sisymbriifolium*: temperature response models, effects of temperature fluctuations and soil water potential. **Seed Science Research**, Netherlands, v.17, p.221-231, 2007.

TIRONI, S.P.; BELO, A.F.; FIALHO, M.C.T.; GALON, L.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; COSTA, M.D.; BARBOSA, M.H.P. Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, p.995-1004, Número Especial, 2009.

TORRES, M.; FRUTOS, G. Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. **Environmental and Experimental Botany**, Great Britain, v.29, n.3, p.409-415, 1989.

TORRES, M.; FRUTOS, G. Logistic function analysis of germination behaviour of aged fennel seeds. **Environmental and Experimental Botany**, Great Britain, v.30, n.3, p.383-390, 1990.

ZHANG, H.; IRVING, L.J.; MCGILL, C.; MATTHEWS, C.; ZHOU, D.; KEMP, P. The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: sodium as an osmotic regulator. **Annals of Botany**, England, v.106, p.1027-1035, 2010.

### 3. CONCLUSÕES GERAIS

O teste de identidade de modelos não lineares mostrou-se eficaz ao diferenciar-se equações ajustadas de diferentes tratamentos, contrariando os resultados da análise de variância para a porcentagem final de germinação e o IVG.

O congelamento de sementes de *Hymenaea courbaril*, associado à escarificação e embebição, pode ser utilizado na quebra de dormência de sementes dessa espécie, ocasionando uma maior velocidade de germinação e porcentagem final de germinação.

A variabilidade fenotípica encontrada para *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea martina* permite a seleção de matrizes potenciais para produção de sementes e mudas; além disso, pode ser utilizada para diferenciar as duas espécies.

## 4. APÊNDICE

### Passos para a realização do teste de identidade de modelos (Capítulo 3)

#### Passo 1: Ajuste dos dados a um mesmo modelo

Neste primeiro exemplo ajustou-se o modelo logístico  $y_{ij} = a_i / (1 + b_i e^{-c_i x_{ij}}) + \varepsilon_{ij}$  aos dados de germinação acumulada da espécie *Hymenaea courbaril* dos grupos 1 a 5, separadamente (Tabela1). Determinando se uma única equação poderia ser considerada adequada para descrever todos os grupos ou parte deles e se há certos parâmetros no modelo que poderiam ser considerados iguais nos grupos.

#### Passo 2: Formulação das hipóteses e cálculo dos parâmetros

As hipóteses são as mesmas mencionadas na metodologia. Os cálculos dos parâmetros são descritos a seguir:

Sendo  $g=2$ , introduziu-se mais duas variáveis independentes  $D_1$  e  $D_2$ , para identificar os grupos 1 e 2, respectivamente. O modelo completo adotado para analisar estes dados foi

$$y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_1}{1 + b_1 e^{-c_1 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_2}{1 + b_2 e^{-c_2 x_{ij}}} \right] + \varepsilon_{ij}$$

No grupo 1, utilizando-se os períodos de dias após semeadura  $x_A = 1$ ,  $x_B = 17$  e  $x_C = 33$  e as correspondentes germinação acumulada  $y_A = 0+1$ ,  $y_B = 70+1$  e  $y_C = 79 + 1$ , calculou-se a estimativa inicial  $\hat{a}_1$ , que é dada por:  $\hat{a}_1 = \frac{y_B(y_A y_B + y_B y_C - 2y_A y_C)}{y_B^2 - y_A y_C} = 80,01633$ .

Nos demais grupos, utilizando-se os mesmos períodos de dias após semeadura do grupo 1, temos a estimativa inicial  $\hat{a}_2 = 99,0042$ ,  $\hat{a}_3 = 80,0207$ ,  $\hat{a}_4 = 87,0104$  e  $\hat{a}_5 = 90,0035$ .

#### Cálculo de $\hat{b}_1$ e $\hat{c}_1$

No exemplo, obteve-se  $\hat{b}_1 = e^{4,274363} = 71,83436$  e  $\hat{c}_1 = 0,3179$ .

