



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Letícia Guimarães de Andrade

**Ecofisiologia de sementes de espécies nativas dos campos de altitude do
Itatiaia (RJ): uma abordagem baseada nas previsões das mudanças
climáticas provocadas pelo aquecimento global**

Rio de Janeiro

2020

Letícia Guimarães de Andrade

**Ecofisiologia de sementes de espécies nativas dos campos de altitude do Itatiaia (RJ):
uma abordagem baseada nas previsões das mudanças climáticas provocadas pelo
aquecimento global**

Tese apresentada, como requisito parcial para
obtenção do título de Doutora, ao Programa de
Pós-Graduação em Biologia Vegetal, da
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Silva de Andrade

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

A553 Andrade, Leticia Guimarães de.
Ecofisiologia de sementes de espécies nativas dos campos de altitude do Itatiaia (RJ): uma abordagem baseada nas previsões das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global/ Leticia Guimarães de Andrade – 2020.
181 f. : il.

Orientador: Antônio Carlos Silva de Andrade.
Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes.

1. Ecologia vegetal – Itatiaia (RJ) – Teses. 2. Fisiologia vegetal – Itatiaia (RJ) – Teses. 3. Mudanças climáticas – Aspectos ambientais – Teses. 4. Aquecimento global – Teses. I. Andrade, Antônio Carlos Silva de. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes. III. Título.

CDU 581.5

Patrícia Bello Meijinhos – CRB7- 5217 - Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica.

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Letícia Guimarães de Andrade

**Ecofisiologia de sementes de espécies nativas dos campos de altitude do Itatiaia (RJ):
uma abordagem baseada nas previsões das mudanças climáticas provocadas pelo
aquecimento global**

Tese apresentada, como requisito parcial para
obtenção do título de Doutora, ao Programa de
Pós-Graduação em Biologia Vegetal, da
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Aprovada em 30 de setembro de 2020.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antônio Carlos Silva de Andrade
Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Dulce Gilson Mantuano
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Norma Albarello
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Prof.^a Dra. Rita de Cássia Quitete Portela
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago Böer Breier
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2020

AGRADECIMENTOS

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal pelas disciplinas ministradas, aos coordenadores e funcionários, pelo apoio administrativo.

À Faperj pela concessão da bolsa.

À equipe do PNI, todos nos receberam muito bem, desde o Leo Nascimento, responsável pela pesquisa no parque, quanto os rapazes da guarita da parte alta, os quais nos orientaram sobre os acessos do parque, além de boas conversas e risadas!

Ao meu orientador Antônio Carlos pela oportunidade concedida. À técnica no Laboratório de Sementes Ana Paula por toda ajuda, conversas, desabafos, receitas, almoços, ótimos momentos nesses mais de 10 anos de convívio. Aos técnicos, Charles, Ricardo e Paulo Rogério, pela ajuda com beneficiamento de sementes e outras coisas, pelas conversas, momentos alegres no laboratório! Ao amigo e coletor de sementes Fabiano, que fez das coletas um momento muito especial com muitas risadas, e sem ele não seria possível a realização deste trabalho! Aos motoristas Carlos e Daniel pelas idas e voltas à Itatiaia, pela ajuda nas coletas e principalmente pelas risadas, o que com certeza tornaram o trabalho de campo muito bom! A professora Tânia Sampaio pela amizade, conselhos e suporte!

Um agradecimento especial aos dois presentes que Deus colocou na minha vida, Wallace e Cristina, que se tornaram grandes amigas. Obrigada pela ajuda na realização do trabalho, por me escutar, pelos conselhos, risadas, companhia, saídas, pelos quitutes (o que seria do Laboratório de Sementes sem os quitutes da Cris), por tudo. Sem dúvida tornaram essa etapa da minha vida especial. Aos alunos Victória, Sara, Juliana, Jéssica pela ajuda e conversas descontraídas no laboratório!

À Deus e todos os meus *amigos de luz* que sempre estiveram comigo em todos os momentos da minha vida, me ajudando, me apoiando, me erguendo em inúmeras situações difíceis.

À minha mãe que sempre me apoiou nas minhas escolhas, e ao meu pai que concretizou meu sonho, e aos dois pelo amor e por me ensinarem inúmeras coisas nesta vida. Às minhas irmãs Lívia e Luciana, mesmo longe sempre estiveram do meu lado. Muitos momentos de apoio, conversas e diversão. Amo muito!

Sábio é o ser humano que tem coragem de ir diante do espelho da sua alma para reconhecer seus erros e fracassos e utilizá-los para plantar as mais belas sementes no terreno de sua inteligência.

Augusto Cury

RESUMO

ANDRADE, Leticia Guimarães de. *Ecofisiologia de sementes de espécies nativas dos campos de altitude do Itatiaia (RJ): uma abordagem baseada nas previsões das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global*. 2020. 181 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Os campos de altitude são encontrados nos topos das montanhas associados à Mata Atlântica e Amazônia. Devido ao seu isolamento e características edafoclimáticas, este ecossistema é um importante centro de diversidade e endemismo. Diante da ausência de estudos ecofisiológicos de sementes em nível de comunidade para este ecossistema, e considerando a vulnerabilidade diante de ações antrópicas e das mudanças climáticas, torna-se relevante o conhecimento sobre as estratégias de germinação sob diferentes abordagens germinativas. Neste trabalho, foram coletadas 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia para avaliar o comportamento de germinação, viabilidade, longevidade, presença/ausência de dormência e condições de estresse abiótico. Assim, diferentes experimentos foram realizados: temperaturas constantes (20°C) e alternadas (15-25, 20-30 e 25-35°C); presença/ausência de luz; efeito do choque térmico (80, 100 e 120°C); efeito do estresse hídrico (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0MPa) *versus* temperatura (15, 20, 25, 30 e 35°C); diferentes condições de armazenamento (frio-úmido (10°C, 85%UR), frio-seco (10°C, 10%UR) e freezer-seco (-20°C, 10% UR)); e interações com as características funcionais (massa, taxa de embebição, forma de vida e período de dispersão). A maioria das espécies não apresentou necessidade de alternância de temperatura, mas necessitou de luz para germinar. A dormência foi encontrada na maioria das espécies, e a dormência fisiológica foi a mais frequente. No geral, as sementes apresentaram tamanho pequeno, o qual foi significativamente correlacionado com a necessidade luz para germinar. Fanerófita foi a forma de vida mais frequente, assim como a estação chuvosa entre os períodos de dispersão. A maioria das espécies apresentou comportamento sensível ou tolerante a 80°C, e apenas cinco espécies foram estimuladas pelos tratamentos do choque térmico. As características funcionais mostraram efeitos significativos com as respostas do choque térmico, estresse hídrico *versus* temperatura. A germinação foi afetada significativamente pelo aumento do potencial hídrico e da temperatura. As condições de armazenamento afetaram as repostas germinativas, que diminuíram com o aumento da temperatura e duração do armazenamento. Armazenamento nas condições secas a 10°C e -20°C foram capazes de manter a viabilidade por 2,5 anos em comparação com o armazenamento úmido. Os níveis de dormência foram afetados pelas condições de armazenamento, além de variarem entre as espécies. Os resultados apresentados indicam que as respostas de germinação são espécie-específicas às condições ambientais, e são importantes na estruturação da comunidade dos campos de altitude. Além disso, os resultados sugerem que a fase de germinação provavelmente será afetada pelas mudanças climáticas. Assim, o clima mais quente e seco previsto, afetará o recrutamento de muitas espécies, resultando em proporções alteradas de germinação e, conseqüentemente, mudança na composição da comunidade deste ecossistema. À semelhança de vegetação das montanhas no mundo, ações para mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre a flora dos campos de altitude devem ser tomadas rapidamente, antes que muitas espécies se tornem criticamente ameaçadas. Além disso, essas ações serão importantes para caracterizar o impacto dos padrões das mudanças climáticas e quantificar seus efeitos sobre os organismos.

Palavras-chave: Estratégia de germinação. Choque térmico. Estresse hídrico. Armazenamento de sementes. Mudanças climáticas. Características funcionais.

ABSTRACT

ANDRADE, Leticia Guimarães de. *Seed eco-physiology of native species from the Itatiaia (RJ) tropical montane grasslands: An approach based on climate change predictions caused by global warming*. 2020. 181 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Tropical montane grasslands are found on mountain tops, associated to the Atlantic Forest and Amazon. Due to their isolation and edaphoclimatic characteristics, this ecosystem is an important center of diversity and endemism. There are no seed eco-physiological studies of this plant community, and considering the vulnerability and threatened by anthropogenic actions and climate change, it becomes relevant the knowledge about germination strategies under different germinative approaches. In this work, 68 plant species from Itatiaia tropical montane grasslands were collected to evaluate the germination behavior, viability, longevity, presence/absence of seed dormancy, and germination under abiotic stress conditions. Thus, different experiments were performed: constant (20°C) and alternating (15-25, 20-30 and 25-35°C) temperatures; presence/absence of light; effect of heat shock (80°C, 100°C and 120°C); effect of water stress (0.0; -0.15; -0.3; -0.4; -0.6; -0.8; -1.0MPa) *versus* temperature (15°C, 20°C, 25°C, 30°C, and 35°C); different storage conditions (cold-wet (10°C, 85%RH), cold-dry (10°C, 10%RH), and freeze-dry (-20°C, 10%RH)), besides the relationship with functional traits (seed mass, imbibition tax, life form and dispersion period). Most species did not show alternating temperature requirement, but demonstrated light requirement to germinate. Seed dormancy was found in most species, and physiological dormancy was the most frequent. In general, seeds showed small size that was significantly correlated with light requirement. Phanerophyte was the most frequent life form, and raining season was the most frequent among dispersion periods. Most species were sensitive or tolerant at 80°C, and only five species were stimulated by heat shock treatments. The functional traits of species showed significant effects with heat shock and water stress *versus* temperature on germinative responses. Germination was significantly affected by increasing of water stress and temperature. Storage conditions affected the germinative responses, which were reduced with the increase of temperature and duration of storage. Dry storage at 10°C and -20°C was able to maintain seed viability for 2.5 years in comparison to wet storage. The dormancy levels were affected by storage conditions, varying between species. These results indicate that germination responses are species-specific to the environmental conditions, being important in structuring the tropical montane grasslands community. In addition, these results indicate that climate change will likely affect the germination stages. Thus, the predicted warmer and dryer climate will affect the recruitment of many species, resulting in altered proportions of germination and subsequently change in community composition of this ecosystem. Additionally, similar to mountain ecosystems in the world, actions to mitigate the effects of climate changes on vegetation of tropical montane grasslands, are urgent before many species becomes critically endangered. In addition, these actions will be important to characterize the impact of climate change patterns and quantify their effects on organisms.

Keywords: Germination strategies. Heat-shock. Water stress. Seed storage. Climate change. Functional traits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Distribuição dos valores do peso seco das sementes de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	42
Figura 2 –	Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%), e dias de germinação ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20 °C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	43
Figura 3 –	Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%) e dias ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) para cada forma de vida de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	45
Figura 4 –	Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%) e dias ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) para cada período de dispersão de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	47
Figura 5 –	Relação entre a massa de sementes e a germinação relativa na luz (GRL), e germinação relativa na temperatura alternada (GRTA).....	49
Figura 6 –	Comparações dos índices de germinação relativa GRL (conjunto de box plots pretos) e GRTA (conjunto de box plots azuis) entre as quatro formas de vida, e os três períodos de dispersão de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	49
Figura 7 –	Análise de PCA e análise de cluster de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. No PCA está representada a variação das características de germinação (G), viabilidade (V) nas temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C e 20-30°C), e a taxa de embebição (TE). Na análise de cluster estão representados os agrupamentos das espécies nas duas primeiras dimensões (Dim1 e Dim2).....	52
Figura 8 –	Comparação dos valores médios de germinação (G%) e viabilidade (V%) entre o tratamento controle e os tratamentos de choque térmico para cada forma de vida (A) e período de dispersão (B) de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	67
Figura 9 –	Efeito do aumento da temperatura (15°C, 20°C, 25°C, 30°C e 35°C) na	

	porcentagem de germinação em 0,0 MPa para dez espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	85
Figura 10 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Hippeastrum morelianum</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa)	86
Figura 11 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Baccharis maxima</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa)	87
Figura 12 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Vriesea itatiaiae</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa)	88
Figura 13 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Actinocephalus polyanthus</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa)	89
Figura 14 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Mimosa itatiaiensis</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa)	90
Figura 15 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Gelasine coerulea</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0Mpa)	91
Figura 16 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Sisyrinchium wettsteinii</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa)	92

Figura 17 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Pleroma hospitum</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).....	93
Figura 18 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Fuchsia regia</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).....	94
Figura 19 –	Porcentagem de germinação de sementes de <i>Buddleja speciosissima</i> em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).....	95
Figura 20 –	Mudanças temporais (média \pm 1 se) nas porcentagens de viabilidade, germinação e dormência de 47 espécies após o armazenamento de sementes nas condições frio-úmido FU (10°C, 85%UR), frio-seco FS (10°C, 10%UR) e freezer-seco FZ (-20°C, 10%UR).....	106
Figura 21 –	Mudanças no índice de dormência (DI) de sementes frescas e armazenadas após 12 e 30 meses sob condições de armazenamento frio-seco (FS) e freezer-seco (FZ).....	107
Figura 22 –	Análise de PCA e análise de cluster. No PCA está representada a variação das características de germinação (G), viabilidade (V) e dormência (D) de sementes frescas (f) e armazenadas (st) na condição freezer-seco (-20°C,10%UR), além da massa de sementes (MASS). Na análise de cluster estão representados os agrupamentos das espécies nas duas primeiras dimensões (Dim1 e Dim2).....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Contribuição (Ctr) das características de germinação das sementes nas temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C e 20-30°C), e taxa de embebição (TE%); valores dos coeficientes de Spearman (ρ); variância e variância cumulativa explicada pelos dois principais componentes do PCA (Dim1 e Dim2)	51
Tabela 2 –	Resultados do GLM, testando o efeito de tratamentos de choque térmico (80°C, 100°C e 120°C), forma de vida e período de dispersão na germinação de sementes de 44 espécies dos campos de altitude do Itatiaia...	66
Tabela 3 –	Lista de 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Itatiaia e suas características.....	68
Tabela 4 –	Lista de espécies, família, código da espécie (CD), forma de vida (FV), período de dispersão (PD) e massa seca das sementes de 10 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	83
Tabela 5 –	Resultados do GLM, testando o efeito de tratamentos de estresse hídrico e temperatura, e suas as interações, com a forma de vida, período de dispersão e a massa das sementes na resposta germinativa de 10 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	84
Tabela 6 –	Contribuição (Ctr) das respostas germinativas das sementes frescas (f) e armazenadas (st) após 30 meses na condição freezer-seco e massas das sementes (MASS); valores dos coeficientes de Spearman (ρ); variância e variância cumulativa explicada pelos dois principais componentes do PCA (Dim1 e Dim2)	109
Tabela 7 –	Lista de 47 espécies dos campos de altitude, código das espécies (CD), respostas germinativas de sementes frescas (f) e armazenadas (st) após 12 e 30 meses na condição freezer-seco (-20°C, 10%UR). Germinação (G), viabilidade (V) e dormência (D), e agrupamento da análise de cluster.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

As	Espécies asazonais
Cam	Caméfitas
CD	Código das espécies
Ch	Dispersão na estação chuvosa
Crt	Contribuição das variáveis no PCA
DI	Índice da dormência
Dim1	Dimensão 1 do PCA
Dim2	Dimensão 2 do PCA
DF	Dormência fisiológica
Df	Dormência de sementes frescas
DM	Dormência morfológica
Dst	Dormência de sementes armazenadas
Fa	Fanerófita
FS	Dormência física
FV	Forma de vida
G	Geófita
G%	Porcentagem final de germinação das sementes
Galt	Porcentagem de germinação na temperatura alternada
Gconst	Porcentagem de germinação na temperatura constante
Ge	Porcentagem de germinação no escuro
Gf	Germinação de sementes frescas
Gl	Porcentagem de germinação na luz
GLM	Modelo Linear Generalizado
GRL	Germinação relativa na luz
GRTA	Germinação relativa na temperatura alternada
Gst	Germinação de sementes armazenadas
H	Hemicriptófita
HRJ	Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
IPJBRJ	Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro
KCl	Cloreto de potássio

MASS	Massa seca das sementes
MF	Dormência morfofisiológica
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
ND	Não dormente
PCA	Análise dos Componentes Principais
PD	Período de dispersão
PEG 8000	Polietilenoglicol 8000
PNI	Parque Nacional do Itatiaia
S	Dispersão na estação seca
TE%	Taxa de embebição
T _{50%}	Tempo em dias para atingir 50% da germinação final
V%	Porcentagem de viabilidade das sementes
Vf	Viabilidade de sementes frescas
Vst	Viabilidade de sementes armazenada

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	18
1	REVISÃO DA LITERATURA	20
1.1	Mudanças climáticas	20
1.2	Ecossistemas de montanhas	22
1.2.1	<u>Ecossistemas de montanhas no Brasil – Campos de altitude</u>	23
1.3	Aspectos ecofisiológicos das sementes	25
1.4	Mudanças climáticas no recrutamento via sementes	27
1.5	Conservação de sementes	28
2	OBJETIVOS	30
3	ESTRATEGIAS DE GERMINAÇÃO DE 68 ESPÉCIES DOS CAMPOS DE ALTITUDE: UM ECOSSISTEMA TROPICAL AMEAÇADO	31
3.1	Introdução	31
3.2	Objetivos	33
3.3	Material e métodos	33
3.3.1	<u>Área de estudo</u>	33
3.3.2	<u>Coleta de material vegetal</u>	35
3.3.3	<u>Características funcionais (plantas e sementes)</u>	35
3.3.4	<u>Efeito da temperatura constante e alternada, e luz na germinação</u>	36
3.3.5	<u>Parâmetros para avaliação do requerimento de temperatura alternada e luz na germinação</u>	37
3.3.6	<u>Viabilidade das sementes</u>	38
3.3.7	<u>Potenciais classes de dormência</u>	39
3.3.8	<u>Análise estatística</u>	39
3.3.8.1	<u>Análises de PCA e cluster</u>	40
3.4	Resultados	41
3.4.1	<u>Características funcionais</u>	41
3.4.2	<u>Efeito da temperatura nas respostas germinativas</u>	42
3.4.3	<u>Respostas germinativas <i>versus</i> características funcionais</u>	44
3.4.4	<u>Germinação relativa na temperatura alternada e na luz</u>	48
3.4.5	<u>Dormência das sementes</u>	50
3.4.6	<u>Análise de PCA e cluster</u>	50

3.5	Discussão	53
3.6	Conclusões	58
4	EFEITO DO CHOQUE TÉRMICO NAS RESPOSTAS GERMINATIVAS DE 44 ESPÉCIES DOS CAMPOS DE ALTITUDE DO ITATIAIA	59
4.1	Introdução	59
4.2	Objetivos	61
4.3	Material e métodos	62
4.3.1	<u>Coleta de sementes</u>	62
4.3.2	<u>Choque térmico e germinação das sementes</u>	62
4.3.3	<u>Análise estatística</u>	63
4.4	Resultados	64
4.4.1	<u>Efeito do choque térmico na germinação e viabilidade das sementes</u>	64
4.4.2	<u>Choque térmico <i>versus</i> características funcionais</u>	66
4.5	Discussão	71
4.6	Conclusões	76
5	RESPOSTAS GERMINATIVA DE DEZ ESPÉCIES AOS EFEITOS DO AUMENTO DE TEMPERATURA E DO ESTRESSE HÍDRICO, COMO RESULTADO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	77
5.1	Introdução	77
5.2	Objetivos	79
5.3	Material e métodos	79
5.3.1	<u>Coleta de sementes</u>	79
5.3.2	<u>Influência do estresse hídrico e temperatura na germinação e viabilidade das sementes</u>	80
5.3.3	<u>Análise estatística</u>	81
5.4	Resultados	81
5.5	Discussão	95
5.6	Conclusão	98
6	EFEITO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DAS SEMENTES DE 47 ESPÉCIES DOS CAMPOS DE ALITUDE: UMA ABORDAGEM BASEADA NO BANCO DE SEMENTES PARA A RESTAURAÇÃO DO ECOSISTEMA AMEAÇADO	99

6.1	Introdução	99
6.2	Objetivos	101
6.3	Material e métodos	102
6.3.1	<u>Coleta de sementes</u>	102
6.3.2	<u>Armazenamento das sementes</u>	102
6.3.3	<u>Teste de germinação</u>	102
6.3.4	<u>Análise estatística</u>	103
6.4	Resultados	104
6.4.1	<u>Efeito do armazenamento nas respostas germinativas</u>	104
6.4.2	<u>Alterações no estado de dormência de sementes</u>	105
6.4.3	<u>Análises de PCA e cluster após armazenamento a -20°C</u>	108
6.5	Discussão	113
6.6	Conclusão	116
	DISCUSSÃO GERAL	117
	CONCLUSÕES FINAIS	118
	PERSPECTIVAS	119
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A - Lista das famílias, espécies, código das espécies (CD), número de tombo do Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (N° HRJ), forma de vida ((FV) geófita - G, Caméfitas – Cam, Hemicriptófitas – H, Fanerófitas – Fa), massa seca da semente (MS); período de dispersão ((PD) estação chuvosa – Ch, estação seca – S, dispersão nas duas estações – As) para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	148
	APÊNDICE B - Porcentagem final de germinação (Gf) e viabilidade (V) nas temperaturas constante de 20°C e alternadas de 15-25°C (luz e escuro), 20-30°C e 25-35°C para as 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	151
	APÊNDICE C - Dias necessários para atingir 50% da germinação total (T _{50%}), nas temperaturas constante de 20°C, e alternadas de 15-25°C, 20-30°C e 25-35°C; valores da germinação relativa na luz (GRL) e na temperatura alternada (GRTA); taxa de embebição (TE%); classificação quanto ao fotoblastismo; classes de dormência; e número correspondente ao agrupamento pela análise de cluster para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	155

APÊNDICE D - Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude nas temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C ▽, 20-30°C △; 25-35°C ●).....	159
APÊNDICE E - Média e erro padrão da massa das sementes secas e embebidas em água destilada por 72h, taxa de embebição (%) e valor do teste <i>t</i> para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	165
APÊNDICE F - Número de dias para atingir 50% da germinação total (T _{50%}) nos tratamentos controle e choque térmico nas temperaturas de 80°C, 100°C e 120°C para 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Itatiaia.....	167
APÊNDICE G - Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	169
APÊNDICE H - Valores médios (%) de germinação (G), viabilidade (V), dormência (D) e tempo de germinação (T _{50%} - dias para atingir 50% da germinação final) de sementes armazenadas na temperatura de 10°C com umidade relativa (UR) de 5% e 85% após 12 (st12) e 30 (st30) meses de 47 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.....	180
APÊNDICE I - Medições da temperatura do ar, e do solo em uma área aberta e uma sombreada e temperatura do em dois períodos distintos (2015/2016 – 2017/2018) nos campos de altitude do Itatiaia.....	181

INTRODUÇÃO GERAL

Dos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas, a germinação é diretamente influenciada pelo clima, o qual desempenha um papel fundamental no recrutamento das espécies vegetais (FENNER, THOMPSON, 2005). Dentre os fatores climáticos, a temperatura e a disponibilidade hídrica atuam diretamente na germinação e na indução/superação de dormência das sementes (WALCK et al., 2011). Além disso, a forte correlação entre o clima e o recrutamento resultou na seleção de requisitos específicos para germinação de muitas espécies (FENNER, THOMPSON, 2005). Dessa maneira, as mudanças climáticas irão influenciar a distribuição e manutenção de muitas espécies (NOBRE et al., 2007; WALCK, DIXON, 2009; BAETEN et al., 2010; WEN et al., 2011).

Como resultados das mudanças climáticas, as espécies estão sendo cada vez mais expostas à variação de fatores abióticos, como altas e baixas temperaturas, estresse hídrico, aumento da ocorrência de incêndios, entre outros, que alteram as relações ecológicas das plantas em todos os ecossistemas (BAETEN et al., 2010; WALCK et al., 2011; SEAL et al., 2012). Por exemplo, como consequência das mudanças climáticas, estudos indicam alterações na composição e distribuição das espécies (CHEN et al., 2011; DULLINGER et al., 2012; JIMENEZ-ALFARO et al., 2014), na fenologia (MILLER-RUSHING et al., 2008; THEOBALD et al., 2017) e na ecofisiologia das plantas (SHAW et al., 2000; ESPERÓN-RODRÍGUEZ et al., 2014).

Modelos climáticos globais preveem que os ecossistemas terrestres estão propensos a experimentarem tanto o aumento da temperatura, como a variação na frequência e magnitude dos eventos de precipitação (IPCC, 2014; GLOBAL ISSUES, 2015). Dentre esses ecossistemas, os tropicais e especificamente a Mata Atlântica, apresenta alta predisposição aos efeitos adversos das mudanças climáticas (BE'LLARD et al., 2014; MAGRIN et al., 2014; JANTZ et al., 2015). Em particular, os campos de altitude, ecossistema associado aos biomas Mata Atlântica e Amazônia, estão entre as áreas que poderão ser mais afetadas pelas alterações do clima, devido ao seu isolamento geográfico e as condições edafoclimáticas locais (MARTINELLI, 2007; ASSIS, MATTOS, 2016). Esse ecossistema é encontrado no alto das montanhas sob condições ambientais mais extremas (quando comparadas com as demais fitofisionomias encontradas no bioma Mata Atlântica), o que propiciam singularidade às suas formações vegetais (SAFFORD, 1999b). Apesar da reconhecida vulnerabilidade, e das pesquisas sobre florística, fitogeografia e ecologia da vegetação dos campos de altitude

(PEREIRA et al., 2006; RIBEIRO et al., 2007; ALVES, 2013; AXIMOFF et al., 2016; MATOS et al., 2020) não há estudos sobre os aspectos germinativos das espécies, e das relações com as mudanças climáticas no recrutamento via sementes das espécies dessa comunidade.

Nesse contexto, a presente tese apresenta o primeiro estudo sobre a ecofisiologia da germinação e os possíveis efeitos das mudanças climáticas nas respostas germinativas de espécies dos campos de altitude. Esse estudo está dividido em quatro capítulos com as seguintes abordagens: (i) estratégias de germinação das espécies; (ii) comportamento germinativo ao choque térmico, provocado pelo fogo na vegetação; (iii) comportamento germinativo ao estresse hídrico e aumento da temperatura; (iv) medidas para conservação de sementes das espécies.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Mudanças climáticas

As mudanças climáticas referem-se a uma alteração na média e/ou na variação das propriedades do clima, que podem ser identificadas durante um longo período de tempo (IPCC, 2014). Essa alteração pode ocorrer tanto por meio de processos naturais, mudanças naturais na história geológica do planeta, e/ou decorrente das atividades antropogênicas (NOBRE et al., 2007b). Estudos afirmam que a aceleração das mudanças climáticas é derivada de atividades humanas insustentáveis como a queima de combustíveis fósseis utilizados nos transportes e indústrias, a conversão do uso da terra principalmente para agropecuária, o desmatamento e o descarte inadequado de resíduos sólidos (IPCC, 2014). Essas atividades aumentam as concentrações de gases conhecidos como gases do efeito estufa, entre eles: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrogênio (NO_3), ozônio (O_3) entre outros (MAGRIN et al., 2014). O CO_2 é o principal responsável pelo aquecimento global, sendo o gás mais emitido (aproximadamente 77%) pelas atividades humanas, e o aumento da sua concentração na atmosfera poderá ser responsável pela destruição de aproximadamente 35% dos habitats mundiais (MALCOLM, MARKHAM, 2000). De acordo com Schleussner e colaboradores (2017), um aumento de $0,5^\circ\text{C}$ poderá causar alterações substanciais nos extremos (quente e frio) da temperatura média diária. Os mesmos autores demonstraram também, que um quarto do planeta já experimentou uma intensificação dos extremos quentes em 1°C , redução dos extremos frios em até $2,5^\circ\text{C}$, e um aumento de pelo menos 9% na precipitação.

As mudanças climáticas projetadas para o século XXI mostram impactos em diversos sistemas de diferentes regiões do globo. No entanto, as regiões tropicais estão entre as áreas que poderão ser mais afetadas (MARENGO, 2014). Segundo o relatório do IPCC (2014), inundações frequentes, devido à intensificação das tempestades, além de períodos longos de estiagem estão previstas para essas regiões. Nessas duas situações previstas, a pecuária, a agricultura e a sobrevivência de diversas espécies poderão ser prejudicadas. Durante as últimas décadas, eventos climáticos extremos incomuns foram registrados na América Latina contribuindo para o fortalecimento da vulnerabilidade dos sistemas humanos aos desastres (MAGRIN et al., 2014). No Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente $0,75^\circ\text{C}$

até o final do século 20 (considerando a média anual de 24,9°C entre os anos de 1961 e 1990), sendo 1998 o ano mais quente (NOBRE et al., 2007a). Em nível regional, é possível observar que no período de 1951 a 2002 as temperaturas mínimas cresceram em todo o país, apresentando um aumento expressivo de até 1,4°C por década. As tendências de aquecimento foram detectadas em nível anual e sazonal, com mais expressividade durante o inverno e a primavera. Para a região sudeste são esperados eventos mais extremos de chuvas e seca, além de altas taxas de evaporação e veranicos com ondas de calor (MARENGO, 2014).

Alguns dos principais efeitos adversos, devido às mudanças climáticas, já sinalizados e percebidos nos dias atuais são: aumento do nível do mar; alteração no suprimento de água doce; tempestades de chuva e neve mais fortes e frequentes; ressecamento rápido do solo, devido a períodos secos mais intensos; aumento das temperaturas médias da superfície da Terra (IPCC, 2014). Apesar de ser inevitável alguns dos efeitos citados anteriormente, a diminuição da emissão de gases de efeito estufa é necessária para que a intensidade desses problemas seja diminuída. Como consequências dos efeitos adversos estão: as áreas costeiras que sofrerão com o aumento do nível do mar devido ao degelo das geleiras; áreas secas do planeta sofrerão ainda mais com a falta de água; a água potável, que já é escassa em algumas regiões, poderá ser motivo de mortes e de disputas políticas; algumas regiões poderão sofrer com grandes volumes de chuvas, o que ocasionará aumento das enchentes e deslizamentos de terra mais frequentes; e o prolongamento dos eventos de seca poderá aumentar a frequência de incêndios, ocasionando assim a perda de biodiversidade (HOEGH-GULDBERG et al., 2018).

Ecossistemas terrestres são altamente sensíveis à mudança de temperatura e, sem grandes reduções nas emissões de gases do efeito de estufa, esses ecossistemas poderão sofrer grandes transformações, com o consequente rompimento de serviços ecossistêmicos. Estudos sobre os impactos das mudanças climáticas globais na biodiversidade demonstram três tipos de respostas dos organismos: i - extinção; ii - adaptação fisiológica e genética às novas condições climáticas; e iii - migração para regiões onde as condições climáticas sejam mais adequadas (CROWLEY, 2000; LUIGI, 2014). Além disso, as alterações climáticas poderão influenciar as relações ecológicas das plantas, afetando o seu recrutamento e consequentemente, a dinâmica das populações (BAETEN et al., 2010; WALCK et al., 2011).

Apesar dos intensos esforços de diversos países em atingir as metas ambientais propostas nos acordos internacionais, as mudanças climáticas constituem uma das principais ameaças ao planeta no futuro próximo (SIQUEIRA, 2011; IPCC, 2014; GLOBAL ISSUES, 2015). Em nível global, as respostas às mudanças climáticas têm sido examinadas, levando em consideração, primordialmente espécies e habitats específicos (LINDENMAYER et al., 2010;

SWAB et al., 2012; ROCCA et al., 2014), e embora a dimensão física dos efeitos das mudanças climáticas possua um contorno bem definido, o conhecimento sobre seus impactos nas espécies tropicais pode ser considerado insatisfatório (BUCKERIDGE et al., 2008).

1.2 Ecossistemas de montanhas

Ecossistemas de montanhas ocorrem em cerca de 20% da superfície terrestre em todas as zonas climáticas do globo, sendo caracterizados como áreas de grande riqueza biológicas e ricas em endemismo, particularmente nos trópicos (CHAVERRI-POLINI, 1998; SARMIENTO, 2002). Estes ecossistemas fornecem diversos serviços como fonte de recursos minerais, produtos florestais e agrícolas, além de ter um papel fundamental na qualidade, quantidade e regularidade da água consumida nas áreas ao redor (MARTINELLI, 2007).

A diversidade biológica nesses ecossistemas está diretamente relacionada à restrita extensão de ocorrência, ao efeito da história climática e geológica sobre a evolução biótica, aos vários impactos ambientais sobre os mecanismos de adaptação biótica, e à contínua dispersão da fauna e flora no tempo (SARMIENTO, 2002). As montanhas apresentam tipos vegetacionais muito distintos, que podem ser comparados às ilhas oceânicas devido às restrições ao fluxo de genes e conectividade reduzida entre os indivíduos de reprodução cruzada (SPEHN, KÖRNER, 2005; BARBARÁ et al., 2007). No entanto, esse ecossistema está passando por uma rápida mudança em sua fitofisionomia, resultante de perturbações moderadas a altas, além de serem vulneráveis à erosão acelerada do solo, deslizamentos de terras, e rápida perda da diversidade genética e de habitat (MARTINELLI, 2007).

As principais ameaças naturais e antrópicas, como as mudanças climáticas, incidentes sobre as formações montanhosas são partilhadas por outros ecossistemas tropicais. No entanto, as montanhas são ecossistemas frágeis, e estão entre as áreas que poderão ser mais afetadas, sendo uma notável preocupação, devido aos recursos inestimáveis que fornecem, não só em relação à flora e fauna, mas também serviços fornecidos à sociedade (KÖRNER, 2003; MARENGO, 2006; ENGLER et al., 2011). Registros paleológicos indicam que o aquecimento climático no passado fez com que as zonas de vegetação passassem para altitudes mais elevadas, resultando na perda de algumas espécies e ecossistemas. Cenários simulados para locais montanhosos de climas temperado e tropical sugerem que o atual panorama de aquecimento continuado poderá ter consequências semelhantes, com o desaparecimento de

espécies e ecossistemas com faixas climáticas limitadas (IPCC, 2014). Dessa maneira, é fundamental que estudos priorizem os efeitos das mudanças climáticas nas populações.

1.2.1 Ecossistema de montanhas no Brasil - Campos de altitude

No Brasil, as montanhas representam 17% do território total, onde se encontram grande parte das florestas primitivas ou em regeneração, preservadas principalmente em virtude das dificuldades de acesso (MARTINELLI, 2007). As variações na vegetação das montanhas brasileiras como tepuis, campos rupestres, campos de altitude, brejo de altitude, floresta de neblina, floresta montana e *inselbergs*, estão diretamente relacionadas ao gradiente de altitude, culminando na transição de florestas para campos (OLIVEIRA-FILHO, FONTES, 2000).

Os campos são vegetações encontradas em áreas dispersas no território brasileiro, e apresentam grande diversidade da fitofisionomia, abrangendo desde gramíneas a pequenas árvores, com ou sem a presença de afloramentos rochosos. No Brasil existem diversas “manchas” de formação campestre, em destaque para os campos de altitude e rupestre (VASCONCELOS, 2011). Os campos de altitude, ecossistema associado ao bioma Mata Atlântica e Amazônia, são encontrados nas regiões sudeste e norte do Brasil, sendo caracterizado por vegetação aberta exposta a condições climáticas mais extremas (SAFFORD, 1999a). A vegetação é altamente especializada, onde o gradiente altitudinal, associado às características específicas de solo, clima, e umidade, são fatores determinantes de sua elevada diversidade, além da presença de espécies ameaçadas. Esses ambientes de alta elevação apresentam desafios para a vida vegetal, incluindo a exposição a ventos fortes, e grandes flutuações de temperatura, geadas, além de solos rasos e geralmente pobres em nutrientes (GEISE et al., 2004; RAPINI et al., 2008; SCARANO, 2009). Apesar de estarem sob condições extremas, os campos de altitude contêm cerca de 20% dos endemismos do domínio Mata Atlântica (STEHMANN et al., 2009). Além disso, os campos de altitude apresentam uma vegetação com grande afinidade às da região andino-patagônica e das serras do sul do Brasil (MARTINELLI, 1996; SAFFORD, 1999a, 2007), e são considerados como páramos brasileiros, com maior efeito da sazonalidade, alta riqueza de espécies e endemismo restrito (SAFFORD 1999a, 1999b, 2007; RIBEIRO et al., 2007). Páramos estão localizados na zona neotropical, sendo caracterizados por vegetação arbustiva, flutuações diárias amplas de temperatura e umidade, solos recentes de origem glacial e vulcânica, e muitos ainda estão em

formação. Além disso, os páramos são ecossistemas estratégicos devido ao seu grande potencial de armazenamento e regulação da água para o abastecimento de aquedutos, aquíferos e nascentes de grandes rios (MORA-OSEJO, STURM, 1994).

Apesar deste reconhecimento recente da relevância e peculiaridade dos ecossistemas montanhosos na política ambiental brasileira, permanece uma lacuna notável em dados e conhecimento sobre tais habitats, o que é particularmente preocupante em face das alterações climáticas.

Devido à alta vulnerabilidade da vegetação das montanhas aos efeitos das mudanças climáticas, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos em todas as regiões do globo (KREYLING et al., 2010; DULLINGER et al., 2012; ESPERÓN-RODRIGUEZ et al., 2014; JIMÉNEZ-ALFARO et al., 2014; GILLET et al., 2016). Entretanto, muitos ecossistemas, e principalmente os tropicais, ainda apresentam lacunas no conhecimento (VALE et al., 2009; KREYLING et al., 2010; SCARANO, CEOTTO, 2015; ASSIS, MATTOS, 2016).

Os campos de altitude são um dos ecossistemas tropicais que apresentam poucos estudos sobre os possíveis efeitos das mudanças climáticas na vegetação (ASSIS, MATTOS, 2016; MATOS, 2020). Este ecossistema é encontrado no alto das montanhas nas regiões sudeste e norte do Brasil (SAFFORD, 1999a). Sua vegetação é altamente especializada, onde o gradiente altitudinal, associado às características específicas de solo, clima, e umidade, são fatores determinantes de sua elevada diversidade e endemismo (MARTINELLI, 1996). De acordo com Assis e Mattos (2016), essas características tornam os campos de altitudes altamente vulneráveis às mudanças climáticas. Os principais fatores previstos por modelos climáticos para as áreas de montanhas, como as alterações do clima (IPCC, 2014), a migração altitudinal (COLWELL et al., 2008), os altos índices de endemismo (HERMANT et al., 2013), e a baixa tolerância das espécies às mudanças ambientais (KOHLENER et al., 2014) estão associados à vulnerabilidade deste ecossistema. De acordo com Settele e colaboradores (2014), mudanças latitudinais e altitudinais em biomas já foram detectadas em regiões boreais, temperadas e tropicais. Assim, devido à fragilidade dos campos de altitude, é de extrema importância que estudos foquem tanto nos efeitos das mudanças climáticas, e nas medidas para conservação das espécies desse ameaçado ecossistema.

1.3 Aspectos ecofisiológicos das sementes

A germinação de sementes é um elemento central do ciclo de vida das plantas, que determina sua distribuição nos diferentes habitats (WHITMORE, 1996; SILVERTON, CHARLESWORTH, 2001; LI et al., 2006; DONOHUE et al., 2010). A porcentagem, a velocidade e a sincronização da germinação são influenciadas por vários fatores, que geralmente atuam de forma dependente entre eles (BASKIN, BASKIN, 2014). Esses fatores são divididos em extrínsecos e intrínsecos. Dentre os principais fatores extrínsecos estão: disponibilidade hídrica, temperatura e luz. Entre os fatores intrínsecos estão: a dormência, a viabilidade, e a longevidade (FENNER, 1991; BEWLEY, BLACK, 1994).

O processo germinativo consiste na retomada do desenvolvimento do embrião, através de uma sequência ordenada de atividades metabólicas, iniciadas com o processo de absorção de umidade pela semente (BEWLEY, BLACK, 1994). Este processo é conhecido como embebição, o qual consiste na entrada de água através do revestimento da semente, devido às diferenças de potencial hídrico entre semente e o substrato, reativando o metabolismo pela reidratação dos tecidos da semente, e conseqüentemente a emergência de eixo embrionário, geralmente a radícula. A velocidade de reidratação é influenciada por fatores tais como: a disponibilidade hídrica, a permeabilidade do revestimento da semente, o grau de umidade inicial da semente, a temperatura e a área de contato semente e o substrato (BEWLEY, 1997).

Os fatores ambientais atuam tanto nas fases de maturação e de dispersão da semente, além de influenciar diretamente o processo de germinação. Dentre eles, a temperatura é uma das variáveis climáticas mais importantes nos processos germinativos, pois sincroniza a germinação às condições ambientais mais adequadas ao estabelecimento das plântulas (FENNER, THOMPSON, 2005). A temperatura pode regular a germinação: (i) determinando a frequência e a velocidade com a qual as sementes germinam, (ii) removendo a dormência primária e (iii) induzindo a dormência secundária (FENNER, THOMPSON, 2005; BASKIN, BASKIN, 2014). Além disso, as sementes apresentam capacidade germinativa em limites bem definidos de temperatura, característicos para cada espécie. A temperatura ótima propicia a máxima porcentagem de germinação no menor tempo, e está relacionada à temperatura da região de origem geográfica da espécie, considerando a época favorável para a germinação. Sob os extremos de temperatura (máximas e mínimas), poucas sementes são capazes de germinar (BEWLEY et al., 2013).

A luz influencia a germinação das sementes, tanto pela intensidade, qualidade (comprimento de onda), quanto o fotoperíodo (COPELAND, McDONALD, 2001). As sementes apresentam comportamentos distintos em relação à presença e ausência de luz e o processo germinativo pode ser estimulado, inibido ou indiferente a este fator ambiental. (MAYER, POLJAKOFF-MAYBER, 1989; VÁZQUEZ-YANES, OROZCO-SEGOVIA, 1993; NUNES et al., 2016). As sementes de muitas espécies requerem luz para germinar, entretanto, o estímulo luminoso na germinação é bastante variável entre as espécies (VÁZQUEZ-YANES, OROZCO-SEGOVIA, 1990; BASKIN, BASKIN, 2014). Em geral, os fatores luz e temperatura tem ação dependente sobre a germinação. Como exemplo, a temperatura em muitas espécies exerce um importante papel nas sementes que necessitam de luz para germinar (SOUZA, 2009). Dessa maneira, avaliar as respostas germinativas no que diz respeito a sensibilidade à temperatura e à luz, e suas interações são importantes para a condução dos testes de germinação (VILLIERS, 1972; Mayer, POLJAKOFF-MAYBER, 1989).

Dentre os fatores intrínsecos, a dormência é definida como impedimento do processo de germinação mesmo em condições favoráveis (BEWLEY, 1997). Uma semente dormente pode alcançar praticamente todos os passos metabólicos necessários para completar a germinação, e ainda assim o eixo embrionário não se desenvolve (FINCH-SAVAGE, LEUBNER-METZGER, 2006). Baskin e Baskin (2014) classificaram a dormência em cinco tipos, sendo eles: (1) dormência física – impermeabilidade de uma ou mais camadas de células do tegumento; (2) dormência fisiológica – mecanismos de inibição fisiológica do embrião impedem a emergência da radícula, e pode estar relacionada ao balanceamento entre hormônios reguladores de crescimento, cujo papel é fundamental na reposta germinativa das sementes; (3) dormência morfológica – o embrião da semente é subdesenvolvido em termos de tamanho, mas é diferenciado em cotilédones e eixo hipocótilo-radícula; (4) dormência morfofisiológica – o embrião subdesenvolvido está associado a um fator fisiológico da dormência; (5) dormência combinada – associação da dormência física e dormência fisiológica.

As sementes podem passar por longos períodos em dormência, que pode ser causado por fatores distintos ou uma combinação deles, que impedem o processo da germinação (FINCH-SAVAGE, LEUBNER-METZGER, 2006). No entanto, a presença da dormência em algumas sementes não é necessariamente uma desvantagem. A dormência é um mecanismo que pode contribuir para a manutenção da longevidade das espécies nos bancos de sementes do solo, até o aparecimento de condições favoráveis à germinação (FENNER, THOMPSON, 2005; BASKIN, BASKIN, 2014). Além disso, sementes dormentes permitem melhor distribuição da germinação ao longo do tempo após a dispersão, permitindo o estabelecimento de novos

indivíduos em intervalos irregulares (DONOHUE et al., 2010). Assim, a dormência das sementes é considerada um dos principais fatores reguladores do valor adaptativo da germinação, controlando o tempo de germinação em resposta às estações do ano, sendo assim um fator importante na evolução das plantas (EVANS, DENNEHY, 2005; PENFIELD, KING, 2009).

1.4 Mudanças climáticas no recrutamento via sementes

Dentre as fases iniciais de vida das plantas, a germinação é um grande gargalo no recrutamento de novos indivíduos, e como tal, é esperado que esta fase seja mais sensível às mudanças climáticas do que a fase adulta (LLORET et al., 2009; DALGLEISH et al., 2010).

Segundo Walck e colaboradores (2011), os efeitos das mudanças climáticas no recrutamento via sementes das espécies podem ser previstos, uma vez que, o clima exerce forte influência sobre os processos germinativos. Por exemplo, os efeitos da temperatura na germinação podem ser avaliados a partir de mudanças ocasionadas na porcentagem e na velocidade medidas ao longo do tempo, pois seus efeitos influenciam a absorção de água pela semente e as reações químicas que regulam o metabolismo envolvido no processo de germinação (PROBERT, 2000). Dessa maneira, o aumento da temperatura provocado pelas mudanças climáticas, irá influenciar tanto o processo de germinação quanto os mecanismos de dormência. No entanto, ambos são processos distintos, e, portanto, as mudanças climáticas irão influenciar de forma independente (FENNER, THOMPSON, 2005). Assim, dependendo da espécie, as alterações do clima poderão impedir, atrasar ou aumentar o recrutamento via sementes, influenciando na dinâmica das populações (ADLER, HILLE RIS LAMBERS, 2008; WALCK, DIXON, 2009; BAETEN et al., 2010; WEN et al., 2011). Essas mudanças em nível individual refletem na distribuição das espécies, e conseqüentemente na população (WALCK et al., 2011).

Assim, tanto a germinação, quanto a dormência são processos importantes para a compreensão dos efeitos das alterações do clima sobre as comunidades vegetais (WALCK et al., 2011). Estudos indicam que, para um melhor conhecimento dos efeitos a longo prazo das mudanças climáticas nas espécies, é necessário vincular mudanças ambientais a mecanismos que controlam a regeneração das plantas, como a germinação e a dormência de sementes (OOI et al., 2009, 2012; COCHRANE, 2016, 2017). Além disso, devido a influência direta do clima

na dinâmica da vegetação, um melhor entendimento das relações entre as respostas germinativas (porcentagem e velocidade de germinação) das espécies e as mudanças climáticas pode ser beneficiado pelas análises que integrem diferentes características funcionais (SWAB et al., 2012; McLEAN et al., 2016).

1.5 Conservação de sementes

Diante das ameaças das ações antrópicas e naturais, a conservação de recursos genéticos vem sendo utilizada como medida de prevenção à ameaça de extinção das espécies, seja pela manutenção dos processos ecológicos e dos sistemas vitais essenciais, ou pela preservação da diversidade genética (CERABOLINI et al., 2004; COCHRANE et al., 2007; MERRITT, DIXON, 2011). A conservação pode ser *ex situ*, ou seja, as espécies são mantidas fora do seu local de origem, em ambientes controlados como os bancos de germoplasma, e pela conservação *in situ*, que consiste em manter as espécies em seu local de origem, onde as espécies são capazes de se manterem ao longo do tempo (COCHRANE et al., 2007).

O banco de sementes (também chamados de bancos de genes) é um dos métodos mais eficientes, seguros e de baixo custo de conservação *ex situ*, especialmente para espécies em que o recrutamento ocorre via sementes, uma vez que, podem preservar uma alta variabilidade genética em longo prazo (WALTERS et al., 1998). Pesquisas têm mostrado sucesso na manutenção da viabilidade no banco de sementes a médio e longo prazo em sementes armazenadas de espécies cultivadas, silvestres e ameaçadas (HAMILTON, 1994; WALTERS et al., 2005; PROBERT et al., 2009; LIU et al., 2011). Além disso, segundo Merritt e Dixon (2011), os bancos de sementes têm um papel importante na restauração de habitats e na reintrodução de espécies. Embora as condições de laboratório para armazenamento sejam diferentes das encontradas em habitats naturais, o banco de sementes com coleções de sementes de alta qualidade pode fornecer informações essenciais para conservação de espécies e programas de restauração baseados na utilização de sementes (BERJAK, PAMMENTER, 2008; NAGEL, BÖRNER, 2010).

Compreender os fatores que afetam a viabilidade e a longevidade das sementes durante o armazenamento *ex situ* é essencial para a conservação das espécies (PROBERT et al., 2009). A viabilidade é definida como a capacidade da semente permanecer viável, preservando a integridade genética de amostras armazenadas. A longevidade é o período o qual as sementes

permanecem viáveis (STEINER, RUCKENBAUER, 1995; TELEWSKI, ZEEVAART, 2002). Umidade relativa, temperatura e umidade da semente são os principais fatores que influenciam a viabilidade das sementes durante o armazenamento, sendo os dois primeiros fatores altamente interdependentes em seus efeitos sobre as sementes armazenadas, e condições inadequadas de um desses fatores durante o armazenamento resultam na perda de viabilidade (COPELAND, MCDONALD, 2001; HAY, PROBERT, 2013).

2 OBJETIVOS

Diante do exposto o presente estudo tem como objetivos:

- Identificar as estratégias de germinação e a presença/ausência de dormência, além de relacioná-las com as características funcionais das plantas e das sementes;
- Avaliar as respostas germinativas das sementes e suas interações com as características funcionais das espécies aos efeitos do choque térmico, provocado pelas altas temperaturas durante a passagem do fogo na vegetação;
- Avaliar as respostas germinativas das sementes aos efeitos do estresse hídrico e do aumento temperatura, simulando as mudanças climáticas;
- Avaliar as respostas germinativas das sementes em diferentes condições de armazenamento.

3 ESTRATEGIAS DE GERMINAÇÃO DE 68 ESPÉCIES DOS CAMPOS DE ALTITUDE: UM ECOSISTEMA TROPICAL AMEAÇADO

3.1 Introdução

Apesar de uma longa história de degradação, a Mata Atlântica ainda é considerada um dos mais importantes *hotspots* do mundo (MYERS et al., 2000; RIBEIRO et al., 2009). Os campos de altitude, uma das comunidades vegetais periféricas da Mata Atlântica (SCARANO, 2009), foram identificados como áreas prioritárias para conservação devido ao alto grau de endemismo, diversidade e ameaças de extinção (SCARANO, 2002; MARTINELLI, 2007; POREMBSKI, 2007; LEÃO et al., 2014). Sua vegetação especializada está exposta a condições espacialmente heterogêneas, incluindo alta amplitude térmica, taxas de evaporação intensa, solos pobres e rasos e ventos fortes, que influenciam na estrutura das populações vegetais (SAFFORD, 1999a; SCARANO et al., 2001; BENITES et al., 2007; BARROS et al., 2015). Devido a essas características, os campos de altitude são considerados mais vulneráveis às principais ameaças antrópicas e naturais, como as mudanças climáticas (ASSIS, MATOS, 2016). Uma das formas de avaliar os efeitos das alterações do clima na vegetação é relacionar mecanismos que controlam a regeneração das plantas, como a germinação e a dormência de sementes, uma vez que, ambos os mecanismos são altamente influenciados pelo clima (OOI et al., 2009, 2012; COCHRANE, 2016, 2017).

A germinação das sementes é um elemento central e um processo irreversível no ciclo de vida das plantas, que controlam a dinâmica da comunidade (WHITMORE, 1996; SILVERTON, CHARLESWORTH, 2001; LI et al., 2006; DONOHUE et al., 2010). As respostas aos mecanismos que regulam o processo germinativo evoluíram para estratégias específicas nas espécies, as quais desempenham um papel importante na determinação da estrutura e dinâmica da comunidade, principalmente àquelas cujos nichos de regeneração são mais restritos, como nos campos de altitude (DONOHUE et al., 2010; WILLIS et al., 2014; HUANG et al., 2016; VANDVIK et al., 2016). O nicho de regeneração das espécies inclui fatores bióticos e abióticos que controlam os processos germinativos de sementes dormentes e não dormentes (MEYER et al., 1997; PEARSON et al., 2002; FACELLI et al., 2005). Dentre os fatores abióticos, a luz e a temperatura, e suas interações, afetam diretamente as respostas germinativas (BASKIN, BASKIN, 2014). A luz é um fator abiótico essencial na germinação,

seja por sua intensidade, qualidade ou duração (MILBERG et al., 2000; KOUTSOVOULOU et al., 2014). No entanto, as sementes apresentam comportamentos distintos em relação à presença e a ausência de luz, onde o processo germinativo pode ser estimulado, inibido ou indiferente a este fator ambiental (VÁZQUEZ-YANES, OROZCO-SEGOVIA, 1993; PONS, 2000; FENNER, THOMPSON, 2005). Os efeitos da temperatura podem ser avaliados a partir de mudanças ocasionadas na porcentagem e na velocidade de germinação medidas ao longo do tempo, pois seus efeitos influenciam na absorção de água pela semente e as reações químicas que regulam o metabolismo envolvido no processo de germinação (PROBERT, 2000). Além disso, a temperatura influencia diretamente na indução e na superação de dormência nas sementes (FENNER, THOMPSON, 2005; BASKIN, BASKIN, 2014).

Dormência é definida como a incapacidade de uma semente viável de germinar, mesmo em condições favoráveis (BASKIN, BASKIN, 2014). Além disso, determina o tempo de germinação, o qual afeta a probabilidade de sobrevivência das plântulas (BEWLEY, 1997; HILHORST, 2011). Os diferentes tipos e a superação da dormência refletem adaptações das espécies aos diferentes habitats, que evoluíram para respostas de germinação específicas das espécies (WILLIS et al., 2014). A dormência de sementes é um processo amplamente reconhecido em espécies de regiões montanhosas tropicais (SCHWIENBACHER et al., 2011a, 2011b; BASKIN, BASKIN, 2014) e vegetações campestres do sudeste brasileiro (SILVEIRA et al., 2012a; DAYRELL et al., 2015; LE STRADIC et al., 2015). Esses estudos demonstraram que muitas espécies não foram capazes de germinar mesmo quando submetidas a condições favoráveis ao processo de germinação. Adicionalmente, de acordo com Lan e colaboradores (2018), as informações sobre a dormência de sementes obtidas para um tipo de vegetação, demonstra a importância relativa da presença e ausência e das diferentes classes de dormência na adaptação das espécies em zonas climáticas distintas.

Além das análises de germinação e dormência, as características funcionais são ferramentas fundamentais para a compreensão de padrões ecológicos de comunidades vegetais (JIMÉNEZ-ALFARO et al., 2016). Dentre elas, o tamanho das sementes, forma de vida e época de dispersão podem influenciar de forma distinta o potencial de sobrevivência de novos indivíduos (MOLES et al., 2005; LEISHMAN et al., 2000). Além disso, estudos demonstraram que as características morfológicas das sementes estão associadas às respostas das plantas em relação aos distúrbios ambientais, disponibilidade de recursos do solo, competição, além da presença e ausência de dormência (BASKIN, BASKIN, 2007; PEREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

Apesar das pesquisas em florística, fitogeografia e ecologia da vegetação dos campos de altitude do Itatiaia (PEREIRA et al., 2006; RIBEIRO et al., 2007; ALVES, 2013; AXIMOFF et al., 2016; MATOS et al., 2020), as características relacionadas à germinação e dormência de sementes, e suas relações com características funcionais ainda são ausentes, e, portanto, necessitam de maiores avaliações tanto em nível de espécie quanto de comunidade.

3.2 Objetivos

Face ao exposto, o objetivo deste estudo foi investigar as estratégias de germinação de espécies dos campos de altitude pertencentes a diferentes grupos taxonômicos, por meio de uma abordagem comparativa das respostas germinativas, avaliando:

- As características taxonômicas e funcionais encontradas nos campos de altitude;
- Os requerimentos por temperatura alternada e luz na germinação;
- As relações entre as características funcionais da planta e da semente com as respostas germinativas;
- As possíveis classes de dormência encontradas nas espécies;
- Se as relações formadas pelas espécies de acordo com as respostas germinativas estão associadas à presença e ausência de diferentes tipos de dormência.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Área de estudo

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) está inserido em um dos setores do bioma Mata Atlântica mais ricos em biodiversidade (SAFFORD, 1999a), o que se deve em grande parte a

altitude de mais de 2.000 metros, além da variação climática, que possibilitam diferentes fisionomias vegetacionais. Está situado na Serra da Mantiqueira (22°25' S, 44°40' W), abrangendo os municípios de Itatiaia e Resende no Estado do Rio de Janeiro e Bocaina de Minas e Itamonte no Estado de Minas Gerais, sendo dividido em “Parte Alta” (cota 2.000m) e “Parte Baixa” (Figura 1) (IBAMA, 1994; FURTADO et al., 2001; BRASIL, 2008; ICMBio, 2009). Os campos de altitude do Itatiaia surgem a partir dos 2.000 m, distribuídos em uma área de 39 km² e compreendem 14% do PNI. A vegetação é formada por gramíneas, arbustos e pequenas árvores. O clima na parte alta é caracterizado como mesotérmico (Tipo Cwb - sistema de Köppen), com verões úmidos e temperaturas amenas, e invernos muito frios (temperaturas abaixo de zero) e secos, além da grande incidência de geadas, o que possibilita a ocorrência de queimadas, pois a vegetação se encontra mais seca e susceptível ao fogo (FURTADO et al., 2001; RIBEIRO, MEDINA, 2002). Apresenta precipitação anual cerca de 2.600 mm, com a estação chuvosa ocorrendo entre os meses de novembro a fevereiro, sendo janeiro o mês mais chuvoso. Já a estação seca se estende entre os meses de junho a setembro (TOMZHINSKI, 2012). A temperatura média anual durante a estação chuvosa é de 13°C e na estação seca de 8°C, com registros de temperaturas negativas durante a estação seca do ano (ALVES, 2013).

A riqueza de plantas é estimada em 550 espécies, com grande número de espécies endêmicas (SAFFORD, 1999a, 1999b; ALVES, 2013), e mais de 40 espécies ameaçadas de extinção (MARTINELLI, 1996; MARTINELLI, MORAES, 2013), sendo 73% delas são restritas ao Itatiaia (TOMZHINSKI, 2012). Além da grande diversidade vegetal nesse ecossistema, estão presentes nascentes importantes como os do Campo Belo e Aiuruoca, que alimentam os rios Paraná e Paraíba do Sul (RICHTER, 2004; AGEVAP, 2011). A floresta ombrófila montana desta região abriga uma flora arbórea considerada como uma das mais ricas do sudeste do Brasil, e as formações campestres são a fitofisionomia dominante do Planalto Itatiaia, devido as condições climáticas extremas, como ventos fortes, o frio, as secas periódicas e o rápido escoamento das águas superficiais (PEREIRA et al., 2006). Entretanto, a vegetação já sofreu diversas intervenções humanas principalmente com queimadas e desmatamento para a ocupação de pastagens, e apesar dos campos de altitude apresentar elevada diversidade, essas intervenções podem contribuir para a introdução de espécies exóticas e invasoras (AXIMOFF, RIBEIRO, 2012).