Para os demais parâmetros:  $\hat{b}_2 = 39,7863$ ,  $\hat{c}_2 = 0,4146$ ,  $\hat{b}_3 = 66,8221$ ,  $\hat{c}_3 = 0,3349$ ,  $\hat{b}_4 = 175,4193$ ,  $\hat{c}_4 = 0,4174$ ,  $\hat{b}_5 = 0,4174$  e  $\hat{c}_5 = 0,4174$ .

#### Passos 3: Cálculo da soma de quadrados do resíduo da regressão

As estimativas iniciais dos modelos restritos são obtidas por uma simples inspeção apropriada. Por exemplo, em  $\varpi_1$  a média das estimativas iniciais de  $a_1$  e  $a_2$  é usada como estimativa inicial de  $a$ , uma vez em que  $H_0^{(1)}$  tem-se a restrição  $a_1 = a_2 = a$ .

Assim, prossegue-se com o cálculo dos parâmetros e da soma de quadrados do resíduo da regressão (SQRR) para cada equação gerada em cada hipótese testada e para o modelo completo, utilizando o método de Gauss Newton (Tabela 2).

$$1. \text{ Modelo completo: } y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_0}{1 + b_0 e^{-c_0 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_3}{1 + b_3 e^{-c_3 x_{ij}}} \right]$$

$$a_0 = 80,01633 \quad a_3 = 99,0042 \quad b_0 = 71,83436 \quad b_3 = 39,7863 \quad c_0 = 0,3179 \quad c_3 = 0,4146$$

$$2. H_0^{(1)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a}{1 + b_0 e^{-c_0 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a}{1 + b_3 e^{-c_3 x_{ij}}} \right]$$

$$a = 89,5103 \quad b_0 = 71,83436 \quad b_3 = 39,7863 \quad c_0 = 0,3179 \quad c_3 = 0,4146$$

$$3. H_0^{(2)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_0}{1 + b e^{-c_0 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_3}{1 + b e^{-c_3 x_{ij}}} \right]$$

$$a_0 = 80,01633 \quad a_3 = 99,0042 \quad b = 55,8103 \quad c_0 = 0,3179 \quad c_3 = 0,4146$$

$$4. H_0^{(3)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_0}{1 + b_0 e^{-c x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_3}{1 + b_3 e^{-c x_{ij}}} \right]$$

$$a_0 = 80,01633 \quad a_3 = 99,0042 \quad b_0 = 71,83436 \quad b_3 = 39,7863 \quad c = 0,3662$$

$$5. H_0^{(5)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a}{1 + b e^{-c x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a}{1 + b e^{-c x_{ij}}} \right]$$

$$a = 89,5103 \quad b = 55,8103 \quad c = 0,3662$$

**Passos 4:** Comparação entre as equações por meio do teste F ou qui-quadrado.

Como o número de dados analisados totalizou 86 entre duas equações deve-se aplicar a estatística F.

**Tabela 1:** Germinação acumulada de sementes de *Hymenaea courbaril* armazenadas à - 20°C por diferentes períodos de congelamento

<b>DAS</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>	<b>DAS</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>
1	0	0	0	0	0	23	74	98	85	84	85
2	0	0	0	0	0	24	74	98	85	84	85
3	0	0	0	0	0	25	74	98	85	84	86
4	0	0	0	1	0	26	74	98	86	86	86
5	0	0	0	1	0	27	75	98	86	86	87
6	1	0	1	3	2	28	75	98	86	86	87
7	8	6	5	8	6	29	76	98	86	86	88
8	24	23	24	23	20	30	77	98	86	86	89
9	34	39	43	44	34	31	77	98	87	86	89
10	45	47	48	46	37	32	77	98	87	86	89
11	51	62	59	53	44	33	79	98	87	86	89
12	55	73	67	60	54	34	79	98	87	88	89
13	59	73	70	61	64	35	79	98	87	88	89
14	61	75	72	63	66	36	79	98	87	88	89
15	62	83	73	66	69	37	79	98	87	88	89
16	65	89	74	72	72	38	79	98	87	88	89
17	70	92	76	78	76	39	79	98	87	88	89
18	70	94	77	80	76	40	79	98	87	88	89
19	71	98	80	80	77	41	79	98	87	89	89
20	73	98	80	82	81	42	79	98	87	89	89
21	74	98	82	83	84	43	79	98	87	89	89
22	74	98	84	83	84						

DAS = Dias após semeadura; G = Grupo; 0 dias de congelamento (G1), 3 dias de congelamento (G2), 6 dias de congelamento (G3), 9 dias de congelamento (G4) e 12 dias de congelamento (G5).