3.3.2 Coleta de material vegetal

Sementes de 68 espécies foram coletadas (licença ICMBio nº 46170-4) entre novembro de 2014 e junho de 2016 nos campos de altitude do Itatiaia. A coleta foi realizada em pelo menos 20 indivíduos de cada espécie, selecionados aleatoriamente, no início do seu período de dispersão. As espécies foram selecionadas de acordo com sua frequência de ocorrência nas áreas de coleta, e disponibilidade de indivíduos com sementes maduras. Após a coleta, os diásporos (semente mais alguma estrutura presente) foram colocados em embalagens plásticas para homogeneização, a fim de reduzir a influência dos indivíduos na variação dos parâmetros medidos, e posteriormente transportada para o Laboratório de Sementes do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (IPJBRJ) para beneficiamento e registro. Em laboratório, as sementes foram beneficiadas à mão, e posteriormente secas durante 36 horas em sala de secagem a 20°C e 18% de umidade relativa. Após a secagem, as sementes foram armazenadas em câmara fria a 10°C em sacos herméticos até à realização dos experimentos. O termo "semente" foi usado em um sentido funcional para se referir ao diásporo (semente mais qualquer estrutura) quando denotando a germinação.

Material botânico das espécies foi coletado para identificação, e em seguida depositado no Herbarium Bradeanum da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (HRJ) (APÊNDICE A). A nomenclatura das espécies seguiu a Lista de Espécies da Flora Brasileira (FLORA DO BRASIL, 2020).

Medições das temperaturas do ar e do solo foram realizadas na área de coleta das sementes através do Data logger Whatch Dog 1000 Series Micro Stations. Os sensores foram colocados em duas posições distintas, sendo uma área sombreada e uma área aberta, ambos a uma profundidade de 2 cm (sementes pequenas atingem menor profundidade no solo). As medições foram realizadas em dois períodos distintos, entre maio de 2015 a abril de 2016, e entre setembro de 2017 a outubro de 2018 (resultados das medições de temperatura estão demonstrados no APÊNDICE I).

3.3.3 Características funcionais (planta e semente)

Após identificação taxonômica, as espécies foram classificadas quanto as seguintes características: 1 - período de dispersão (estação chuvosa; estação seca; e asazonais - espécies coletadas em ambas as estações); 2 - forma de vida (fanerófita, caméfito, hemicriptófita e geófita) de acordo com a classificação de Raunkiaer (1934 apud CAIN, 1950). Essas

características foram posteriormente correlacionadas com as repostas germinativas das espécies. Informações disponíveis na literatura também foram utilizadas na classificação das espécies (BRADE, 1956; RIBEIRO et al., 2007).

A massa das sementes foi calculada através do peso de três repetições de 10 (sementes maiores) ou 100 sementes (sementes menores) selecionadas aleatoriamente, secas em estufa a 80°C por 48 horas. O resultado foi expresso em miligramas (mg) do peso seco de uma semente para cada espécie.

A permeabilidade do tegumento da semente foi determinada pelo teste de embebição, de acordo com o método modificado descrito por Le Stradic e colaboradores (2015). Quatro repetições de 25-100 sementes (dependendo da massa de sementes para cada espécie) foram previamente pesadas (peso seco das sementes), embebidas em papel de filtro umedecido com água destilada por 72 horas a 25°C, e posteriormente pesadas novamente (peso úmido das sementes). A taxa de embebição foi avaliada através da relação entre os pesos antes e após o ganho de água no processo de embebição.

3.3.4 Efeito da temperatura constante e alternada, e luz na germinação

Os experimentos de germinação foram conduzidos por oito semanas, com exceção de algumas espécies que não germinaram neste período, e os experimentos continuaram por mais quatro semanas (total de 12 semanas). Para cada tratamento foram semeadas quatro repetições de 20 sementes cada, em placas de Petri plásticas (5 cm de diâmetro), revestidas com duas camadas de papel filtro e umedecidas com 2mL de água destilada. A germinação foi registrada a cada dois dias. As posições das placas foram alteradas aleatoriamente, a fim de diminuir as influências nos germinadores (modelo FANEM, São Paulo, Brasil). Para avaliação dos requerimentos de temperatura e da temperatura ótima de germinação, as sementes foram submetidas aos testes de germinação na temperatura constante de 20°C e alternadas de 15-25°C, 20-30°C e 25-35°C, com termoperíodo ajustado para 8h na luz (dia) e 16h no escuro (noite). A emergência da radícula com geotropismo positivo e 2 mm de comprimento foi utilizada como critério de germinação (LABOURIAU, 1983). As temperaturas avaliadas se aproximam das faixas de temperatura sazonais com base em estudos anteriores realizados nos campos de altitude (ALVES, 2013; SAFFORD, 1999a, 1999b) e pelas medições na área de coleta das espécies.

Nos experimentos para avaliar o requerimento de luz, quatro repetições contendo 20 sementes cada, foram acondicionadas em caixas plásticas pretas do tipo gerbox, para simular a condição escuro (ausência de luz), em comparação com as placas expostas à luz dos germinadores. As sementes foram semeadas sob luz verde de segurança, fornecidas por um bulbo verde incandescente de 5 W (PEREIRA et al., 2010), com baixa intensidade e razão vermelho/vermelho-extremo ($0,23 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; V:VE = 0,05), e em seguida colocadas na temperatura alternada de 15-25°C. A luz verde de segurança foi utilizada com finalidade de não estimular da germinação, devido a baixa razão V:VE (vermelho: vermelho extremo). A densidade de fluxo de fótons e os valores de da luz verde de segurança foram medidos com auxílio dos sensores SKR110 e SKP 215, respectivamente (Skye Instruments Inc., Skye, UK). Duas vezes por semana, as placas foram avaliadas quanto à necessidade de umedecimento, também sob luz verde de segurança. A porcentagem final de germinação nesta condição foi avaliada ao final de oito semanas. As respostas ao requerimento de luz na germinação foram classificadas em: fotoblastismo positivo - germinação estatisticamente maior na luz; fotoblastismo neutro – germinação sem diferenças estatísticas na luz e no escuro; fotoblastismo negativo – germinação estatisticamente maior no escuro.

3.3.5 Parâmetros para avaliação do requerimento de temperatura alternada e luz na germinação

Para a avaliação do requerimento de luz foram utilizados os valores de germinação na luz e no escuro na temperatura de 15-25°C, e para o requerimento de temperatura alternada os valores de germinação nas temperaturas constante de 20°C e alternada de 15-25°C. Como as sementes em condições naturais são submetidas a flutuações de temperatura (BASKIN, BASKIN, 2014), a temperatura alternada de 15-25°C foi escolhida como a temperatura ótima, a qual foi baseada na temperatura mais semelhante à encontrada nos campos de altitude.

A avaliação foi realizada utilizando dois índices propostos por Milberg e colaboradores (2000): índice de Germinação Relativa na Luz (GRL) e Germinação Relativa na Temperatura Alternada (GRTA), através das seguintes fórmulas:

$$GRL = \frac{Gl}{(Ge + Gl)}$$

onde: G_l = porcentagem de germinação na luz;
 G_e = porcentagem de germinação no escuro

$$GRTA = \frac{G_{alt}}{(G_{const} + G_{alt})}$$

onde: G_{alt} = porcentagem de germinação na temperatura alternada;
 G_{const} = porcentagem de germinação na temperatura constante

Os índices compreendem um intervalo de valores entre 0 (germinação somente no escuro ou na temperatura constante) e 1 (germinação somente na luz ou na temperatura alternada).

3.3.6 Viabilidade das sementes

Ao final dos experimentos de germinação, a viabilidade das sementes não germinadas foi verificada pelo teste de corte. Através desse teste as sementes foram classificadas como vazia, aparentemente viável ou deteriorada (CRAWFORD et al., 2007; BASKIN, BASKIN, 2014). No caso de sementes vazias, a porcentagem final de germinação foi calculada da seguinte forma: número de sementes germinadas / (número total de sementes testadas - sementes vazias). Segundo Gosling (2003), as sementes vazias nunca são viáveis e não devem ser incluídas no cálculo da porcentagem final de germinação. A porcentagem de viabilidade das espécies foi expressa pela soma das porcentagens de sementes viáveis germinadas e não-germinadas. Sementes não-germinadas foram consideradas viáveis quando o embrião apresentou coloração clara e consistência firme.

3.3.7 Potenciais classes de dormência

A dormência foi expressa em porcentagem de sementes viáveis não germinadas, após o teste de corte. As espécies foram consideradas dormentes se, menos de 30% das sementes viáveis germinaram em quatro semanas (DAYRELL et al., 2016).

A potencial dormência das sementes foi identificada a partir de diferentes classes, incluindo: não-dormente (ND), dormência fisiológica (DF), dormência física (FS), dormência morfológica (DM), dormência morfofisiológica (MF) (BASKIN, BASKIN, 2004a). De acordo com esses autores, as classes de dormência são definidas em resposta ao: tegumento permeável à água, embrião desenvolvido e 70% das sementes germinadas em até quatro semanas (ND); tegumento permeável à água, embrião desenvolvido e germinação final acima de quatro semanas (DF); tegumento impermeável à água e germinação em quatro semanas (FS), ou germinação acima de quatro semanas (FS+DF); tegumento permeável à água, embrião indiferenciado ou subdesenvolvido, e germinação em quatro semanas (DM) ou acima de quatro semanas (MF). A dormência foi avaliada através dos testes de germinação, embebição, e de dados existentes da literatura (BASKIN, BASKIN, 2004b; BASKIN et al., 2006b; BASKIN, BASKIN, 2007; SILVEIRA, 2013; BASKIN, BASKIN, 2014). Para algumas espécies, o tipo de embrião foi classificado utilizando uma espécie relacionada como referência dentro do mesmo gênero, uma vez que, a organização interna básica varia pouco entre espécies e gêneros relacionados (MARTIN, 1946).

3.3.8 Análise estatística

Anteriormente aos testes estatísticos os dados foram avaliados quanto à normalidade e a heterogeneidade através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente (ZAR, 2010). As curvas de germinação de cada temperatura analisada foram obtidas através da curva sigmoideal logística $y = a * \exp(-\exp(-k * (x-x_c)))$, considerando o melhor ajuste dos resultados, onde a é o coeficiente que descreve a porcentagem máxima de germinação e x_c ($T_{50\%}$) é o coeficiente que estima o valor em dias de 50% da máxima germinação (BROWN, MAYER, 1988). O coeficiente de regressão (R^2) foi determinado para avaliar a adequação da função sigmoideal aos dados obtidos, com nível de significância de 0,05. A fim de obter melhores ajustes da curva, os dados de porcentagem de germinação foram previamente transformados em $\text{arc sen}(\sqrt{x/100})$.

Para cada espécie separadamente, os efeitos das temperaturas na germinação e viabilidade das sementes foram analisados pelo Modelo Linear Generalizado (GLM, R pacote lme4) (ZUUR et al., 2009; BATES et al., 2014), utilizando a distribuição binomial com a função logit, e o $T_{50\%}$ através da distribuição gamma com a função inversa. A escolha do melhor modelo foi baseada no critério de informação de Akaike, usando a máxima probabilidade (AKAIKE, 1973).

Foram realizados os testes não-paramétricos de Wilcoxon (probabilidade de 5%) para comparar os tratamentos luz/escuro em pares e de forma independente, e Kruskal-Wallis para comparar os valores de GRL e GRTA nas quatro formas de vida e nos três períodos de dispersão.

O teste t foi utilizado para comparar o peso seco e úmido das sementes na taxa de embebição. Os valores da massa de sementes foram log transformados nas análises, e o coeficiente de correlação de Spearman (ρ) foi utilizado para avaliar a influência dos requerimentos por luz e temperatura alternada, entre os índices GRL e GRTA e a massa das sementes.

As análises estatísticas foram realizadas usando o programa R versão 3.6.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019) e os gráficos foram confeccionados no programa Origin 8.0 (ORIGINLAB CORPORATION, EUA).

3.3.8.1 Análises de PCA e cluster

Os padrões de germinação foram avaliados através da estrutura de correlação e similaridades das respostas de germinação pelas análises dos componentes principais (PCA) e de agrupamento hierárquico (cluster). As seguintes variáveis foram utilizadas nas análises: taxa de embebição, germinação e viabilidade nas temperaturas alternada (15-25°C, 20-30°C) e constante (20°C), e os respectivos valores de $T_{50\%}$. A temperatura alternada de 25-35°C não foi incluída na análise de PCA, uma vez que, nesta temperatura ocorreu redução significativa ou ausência de germinação na maioria das espécies. O pacote FactoMineR (LE et al., 2008) foi utilizado na análise de PCA, e Factoextra (KASSAMBARA, 2017) na análise de cluster. O número de clusters foi determinado usando o pacote NbClust (CHARRAD et al., 2015). As análises estatísticas foram realizadas usando o programa R versão 3.6.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

3.4 Resultados

3.4.1 Características funcionais

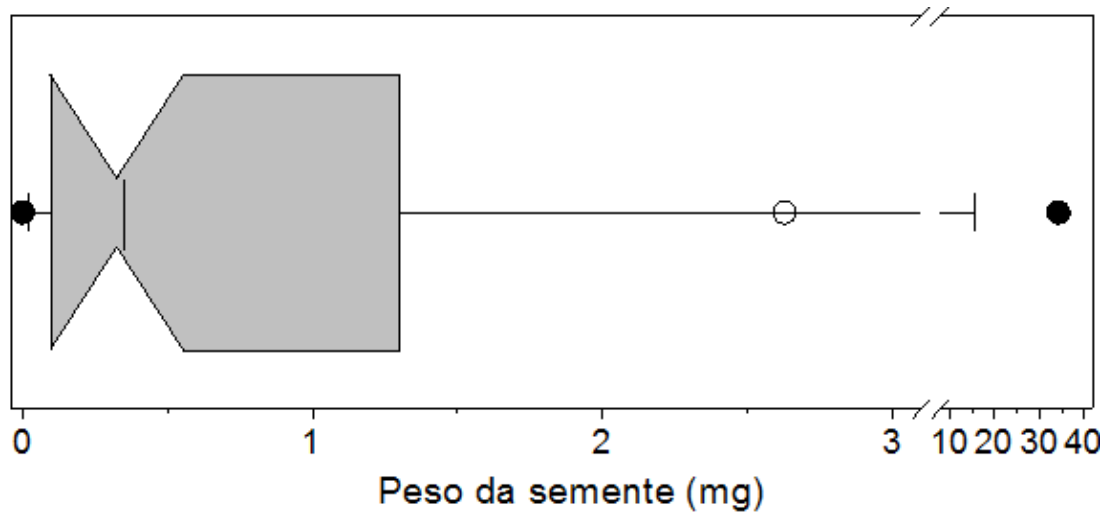
A família Asteraceae foi a mais representativa com 32% das espécies, seguida pelas famílias Melastomataceae (11%), Ericaceae (8%), Eriocaulaceae, Fabaceae e Iridaceae (5%), e Apiaceae, Bromeliaceae, Rubiaceae e Xyridaceae (4,5%). As demais famílias (16%) tiveram apenas uma espécie representante (APÊNDICE A).

A maioria das espécies coletadas apresentou forma de vida do tipo fanerófita (65%), seguida de hemicriptófita (22%), caméfito (7%), e geófita (6%). A dispersão das espécies ocorreu preferencialmente ao longo da estação chuvosa (49%), seguido pela estação seca (35%) e sazonal (16%) (APÊNDICE A).

A massa de sementes variou entre as espécies, com valores entre 0,001 mg (*Begonia ochionii*) e 34,2 mg (*Senna itatiaiae*). No entanto, a maior frequência de distribuição foi encontrada entre 0,001 mg e 1,5 mg. Os valores de mediana e média foram de 0,35 e 3,4 mg, respectivamente (Figura 1). As famílias Asteraceae, Apiaceae, Fabaceae e Iridaceae apresentaram maior variação na massa das sementes entre as espécies (APÊNDICE A).

As sementes de 94% das espécies apresentaram aumento no peso após a embebição por 72 horas, com diferenças estatísticas entre as sementes secas e embebidas. *Lupinus gibertianus* e *Lepechinia speciosa* foram as únicas espécies que não apresentaram diferença significativa após a embebição (APÊNDICE E). Em *Mimosa itatiaiensis* e *S. itatiaiae*, menos da metade das sementes presentes na placa foram capazes de embeber, e a diferença estatística foi baseada no rápido aumento da massa dessas sementes.

Figura 1 – Distribuição dos valores do peso seco das sementes de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.



Legenda: As linhas verticais da caixa expressam os valores de 25, 50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; a média aritmética corresponde ao círculo vazio sobre a barra de erro; o traço representa a mediana; os círculos cheios representam os valores extremos (outliers).

3.4.2 Efeito da temperatura nas repostas germinativas

No geral, a germinação ocorreu tanto na temperatura constante quanto na alternada, e o tempo de germinação apresentou resultados similares entre as temperaturas. A porcentagem média de germinação, viabilidade e o $T_{50\%}$ das espécies não apresentaram diferenças estatísticas entre as temperaturas alternadas de 15-25°C e 20-30°C e a constante (20°C). Já na temperatura alternada de 25-35°C, as porcentagens de germinação e viabilidade foram afetadas significativamente, apresentando um decréscimo nas duas variáveis, quando comparados com as demais temperaturas analisadas (Figura 2).

A porcentagem final de germinação ao final de oito semanas foi muito variável entre as espécies (1,2% a 100%). Das espécies analisadas, 12% apresentaram germinação muito baixa (<20%) em todas as temperaturas analisadas, em contraste com 21% das espécies que obtiveram alta germinação (>80%) em todas as temperaturas. Algumas espécies apresentaram germinação nula na temperatura de 25-35°C devido à perda de viabilidade (APÊNDICE B).

Cerca de 90% das espécies apresentaram viabilidade das sementes alta (acima de 60%) após os experimentos nas temperaturas constante de 20°C e alternadas de 15-25°C e 20-30°C. Já na temperatura alternada de 25-35°C a viabilidade caiu significativamente, e apenas 47% das espécies mantiveram viabilidade acima de 60% (Figura 2).

Em 68% das espécies a germinação ocorreu em até quatro semanas, e em 32% a germinação ultrapassou este período. As curvas de germinação cumulativa de cada espécie estão representadas no APÊNDICE D. No geral, o $T_{50\%}$ ocorreu em 15 dias de experimento, sem diferenças estatísticas entre as temperaturas (Figura 2). No entanto, os valores variaram entre 1,6 e 72,7 dias na temperatura de 20°C; 1,9 e 71,4 dias a 15-25°C; 1,7 e 76,6 dias a 20-30°C; e 1,2 a 82,0 dias a 25-35°C. Esses valores são representados pelas espécies *L. gibertianus* e *Drymis brasiliensis*, as quais representam a mais rápida e a mais lenta germinação entre as espécies, respectivamente (APÊNDICE C). Em 45% das espécies o $T_{50\%}$ ocorreu em 10 dias em todas as temperaturas testadas. Em cinco espécies o $T_{50\%}$ só foi atingido acima de 40 dias e germinação final entre 60-100 dias (APÊNDICE C).

Figura 2 – Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%), e dias de germinação ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20 °C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. (Continua)

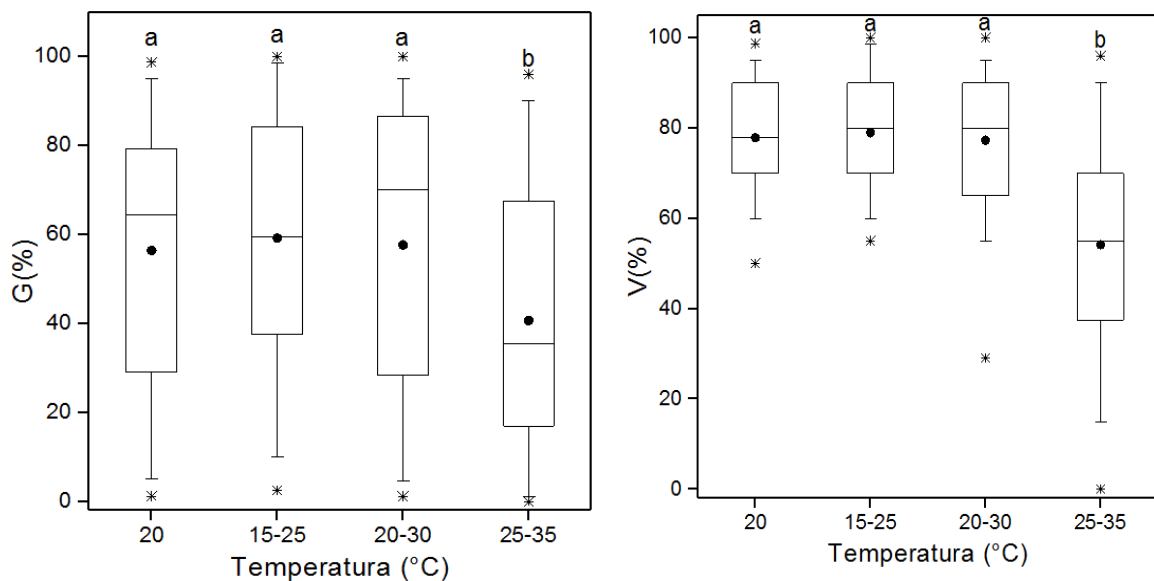
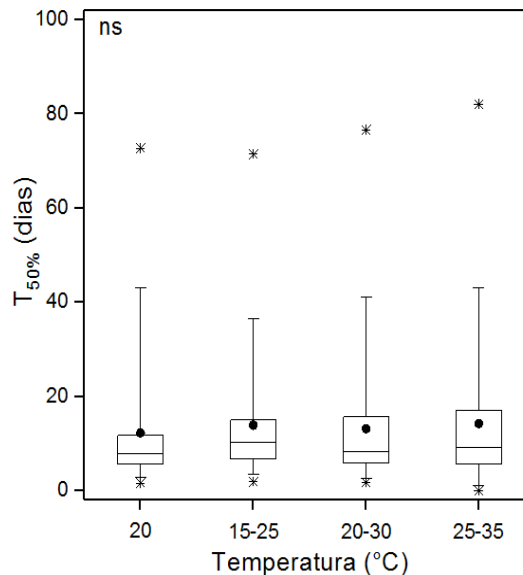


Figura 2 – Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%), e dias de germinação ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20 °C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. (Conclusão)



Legenda: A as linhas horizontais da caixa expressam os percentis 25 a 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; a média aritmética corresponde ao círculo fechado; o traço dentro da caixa representa a mediana, os asteriscos representam valores máximos e mínimos. Médias de germinação seguidas por letras distintas representam diferenças estatísticas entre as temperaturas pelo teste do GLM ($P < 0,05$). ns – não significativo estatisticamente.

3.4.3 Respostas germinativas versus características funcionais

As espécies caméfitas ($n=5$) apresentaram melhor germinação nas temperaturas alternadas em comparação com a temperatura constante. As espécies hemicriptófitas ($n=15$) tiveram resultados similares entre todas as temperaturas. Somente a temperatura alternada de 25-35°C apresentou diferença estatística com as demais temperaturas analisadas para as espécies fanerófitas ($n=44$) e geófitas ($n=4$) (Figura 3). A porcentagem de viabilidade não apresentou diferença estatística entre as temperaturas analisadas, exceto 25-35°C, a qual apresentou menor viabilidade das sementes em todas as formas de vida (Figura 3). O $T_{50\%}$ foi semelhante entre todas as formas de vida, não apresentando diferenças estatísticas entre as temperaturas (Figura 3).

As espécies asazonais ($n=11$) não apresentaram diferenças na germinação e viabilidade entre as temperaturas analisadas. As espécies que apresentam dispersão nas estações seca

(n=26) e chuvosa (n=31) apresentaram queda na porcentagem de germinação (Figura 4) e viabilidade (Figura 4) na temperatura de 25-35°C. Não houve diferenças estatísticas entre as demais temperaturas analisadas. O $T_{50\%}$ não apresentou diferenças estatísticas entre as temperaturas em nenhum dos períodos de dispersão (Figura 5C).

Figura 3 – Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%) e dias ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) para cada forma de vida de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. (Continua)

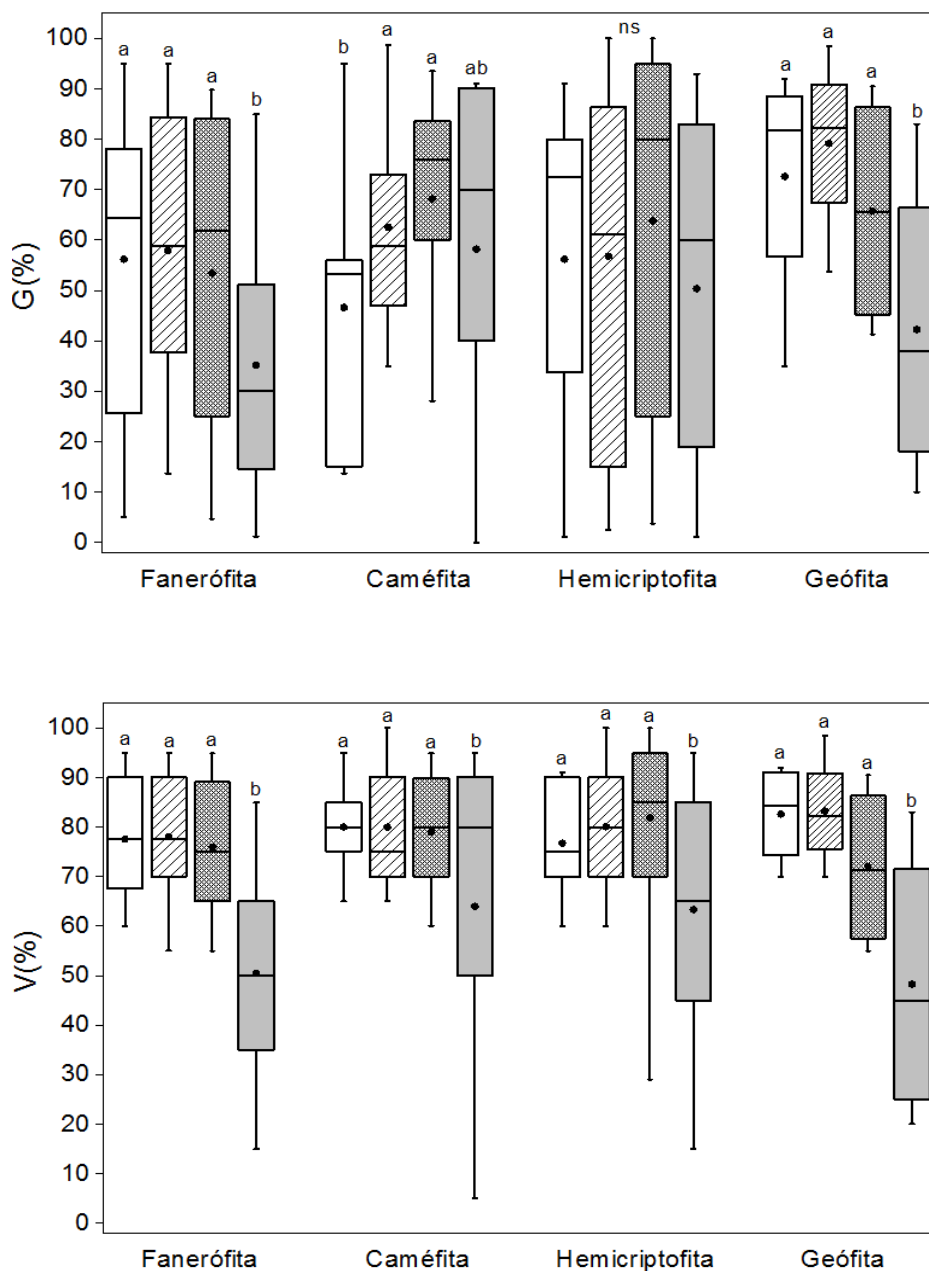
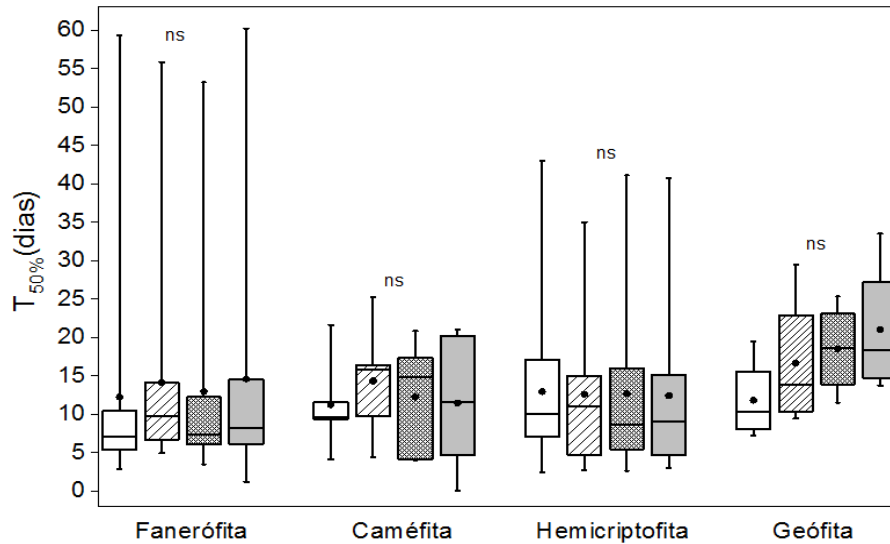
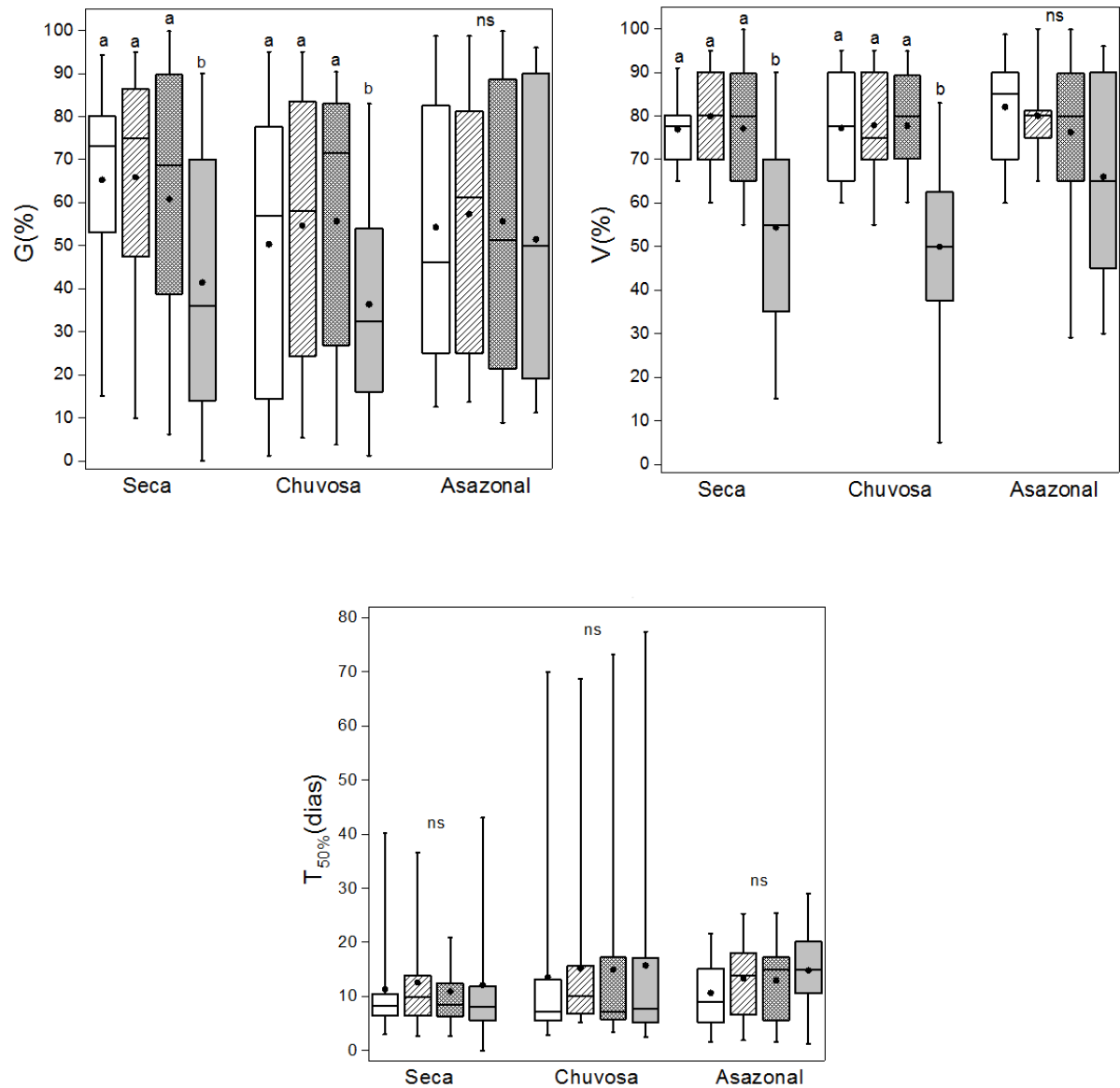


Figura 3 – Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%) e dias ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) para cada forma de vida de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. (Conclusão)



Legenda: A temperatura constante de 20°C corresponde às barras abertas, a alternada de 15-25°C às barras hachuradas, 20-30°C as barras quadriculadas, e 25-35°C barras cinza. A as linhas horizontais da caixa expressam os percentis 25 a 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; a média aritmética corresponde ao círculo fechado; o traço representa a mediana. Médias de germinação seguidas por letras distintas representam diferenças estatísticas entre as temperaturas pelo teste do GLM ($P < 0,05$). ns – não significativo estatisticamente.

Figura 4 – Comparação dos valores médios de germinação (G%), viabilidade (V%) e dias ($T_{50\%}$) entre as temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C, 20-30°C e 25-35°C) para cada período de dispersão de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.



Legenda: A temperatura constante de 20°C corresponde às barras abertas, a alternada de 15-25°C às barras hachuradas, 20-30°C as barras quadriculadas, e 25-35°C barras cinza. A as linhas horizontais da caixa expressam os percentis 25 a 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; a média aritmética corresponde ao círculo fechado; o traço representa a mediana. Médias de germinação seguidas por letras distintas representam diferenças estatísticas entre as temperaturas pelo teste do GLM ($P < 0,05$). ns – não significativo estatisticamente.

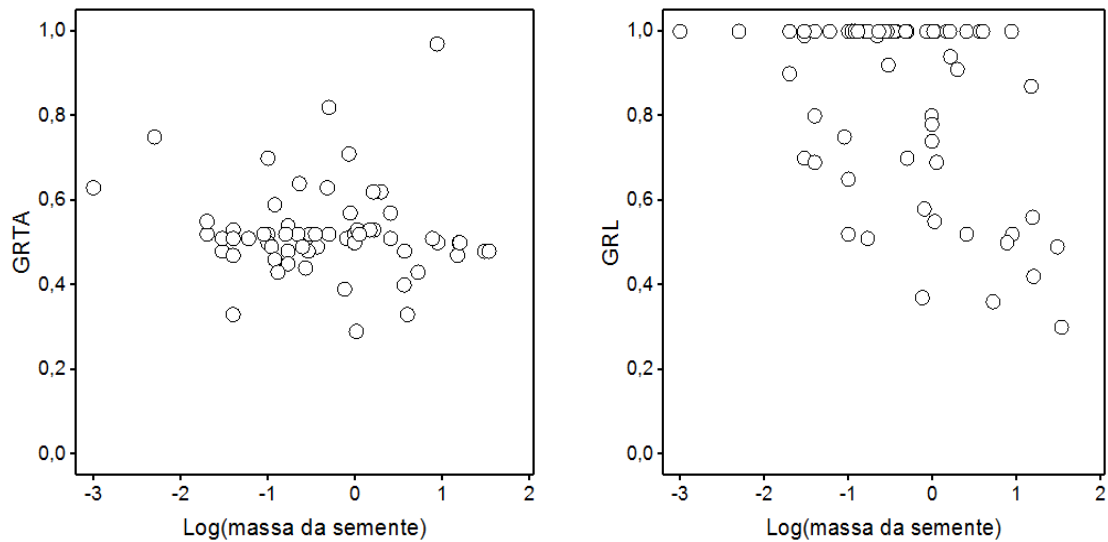
3.4.4 Germinação relativa na temperatura alternada e na luz

Na avaliação dos valores de GRTA, a maioria das espécies (71%) apresentou variação dos valores entre 0,41-0,60, os quais indicam que não houve diferenças na germinação entre temperatura constante e alternada (APÊNDICE C). Em 22% das espécies a temperatura alternada estimulou a germinação em comparação com a temperatura constante ($0,00 < \text{GRTA} < 0,40$). Em contraste, apenas 7% das espécies a temperatura constante promoveu maior porcentagem de germinação em comparação com a temperatura alternada ($0,61 < \text{GRTA} < 1,00$). O tamanho das sementes não influenciou na exigência de temperatura alternada para germinação das sementes. Os resultados do GRTA não demonstraram relação com a massa de sementes pelo coeficiente da correlação de Spearman ($\rho = -0,107$; $P=0,384$) (Figura 5).

O efeito da luz na germinação foi significativamente maior em relação ao escuro em 82% das espécies estudadas. Essas espécies, classificadas como fotoblásticas positiva, apresentaram valores de GRL entre 0,58 – 1,0, e dessas 56% germinaram somente na luz (GRL = 1,0). Em 12% a resposta foi fotoblástica neutra, ($0,49 < \text{GRL} < 0,57$), e em apenas 6% das espécies apresentou resposta fotoblástica negativa, na qual a germinação foi maior na condição escuro do que na luz ($0,00 < \text{GRL} < 0,48$) (APÊNDICE C). Sementes pequenas apresentaram maiores valores de GRL em relação às sementes com maior peso, ou seja, sementes pequenas foram mais dependentes da luz para germinação indicado pelo coeficiente de correlação de Spearman ($\rho = -0,327$; $P=0,006$) (Figura 5).

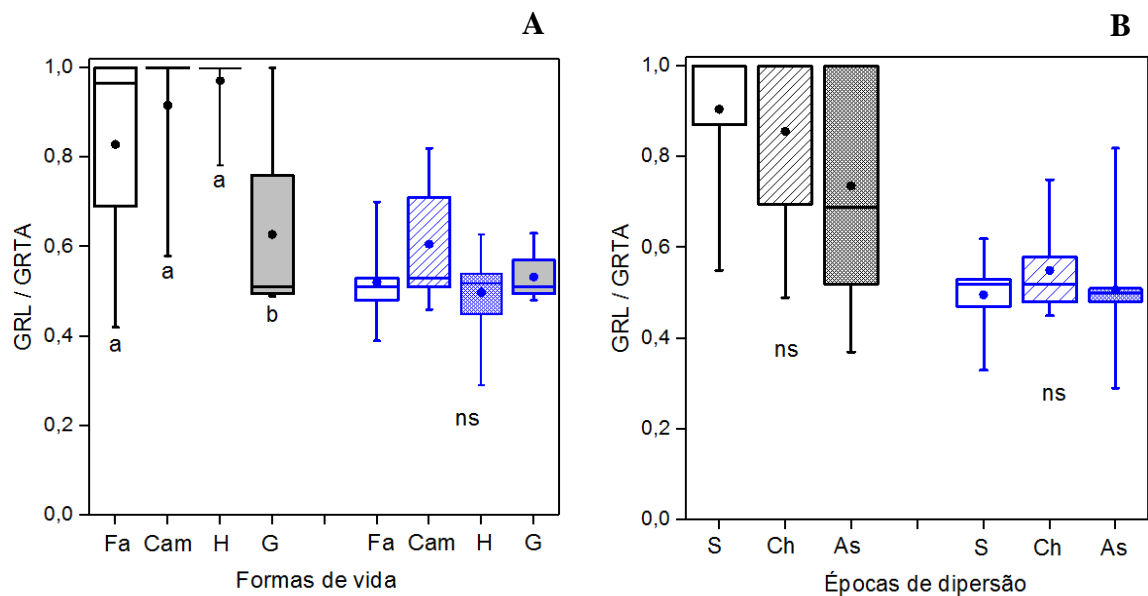
Não houve diferenças estatísticas no índice de germinação relativa na temperatura alternada (GRTA) entre as quatro formas de vida, assim como para os três períodos de dispersão (Figura 6A). Somente as espécies geófitas apresentaram valores de GRL estatisticamente menor que as demais formas de vida pelo teste de Kruskal-Wallis. Não houve diferenças entre os períodos de dispersão para os valores de GRL (Figura 6B).

Figura 5 – Relação entre a massa de sementes e a germinação relativa na luz (GRL), e germinação relativa na temperatura alternada (GRTA).



Legenda: Cada símbolo representa uma espécie.
 Correlação de Spearman GRTA: $\rho = -0,107$ ($P = 0,384$)
 Correlação de Spearman GRL: $\rho = -0,327$ ($P = 0,006$)

Figura 6 – Comparações dos índices de germinação relativa GRL (conjunto de box plots pretos) e GRTA (conjunto de box plots azuis) entre as quatro formas de vida, e os três períodos de dispersão de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.



Legenda: Formas de vida – fanerófitas (Fa), caméfitas (Cam), hemicriptófitas (H) e geófitas (G). Período de dispersão – época seca (S), época chuvosa (Ch) e asazonal (As). A as linhas horizontais da caixa expressam os percentis 25 a 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; a média aritmética corresponde ao círculo fechado; o traço representa a mediana. Medianas seguidas por letras distintas representam diferenças estatísticas entre as formas de vida pelo teste do Kruskal-Wallis. ns – não significativo estatisticamente.

3.4.5 Dormência de sementes

De acordo com as respostas germinativas, com os testes de embebição e de viabilidade, e da literatura existente, as espécies foram classificadas dentre as possíveis classes de dormência (APÊNDICE C). Cerca de 40% das espécies apresentaram dormência fisiológica (n=30) ou não apresentaram dormência (n=28) de sementes. As espécies classificadas com dormência fisiológica foram capazes de embeber, porém a germinação foi abaixo de 30% e/ou $T_{50\%}$ excedeu quatro semanas de experimento. As sementes não dormentes obtiveram alta porcentagem de germinação e $T_{50\%}$ menor que 20 dias nas temperaturas constante e alternada.

O teste de embebição revelou a dormência física em 6% das espécies, as quais não apresentaram diferenças estatísticas entre as sementes secas e embebidas (APÊNDICE E). As espécies *M. itatiaensis* e *S. itatiaie* também foram classificadas com dormência física, uma vez que, mais de 70% das sementes não foram capazes de embeber.

A dormência morfológica e a morfofisiológica foram encontradas em 4% e 6% das espécies analisadas, respectivamente. Estes dois tipos de dormência foram revelados pelos altos valores de $T_{50\%}$.

3.4.6 Análises de PCA e cluster

A análise de PCA revelou a estrutura de correlação das respostas germinativas, explicando 71,47% da variação total no conjunto de dados. As duas primeiras dimensões (Dim1 e Dim2) do PCA foram responsáveis por 42,13% e 29,34% das variações observadas, respectivamente (Figura 7). As variáveis, G e V para as três temperaturas apresentaram maior contribuição e correlação significativa (Correlação de Spearman $P < 0,05$) com a primeira dimensão (Tabela 1). A segunda dimensão apresentou correlação significativa (Correlação de Spearman $P < 0,05$) com todas as variáveis (Tabela 1). Além disso, o $T_{50\%}$ das três temperaturas analisadas foi a variável que apresentou maior contribuição na Dim2 (Tabela 1).

A análise de agrupamentos com as 68 espécies (Figura 7) revelou três agrupamentos principais (1, 2 e 3; APÊNDICE C). O "Cluster 1" foi representado pelo maior número de espécies (34 espécies), incluindo grande parte das espécies que apresentaram dormência, com

germinação baixa nas três temperaturas ou que germinaram melhor em uma temperatura específica, com diferenças entre temperatura alternada e constante. O $T_{50\%}$, a viabilidade e a TE% variaram neste grupo. O "Cluster 2" (30 espécies), inclui as espécies com alta (>60% nas três temperaturas) e rápida ($T_{50\%}$ em até 15 dias) germinação. Este grupo é formado pelas espécies que não apresentam dormência de sementes, com exceção de *Alstroemeria isabelleana* e *Coccocypselum condalia*. Apesar de apresentarem alta porcentagem de germinação, o $T_{50\%}$ destas espécies ultrapassou 15 dias e a germinação final ocorreu em mais quatro semanas. O menor grupo é representado pelo "Cluster 3" (4 espécies), incluindo as espécies com maiores valores de $T_{50\%}$ nas três temperaturas analisadas (>45 dias), além de apresentarem alta germinação em todas as temperaturas, exceto *Myrsine gardneriana*, em que a germinação alta (>70%) ocorreu apenas na temperatura de 20-30°C. A TE% variou dentro dos três agrupamentos. As duas únicas espécies (*L. gibertianus* e *L. speciosa*) que não aumentaram a massa das sementes pelo teste de embebição estão agrupadas no Cluster 1.

Tabela 1 – Contribuição (Ctr) das características de germinação das sementes nas temperaturas constante (20°C) e alternada (15-25°C e 20-30°C), e taxa de embebição (TE%), valores dos coeficientes de Spearman (ρ), variância e variância cumulativa explicada pelos dois principais componentes do PCA (Dim1 e Dim2).

Variáveis	Dim1		Dim2	
	Ctr	ρ	Ctr	ρ
G20°C	14,33	0,801	4,70	0,610
G15-25°C	17,66	0,876	3,18	0,587
G20-30°C	18,25	0,885	1,33	0,503
$T_{50\%}$ 20°C	1,94	0,056	29,11	-0,719
$T_{50\%}$ 15-25°C	1,96	0,032	28,77	-0,768
$T_{50\%}$ 20-30°C	1,99	0,082	29,09	-0,743
V 20°C	13,32	0,725	0,05	0,232
V15-25°C	16,55	0,819	0,13	0,376
V20-30°C	13,97	0,813	0,14	0,347
TE(%)	0,001	-0,037	3,46	0,303
Variância (%)	44,13		29,33	
Variância cumulativa (%)	44,13		71,47	

Legenda: G - germinação; V - viabilidade; $T_{50\%}$ - tempo de germinação.

Os números em negrito demonstram correlação significativa ($P < 0,05$).

3.5 Discussão

O presente estudo demonstrou sementes altamente viáveis e heterogeneidade nas estratégias germinativas. Esse é o primeiro estudo com informações de 68 espécies frequentes dos campos de altitude, em relação à germinação, dormência, viabilidade, tempo de germinação e suas relações com características funcionais para uma melhor compreensão do comportamento ecofisiológico dessa comunidade. À semelhança de vegetações do tipo campestre tanto de clima tropical como temperado (PONS, 2000; MILBERG et al., 2000, FENNER, THOMPSON, 2005; SCHWIENBACHER et al., 2011; LE STRADIC et al., 2015; NUNES et al., 2016), os resultados de alta variabilidade das respostas germinativas pode ser atribuído a uma estratégia de sobrevivência para enfrentar condições ambientais mais extremas, e muitas vezes imprevisíveis.

A germinação das sementes foi alta (>60%), e o requerimento por temperatura alternada não foi observado na maioria das espécies. Resultados semelhantes foram encontrados em diversas vegetações do tipo campestre (ABREU, GARCIA, 2005; OLIVEIRA, GARCIA, 2005; SCHWIENBACHER et al., 2011; LE STRADIC et al., 2015). Apesar da alta amplitude térmica encontrada nos campos de altitude, a ausência por temperatura alternada observada neste estudo pode estar relacionada às interações positivas entre plantas dessa comunidade, onde a presença de uma dada espécie pode amenizar as condições abióticas (e.g. diminuição da amplitude térmica), aumentando assim a sobrevivência da demais (CALLAWAY, 1995). Estudos sugerem que quanto maior o grau de estresse ambiental encontrados em uma comunidade, mais interações positivas (facilitação) tendem a ocorrer entre as espécies (ver ZALUAR, SCARANO, 2000). Além disso, de acordo com Baskin e Baskin (2014), o requerimento por temperatura alternada pode apresentar efeitos variáveis na germinação, indicando uma diferenciação do nicho de regeneração, o que afeta a distribuição das plantas e a coexistência das espécies nos campos de altitude.

No presente estudo foi encontrado uma predominância de sementes pequenas, com uma maior frequência entre os valores de 0,001-1,5 mg. Esse resultado era esperado, uma vez que, vegetações campestres geralmente apresentam maior frequência de espécies herbácea-arbustiva, que produzem sementes menores em comparação com espécies arbóreas (MOLES et al., 2005). Adicionalmente, de acordo com Rubio de Casas e colaboradores (2017), em escala global é esperado para habitats sazonais que as sementes relativamente pequenas sejam predominantes.

Em grande parte das espécies analisadas (82%), a germinação foi significativamente maior na presença de luz, demonstrando que este é um fator limitante para o recrutamento dessas espécies. Além disso, foi encontrada correlação significativa entre a massa das sementes e o requerimento de luz na germinação, demonstrando que sementes pequenas foram mais dependentes da luz para germinar. Esses resultados corroboram com as pesquisas em diversos tipos de vegetação campestre, tanto de clima tropical como temperado (MILBERG et al., 2000; FENNER, THOMPSON, 2005; PONS, 2014; NUNES et al., 2016). Milberg e colaboradores (2000) sugeriram que a relação dos fatores luz *versus* massa da semente coevoluiu com o tempo como uma adaptação das espécies com sementes pequenas, para garantir a germinação somente quando próximas à superfície do solo. Sementes pequenas apresentam pouca reserva nutricional, o que dificulta o desenvolvimento da plântula, principalmente para as que estão em uma maior profundidade no solo (BEWLEY, BLACK, 1994; PONS, 2000).

Adicionalmente, os requisitos por temperatura e luz, e/ou suas interações, na germinação, tem sido o foco de muitas pesquisas sobre ecologia de sementes, que mostram o papel importante desses fatores na regulação do processo da germinação (PONS, 2000, 2014; PROBERT, 2000). Por exemplo, para algumas espécies fotoblásticas positivas, a temperatura alternada pode substituir total ou parcialmente o requerimento de luz na germinação (PONS, 2000). Isso não ocorreu com as sementes do presente estudo, onde a maioria das espécies não germinou na ausência de luz mesmo em temperatura alternada, além de apresentar redução significativa na viabilidade das sementes. Assim, a luz se mostrou um fator mais importante como sinal para a ocorrência da germinação do que a temperatura alternada para as espécies estudadas.

Os requerimentos por temperatura alternada e luz quando avaliado entre as formas de vida e entre os períodos de dispersão não demonstraram diferenças entre as classes. Efeitos não significativos da forma de vida na germinação também foram reportados para espécies de vegetação campestre alpina (XU et al., 2014) e semiárida (WANG et al., 2016). No entanto, de acordo com Xu e colaboradores (2014), o efeito da forma de vida na germinação das sementes pode variar em relação ao tipo de vegetação, uma vez que, fatores como a composição florística, categoria da forma de vida e a classificação podem afetar os resultados do efeito sob a germinação.

Apesar dos campos de altitude apresentarem condições climáticas mais extremas, principalmente no inverno, foi coletado quantidade similar de espécies (cerca de 40%) nas estações seca e chuvosa, e 16% das espécies foram coletadas em ambas as estações. A fenologia de dispersão é influenciada por vários fatores ecológicos abióticos e bióticos, como o clima e a

presença de dispersores de sementes, respectivamente (FENNER, THOMPSON, 2005). Geralmente, o desenvolvimento de frutos e a maturação das sementes devem ser cronometrados com condições adequadas para a dispersão das sementes e o estabelecimento da planta em cada espécie (TRAVERSE et al., 2013). Assim, a sazonalidade da maioria das espécies dos campos de altitude indica que os fatores climáticos definem a adaptação e distribuição das espécies às condições locais.

Assim como para as formas de vida, a temperatura alternada de 25-35°C afetou negativamente a viabilidade das sementes nas estações chuvosa e seca. Em ambas as características funcionais, a perda de viabilidade pode estar relacionada com as alterações nas reações enzimáticas e metabólicas das sementes, provocados pelo aumento na temperatura de germinação (MARCOS FILHO, 2005; BRADFORD, NONOGAKI, 2007).

Dessa maneira, em vista das mudanças climáticas previstas (IPCC, 2014), e especificamente em relação ao aquecimento global, os resultados do presente estudo indicam uma tendência de respostas negativas tanto da produção das sementes quanto das estratégias germinativas das espécies dos campos de altitude. Neste último caso, o aumento na temperatura de germinação reduziu significativamente a viabilidade da maioria das formas de vida (84%) e períodos de dispersão (88%). Além disso, a germinação rápida foi encontrada em 70% das espécies analisadas, as quais apresentaram $T_{50\%}$ abaixo de 15 dias e germinação final em até 30 dias. Esses resultados sugerem que, com o aumento da temperatura previsto essas espécies provavelmente terão a distribuição da germinação ao longo do tempo alterada, uma vez que, que este fator climático influencia diretamente o tempo de germinação (FENNER, THOMPSON, 2005; BASKIN, BASKIN, 2014).

A proporção de espécies dormentes foi maior do que espécies não-dormentes, e a dormência fisiológica (DF) foi a mais frequente entre as espécies. Estes resultados corroboram estudos que apontaram a presença de dormência na maioria das espécies de vegetações encontrada no alto das montanhas (BASKIN et al., 2000; ver BASKIN, BASKIN, 2014). Os mecanismos de dormência são processos evolutivos seletivos que permitem que as sementes interpretem com sucesso as condições ambientais favoráveis para germinar, e dessa maneira, as estratégias de germinação são adaptadas à heterogeneidade do ambiente (ALVARADO, BRADFORD, 2005). Além disso, algumas espécies podem usar o mecanismo de dormência como estratégia para distribuir novos indivíduos ao longo do tempo, inibindo a germinação até que a semente receba uma condição específica apropriada (VENABLE, 2007; POISOT et al., 2011; BASKIN, BASKIN, 2014). Isso pode explicar a baixa germinação encontrada em algumas espécies estudadas, que mesmo apresentando alta viabilidade e sob condições

favoráveis não foram capazes de germinar. Essas espécies podem requerer condições mais específicas e/ou maior tempo para ocorrer a germinação.

De acordo com Baskin e Baskin (2014), grande parte das espécies herbáceas-arbustivas de áreas montanhosas tropicais possuem sementes com dormência fisiológica (DF). Certamente, a grande frequência da DF no presente estudo está associada às condições climáticas dos campos de altitude. No geral, espécies de habitats alpinos e subárticos com DF, necessitam de estratificação a frio durante o inverno para a quebra da dormência, e posterior germinação no verão, o qual apresenta condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento do indivíduo (SCHWIENBACHER et al., 2011; MARCANTE et al., 2012; KÖRNER, 2013; TUDELA-ISANTA et al., 2018a, 2018b). No entanto, os padrões de germinação e dormência podem ser diferentes em populações da mesma espécie em ambientes distintos. Como exemplo, a maioria dos estudos demonstrou que espécies da família Velloziaceae (SOARES DA MOTA, GARCIA, 2013; KILDICHEVA et al., 2020), e especificamente do gênero *Barbacenia* sp. dos campos rupestre (BICALHO et al., 2018) não apresentaram dormência, e contrariamente, a espécie *Barbacenia gounelleana* analisada no presente estudo, apresentou baixa germinação mesmo sob condições favoráveis, e a viabilidade se manteve alta, indicando um estado de dormência das sementes (além do experimento de armazenamento demonstrar um aumento de germinação desta espécie item 6).

Poucas espécies no presente estudo apresentaram dormência morfológica (DM) e morfofisiológica (MF), nas quais estão inseridas as espécies que germinaram mais lentamente. Nestes tipos de dormência a demora na germinação, mesmo sob condições ideais, é devido ao período necessário de desenvolvimento do embrião antes da emergência da radícula (BASKIN, BASKIN, 2004a). Todas as espécies classificadas como DM ou MF dispersaram as sementes na estação chuvosa ou ao longo do ano. Estudos relataram que a superação de DM e MF requer uma sequência temporal de diferentes condições ambientais, como a estratificação a frio (BASKIN, BASKIN, 2014; VANDELOOK et al., 2009). Dessa maneira, provavelmente as sementes dessas espécies, permanecem no banco de sementes do solo até serem submetidas às condições climáticas diferentes necessárias para a superação da dormência, como passagem pela estação seca e fria.

A dormência física (FS) foi a menos frequente, encontrada apenas nas espécies das famílias Fabaceae e Lamiaceae. Esse tipo de dormência é largamente reportado para família Fabaceae em todos os tipos de vegetação (BASKIN, BASKIN, 2014), e em algumas espécies da Austrália (AINSLEY, JONES, 2010) e Argentina (ASHWORTH et al., 2017) da família Lamiaceae. A FS está associada à impermeabilidade do tegumento, sendo mais comum em

ambientes que apresentam sazonalidade bem definidas (BASKIN, BASKIN, 2000; RUBIO DE CASAS et al., 2017). O momento da liberação da FS é importante para o estabelecimento da muda em condições naturais variáveis (BASKIN, BASKIN, 2014), e com exceção de *L. gibertianus*, que dispersou suas sementes ao longo do ano, as demais dispersaram na estação seca, menos favorável devido às condições climáticas. Além disso, estudos anteriores relataram que a flutuação da temperatura é um fator importante na liberação de FS (BASKIN et al., 2006a; BASKIN, BASKIN, 2014). Assim, é possível que essas sementes permaneçam dormentes no banco de sementes do solo após a dispersão, e a percam gradativamente na estação chuvosa, a qual apresenta amplitude térmica mais alta, além de disponibilidade hídrica.

As análises de PCA e cluster se mostraram ferramentas estatísticas robustas para formação de padrões desta comunidade. Era esperada a separação dos grupos por tipo e/ou nível de dormência das sementes. No entanto, as espécies foram agrupadas de acordo com a presença e ausência de dormência, e a inclusão de mais parâmetros que envolvam os padrões de dormência, assim como superação da mesma, possa ser necessária para melhor agrupamento das espécies desta comunidade. Além disso, é importante ressaltar que a superação da dormência e a germinação são dois processos distintos que podem ter requerimentos diferentes (THOMPSON, OOI, 2010). Por exemplo, muitas espécies requerem, em alguns casos, mais de um ano para a superação da dormência (WALCK et al., 2005) e somente estudos de longo prazo podem determinar ciclos sazonais de emergência em espécies dormentes. Além disso, as causas da presença e tipos de dormência podem ser múltiplas e às vezes difíceis de classificar. Assim, é recomendável mais pesquisas para confirmar os tipos de dormência encontrados no presente estudo, uma vez que, não foram utilizados métodos de superação de dormência, ou análise direta dos embriões no caso de DM e MF.

Assim, a dormência parece desempenhar um papel significativo no controle da germinação de muitas espécies dos campos de altitude, e, portanto, conferindo estratégias de regeneração mais adaptadas a condições edafoclimáticas desafiadoras. No entanto, dependendo da espécie, as mudanças climáticas previstas, e, sobretudo em função da alteração do regime térmico, provavelmente irão alterar os sinais ambientais que impulsionam mudanças no estado de dormência da semente, e, portanto, no tempo de germinação. Essas mudanças na fenologia da germinação incluem impedimento, atraso ou aumento na regeneração via sementes (WALCK et al., 2011), o que resultará em mudanças na composição das espécies e diversidade de comunidades.

3.6 Conclusões

- No geral, a alternância de temperatura não se mostrou um fator necessário para a ocorrência da germinação das espécies;
- Um aumento na temperatura média de germinação causou redução significativa na viabilidade da maioria das espécies;
- Grande parte das espécies necessita de luz para germinar, principalmente as que apresentam sementes pequenas;
- As características funcionais apresentaram respostas distintas ao requerimento por temperatura alternada e luz na germinação;
- A dormência foi encontrada na maioria das espécies, com uma frequência maior de dormência fisiológica;
- As espécies foram agrupadas de acordo com estratégias germinativas similares e presença de dormência.