**Tabela 2:** Estimativas dos parâmetros do modelo completo ( $\Omega$ ) e modelos reduzidos ( $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ ) e as respectivas somas de quadrados do resíduo da regressão (SQRes) para a equação de germinação de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas as 5 tempos de congelamento (0,3,6,9 e 12 dias) à  $-20^\circ\text{C}$

Parâmetros	Sem restrição( $\Omega$ )	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	Parâmetros	Sem restrição( $\Omega$ )	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>
<b>a0</b>	76,9620	-	76,6798	76,7207	-	<b>a0</b>	76,9623	-	77,06026	77,3186	-
<b>b0</b>	100,5656	13,8891	-	133,8843	-	<b>b0</b>	100,5430	42,1107	-	69,5354	-
<b>c0</b>	0,4620	0,2145	0,5065	-	-	<b>c0</b>	0,4620	0,3487	0,44771	-	-
<b>a3</b>	98,4695	-	98,6212	98,6060	-	<b>a12</b>	88,1622	-	88,08433	87,8637	-
<b>b3</b>	194,1629	497,8459	-	165,3947	-	<b>b12</b>	80,4827	142,6710	-	103,4990	-
<b>c3</b>	0,5101	0,6317	0,4873	-	-	<b>c12</b>	0,3967	0,4695	0,40456	-	-
<b>a</b>	-	90,7687	-	-	87,7142	<b>a</b>	-	82,8669	-	-	82,59530
<b>b</b>	-	-	153,8455	-	142,4206	<b>b</b>	-	-	77,06026	-	82,28599
<b>c</b>	-	-	-	0,4935	0,4873	<b>c</b>	-	-	-	0,4215	0,41758
<b>SQRes</b>	5335,975	12587,14	5140,41	5224,939	12488,64	<b>SQRes</b>	5242,746	6947,947	7371,685	5303,948	6898,732
<b>a0</b>	76,9619	-	76,6907	76,6003	-	<b>a3</b>	98,4695	-	98,4335	98,3362	-
<b>b0</b>	100,5720	49,7986	-	156,6074	-	<b>b3</b>	194,1566	398,7123	-	228,9758	-
<b>c0</b>	0,4620	0,3701	0,5048	-	-	<b>c3</b>	0,5101	0,6028	0,5156	-	-
<b>a6</b>	85,5234	-	85,7576	85,8280	-	<b>a6</b>	85,5229	-	85,5782	85,7176	-
<b>b6</b>	226,9935	477,1271	-	147,8230	-	<b>b6</b>	227,1315	65,2857	-	171,2703	-
<b>c6</b>	0,5583	0,6542	0,5151	-	-	<b>c6</b>	0,5583	0,4010	0,5476	-	-
<b>a</b>	-	81,6775	-	-	81,2280	<b>a</b>	-	92,4878	-	-	92,0312
<b>b</b>	-	-	151,3055	-	148,3849	<b>b</b>	-	-	205,3879	-	193,8932
<b>c</b>	-	-	-	0,5108	0,5084	<b>c</b>	-	-	-	0,5271	0,5241
<b>SQRes</b>	5038,862	6154,197	5016,34	5033,356	6511,719	<b>SQRes</b>	5461,918	8342,155	5501,309	5566,783	7943,877
<b>a0</b>	76,9631	-	77,17975	77,31237	-						
<b>b0</b>	100,4905	46,5033	-	69,94743	-						
<b>c0</b>	0,4619	0,3613	0,43109	-	-						
<b>a9</b>	86,8839	-	86,70457	86,57981	-						
<b>b9</b>	61,8870	103,0828	-	78,30110	-						
<b>c9</b>	0,3970	0,4676	0,41548	-	-						
<b>a</b>	-	82,1628	-	-	81,92041						
<b>b</b>	-	-	74,59819	-	75,29911						
<b>c</b>	-	-	-	0,42217	0,42391						
<b>SQRes</b>	5737,029	7174,127	5845,467	5859,114	7077,202						