4 EFEITO DO CHOQUE TÉRMICO NAS RESPOSTAS GERMINATIVAS DE 44 ESPÉCIES DOS CAMPOS DE ALTITUDE DO ITATIAIA

4.1 Introdução

O fogo é um processo ecológico antigo e um agente evolutivo significativo, sendo considerado um dos distúrbios naturais mais comuns, típico de muitos biomas (BOND, KEELEY, 2005). Em ecossistemas com vegetação do tipo mediterrânica e savânicas distribuídas pelo mundo, o fogo é um importante componente dos sistemas ecológicos como fonte de perturbação natural, onde desempenha um papel fundamental na distribuição da vegetação, influenciando a sobrevivência, crescimento e reprodução das plantas (KEELEY, 1995; BOND, 2008; KEELEY et al., 2011; MURPHY, BOWMAN, 2012; LEHMANN et al., 2014). Entretanto, os efeitos do fogo nos ecossistemas ainda são um desafio para a ciência, sejam eles positivos ou negativos (DURIGAN, RATTER, 2015), e podem se tornar ainda mais imprevisíveis no futuro, devido às alterações na cobertura vegetal e as previsões das mudanças climáticas (BOWMAN et al., 2009; IPCC, 2014).

Em grande parte dos ecossistemas tropicais, e principalmente nas florestas tropicais, o fogo de origem natural é caracterizado por uma baixa frequência (COCHRANE, SCHULZE, 1999). Este fator torna esses ecossistemas mais vulneráveis aos efeitos do fogo, por apresentarem em sua maioria espécies não adaptadas a tais efeitos (COCHRANE, SCHULZE, 1999). Estudos paleoecológicos realizados nas montanhas do sudeste brasileiro demonstraram através de registros de pólen e carvão, a presença histórica do fogo como evento natural datada no Pleistoceno (BEHLING, 1997; SAFFORD, 2001; BEHLING et al., 2007; BEHLING, SAFFORD, 2010). No entanto, nos dias atuais a ocorrência natural do fogo é rara, e sua presença e frequência estão diretamente relacionadas às ações antrópicas (VERÍSSIMO et al., 2012). Adicionalmente, as mudanças climáticas preveem uma intensificação de eventos do clima em todo mundo devido ao aquecimento global, dentre elas um aumento na ocorrência de queimadas (IPCC, 2014).

Os campos de altitude, ecossistemas associados ao bioma Mata Atlântica, estão em situação de grande isolamento, devido ao confinamento natural do alto das montanhas e pela pressão exercida por diversos tipos de agentes naturais e antrópicos (SANTOS et al., 2000; PEREIRA et al., 2006). A vegetação é formada predominantemente por espécies herbáceas.

arbustiva de alta flamabilidade. Essas características associadas às condições do clima contribuem para vulnerabilidade desse ecossistema às mudanças climáticas (SAFFORD, 1999a; ALVES, 2013, ASSIS, MATTOS, 2016). É previsto para os ecossistemas tropicais que durante o inverno, que corresponde a estação seca do ano, ocorra um aumento da temperatura e do déficit hídrico, além de uma baixa umidade relativa do ar (IPCC, 2014). Essas características favorecem ainda mais a ocorrência de fogo na vegetação desse ecossistema (GOLDSTEIN et al., 2008). Além disso, a utilização indevida do fogo, para modificação do uso do solo, fogueiras, entre outros, são um dos principais fatores de alteração frequente deste ecossistema (RIBEIRO, MEDINA, 2002; AXIMOFF, 2011; AXIMOFF, RODRIGUES, 2011).

O processo de regeneração da vegetação no pós-fogo passa por um conjunto complexo de repostas, em termos da estrutura e a dinâmica das comunidades (LIBANO, FELFILI, 2006). Essas respostas indicam um potencial de regeneração muito variável, o qual depende da frequência, tamanho e intensidade do fogo, além das condições climáticas e das características ecológicas da vegetação (BOND et al., 2005; PAUSAS, KEELEY, 2009). Adicionalmente, o potencial regenerativo da vegetação, tanto de espécies adaptadas e não adaptadas aos efeitos do fogo, vem sendo afetado pelo aumento na frequência dos incêndios de ação antrópica em todo mundo (COCHRANE, 2001; GRALEWICZ et al., 2012; LEWIS et al., 2015). Este aumento na frequência está relacionado diretamente à crescente taxa de desmatamento e ao aquecimento global, que favorecem condições propícias a ocorrência do fogo, como a intensificação de eventos de seca, ondas de calor e o aumento da temperatura média do ar (FLANNIGAN et al., 2005; IPCC, 2014).

No geral, o fogo pode levar a morte da planta, e a continuidade da espécie no ambiente depende de janelas de oportunidades para o sucesso do recrutamento no pós-fogo (WHELAN, 1995). Diversas características funcionais das espécies como, anatômicas, fisiológicas e fenológicas, e das sementes, como dormência e longevidade, são fatores importantes para sobrevivência das espécies, que podem persistir no ambiente no pós-fogo, através do rebrotamento de partes vegetativas (partes aéreas ou enterradas) e/ou recrutamento via sementes (WHELAN, 1995; BOND, MIDGLEY, 2001; PAUSAS et al., 2004; CORLETT, PRIMACK, 2011). O processo de regeneração via semente pode ser influenciado pelo fogo de três maneiras distintas: indução a germinação de sementes dormentes; pela morte das sementes; ou não causar efeitos significativos (KEELEY, FOTHERINGHAM, 2000; BASKIN, BASKIN, 1989, 2014). Neste caso, espécies mais adaptadas podem apresentar estratégias de germinação que otimizam a sobrevivência no pós-fogo, as quais são estimuladas pelas altas temperaturas atingidas durante a passagem do fogo (KEELEY, FOTHERINGHAM, 1998). O choque térmico provocado pelas

altas temperaturas pode estimular a germinação através da (i) indução na produção de reguladores de crescimento que atuam como sinais para a germinação em sementes permeáveis a água (AULD, OOI, 2009), ou (ii) causar ruptura nas camadas do tecido de revestimento quebrando de dormência física em sementes impermeáveis a água (PAULA, PAUSAS, 2008; RIBEIRO et al., 2013; OOI et al., 2014).

O efeito do fogo na germinação e na dormência de sementes tem sido amplamente estudado em ecossistemas de clima mediterrâneo, onde a sua ocorrência é considerada um fator estruturador da vegetação (KEELEY, BOND, 1997; HANLEY et al., 2001; PAUSAS, VERDÜ, 2005; LUNA et al., 2007; MOREIRA et al., 2010). No Brasil, os estudos sobre os efeitos do fogo na germinação estão concentrados principalmente nos campos limpos, sujos e rupestres, onde a presença do fogo como um evento natural é comum (COUTINHO, 1982; RIBEIRO et al., 2013; SILVEIRA, OVERBECK, 2013; LE STRADIC et al., 2015). Já nos campos de altitude, a ocorrência do fogo está diretamente relacionada às causas antrópicas. Estudos sobre seus efeitos na vegetação estão concentrados na composição, estrutura e manejo do fogo nessa comunidade (AXIMOFF, 2011; AXIMOFF et al., 2016). Além disso, para este ecossistema não há estudos sobre os efeitos do choque térmico sob os processos germinativos em nível de comunidade. Desse modo, com o aumento da interferência humana e das previsões de aumento na ocorrência de queimadas, os estudos sobre o efeito do fogo em comunidades são uma questão importante para o conhecimento da resiliência desta vegetação.

4.2 Objetivos

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivos analisar os efeitos das altas temperaturas nos processos germinativos de 44 espécies dos campos de altitude do Itatiaia através das seguintes questões:

- Qual o comportamento germinativo das espécies após a exposição às altas temperaturas, simulando o efeito do fogo na vegetação?
- Como as altas temperaturas afetam a viabilidade, germinação e a dormência das sementes?

- O comportamento germinativo, diante as altas temperaturas, está relacionado com as características funcionais (forma de vida e época de dispersão) das espécies?

4.3 Material e métodos

4.3.1 Coleta de sementes

Sementes de 44 espécies foram coletadas entre os meses de janeiro de 2015 e junho de 2017, nos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia, em áreas que apresentam registros da passagem do fogo (FURTADO et al., 2001; AXIMOFF et al., 2016). Detalhes do local de coleta e dos procedimentos pós-coleta são apresentados nos itens 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente. As sementes foram coletadas aleatoriamente de aproximadamente 20 indivíduos de diferentes populações durante a dispersão natural das sementes, incluindo quatro tipos de forma de vida (geófito, hemicriptófito, caméfito e fanerófito) e em diferentes períodos de dispersão (estação seca, estação chuvosa e sazonal (em ambas as estações)). A taxa de embebição foi calculada (conforme o item 3.2.2) para a confirmação da dormência física das espécies.

4.3.2 Choque térmico e germinação das sementes

Para testar os efeitos do choque térmico na germinação, as sementes frescas foram submetidas a três diferentes temperaturas (80°C, 100°C e 120°C) em estufa por cinco minutos. As temperaturas e o tempo utilizados no estudo foram escolhidos de acordo com estudos prévios em ecossistemas propensos ao fogo de vegetações campestres (MIRANDA et al., 1993; MELO et al., 2007; FIDELIS et al., 2010; PIVELLO et al., 2010; SANTANA et al., 2013). Segundos esses autores, essas temperaturas podem ser alcançadas na superfície do solo ou nos primeiros centímetros abaixo do solo, onde se encontram a maior parte do banco de sementes do solo.

Posteriormente ao choque térmico, 120 sementes foram distribuídas em seis repetições por tratamento e, colocadas para germinar em placas plásticas de Petri (5 cm de diâmetro), sobre

duas camadas de papel filtro umedecidas com 2mL de água destilada. Um conjunto de 120 sementes sem tratamento pré-germinativo foi utilizado como tratamento controle. Em seguida, as placas foram colocadas em câmara de germinação BOD (modelo FANEM) na temperatura alternada de 15-25°C (temperatura ótima para maioria das espécies – dados coletados no item 3) sob fotoperíodo de 8 horas (8h luz/ 16h escuro). A verificação da germinação foi realizada a cada dois dias por oito semanas, através da emergência da radícula com geotropismo positivo (LABORIAU, 1983). Ao final do experimento, as sementes não germinadas foram seccionadas longitudinalmente para avaliação quanto à viabilidade (CRAWFORD et al., 2007; BASKIN, BASKIN, 2014). As sementes foram consideradas viáveis quando apresentaram embrião firme e de coloração clara. Espécies foram consideradas dormentes quando a germinação não ocorreu em menos de 30% das sementes viáveis em quatro semanas (DAYRELL et al., 2016), e/ou a germinação foi estimulada por algum tratamento pré-germinativo do choque térmico.

4.3.3 Análise estatística

Análises de Modelo Linear Generalizado (GLM, R pacote: lme4) (ZUUR et al., 2009; BATES et al., 2014) foram realizadas para estimar os efeitos do choque térmico nas variáveis porcentagem de germinação e de viabilidade das sementes para cada espécie, e na comparação entre as formas de vida e período de dispersão, utilizando a distribuição binomial com a função de ligação logit. A significância para todos os testes estatísticos foi estabelecida em $P < 0,05$. O tempo de germinação foi estimado através da curva sigmoidal logística $y = a * \exp(-\exp(-k * (x-x_c)))$, considerando o melhor ajuste dos resultados, onde a é o coeficiente que descreve a porcentagem máxima de germinação e x_c ($T_{50\%}$) é o coeficiente que estima o valor em dias de 50% da máxima de germinação (BROWN, MAYER, 1988). Análise de GLM, com distribuição gamma e função inversa, foi utilizada para avaliar os efeitos dos tratamentos de choque térmico no tempo de germinação. O melhor modelo de adaptação dos dados nas análises de GLM foi baseado no critério de informação de Akaike (AKAIKE, 1973).

Para forma de vida e período de dispersão, o efeito do choque térmico nas variáveis germinação e viabilidade foi avaliado por meio da análise de deviance (ANODEV), utilizando o log da verossimilhança do modelo. As hipóteses foram testadas pelo teste de Qui-quadrado (χ^2). Nesta análise devido ao baixo número de indivíduos coletados, as formas de vida geófitas

e caméfitas foram classificadas junto às formas de vida hemicriptófita e fanerófita, respectivamente.

As respostas de germinação ao choque térmico foram classificadas como propostas por Luna e colaboradores (2007) e Paula e Pausas (2008): (1) espécies sensíveis - a germinação foi significativamente menor em todos os tratamentos comparados com o controle; (2) espécies tolerantes - a porcentagem de germinação apresentou resultado semelhante ao tratamento controle, em pelo menos um tratamento de choque térmico; (3) espécies estimuladas - a germinação foi estimulada em pelo menos um dos tratamentos de choque térmico, apresentando resultado estatisticamente maior que o tratamento controle.

As análises estatísticas foram realizadas usando o programa R versão 3.6.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), e os gráficos foram confeccionados no programa Origin 8.0 (ORIGINLAB CORPORATION, EUA).

4.4 Resultados

4.4.1 Efeito do choque térmico na germinação e viabilidade das sementes

A resposta de germinação aos efeitos do choque térmico variou entre as espécies estudadas. Espécies sensíveis e tolerantes foram igualmente frequentes (cerca de 40% nos dois casos), seguida das espécies estimuladas (11%) pelo choque térmico (Tabela 3). Em 7% das espécies a germinação foi muito baixa (<20%) em todos os tratamentos. Por isso não foram classificadas quanto à resposta ao choque térmico.

Dentre as espécies sensíveis, todas perderam drasticamente a viabilidade após os tratamentos de choque térmico, independentemente da temperatura testada (Tabela 3).

Dentre as espécies classificadas como tolerantes, 35% delas não tiveram a germinação afetadas ($P > 0,05$) por quaisquer temperaturas utilizadas no choque térmico. Em contrapartida, 41% das espécies dentro desta categoria tiveram sua germinação reduzida ($P < 0,05$) nas temperaturas mais altas (100°C e 120°C). Em 24% delas, a germinação foi significativamente reduzida apenas na temperatura mais alta do choque térmico (120°C), em comparação ao tratamento controle (Tabela 3).

A germinação foi estimulada após o choque térmico em *Trixis glaziovii*, *Maytenus boaria*, além de todas as espécies representantes da família Fabaceae (*L. gibertianus*, *M. itatiaiensis* e *S. itatyaeae*). A porcentagem de germinação foi maior na temperatura de 80°C nas espécies *M. boaria*, *M. itatiaiensis* e *S. itatyaeae*, e a 100°C nas espécies *T. glaziovii* e *L. gibertianus* (Tabela 3).

A dormência física foi confirmada através da taxa de embebição somente em *L. speciosa* e *L. gibertianus*. *M. itatiaiensis* e *S. itatyaeae* também foram classificadas com dormência física. Nessas espécies, uma pequena proporção de sementes foi capaz de embeber, e as diferenças estatísticas na taxa de embebição se deram através do alto incremento no peso de poucas sementes.

Carex brasiliensis, *Dasyphyllum leptacanthum*, *Escallonia bifida*, *L. speciosa*, *L. gibertianus* e *M. itatiaiensis* apresentaram baixa germinação (<30%) no tratamento controle, e após o teste de corte foram classificadas como dormentes por apresentarem viabilidade acima de 60%. Dessas, apenas *M. itatiaiensis* e *L. gibertinaus* tiveram a dormência superada após o choque térmico a 80°C e 100°C, respectivamente. Com exceção de *D. leptacanthum*, em que as sementes perderam viabilidade, as demais espécies permaneceram dormentes após o choque térmico, mantendo a viabilidade acima de 60%, *C. brasiliensis* e *E. bifida* a 80°C *L. speciosa* e *M. itatiaiensis* até 100°C, e *L. gibertinaus* em todas as temperaturas testadas (Tabela 3).

Grande parte das espécies não apresentou diferenças estatísticas no tempo de germinação ($T_{50\%}$) entre os tratamentos controle e choque térmico, independente da temperatura. Em 16% das espécies o $T_{50\%}$ aumentou significativamente após os tratamentos do choque térmico nas temperaturas mais altas (100°C e 120°C). O choque térmico, independente da temperatura testada, não promoveu redução no tempo de germinação nas espécies que apresentaram $T_{50\%}>15$ dias no tratamento controle (APÊNDICE F).

4.4.2 Choque térmico versus características funcionais

As espécies fanerófitas foram as mais frequentes com 68% das espécies, seguidas de hemicriptófitas (18%), e caméfitas e geófitas representadas por 7% das espécies. A coleta das sementes nas estações chuvosa e seca apresentaram quantidades similares de espécies com 43% (n=19) e 41% (n=18), respectivamente. As espécies asazonais representaram 16% (n=7) do total.

Na comparação entre o tratamento controle e os tratamentos de choque térmico, para cada forma de vida (Figura 8A) e períodos de dispersão (Figura 8B), a germinação (G%) e a viabilidade (V%) reduziram significativamente com o aumento da temperatura utilizada no choque térmico. A germinação e a viabilidade foram mantidas altas (>60%) nas espécies hemicriptófitas após o choque térmico a 80 e 100°C, e nas espécies geófitas a 80°C.

Os tratamentos tiveram um efeito significativo na germinação e na viabilidade das sementes das espécies testadas, assim como na interação com as variáveis, forma de vida e períodos de dispersão (Tabela 2).

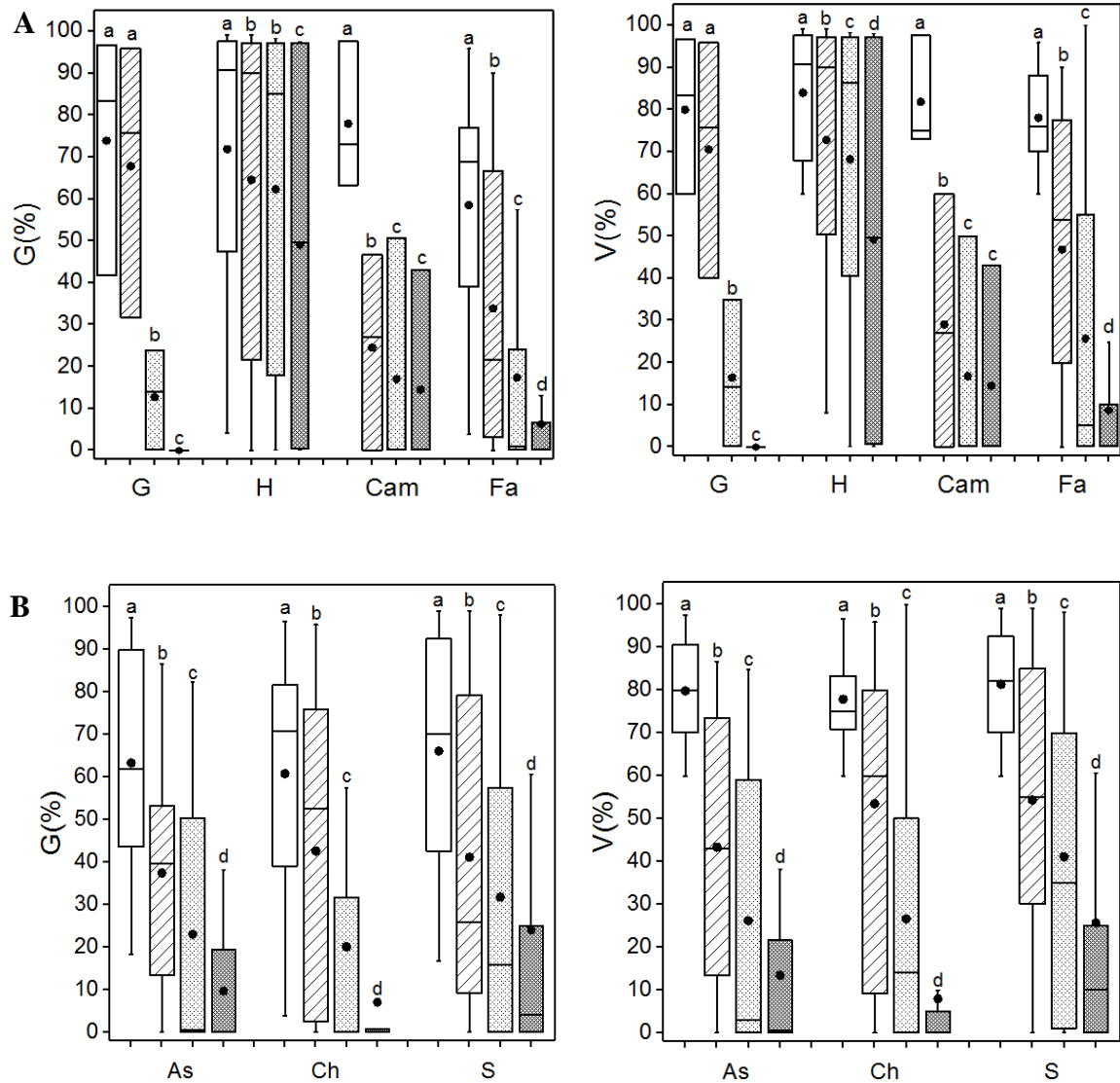
Tabela 2 – Resultados do GLM para os efeitos dos tratamentos de choque térmico (80°C, 100°C e 120°C) na germinação de diferentes formas de vida e períodos de dispersão de sementes de 44 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.

Preditor	Germinação			Viabilidade		
	gl	Wald χ^2	valor-p	gl	Wald χ^2	valor-p
PD	2	27,4	<0.001*	2	311,9	<0.001*
FV	3	533,0	<0.001*	3	172,9	<0.001*
T	2	1269,3	<0.001*	2	2126,8	<0.001*
PD × T	4	199,1	<0.001*	4	203,8	<0.001*
FV × T	6	402,4	<0.001*	6	174,6	<0.001*

Legenda: PD – período de dispersão. FV – forma de vida. T – temperatura.

*Significativo a $P < 0,05$

Figura 8 – Comparação dos valores médios de germinação (G%) e viabilidade (V%) entre o tratamento controle e os tratamentos de choque térmico para cada forma de vida (A) e período de dispersão (B) de 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.



Legenda: Formas de vida: G (geófito), H (hemicriptófito), Cam (caméfito) e Fa (fanerófito). Período de dispersão: As (asazonal), Ch (chuvosa) e S (seca). Tratamento controle - barra aberta; 80°C - barra hachurada; 100°C - barra pontilhada; 120°C - barra cinza. As linhas horizontais da caixa expressam os percentis 25 a 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; a média aritmética corresponde ao círculo fechado; o traço representa a mediana. Médias de germinação seguidas por letras distintas representam diferenças estatísticas entre as temperaturas pelo teste do GLM ($P < 0,05$).

Tabela 3 – Lista de 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Itatiaia e suas características. Resposta germinativa ao choque térmico (RG): 1 (espécies sensíveis), 2 (espécies tolerantes) e 3 (espécies estimuladas); forma de vida (FV): geófita (G), hemicriptófita (H), caméfito (Cam), fanerófita (Fa); período de dispersão (PD): estação chuvosa (Ch), estação seca (S), sazonal (As); taxa de embebição (TE%); porcentagens de germinação e viabilidade nos tratamentos controle, e choque térmico nas temperaturas de 80°C, 100°C e 120°C. (Continua)

Família	Espécies	RG	FV	PD	TE%	Germinação			Viabilidade				
						Controle	80°C	100°C	120°C	Controle	80°C	100°C	120°C
Alstroemeriaceae	<i>Alstroemeria isabelleana</i>	2	G	Ch	102,37	83,3 ^A	75,8 ^A	14,1 ^B	0,0 ^B	85,0 ^A	80,0 ^A	15,0 ^B	0,0 ^B
Amaryllidaceae	<i>Hippeastrum morelianum</i>	2	G	Ch	241,50	96,6 ^A	95,8 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	100,0 ^A	100,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B
Apiaceae	<i>Eryngium glaziovianum</i>	2	H	S	160,38	44,1 ^A	40,8 ^A	35,8 ^A	0,8 ^B	60,0 ^A	45,0 ^B	40,0 ^B	1,0 ^C
Asteraceae	<i>Austrocritonia velutina</i>	2	Fa	S	165,30	35,0*	34,1	33,3	25,0	65,0 ^A	55,0 ^A	55,0 ^A	25,0 ^B
Asteraceae	<i>Baccharis crispa</i>	1	Fa	S	210,36	67,5 ^A	17,5 ^B	15,8 ^B	1,6 ^C	70,0 ^A	20,0 ^B	20,0 ^B	10,0 ^C
Asteraceae	<i>Baccharis glaziovii</i>	2	Fa	Ch	136,26	81,6*	90,0	79,1	73,3	85,0*	90,0	80,0	75,0
Asteraceae	<i>Baccharis maxima</i>	1	Fa	S	155,23	92,5 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	95,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Asteraceae	<i>Baccharis oblongifolia</i>	1	Fa	Ch	143,47	39,1 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	60,0 ^A	20,0 ^B	5,0 ^C	0,0 ^C
Asteraceae	<i>Baccharis semiserrata</i>	1	Fa	S	136,66	90,0 ^A	8,7 ^B	6,2 ^B	7,5 ^B	90,0 ^A	20,0 ^B	20,0 ^B	15,0 ^B
Asteraceae	<i>Dasyphyllum leptacanthum</i>	1	Fa	S	179,62	20,8 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	75,0 ^A	30,0 ^B	5,0 ^C	0,0 ^C
Asteraceae	<i>Graphistylis dichroa</i>	1	Fa	S	128,94	70,0 ^A	25,8 ^B	0,8 ^C	0,0 ^C	70,0 ^A	35,0 ^B	1,0 ^C	0,0 ^C
Asteraceae	<i>Heterocondylus alatus</i>	1	Fa	S	165,35	55,8 ^A	12,5 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	91,0 ^A	30,0 ^B	0,0 ^C	0,0 ^C
Asteraceae	<i>Pentacalia desiderabilis</i>	1	Fa	Ch	130,58	88,3 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	90,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Asteraceae	<i>Senecio adamantinus</i>	1	Fa	Ch	191,36	71,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	71,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Asteraceae	<i>Senecio brasiliensis</i>	2	Fa	Ch	194,91	95,8 ^A	83,3 ^A	20,0 ^B	0,0 ^B	100,0 ^A	85,0 ^A	20,0 ^B	0,0 ^B
Asteraceae	<i>Senecio icoglossus</i>	2	Cam	Ch	299,00	63,3*	46,6	50,8	43,3	75,0*	60,0	55,0	45,0
Asteraceae	<i>Senecio nemoralis</i>	1	Fa	Ch	173,33	75,0 ^A	9,1 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	75,0 ^A	15,0 ^B	0,0 ^C	0,0 ^C
Asteraceae	<i>Senecio oleosus</i>	1	Fa	Ch	166,59	30,8 ^A	8,3 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	80,0 ^A	10,0 ^B	0,0 ^C	0,0 ^C

Tabela 3 – Lista de 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Itatiaia e suas características. Resposta germinativa ao choque térmico (RG): 1 (espécies sensíveis), 2 (espécies tolerantes) e 3 (espécies estimuladas); forma de vida (FV): geófito (G), hemicriptófito (H), caméfito (Cam), fanerófito (Fa); período de dispersão (PD): estação chuvosa (Ch), estação seca (S), sazonal (As); taxa de embebição (TE%); porcentagens de germinação e viabilidade nos tratamentos controle, e choque térmico nas temperaturas de 80°C, 100°C e 120°C. (Continuação)

Família	Espécies	GR	FV	PD	TE%	Germinação			Viabilidade				
						Controle	80°C	100°C	120°C	Controle	80°C	100°C	120°C
Asteraceae	<i>Trixis glaziovii</i>	3	Fa	Ch	325,37	50,0 ^B	66,7 ^B	100,0 ^A	6,7 ^C	70,0 ^A	80,0 ^A	100,0 ^A	10,0 ^B
Asteraceae	<i>Verbesina glabrata</i>	2	Fa	As	210,20	50,8 ^A	61,8 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	60,0 ^A	65,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B
Begoniaceae	<i>Begonia occhionii</i>	2	G	S	87,93	41,7 ^A	31,7 ^A	24,1 ^A	0,0 ^B	60,0 ^A	40,0 ^A	35,0 ^A	0,0 ^B
Berberidaceae	<i>Berberis campos-portoi</i>	2	Fa	Ch	134,99	71,6 ^A	72,5 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	75,0 ^A	75,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B
Bromeliaceae	<i>Vriesea itatiaiae</i>	2	H	S	99,57	96,7*	93,3	87,5	96,7	100,0*	100,0	95,0	100,0
Celastraceae	<i>Maytenus boaria</i>	3	Fa	S	149,21	50,0 ^B	77,0 ^A	0,0 ^C	0,0 ^C	65,0 ^A	80,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B
Cyperaceae	<i>Carex brasiliensis</i>		H	Ch	197,70	4,1*	0,0	0,0	0,0	75,0 ^A	60,0 ^A	45,0 ^B	0,0 ^C
Ericaceae	<i>Agarista hispidula</i>	2	Fa	Ch	96,47	70,8 ^A	52,5 ^A	31,6 ^{AB}	0,0 ^B	80,0 ^A	55,0 ^B	45,0 ^B	0,0 ^D
Ericaceae	<i>Gaultheria serrata</i>	2	Fa	Ch	64,53	80,0 ^A	77,5 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	80,0 ^A	80,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B
Eriocaulaceae	<i>Actinocephalus polyanthus</i>	2	H	S	52,06	99,1*	99,1	98,3	97,5	100,0*	100,0	100,0	100,0
Eriocaulaceae	<i>Eriocaulon majusculum</i>	1	H	Ch	40,21	50,8 ^A	2,5 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	65,0 ^A	8,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Escalloniaceae	<i>Escallonia bifida</i>		Fa	Ch	50,20	3,8*	3,3	4,1	0,0	90,0 ^A	80,0 ^A	60,0 ^B	0,0 ^C
Fabaceae	<i>Lupinus gibertianus</i>	3	Fa	As	70,79**	18,3 ^B	38,3 ^B	65,0 ^A	38,3 ^B	88,0 ^A	72,0 ^{AB}	60,0 ^B	40,0 ^C
Fabaceae	<i>Mimosa itatiaiensis</i>	3	Fa	S	49,38	29,1 ^B	70,8 ^A	57,5 ^A	0,8 ^B	80,0 ^A	80,0 ^A	60,0 ^A	5,0 ^B
Fabaceae	<i>Senna itatiaiae</i>	3	Fa	S	76,37	42,5 ^B	79,2 ^A	57,5 ^{AB}	4,1 ^C	83,0 ^A	85,0 ^A	70,0 ^A	10,0 ^B
Iridaceae	<i>Gelasine coerulea</i>	2	H	As	159,79	86,7 ^A	86,6 ^A	82,5 ^A	38,3 ^B	90,0 ^A	90,0 ^A	85,0 ^A	40,0 ^B

Tabela 3 – Lista de 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Itatiaia e suas características. Resposta germinativa ao choque térmico (RG): 1 (espécies sensíveis), 2 (espécies tolerantes) e 3 (espécies estimuladas); forma de vida (FV): geófito (G), hemicriptófito (H), caméfito (Cam), fanerófito (Fa); período de dispersão (PD): estação chuvosa (Ch), estação seca (S), sazonal (As); taxa de embebição (TE%); porcentagens de germinação e viabilidade nos tratamentos controle, e choque térmico nas temperaturas de 80°C, 100°C e 120°C. (Conclusão)

Família	Espécies	GR	FV	PD	TE%	Germinação			Viabilidade				
						Controle	80°C	100°C	120°C	Controle	80°C	100°C	120°C
Iridaceae	<i>Sisyrinchium wettsteinii</i>	2	H	S	101,26	98,3*	95,8	96,7	97,5	100,0*	100,0	100,0	100,0
Lamiaceae	<i>Lepechinia speciosa</i>		Fa	S	12,96**	16,7*	9,1	5,0	6,7	82,0 ^A	80,0 ^A	45,0 ^B	12,0 ^C
Melastomataceae	<i>Leandra quinqueidentata</i>	1	Fa	As	51,98	43,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	70,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Melastomataceae	<i>Pleroma echinata</i>	1	Fa	S	79,54	75,0 ^A	17,5 ^B	17,5 ^B	13,3 ^B	75,0 ^A	25,0 ^B	25,0 ^B	20,0 ^B
Melastomataceae	<i>Pleroma hospitum</i>	1	Fa	S	73,99	77,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	80,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Onagraceae	<i>Fuchsia regia</i>	1	Cam	As	119,84	97,5 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	100,0 ^A	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B
Orobanchaceae	<i>Esterhazyia eitenorum</i>	2	Fa	Ch	228,37	70,0 ^A	55,0 ^A	24,0 ^B	11,4 ^B	70,0 ^A	60,0 ^A	40,0 ^{AB}	20,0 ^B
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>	2	H	S	629,27	95,0 ^A	98,3 ^A	97,5 ^A	60,8 ^B	95,0 ^A	100,0 ^A	100,0 ^A	65,0 ^B
Proteaceae	<i>Roupala montana var. impressiuscula</i>	1	Fa	As	102,48	93,0 ^A	45,0 ^B	1,0 ^C	0,0 ^C	95,0 ^A	45,0 ^B	5,0 ^C	0,0 ^C
Rubiaceae	<i>Coccocypselum condalia</i>	1	Cam	As	87,86	73,0 ^A	27,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^B	75,0 ^A	30,0 ^B	0,0 ^C	0,0 ^C

Legenda: Médias seguidas da mesma letra nas linhas, para cada variável (germinação e viabilidade) não diferiram entre si estatisticamente pelo teste do GLM ($P < 0,05$).