Continuação: Tabela 2

Parâmetros	Sem restrição( $\Omega$ )	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	Parâmetros	Sem restrição( $\Omega$ )	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>
<b>a3</b>	98,4686	-	98,8296	98,9190	-	<b>a6</b>	88,5227	-	85,9077	86,2315	-
<b>b3</b>	194,4089	352,8454	-	118,0872	-	<b>b6</b>	227,1680	179,7208	-	92,0340	-
<b>c3</b>	0,5102	0,5869	0,4578	-	-	<b>c6</b>	0,5583	0,5284	0,4901	-	-
<b>a9</b>	86,8838	-	86,3267	86,1884	-	<b>a12</b>	88,1622	-	87,8159	87,4743	-
<b>b9</b>	61,8901	32,5716	-	110,0835	-	<b>b12</b>	80,4829	93,4354	-	150,6255	-
<b>c9</b>	0,3970	0,3115	0,4577	-	-	<b>c12</b>	0,3967	0,4154	0,4332	-	-
<b>a</b>	-	93,4585	-	-	92,6079	<b>a</b>	-	86,7702	-	-	86,8457
<b>b</b>	-	-	113,5873	-	109,2940	<b>b</b>	-	-	119,3814	-	107,8578
<b>c</b>	-	-	-	0,4589	0,4540	<b>c</b>	-	-	-	0,4585	0,4508
<b>SQRes</b>	6239,628	8236,52	6114,865	6190,961	8753,131	<b>SQRes</b>	2341,481	5477,501	5500,992	5548,552	6216,784
<b>a3</b>	98,4695	-	98,7464	98,9310	-	<b>a9</b>	86,88366	-	86,75591	86,88542	-
<b>b3</b>	194,1628	329,0687	-	116,6445	-	<b>b9</b>	61,89111	58,02486	-	61,81826	-
<b>c3</b>	0,5101	0,5779	0,4694	-	-	<b>c9</b>	0,39698	0,38818	0,41006	-	-
<b>a12</b>	88,1622	-	87,7587	87,4830	-	<b>a12</b>	88,16205	-	88,28535	88,16067	-
<b>b12</b>	80,4830	43,3116	-	149,2315	-	<b>b12</b>	80,48684	86,16563	-	80,57976	-
<b>c12</b>	0,3967	0,3213	0,4397	-	-	<b>c12</b>	0,39674	0,40528	0,38475	-	-
<b>a</b>	-	94,0244	-	-	93,2131	<b>a</b>	-	87,52308	-	-	87,55187
<b>b</b>	-	-	127,9698	-	125,4149	<b>b</b>	-	-	70,63602	-	68,77714
<b>c</b>	-	-	-	0,4576	0,4539	<b>c</b>	-	-	-	0,39685	0,39402
<b>SQRes</b>	5718,751	7531,749	5525,954	5502,295	8145,649						
<b>a6</b>	85,5240	-	86,0136	86,2161	-						
<b>b6</b>	226,8590	201,0188	-	93,5509	-						
<b>c6</b>	0,5582	0,5427	0,4734	-	-						
<b>a9</b>	86,8839	-	86,4209	86,1736	-						
<b>b9</b>	61,8873	66,6020	-	111,5691	-						
<b>c9</b>	0,3970	0,4070	0,4468	-	-						
<b>a</b>	-	86,1660	-	-	86,1673						
<b>b</b>	-	-	101,9429	-	102,0467						
<b>c</b>	-	-	-	0,4603	0,4609						

Para todas as equações o número de graus de liberdade do resíduo da regressão foi 80, 81, 81, 81, 82 e 83 respectivamente para Sem restrição( $\Omega$ ), W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub> e W<sub>5</sub>. Os índices 0, 3, 6, 9 e 12, são referentes às equações de 0, 3, 6, 9 e 12 dias de congelamento, respectivamente.

Pelo teste F os tratamentos 6 e 9; e 9 e 12 foram estatisticamente iguais, porém 6 foi estatisticamente diferente de 12. Sendo assim foi realizado o teste de identidade de modelos não lineares entre estes 3 tratamentos. Com o resultado concluiu-se que estes três tratamentos são estatisticamente iguais (Tabela 3)

$$1. \text{ Modelo completo: } y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_6}{1 + b_6 e^{-c_6 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_9}{1 + b_9 e^{-c_9 x_{ij}}} \right] + D_3 \left[ \frac{a_{12}}{1 + b_{12} e^{-c_{12} x_{ij}}} \right]$$

$$a_6 = 88,0207 \quad a_9 = 87,0103 \quad a_{12} = 90,0035 \quad b_6 = 66,8221 \quad b_9 = 175,4192 \quad b_{12} = 175,4192$$

$$c_6 = 0,3348 \quad c_9 = 0,41738 \quad c_{12} = 0,4173$$

$$2. H_0^{(1)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a}{1 + b_6 e^{-c_6 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a}{1 + b_9 e^{-c_9 x_{ij}}} \right] + D_3 \left[ \frac{a}{1 + b_{12} e^{-c_{12} x_{ij}}} \right]$$

$$a = 88,34487 \quad b_6 = 66,8221 \quad b_9 = 175,4192 \quad b_{12} = 175,4192 \quad c_6 = 0,3348 \quad c_9 = 0,41738$$

$$c_{12} = 0,4173$$

$$3. H_0^{(2)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_6}{1 + b e^{-c_6 x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_9}{1 + b e^{-c_9 x_{ij}}} \right] + D_3 \left[ \frac{a_{12}}{1 + b e^{-c_{12} x_{ij}}} \right]$$

$$a_6 = 88,0207 \quad a_9 = 87,0103 \quad a_{12} = 90,0035 \quad b = 139,2202 \quad c_6 = 0,3348 \quad c_9 = 0,41738$$

$$c_{12} = 0,4173$$

$$4. H_0^{(3)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a_6}{1 + b_6 e^{-c x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a_9}{1 + b_9 e^{-c x_{ij}}} \right] + D_3 \left[ \frac{a_{12}}{1 + b_{12} e^{-c x_{ij}}} \right]$$

$$a_6 = 88,0207 \quad a_9 = 87,0103 \quad a_{12} = 90,0035 \quad b_6 = 66,8221 \quad b_9 = 175,4192 \quad b_{12} = 175,4192$$

$$c = 0,389887$$

$$5. H_0^{(5)} - y_{ij} = D_1 \left[ \frac{a}{1 + b e^{-c x_{ij}}} \right] + D_2 \left[ \frac{a}{1 + b e^{-c x_{ij}}} \right] + D_3 \left[ \frac{a}{1 + b e^{-c x_{ij}}} \right]$$

$$a = 88,34487 \quad b = 139,2202 \quad c = 0,3898$$



**Tabela 3:** Estimativas dos parâmetros do modelo completo ( $\Omega$ ) e modelos reduzidos ( $\varpi_1, \varpi_2, \varpi_3, \varpi_4$ ) e as respectivas somas de quadrados do resíduo da regressão (SQRes) para a equação de germinação de sementes de *Hymenaea courbaril* submetidas à 6, 9 e 12 dias de congelamento à  $-20^\circ\text{C}$

Parâmetros	Sem restrição( $\Omega$ )	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$
<b>a6</b>	85,5225	-	86,07722	86,4387	-
<b>b6</b>	227,2307	178,4169	-	74,6302	-
<b>c6</b>	0,5584	0,5275	0,46381	-	-
<b>a9</b>	86,8839	-	86,50207	86,4318	-
<b>b9</b>	61,8876	62,3715	-	88,5885	-
<b>c9</b>	0,397	0,398	0,43756	-	-
<b>a12</b>	88,1622	-	88,0305	87,71	-
<b>b12</b>	80,4831	93,065	-	119,1943	-
<b>c12</b>	0,3967	0,4149	0,41009	-	-
<b>a</b>	-	86,8069	-	-	86,86314
<b>b</b>	-	-	93,0305	-	87,50467
<b>c</b>	-	-	-	0,4354	0,43052
<b>SQRes</b>	8710,232	8794,504	8953,715	9005,563	9634,005
<b>GLres</b>	120	122	122	122	126