*Não significativo entre controle e os tratamentos de choque térmico, para cada variável (germinação e viabilidade).

**Não significativo pelo teste t ($P < 0,05$).

4.5 Discussão

O fogo é considerado um distúrbio que atua como agente modificador da paisagem em muitos ecossistemas, e suas espécies podem apresentar estratégias vegetativas e reprodutivas que conferem vantagens adaptativas à sobrevivência após a passagem do fogo, dentre as quais aquelas ligadas à germinação (KEELY et al., 2011). Além disso, essas estratégias são variáveis entre as espécies. Por exemplo, mesmo com a presença recorrente do fogo em algumas vegetações campestre, foi encontrada uma grande proporção de espécies não adaptadas aos efeitos do fogo (DAYAMBA et al., 2008, 2010; FICHINO et al., 2012; LE STRADIC et al., 2015). De forma semelhante, o presente estudo demonstrou que em 44 espécies dos campos de altitude, as respostas de germinação ao choque térmico do tipo sensível e tolerante foram as mais frequentes, e poucas espécies apresentaram incremento (estimuladas) na germinação após o choque térmico.

As espécies sensíveis ao choque térmico apresentaram redução drástica na viabilidade e na germinação das sementes. Esse comportamento sugere que o fogo não é um requisito para a germinação da maioria das espécies dos campos de altitude, como foi observado em outros tipos de vegetação campestre (LUNA et al., 2007; DAYAMBA et al., 2008; TSUYUZAKI, MIYOSHI, 2009).

As respostas aos efeitos do choque térmico podem variar de acordo com o tempo de exposição e/ou o calor experimentado pela semente durante a passagem do fogo (KEELEY, 1987; HANLEY et al., 2003; PAULA, PAUSAS, 2008). No presente estudo, para as espécies com comportamento tolerante, grande parte apresentou resistência na temperatura moderada de 80°C após curto tempo de exposição. No entanto, houve uma redução significativa nas temperaturas mais altas (100°C e 120°C). Temperaturas acima 110°C são letais para muitas espécies, independente da vegetação (LUNA et al., 2007; PAULA, PAUSAS, 2008; ZULOAGA-AGUILAR et al., 2010), porém, algumas espécies podem tolerar temperaturas acima deste valor (RIBEIRO et al., 2013; FICHINO et al., 2016).

O comportamento tolerante às temperaturas de choque térmico sugere que as sementes possam estar enterradas no banco de semente do solo, e por isso apresentariam maior uma taxa de sobrevivência (WHELAN, 1995; PAULA, PAUSAS, 2008). Estudos demonstram através de perfis de temperatura do solo para vários tipos de vegetação, o forte comportamento isolante

(AULD, 1986; NEVES, MIRANDA, 1996), e assim, com o aumento da profundidade as temperaturas diminuem. Logo, embora as sementes possam ser expostas a temperaturas letais na superfície do solo, elas estão expostas a temperaturas muito mais baixas a poucos centímetros abaixo da superfície (HANLEY et al., 2003). Por exemplo, Mucunguzi e Oriem-Oryga (1995), relataram para duas espécies de *Acacia* da savana africana, que o fogo reduziu a germinação das sementes localizadas na superfície do solo, no entanto, promoveu a germinação de sementes enterradas, as quais foram expostas a temperaturas mais moderadas.

Além disso, diversas pesquisas sugerem que o comportamento tolerante das espécies ao choque térmico apresenta forte relação com o tamanho das sementes. Geralmente, sementes menores tendem a serem menos tolerantes ao calor (ESCUADERO et al., 2000). A capacidade de resistir a altas temperaturas também pode estar relacionada à posição na qual as sementes são encontradas no solo, uma vez que, sementes maiores estariam na superfície, enquanto que sementes pequenas estariam inseridas e protegidas no banco de sementes do solo (ESCUADERO et al., 2000; GASHAW, MICHELSEN, 2002; RIBEIRO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2019). Contudo, resultados diferentes em relação ao tamanho das sementes e o comportamento tolerante demonstram que a resistência ao calor pode depender de outras características funcionais (BRADSTOCK et al., 1994; ESCUDERO et al., 2000; HANLEY et al., 2003; OVERBECK et al., 2006; RIBEIRO et al., 2015). A maioria das espécies dos campos de altitude apresenta sementes pequenas, o que pode explicar o comportamento tolerante presente em algumas espécies estudadas, principalmente as que exibiram alta viabilidade após o choque térmico. Todavia, a relação massa *versus* choque térmico não foi abordada neste estudo, e pesquisas futuras poderão incluir este fator a fim de demonstrar a influência da massa na resistência das sementes à altas temperaturas.

Por outro lado, as características forma de vida e período de dispersão apresentaram efeitos significativos nas respostas germinativas ao choque térmico. No geral, o aumento na temperatura provocou redução da viabilidade e da germinação de todas as formas de vida e períodos de dispersão. No entanto, espécies que dispersaram as sementes na estação seca foram mais tolerantes à temperatura de 100°C, além de apresentar três das cinco espécies estimuladas pelo choque térmico. As características da vegetação e do clima facilitam a ocorrência e a propagação do fogo nos campos de altitude durante o inverno, que corresponde a estação mais seca do ano (BRADE, 1956, SAFFORD, 1999a). Apesar dos resultados indicarem uma maior tolerância das espécies dispersas na estação seca, não significa que as espécies dos campos de

altitude sejam adaptadas ao fogo, uma vez que, a maioria das espécies deste ecossistema dispersam suas sementes na estação chuvosa ou ao longo do ano (resultados extraídos no item 3), e nestes períodos, as espécies foram tolerantes apenas na temperatura moderada de 80°C, e apenas duas espécies foram estimuladas pelo choque térmico. Dentre as formas de vida, as espécies geófitas foram mais tolerantes à temperatura moderada de 80°C, e as espécies hemicriptófitas nas temperaturas mais altas. Lloret e Vila (2003) e Luna e colaboradores (2007), não encontraram diferenças na resposta germinativa ao choque térmico entre as formas de vida, além de mostrarem que os tipos funcionais das plantas com base na forma de vida tinham menos influência, em comparação aos tipos funcionais baseados no tipo de regeneração das plantas.

Em ecossistemas propensos ao fogo, tanto mediterrânicos, savanas e tropicais muitas espécies apresentam adaptações e mecanismos associados ao fogo, atuando diretamente no seu recrutamento (SIMON et al., 2009; MOREIRA et al., 2010; KEELEY et al., 2011; FICHINO et al., 2016; LE STRADIC et al., 2015; RAMOS et al., 2016; LAMONT, HE, 2017; ZIRONDI et al., 2019). Uma das estratégias mais amplamente estudada em relação às altas temperaturas atingidas na passagem do fogo é a estimulação da germinação das sementes (KEELEY et al., 2011; MOREIRA et al., 2010; RIBEIRO et al., 2013; LAMONT, HE, 2017).

No presente estudo, apenas cinco espécies apresentaram aumento da germinação após o choque térmico. Além disso, à semelhança de diversas pesquisas as espécies apresentaram comportamento variável em relação aos tratamentos (AULD, O'CONNELL, 1991; ZUPO et al., 2016). *M. boaria*, *M. itatiaiensis* e *S. itatyaeae* foram estimuladas após o choque térmico a 80°C, e *L. gibertianus* e *T. glaziovii* a 100°C. Já a temperatura de 120°C provocou redução drástica na germinação das cinco espécies. A germinação estimulada por choque térmico é largamente conhecida em algumas famílias, como em Fabaceae (THANOS et al., 1992; HERRANZ et al., 1998; REYES, TRABAUD, 2009; MOREIRA et al., 2010). Entretanto, evidências também foram obtidas para espécies pertencentes a outras famílias (LUNA et al., 2007; MOREIRA et al., 2010; JAUREGUIBERRY, DÍAZ, 2015).

A superação da dormência foi encontrada somente em *M. itatiaiensis* e *L. gibertianus*, após o choque térmico a 80°C e 100°C, respectivamente. As sementes destas espécies, assim como muitas pertencentes à família Fabaceae, apresentam dormência física, ou seja, o tegumento da semente é duro e impermeável à água (BASKIN et al., 2000). A superação deste tipo de dormência está associada à ruptura no tegumento provocada pelas altas temperaturas, e uma vez quebrada não pode ser revertida (BASKIN, BASKIN, 2014). Estudos com espécies

desta família têm mostrado a superação da dormência após a exposição em temperaturas entre 60-200°C (AULD, O'CONNELL, 1991; HERRANZ et al., 1998; OOI et al., 2014). Esta faixa de temperatura é registrada após a passagem do fogo entre 5-10 cm de profundidade do solo, onde se encontra a maioria das sementes presentes no banco de sementes do solo (KEELEY, 1991; PENMAN, TOWERTON, 2008). No entanto, foi observado após a exposição em altas temperaturas, uma queda na viabilidade das sementes em relação ao tratamento controle, sugerindo que a superação da dormência nessas espécies pode não estar relacionada apenas com o choque térmico provocado pelas altas temperaturas do fogo (BASKIN, BASKIN, 2014).

S. itatyaeae (Fabaceae), *M. boaria* e *T. glaziovii* não foram classificadas como dormentes (porcentagem de germinação das sementes frescas >30%), porém apresentaram incremento significativo na germinação após o choque térmico. *S. itatyaeae*, também apresenta tegumento impermeável e os tratamentos de choque térmico estimularam a germinação desta espécie. A alta germinação observada nas sementes frescas de *S. itatyaeae* provavelmente está relacionada com temperatura alternada utilizada nos testes de germinação, que estimulou a germinação desta espécie em relação às demais da mesma família. Embora as sementes de *M. boaria* (Celastraceae) e *T. glaziovii* (Asteraceae), não possuam dormência física, foi verificado um aumento na germinação quando submetidas ao choque térmico. De acordo com Auld e Ooi (2009), em sementes com dormência fisiológica e tegumentos permeáveis, o calor pode estimular reguladores fisiológicos do embrião, e conseqüentemente um incremento na germinação. Resultados semelhantes associados aos efeitos do choque térmico foram encontrados em diversas espécies sem dormência física, inclusive nessas duas famílias Asteraceae e Celastraceae (LUNA et al., 2007; JAUREGUIBERRY, DÍAZ, 2014; KAZANCI, TAVŞANOĞLU, 2019).

Sementes de *C. brasiliensis*, *E. bifida* e *L. speciosa* apresentaram baixas porcentagens de germinação ($\leq 30\%$) em todos os tratamentos além do controle, porém mantiveram a viabilidade acima de 60%. Nas duas primeiras espécies, a alta viabilidade foi mantida somente na temperatura de 80°C. Já em *L. speciosa* alta viabilidade foi mantida em até 100°C, o que confirma a presença de dormência física, além do teste de embebição. A não superação da dormência em *L. speciosa* pode estar relacionada com a ausência de dependência do fogo e/ou apresenta diferentes limites de temperatura para liberação de dormência. Apesar da temperatura ser um fator mais influente no comportamento das espécies em relação ao fogo (AULD, O'CONNELL, 1991; NÚNEZ, CALVO, 2000), o tempo também pode influenciar. Segundo

Ooi e colaboradores (2014), espécies com tegumento impermeável podem apresentar níveis distintos de tolerância ao calor, tanto em relação a temperatura do choque térmico quanto ao tempo de exposição. No presente estudo foi utilizado somente cinco minutos de exposição, sendo recomendável analisar outros tempos de exposição ao choque térmico para avaliar melhor a influência do calor na superação da dormência, como no caso de *L. speciosa*.

Adicionalmente, Mackenzie e colaboradores (2016), demonstraram que a resposta à germinação frequentemente depende da interação entre fatores, os quais podem influenciar o tempo de germinação. Entretanto, os resultados do presente estudo mostraram que o choque térmico independente da temperatura testada, não afetou o tempo de germinação em 84% das espécies, e nas demais espécies o $T_{50\%}$ foi maior que no tratamento controle.

As diferentes respostas de germinação aos estímulos do fogo podem estar relacionadas também a outros fatores altamente variáveis no pós-fogo, tais como fumaça, cinza, e não somente a altas temperaturas (WIGGERS et al., 2016; DAIBES et al., 2018). O comportamento de germinação em algumas espécies pode ser derivado de uma combinação desses fatores (KEELEY, FOTHERINGHAM, 1998; OVERBECK et al., 2006; DAYAMBA et al., 2010; GHEBREHIWOT et al., 2012; LE STRADIC et al., 2015). Assim, estudos adicionais que avaliem a interação da temperatura com os fatores associados ao fogo podem ajudar a elucidar a variação no papel do fogo nas espécies dos campos de altitude.

Compreender como as populações persistem no pós-fogo está entre os principais estudos de estratégias de regeneração de uma comunidade de plantas, tanto em ecossistemas propensos quanto naqueles não propensos ao fogo. As respostas germinativas ao choque térmico apresentadas pelas espécies dos campos de altitude diferiram da maioria dos ecossistemas propensos ao fogo. As espécies utilizadas no presente estudo são largamente encontradas na área amostrada, e diante das previsões das mudanças climáticas, as quais indicam um aumento da frequência do fogo, e do aumento considerável de incêndios causados pela ação antrópica (IPCC, 2014; AXIMOFF et al., 2011; TOMZHINSKI et al., 2012; AXIMOFF et al., 2016), a capacidade de adaptação e regeneração das plantas no pós-fogo poderão ser diretamente afetadas, podendo levar a extinção local das espécies em longo prazo.

4.6 Conclusões

- As sementes da maioria das espécies não são capazes de manter a viabilidade e a capacidade de germinação sob altas temperaturas do choque térmico;
- Grande parte das espécies classificadas como tolerantes manteve a germinação alta apenas na temperatura moderada do choque térmico, apresentando perda de viabilidade nas demais temperaturas analisadas;
- Espécies cujas sementes apresentam dormência física são beneficiadas pelo choque térmico nas temperaturas de 80°C e 100°C;
- O choque térmico apresentou efeitos significativos nas características funcionais das espécies;
- Quando avaliadas separadamente, todas as características funcionais apresentaram queda significativa na viabilidade e germinação com o aumento da temperatura do choque térmico.

5 RESPOSTAS GERMINATIVA DE DEZ ESPÉCIES AOS EFEITOS DO AUMENTO DE TEMPERATURA E DO ESTRESSE HÍDRICO, COMO RESULTADO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

5.1 Introdução

O estresse hídrico induzido pelas mudanças climáticas tem demonstrado influências significativas em muitos ecossistemas, principalmente devido ao aumento da sua frequência e intensidade, provocando mudanças na regeneração da vegetação (ALLEN et al., 2010; STONE et al., 2012). Nas últimas décadas, as alterações do clima indicaram como resultado do aumento das emissões de gases do efeito estufa, uma intensificação das secas e/ou incremento na temperatura, entre outros fatores (IPCC, 2014).

Dos diversos estresses abióticos, o déficit hídrico é um dos principais causadores de danos na planta, afetando a sua produtividade e persistência, uma vez que, muitas espécies não possuem adaptações fisiológicas e morfológicas para prevenir a perda excessiva de água (PEÑUELAS et al., 2007; HUANG, ANDEREGG, 2012). A germinação é um dos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas, nos quais o estresse hídrico afeta diretamente o processo de embebição (BASKIN, BASKIN, 2014) Quando a disponibilidade hídrica é baixa durante esse processo, a reativação do metabolismo é prejudicada, e conseqüentemente pode ocorrer uma diminuição na porcentagem e na velocidade de germinação, ou até mesmo impedir que a embebição ocorra (DAWS et al., 2008; GORAI et al., 2009). Estudos demonstraram para muitas espécies que as restrições hídricas experimentadas durante a germinação, causam severos danos no processo de recrutamento (BRADFORD, 1995; COPELAND, MCDONALD, 2001; FAY, SCHULTZ, 2009; DALGLEISH et al., 2010). Além disso, a necessidade adequada de hidratação para reativação do metabolismo, a quantidade de água exigida para que uma semente germine, e o grau de tolerância à dessecação variam de acordo com a espécie, influenciando a distribuição da mesma (VERSLUES et al., 2006). Assim, estudos sobre os efeitos do estresse hídrico na germinação podem fornecer informações sobre a dinâmica da população.

As respostas ao déficit hídrico também estão relacionadas com características funcionais da planta e da semente (MOLES, WESTOBY, 2004; HOYLE et al., 2015). Daws e colaboradores (2008) sugeriram que sementes maiores apresentam maior capacidade de tolerar o déficit hídrico do que sementes pequenas. No entanto, a relação potencial hídrico *versus* massa da semente pode variar entre os ecossistemas (METZNER et al., 2017). Adicionalmente, o estabelecimento de novas plantas via sementes está intimamente associado à sazonalidade bem marcada, a qual geralmente coincide com a estação em que a disponibilidade hídrica é maior (POORTER, HAYASHIDA-OLIVER, 2000). Como exemplo, de acordo com Garwood (1983), em savanas neotropicais a concentração da germinação no início da estação chuvosa parece ser uma característica selecionada evolutivamente, que resulta em maior probabilidade de estabelecimento e desenvolvimento de um novo indivíduo.

A temperatura é outro importante fator que afeta vários processos enzimáticos e químicos que controlam a germinabilidade da semente, inclusive o grau de permeabilidade da semente à água, os quais exigem temperaturas específicas (BEWLEY, BLACK, 1994). Assim, o conhecimento dos efeitos da temperatura na germinação é importante para avaliar as características de germinação ou o potencial de estabelecimento das espécies (JORDAN, HAFERKAMP, 1989). Os extremos da temperatura (muito alta ou muito baixa) inibem a germinação de quase todas as espécies, havendo uma temperatura ótima para cada espécie, isto é, a que promoverá o máximo de germinação no menor tempo (PROBERT, 2000; BASKIN, BASKIN, 2014). Altas temperaturas, além de intensificarem a evaporação da água no solo, reduzindo a disponibilidade hídrica para o processo de embebição, provocam alterações enzimáticas deletérias ao processo germinativo (FERREIRA, BORGHETTI, 2004). Já as temperaturas muito baixas, podem causar injúrias no sistema de membranas da semente, além de reduzir a velocidade de germinação, e deste modo torná-la mais sensível às adversidades do meio (BASKIN, BASKIN, 2014).

A manutenção das espécies dentro de uma comunidade vegetal é afetada pela capacidade de recrutamento em condições desfavoráveis de umidade, sendo o déficit hídrico do solo é uma das principais causas de mortalidade de sementes (MOLES, WESTOBY, 2004; ENGELBRECHT et al., 2006; WALCK et al., 2011). Os efeitos do estresse hídrico e da temperatura foi largamente reportado para vegetações áridas, semiáridas e de clima temperado (HU et al., 2015; LEWANDROWSKI et al., 2016; BITTENCOUT et al., 2017; DUCAN, 2019; YI et al., 2019) e não há informações sobre o estresse hidrotérmico para espécies dos campos

de altitude. Além disso, as espécies podem se tornar particularmente suscetíveis às mudanças climáticas nesse ecossistema, principalmente na estação seca, que compreende o período do inverno (SAFFORD, 1999a), onde é esperado um aumento da temperatura que promoverá um aumento na evaporação da água presente no solo e, conseqüentemente uma menor disponibilidade hídrica para sementes.

5.2 Objetivos

O efeito combinado do estresse hídrico e da temperatura no comportamento germinativo de dez espécies dos campos de altitude foi avaliado visando investigar os efeitos projetados do aquecimento global. Para isso foram levantadas as seguintes questões:

- Qual o comportamento germinativo das espécies nas diferentes temperaturas e potenciais hídricos?
- Qual o efeito da interação dos fatores temperatura e estresse hídrico na germinação das espécies?
- As características funcionais influenciam as respostas germinativas sob estresse hídrico e térmico?

5.3 Material e métodos

5.3.1 Coleta de sementes

Foram selecionadas 10 espécies com formas de vida distintas (Tabela 4). As sementes foram coletadas aleatoriamente de aproximadamente 20 indivíduos de diferentes populações durante a dispersão natural das sementes, entre os meses de janeiro de 2016 e junho de 2017 nos campos de altitude do Itatiaia (22° 25' S, 44°40' W). Detalhes do local de coleta e dos procedimentos pós-coleta estão apresentados nos itens 3.1.1 e 3.3.2, respectivamente.

5.3.2 Influência do estresse hídrico e temperatura na germinação e viabilidade das sementes

Visando verificar a influência do estresse hídrico e do aumento da temperatura sobre a germinação, as sementes foram submetidas ao estresse hídrico, utilizando soluções de polietilenoglicol (PEG8000) preparadas de acordo com Villela e Beckert (2001). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 7 (temperatura x potencial hídrico (Ψ_w)). Para cada temperatura (15°C; 20°C; 25°C; 30°C; 35°C) foram utilizadas seis repetições com 20 sementes em placas de Petri, umedecidos com 2mL de água no tratamento controle (0,0 Mpa) e nos demais tratamentos, 2mL solução de PEG 8000 em diferentes potenciais (-0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa), totalizando 840 sementes por temperatura. Os testes de germinação foram conduzidos em câmaras de germinação BOD (modelo FANEM) sob fotoperíodo de 8 horas (8 h luz/ 16h escuro). As placas foram protegidas por sacos plásticos transparentes para evitar a perda de água por evaporação. As sementes foram trocadas de placa uma vez por semana, para a manutenção do potencial hídrico.

A germinação foi avaliada a cada dois dias por oito semanas, e a emergência da radícula com geotropismo positivo foi utilizada como critério de germinação (LABORIAU, 1983). As repetições que apresentaram germinação abaixo de 50% nas soluções de PEG8000, após o período de experimento, passaram pelo teste de recuperação, o qual consiste na transferência das sementes para placas de Petri umedecidas com água destilada (0,0 MPa). No final dos experimentos, a viabilidade de sementes não germinadas (nos testes de germinação/recuperação) foi verificada através do teste de corte (CRAWFORD et al., 2007; BASKIN, BASKIN, 2014).

A massa das sementes foi calculada através do peso de três repetições de 100 sementes selecionadas aleatoriamente, secas em estufa a 80°C por 48 horas. O resultado foi expresso em miligramas (mg) do peso seco de uma semente para cada espécie.

A espécie *M. itatiaensis* apresenta tegumento impermeável, ou seja, dormência física (item 3), e precisou de tratamento pré-germinativo para a quebra da dormência, que consistiu em colocar as sementes em ácido sulfúrico por 5 minutos, permitindo assim o processo de embebição nos experimentos.

5.3.3 Análise estatística

A normalidade e homogeneidade dos dados foram verificadas anteriormente aos testes, através de testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente (ZAR, 2010). Para as dez espécies, análises de Modelo Linear Generalizado (GLM, R pacote: lme4) (ZUUR et al., 2009; BATES et al., 2014) foram utilizadas para avaliar as diferenças na germinação entre os diferentes potenciais hídricos em cada temperatura, e explorar os efeitos dos fatores, potencial hídrico e temperaturas com as características funcionais, utilizando a distribuição Binomial com a função logit. A escolha do melhor modelo foi baseada no critério de informação de Akaike (AKAIKE, 1973). Observou-se também a significância dos efeitos dos potenciais hídricos, temperaturas e suas interações na variável germinação por meio da análise de deviance (ANODEV), utilizando o log da verossimilhança do modelo. As hipóteses foram testadas pelo teste de Qui-quadrado (χ^2). Os fatores potencial hídrico e temperatura foram fixados na análise. A significância para todos os testes estatísticos foi estabelecida em $P < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas usando o programa R versão 3.6.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), e os gráficos foram confeccionados no programa Origin 8.0 (ORIGINLAB CORPORATION, EUA).

5.4 Resultados

Diferentes potenciais hídricos e temperaturas foram analisadas para relacionar os limiares de germinação em diferentes cenários de chuva e temperatura. Efeitos significativos foram encontrados tanto dos potenciais hídricos quanto das temperaturas na germinação (Tabela 5). No potencial 0,0MPa (tratamento controle) as temperaturas de 20°C e 25°C proporcionaram uma maior porcentagem de germinação para as dez espécies analisadas, e 20°C foi considerada a temperatura ótima, pois demonstrou menor variação entre as espécie (Figura 10). Na temperatura de 15°C todas as espécies apresentaram germinação acima de 60%, exceto *Hippeastrum morelianum*, que apresentou baixa germinação (<20%). Na temperatura de 30°C foi observado queda significativo na viabilidade e germinação em metade das espécies

analisadas. Já a 35°C a viabilidade, e conseqüentemente a germinação, apresentaram uma queda drástica em todas as espécies, exceto *Actinocephalus polyanthus*, que apresentou germinação acima de 80% (Figura 9).

Potenciais hídricos simulados através de soluções de PEG8000 causaram efeitos significativos sobre a germinabilidade das sementes de todas as espécies (Tabela 5), em relação ao tratamento controle (Figuras 10–19). No geral, houve um decréscimo significativo da porcentagem de germinação com a redução do potencial hídrico (mais negativos) nas cinco temperaturas em todas as espécies (Figuras 10–19). No geral, os potenciais mais altos, em até -0,3MPa, promoveram germinação acima de 60% nas espécies, entre as temperaturas de 15°C e 30°C. Em -0,4 MPa foi observado uma queda na germinação principalmente nos extremos das temperaturas (15°C, 30°C e 35°C). Já em potenciais hídricos de -0,6MPa metade das espécies apresentaram germinação acima de 60%, no entanto, somente nas temperaturas de 20°C e 25°C: *Vriesea itatiaiae* e *Fuchsia regia* a 20°C, *H.morelianum* a 25°C, e *Gelasine coerulea* e *P. hospitum* em ambas as temperaturas de 20°C e 25°C (Figura 10–19). Potencias acima -0,6 MPa provocaram redução drástica na germinação em todas as temperaturas, exceto *Pleroma hospitum* que apresentou 90% de germinação no potencial de -0,8MPa a 20°C e acima de 60% em 25°C para este mesmo potencial hídrico. O potencial de -1,0MPa a germinação foi nula para as dez espécies em todas as temperaturas (Figura 10–19). Foi observado também nas dez espécies, um atraso na germinação nos potenciais hídricos mais negativos (APÊNDICE G).

Após a transferência das sementes dos tratamentos com potenciais hídricos negativos para a água destilada, foi observado um acréscimo significativo da porcentagem de germinação na maioria dos tratamentos (Figura 10–19).

As características funcionais apresentaram efeitos significativos na germinação, em relação aos fatores potencial hídrico, temperatura e suas interações (Tabela 5). O período de dispersão não foi avaliado quanto ao efeito da temperatura, pois apresentou 70% das espécies com dispersão na estação seca, e apenas uma espécie com dispersão na estação chuvosa.

Tabela 4 – Lista de espécies, família, código da espécie (CD), forma de vida (FV), período de dispersão (PD) e massa seca das sementes de 10 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.

Espécie	Família	CD	FV	PD	Massa (mg)
<i>Hippeastrum morelianum</i>	Amaryllidaceae	Hg	G	Ch	7,70
<i>Baccharis maxima</i>	Asteraceae	Bh	Fa	S	0,98
<i>Vriesea itatiaiae</i>	Bromeliaceae	Vi	H	S	0,98
<i>Actinocephalus polyanthus</i>	Eriocaulaceae	Ap	H	S	0,17
<i>Mimosa itatiaensis</i>	Fabaceae	Mi	Fa	S	5,26
<i>Gelasine coerulea</i>	Iridaceae	Gc	G	As	2,55
<i>Sisyrinchium wettsteinii</i>	Iridaceae	Sr	H	S	3,65
<i>Pleroma hospitum</i>	Melastomataceae	Ph	Fa	S	0,04
<i>Fuchsia regia</i>	Onagraceae	Fc	Cam	As	0,80
<i>Buddleja speciosissima</i>	Scrophulariaceae	Bs	Fa	S	0,30

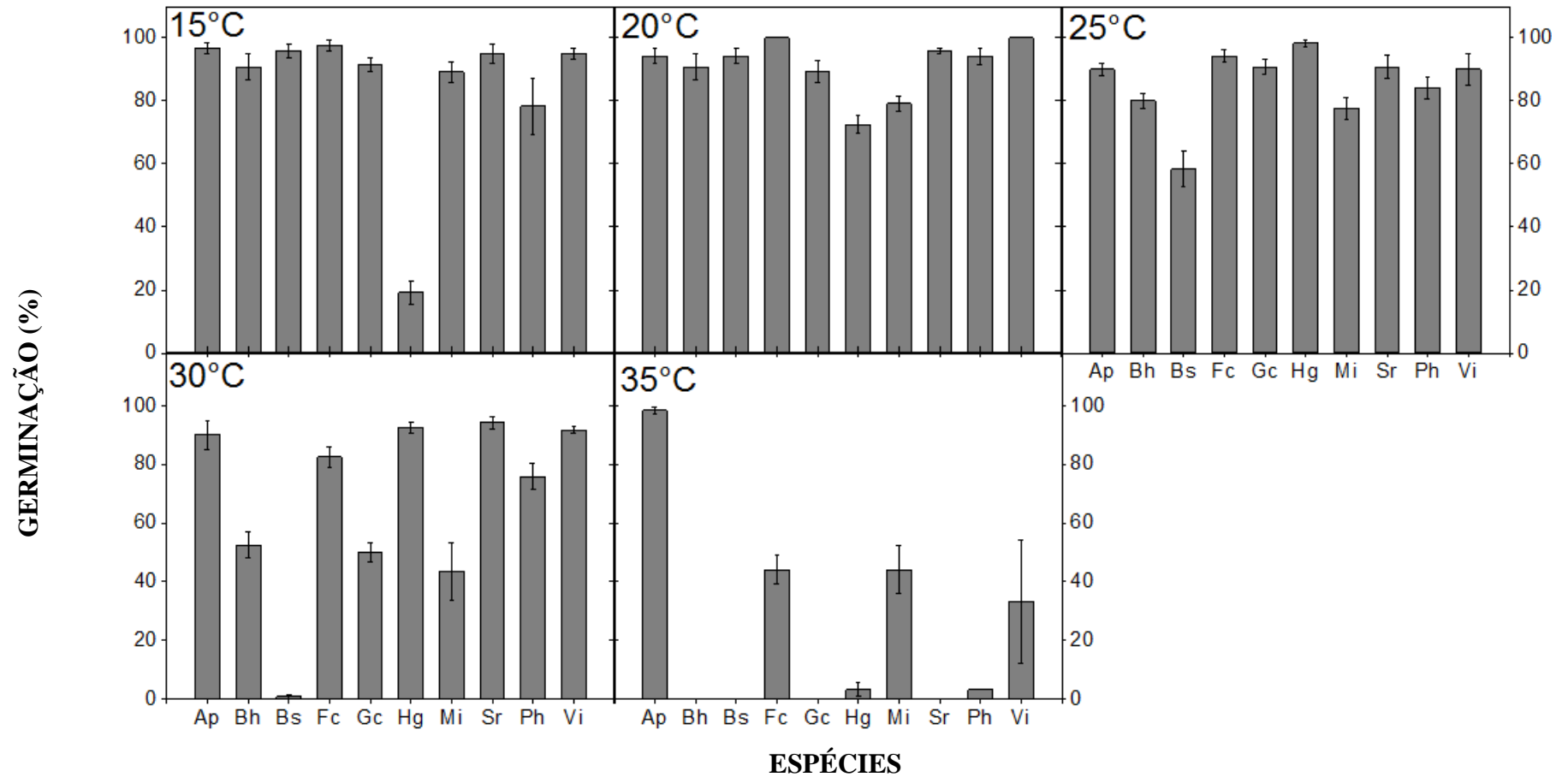
Legenda: G – geófito, Fa – fanerófito, H – hemicriptófito, Cam – caméfito, Ch – estação chuvosa, S – estação seca, As – dispersão ao longo do ano.

Tabela 5 – Resultados do GLM, testando o efeito de tratamentos de estresse hídrico e temperatura, e suas as interações, com a forma de vida, período de dispersão e a massa das sementes na resposta germinativa de 10 espécies dos campos de altitude do Itatiaia.

Fatores	Preditor	Germinação		
		<i>gl</i>	Wald χ^2	<i>P</i>
Estresse hídrico (PH)	PH	6	14679,0	<0,001
	T	4	4792,7	<0,001
	PH x T	24	477,2	<0,001
	FV	3	855,5	<0,001
	PH x FV	18	913,4	<0,001
	MS	1	273,6	<0,001
	PH x MS	6	256,2	<0,001
Temperatura (T)	T	4	4792,7	<0,001
	T x FV	12	1079,5	<0,001
	T x MS	4	269,9	<0,001
Estresse hídrico + Temperatura	PH x T x FV	72	687,5	<0,001
	PH x T x MS	24	129,0	<0,001

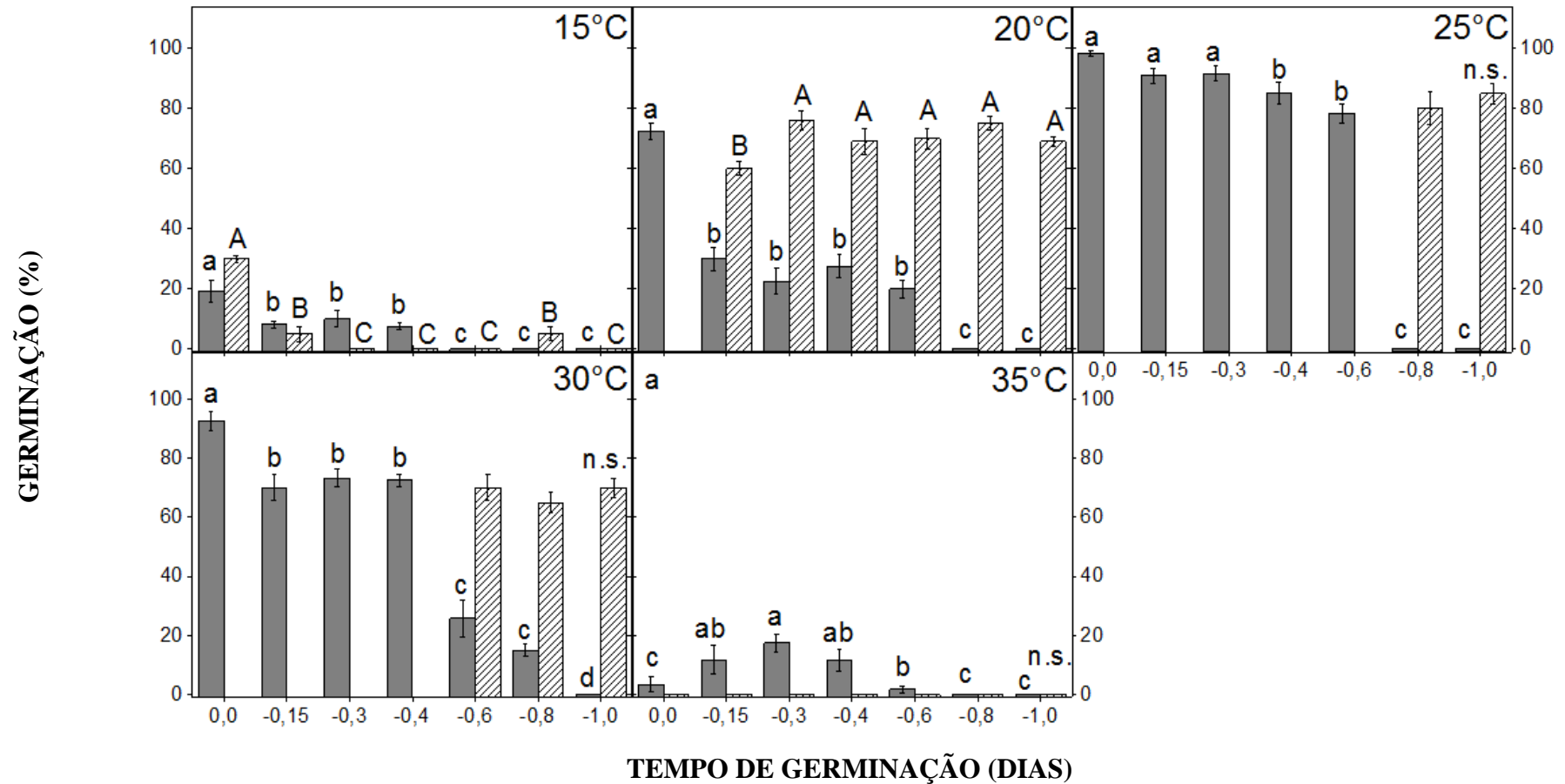
Legenda: FV – forma de vida; MS – massa das sementes.
gl – grau de liberdade

Figura 9 – Efeito do aumento da temperatura (15°C, 20°C, 25°C, 30°C e 35°C) na porcentagem de germinação em 0,0 MPa para dez espécies dos campos de altitude do Itatiaia.



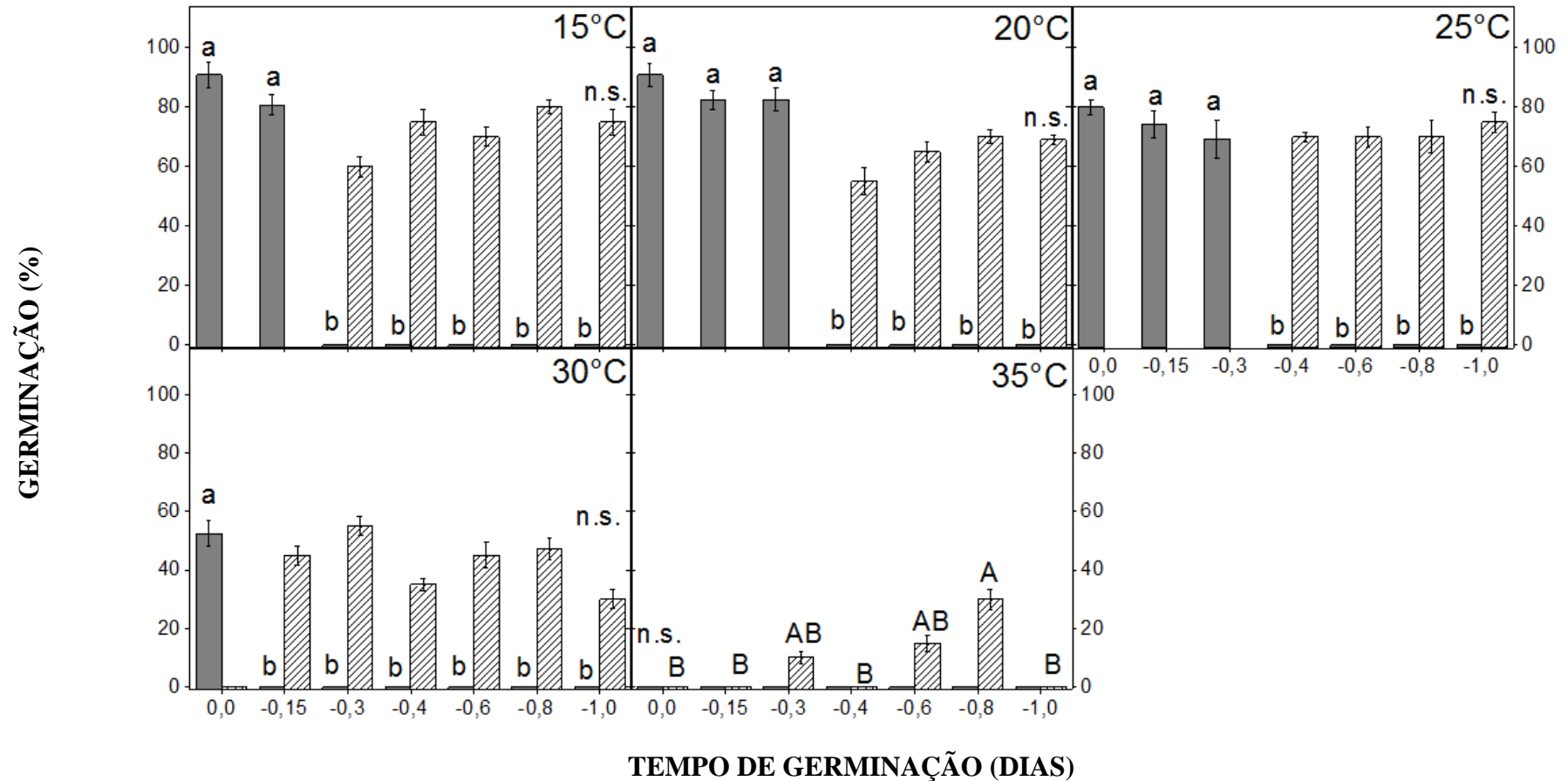
Legenda: Barras cinzas indicam a média \pm erro padrão das espécies. Código das espécies de acordo com a Tabela 4.

Figura 10 – Porcentagem de germinação de sementes de *Hippeastrum morelianum* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



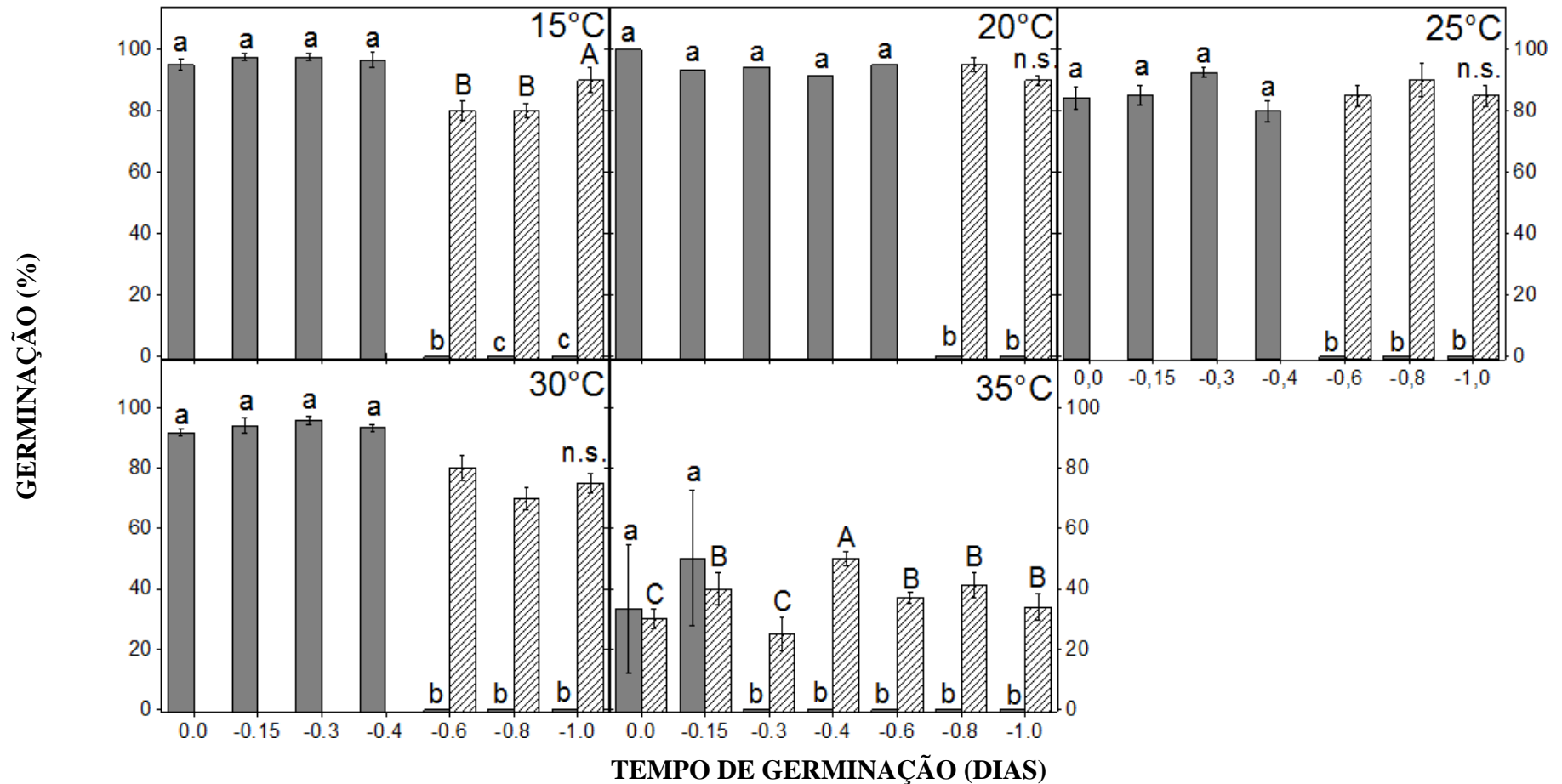
Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$). n.s. – não significativo estatisticamente.

Figura 11 – Porcentagem de germinação de sementes de *Baccharis maxima* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).
n.s. – não significativo estatisticamente

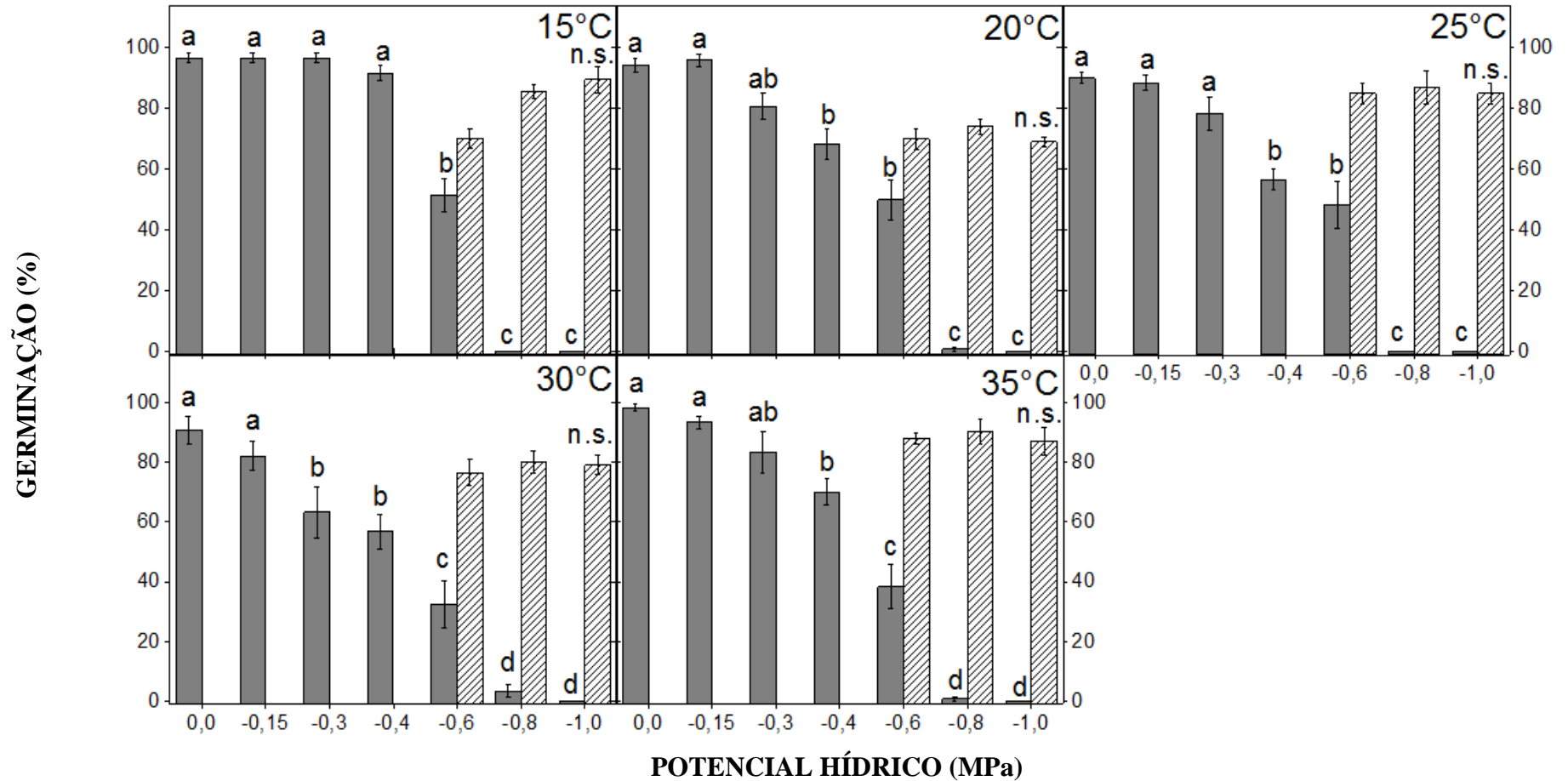
Figura 12 – Porcentagem de germinação de sementes de *Vriesea itatiaiae* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, P<0,05).

n.s. – não significativo estatisticamente

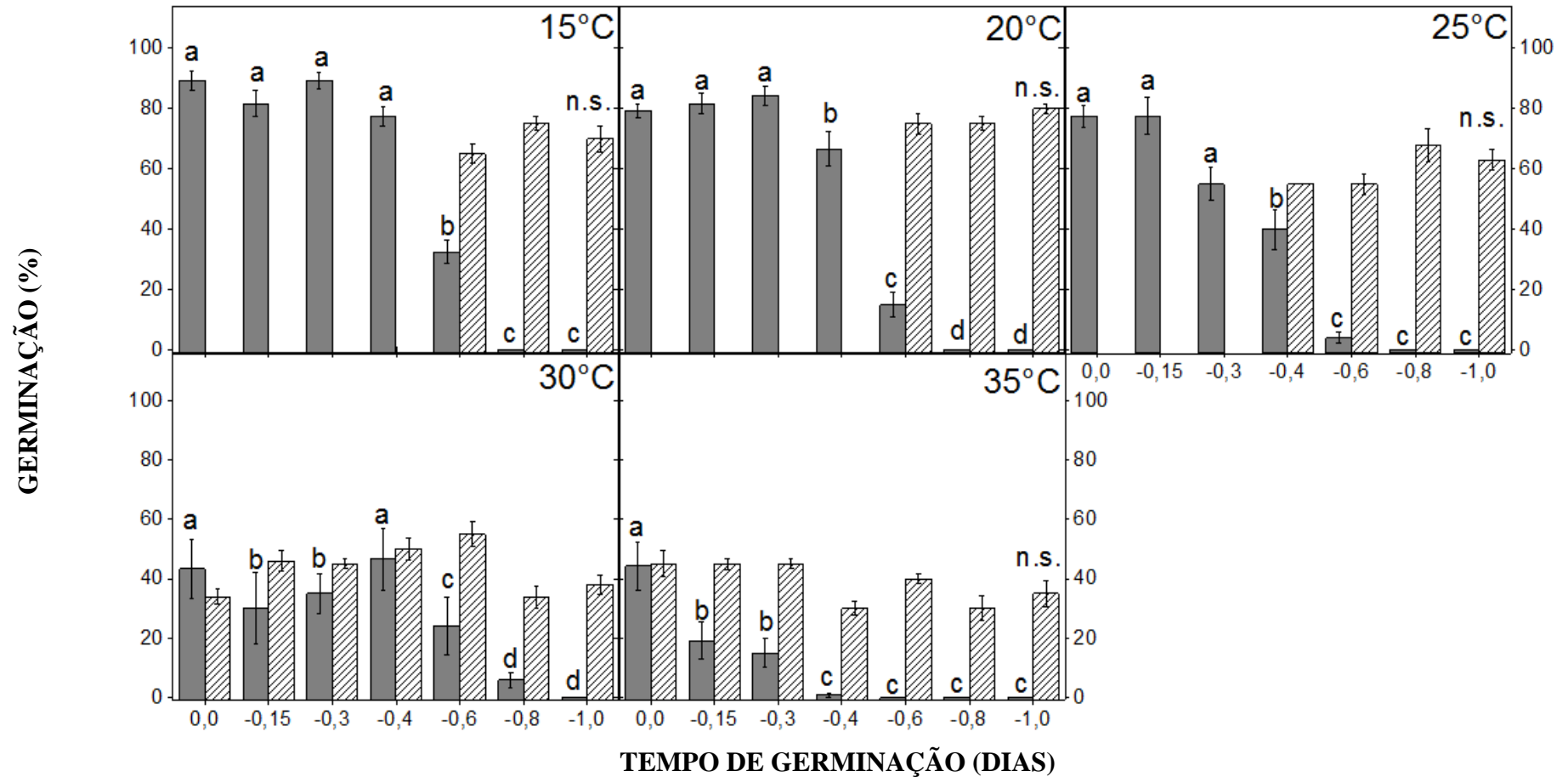
Figura 13 – Porcentagem de germinação de sementes de *Actinocephalus polyanthus* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).

n.s. – não significativo estatisticamente

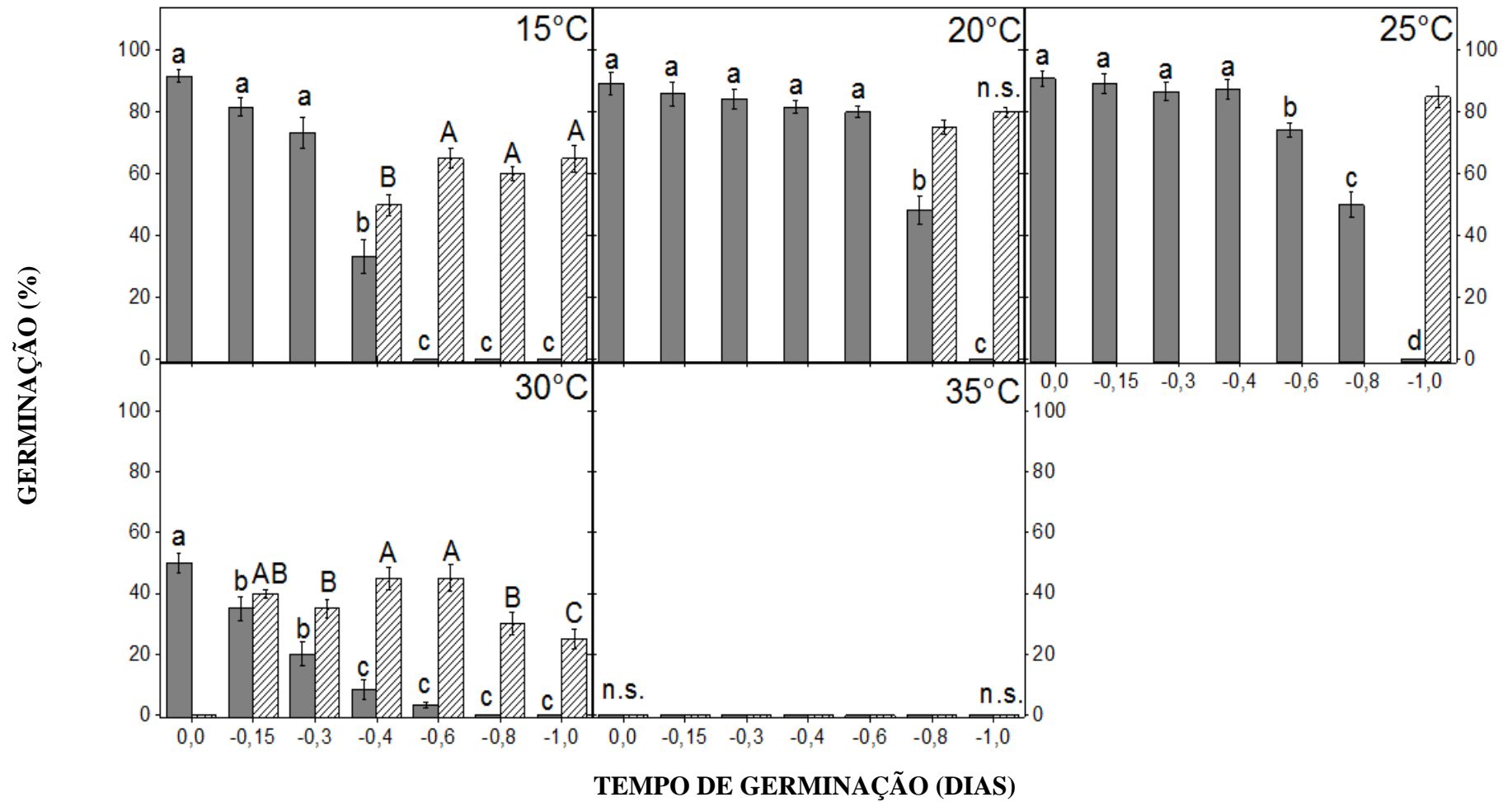
Figura 14 – Porcentagem de germinação de sementes de *Mimosa itatiaiensis* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).

n.s. – não significativo estatisticamente

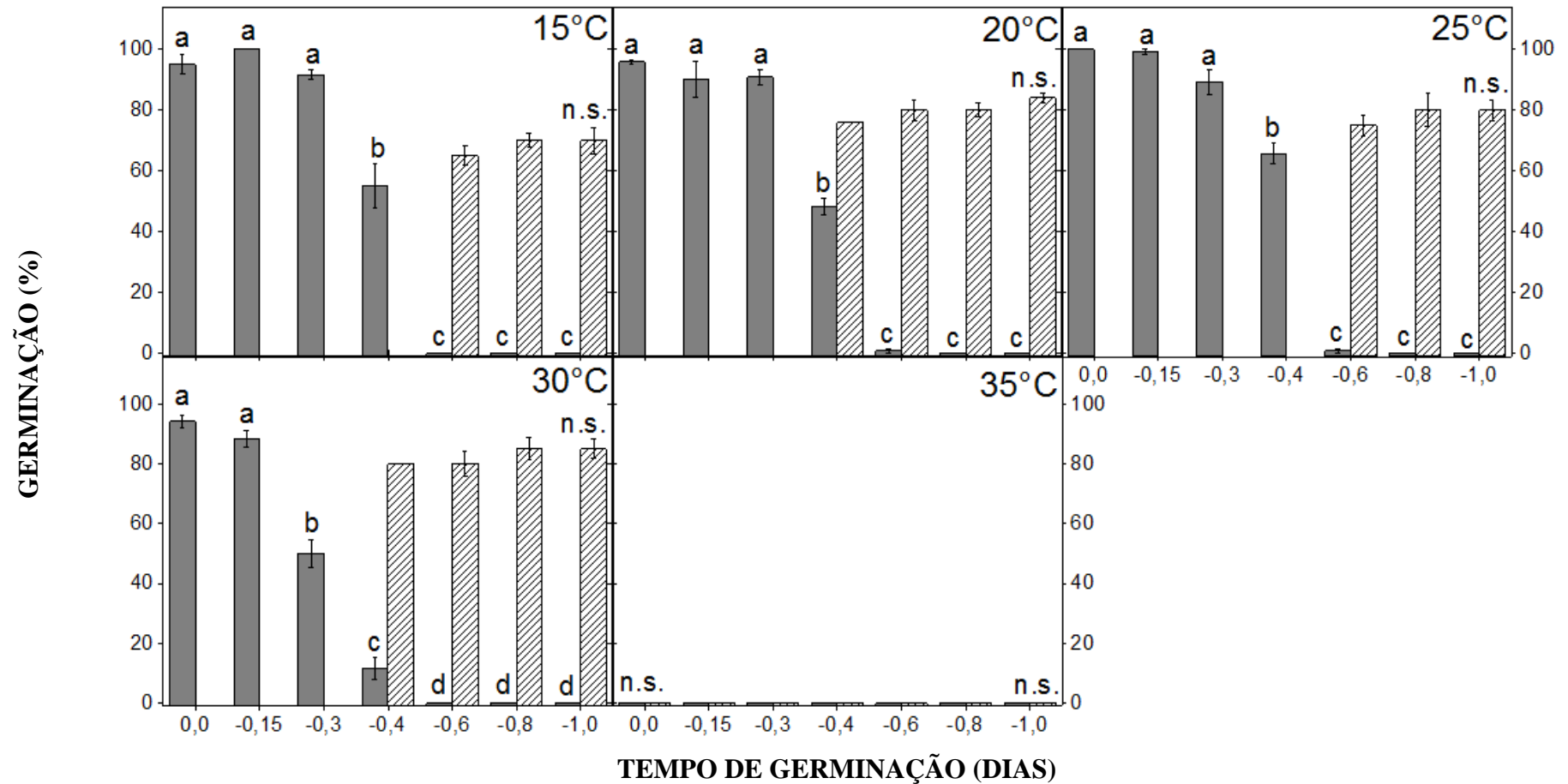
Figura 15 – Porcentagem de germinação de sementes de *Gelasine coerulea* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).

n.s. – não significativo estatisticamente

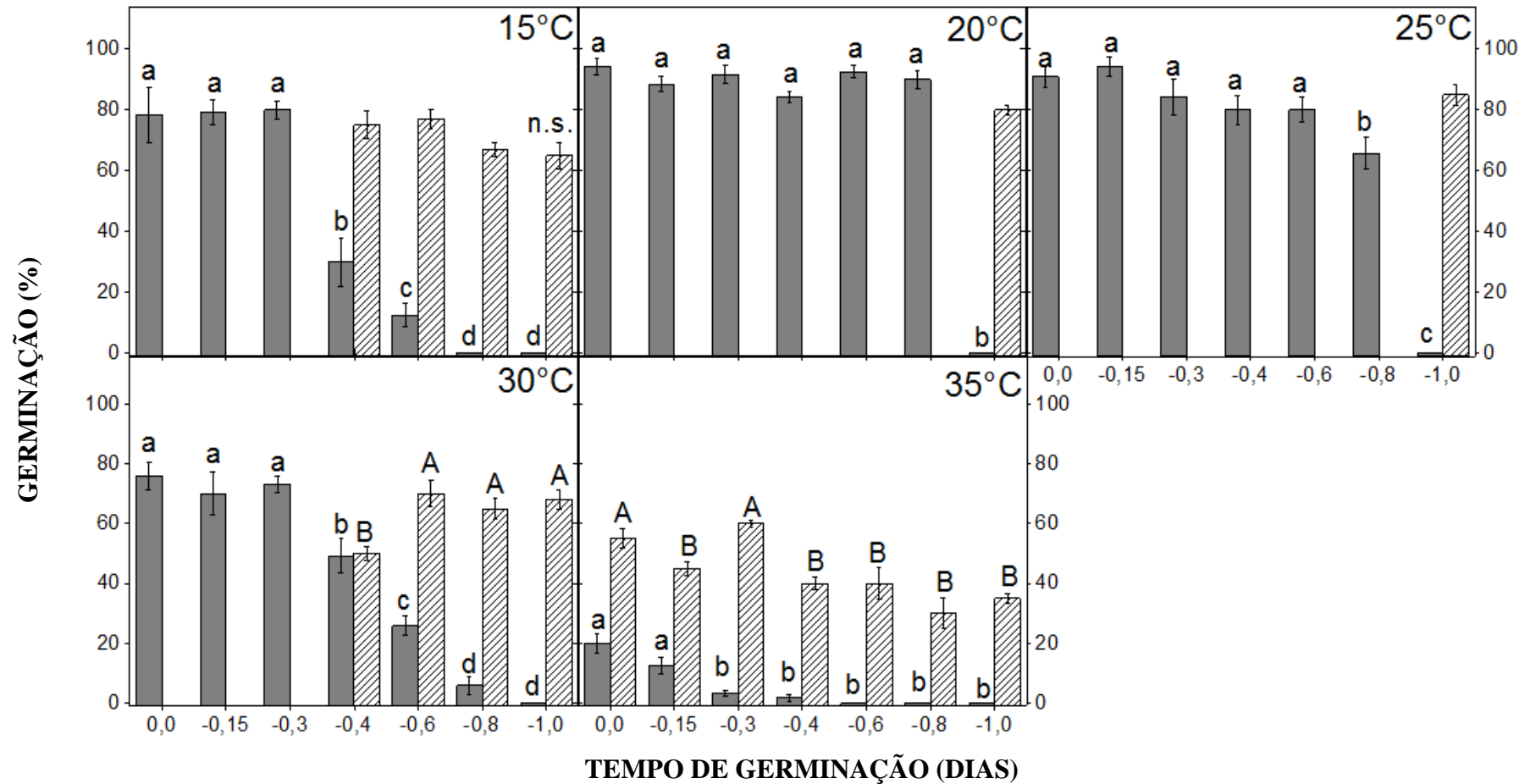
Figura 16 – Porcentagem de germinação de sementes de *Sisyrinchium wettsteinii* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).

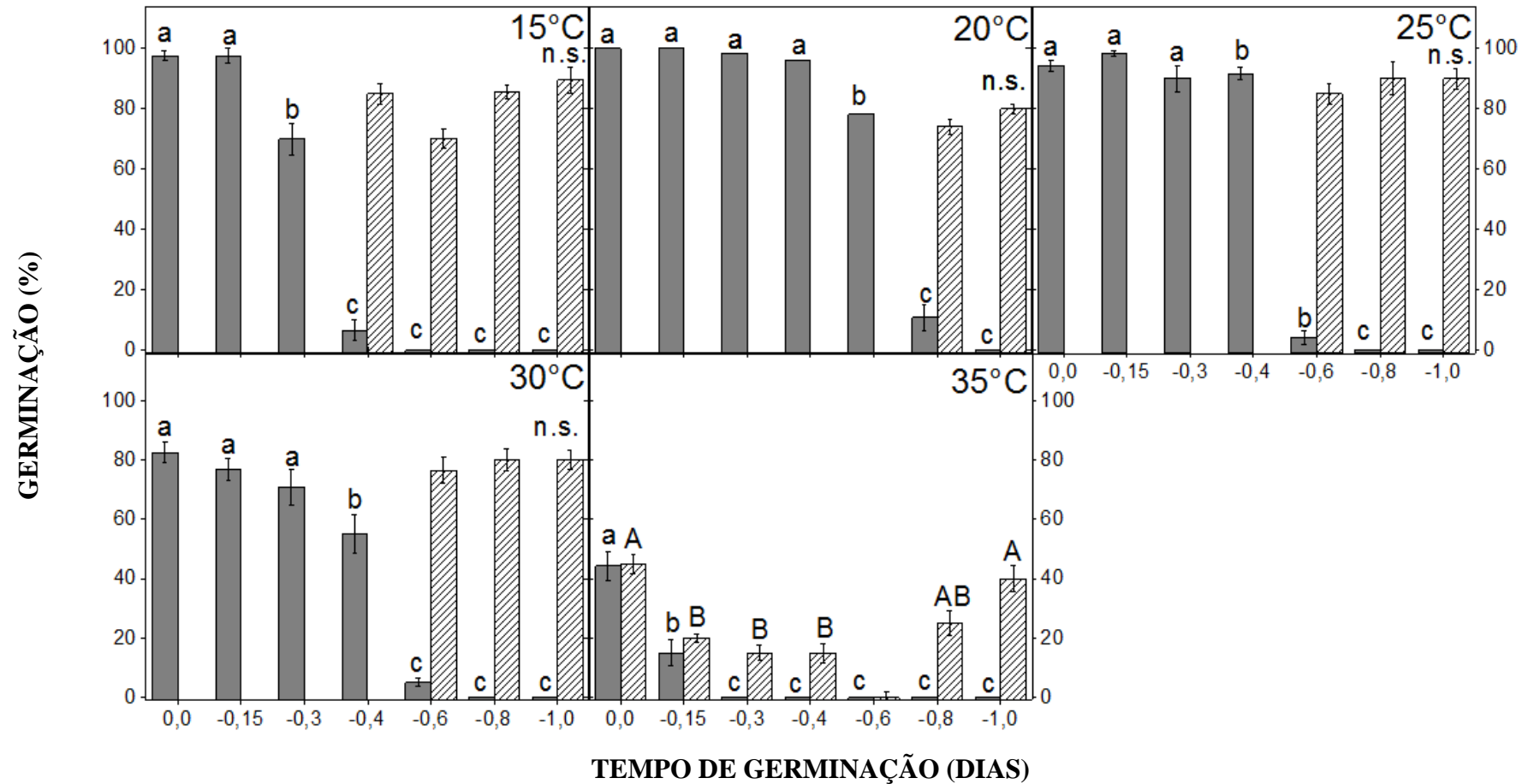
n.s. – não significativo estatisticamente

Figura 17 – Porcentagem de germinação de sementes de *Pleroma hospitum* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



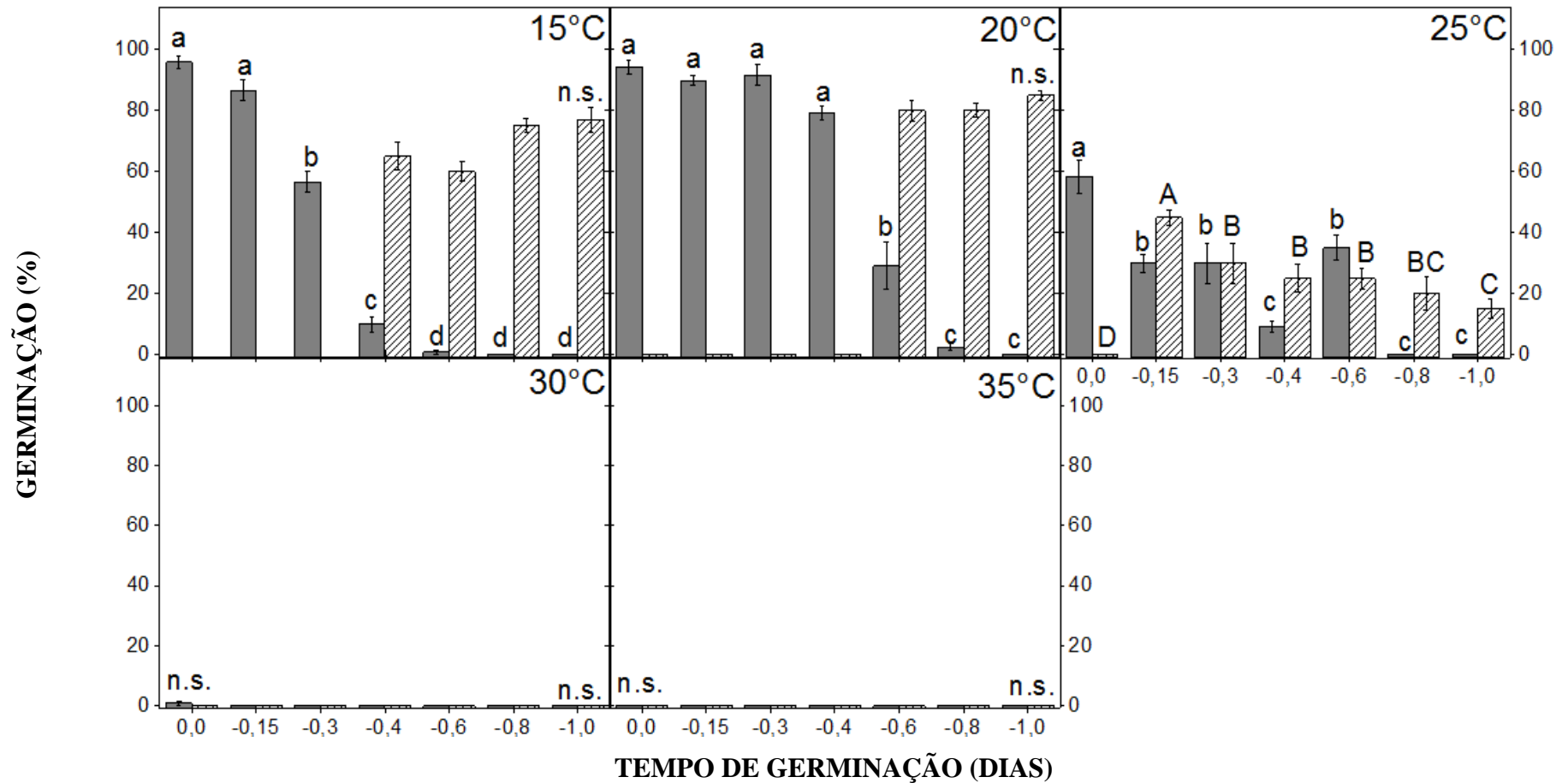
Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).
n.s. – não significativo estatisticamente

Figura 18 – Porcentagem de germinação de sementes de *Fuchsia regia* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).
n.s. – não significativo estatisticamente

Figura 19 – Porcentagem de germinação de sementes de *Buddleja speciosissima* em diferentes potenciais hídricos (0,0; -0,15; -0,3; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0 MPa) em cinco temperaturas (15°; 20°; 25°; 30°; 35°C), e tratamento de recuperação (transferência para 0,0MPa).



Legenda: Barras cinzas – tratamentos de estresse hídrico. Barras hachuradas - tratamento de recuperação. Médias seguidas da mesma letra não indicam diferença significativa entre tratamentos de estresse hídrico (letra minúscula) e entre o tratamento de recuperação (letra maiúscula) (GLM, $P < 0,05$).
n.s. – não significativo estatisticamente

5.5 Discussão

No presente estudo foram encontradas diferentes respostas germinativas em ambos os fatores, temperatura e potencial hídrico, indicando que as espécies podem apresentar janelas de estabelecimentos distintas entre si, além dos padrões de germinabilidade documentarem importantes adaptações das espécies estudadas para esse ecossistema. Era esperado como comportamento dominante das espécies, a germinação ocorrer preferencialmente nos potenciais hídricos mais altos e nas temperaturas mais amenas. De fato, este comportamento foi observado nas dez espécies analisadas, no entanto, respostas distintas foram encontradas em relação a ambos os fatores.

No geral, as espécies apresentaram alta germinação na faixa de temperatura entre 15 e 30°C. No entanto, sob 20 e 25°C houve a menor variação da germinação entre as espécies. De acordo com Baskin e Baskin (2014), essa faixa de temperatura é considerada a mais adequada para a maioria das espécies de diversos ecossistemas. Comportamento semelhante foi encontrado em várias espécies de vegetação campestre, com a faixa de temperaturas entre 20 e 30°C ideais para ocorrência da germinação (RANIERI et al., 2003; ABREU, GARCIA, 2005; ZAIDAN, CARREIRA, 2008; OLIVEIRA, GARCIA 2011; CHEIB, GARCIA, 2012; SILVEIRA et al., 2012b). Já na temperatura de 35°C, a germinação foi drasticamente afetada em todas as espécies exceto, *A. polyanthus*. Além disso, das poucas espécies que germinaram nesta temperatura, a maioria teve a germinação atrasada. Esses resultados indicam que o aumento da temperatura previsto pelas mudanças climáticas poderá afetar o recrutamento de muitas espécies dos campos de altitude, uma vez que, o fator climático atua tanto na velocidade quanto nos processos de germinação (FENNER, THOMPSON, 2005; BASKIN, BASKIN, 2014).

Apesar das espécies germinarem melhor em temperaturas intermediárias, algumas apresentaram comportamento distinto quanto ao intervalo térmico para germinação. As espécies *V. itatiaiae* (Bromeliaceae), *P. hospitum* (Melastomataceae), *Sisyrinchium wettsteinii* (Iridaceae) e *F. regia* (Onagraceae) foram capazes de manter alta porcentagem de germinação na faixa de temperatura entre 15 e 30°C, e *A. polyanthus* (Eriocaulaceae) em todas as temperaturas analisadas. A ocorrência da germinação em uma faixa mais ampla de temperatura também foi observada para algumas espécies dos campos rupestres, que apresentam vegetação e clima semelhantes aos dos campos de altitude (SOARES DA MOTA, GARCIA 2013; MARQUES et al., 2014). A capacidade de germinar em temperaturas mais elevadas pode estar

associada ao ambiente de estabelecimento e/ou com as características funcionais (FENNER, THOMPSON, 2005). Essas espécies são encontradas com frequência nos afloramentos rochosos e/ou borda da vegetação dos campos de altitude, onde as sementes podem estar mais expostas às temperaturas mais altas após a dispersão. Além disso, estudos encontraram efeitos significativos da massa das sementes, período de dispersão e forma de vida (utilizando outras classificações), no requisito térmico de germinação (TRUDGILL et al., 2000; YI et al., 2019).

Além das respostas distintas de germinação à temperatura, foi observado um conjunto heterogêneo para o estresse hídrico entre as espécies estudadas. Altas porcentagens de germinação foram encontradas nos potenciais em até em -0,6 MPa, no entanto, com grandes diferenças tanto entre as espécies, quanto nas temperaturas. No geral, o aumento do estresse hídrico provocou redução na germinação de todas as espécies. Diversos estudos reportaram que o estresse hídrico inibe a germinação das sementes e o crescimento das mudas (ROLIM et al., 2005; PHILIPS et al., 2009; BARBETA et al., 2013), demonstrando a alta sensibilidade das fases iniciais aos estresses ambientais (MCLAREN, MCDONALD, 2003). Os resultados também demonstraram que o fator temperatura influencia diretamente a capacidade de germinação em todos os potenciais hídricos, sugerindo um conjunto complexo de estratégias de germinação das espécies dos campos de altitude. Essa variação nas respostas aos efeitos do estresse hidrotérmico nas espécies também foi demonstrada em diversos ecossistemas (MARAGHNI et al., 2010; YUAN, WEN, 2018; BITTENCOUR et al., 2017; YI et al., 2019).

Adicionalmente, um comportamento não esperado foi encontrado nas sementes de *P. hospitum*, que apresentaram germinação acima de 80% mesmo em -0,8 MPa, na temperatura ótima de germinação para esta espécie. Isso sugere que o comportamento tolerante ao estresse hídrico pode estar presente em algumas espécies dos campos de altitude. Para esta espécie que dispersa suas sementes durante a estação seca, uma maior tolerância a baixos potenciais hídricos pode ser uma característica vantajosa, pois permite a germinação em períodos de baixa disponibilidade hídrica, permitindo o estabelecimento em locais com uma competição menos intensa (EVANS, ETHERINGTON, 1990). Em contra partida, a ausência de germinação a partir de -0,8 MPa nas demais espécies analisadas, pode estar relacionada a estratégia para impedir que a germinação ocorra em uma condição de baixa disponibilidade hídrica, já que a habilidade das sementes de germinar em condições de deficiência hídrica não confere obrigatoriamente em uma maior capacidade da plântula em sobreviver nesta condição (FAY, SCHULTZ, 2009; DALGLEISH et al., 2010). Dessa maneira, a maior capacidade de germinação em baixos potenciais hídricos, como em *P. hospitum*, nem sempre favorece o

estabelecimento (TOBE et al., 2006, 2007). Além disso, sementes que não germinam em condições de estresse hídrico geralmente possuem dormência e constituem um banco de sementes persistente, ajudando a espécie espalhar a germinação ao longo do ano (KOS, POSCHLOD, 2008).

Além da redução da porcentagem, foi observado que o tempo para o início da germinação aumentou conforme a redução da disponibilidade hídrica nas dez espécies, e ao final do experimento as diferenças entre os tratamentos desapareceram. O aumento da concentração de PEG diminui a entrada de água na semente, e em potenciais hídricos muito baixos, a embebição é limitada. Resultados semelhantes foram encontrados em diversos estudos (MARAGHNI et al., 2010; LUDEWIG et al., 2014; HU et al., 2015 ARCOVERDE et al., 2017).

A germinação das sementes após a transferência para água destilada foi crescente em praticamente todas as espécies. Possivelmente, as sementes que não germinaram nos potenciais hídricos mais baixos foram induzidas ao estado de dormência, uma vez que, apresentaram alta capacidade germinativa quando colocadas em condição hídrica ótima. No entanto, nem todas as sementes foram capazes de germinar mesmo em $-0,0$ MPa. Foi verificada pelo teste de corte a perda da viabilidade dessas sementes, principalmente nas temperaturas mais altas, indicando o efeito direto da temperatura na germinação. Assim como reportado em outras pesquisas (SCHÜTZ et al., 2002; TWEDDLE et al., 2003), a perda de viabilidade das sementes está relacionada a maior infestação de fungos, principalmente em $-1,0$ MPa. Potenciais hídricos mais baixos podem permitir a ativação das atividades metabólicas, porém sem que ocorra a emissão da radícula (CASTRO, HILHORST, 2004), expondo as sementes a um período maior de tempo a ação fungos e patógenos (DAWS et al., 2005).

Este é o primeiro estudo que demonstra o comportamento sensível das sementes aos efeitos dos fatores estresse hídrico, da temperatura e suas interações, no sucesso do recrutamento via sementes de espécies dos campos de altitude, em condições simuladas em laboratório. Segundo Marengo (2014), a demanda hídrica das plantas provavelmente aumentará nas próximas décadas, e alterações no regime de chuvas influenciará na ocorrência de déficit hídrico, o qual tende a ser mais frequente. Além disso, também é previsto para ecossistemas tropicais, que haja um aumento na frequência de estiagens, veranicos e aumento na temperatura média do ar e do solo, principalmente durante a estação seca do ano (IPCC, 2014). Assim sendo, regiões que atualmente apresentam condições climáticas mais extremas, como os campos de altitude, tendem a se tornar mais restritivas aos fatores climáticos, apresentado altas riscos e limitações no recrutamento das espécies.

5.6 Conclusões

- A germinação de todas as espécies estudadas foi afetada pelo aumento do potencial hídrico e da temperatura;
- As repostas germinativas nos diferentes potenciais hídricos e temperaturas diferiram entre as espécies;
- As características funcionais apresentaram efeito significativo na germinação das espécies em estresse abiótico.

6 EFEITO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DAS SEMENTES DE 47 ESPÉCIES DOS CAMPOS DE ALTITUDE: UMA ABORDAGEM BASEADA NO BANCO DE SEMENTES PARA A RESTAURAÇÃO DO ECOSISTEMA AMEAÇADO

6.1 Introdução

Os campos de altitude apresentam alta diversidade e riqueza de espécies endêmicas, devido ao seu isolamento espacial em nichos climáticos estreitos e em altitudes elevadas (KÖRNER, SPEHN, 2002; GILLET et al., 2016). Mudanças na cobertura da terra, degradação, fragmentação e, mais recentemente, mudanças climáticas, têm sido os principais fatores de perda de biodiversidade na vegetação campestre no Brasil (SCARANO et al., 2016) e no mundo (POSCHLOD, WALLIS DE VRIES, 2002; SARMIENTO et al., 2015; TÖRÖK, DENGLER, 2018).

Para mitigar o impacto da perda de diversidade de plantas nos campos de altitude, é vital desenvolver estratégias de conservação *in situ* e *ex situ*. No entanto, o risco de um declínio de espécies preservadas em ecossistemas dominados por atividades antropogênicas é maior na estratégia de conservação *in situ* (LI, PRITCHARD, 2009). Além disso, o crescente número de ações de restauração em todo o mundo aumenta a demanda pelo fornecimento de sementes (ANDRADE et al., 2015; ELZENGA et al., 2019), principalmente para espécies de vegetação campestre cujos propágulos são pouco estudados ou difíceis de propagar (TÖRÖK et al., 2011; DE VITIS et al., 2017; BUISSON et al., 2019). Nesse sentido, o banco de sementes representa a estratégia *ex situ* mais econômica para a conservação das plantas. Os bancos de sementes desempenham um papel fundamental na preservação de espécies endêmicas e ameaçadas, para futura reintrodução e na restauração de ecossistemas degradados (COCHRANE et al., 2007; MERRITT, DIXON, 2011).

A manutenção de sementes vivas em um sistema “backup” seguro é um dos principais recursos do banco de sementes, evitando assim, a perda de integridade genética de amostras armazenadas para uso atual e futuro (COCHRANE et al., 2007; FAO, 2014). Os protocolos de bancos de sementes recomendam que as sementes agrícolas tolerantes à dessecação sejam secas a 3-7% de umidade antes do armazenamento a -18°C (FAO, 2014). No entanto, mesmo para

essas espécies, certa proporção de sementes de vida curta em armazenamento de longo prazo foi identificada sob temperaturas baixas e ultrabaixas (PRITCHARD, NADARAJAN, 2008; PROBERT et al., 2009; WALTERS et al., 2013). Além disso, estudos recentes mostraram que as sementes de muitas espécies de montanhas não se comportaram como previsto, quando armazenadas em condições padrão de bancos de sementes, apresentam curta longevidade (LIU et al., 2011; MERRITT et al., 2014; SATYANTI et al., 2018). Mais pesquisas são necessárias sobre esse tópico, uma vez que, não existem padrões específicos para conservação de sementes a longo prazo de espécies silvestres que atendam à demanda de sementes para restauração em escala de paisagem (HAY, PROBERT, 2013; SWARTZ, DIXON, 2017).

A viabilidade e a dormência são as principais características das sementes (sensu JIMÉNEZ-ALFARO et al., 2016) que afetam a conservação de sementes tolerantes à dessecação de espécies silvestres (DAWS et al., 2006; PROBERT et al., 2007; MERRITT et al., 2014; SATYANTI et al., 2018). A viabilidade define o grau em que uma semente está viva e metabolicamente ativa para reagir a fatores abióticos e germinar. A viabilidade das sementes é maior no momento da maturidade fisiológica e é perdida em taxas diferentes ao longo do tempo, dependendo das condições ambientais em que são armazenadas (COPELAND, MCDONALD, 2001; HAY, PROBERT, 2013). É essencial garantir que a viabilidade de uma amostra de sementes armazenadas nos bancos de sementes seja geneticamente representativa da população original. No entanto, a viabilidade de sementes de espécies silvestres pode ser comprometida durante as condições de armazenamento, devido às variações aleatórias no processo de maturação de sementes dentro e entre populações (SILVERTOWN, 1984; HAY, SMITH, 2003; PROBERT et al., 2007; HAY, PROBERT, 2013).

Alterações nas taxas de germinação durante o armazenamento mostraram que a dormência de sementes de espécies silvestres é uma característica adaptativa adicional que afeta a germinabilidade das sementes. As condições de armazenamento podem induzir ou superar a dormência das sementes (GONZÁLEZ-BENITO et al., 2011; LIU et al., 2011; TURNER et al., 2013). Variações nas condições de armazenamento (temperatura, umidade e níveis de oxigênio) podem produzir alterações fisiológicas e induzir a dormência secundária nas sementes, que persiste mesmo quando as condições se tornam favoráveis (SIMPSON, 1990; BASKIN, BASKIN, 2014). Em contraste, estímulos ambientais como o armazenamento a seco de sementes e estratificação a frio podem promover a superação da dormência das sementes durante o armazenamento (LIU et al., 2011; TURNER et al., 2013). Como ambos os casos podem tornar imprecisos os requisitos para os testes de rotina de germinação, mais estudos são

essenciais para entender os fatores que controlam a viabilidade e a dormência das espécies durante o armazenamento (PÉREZ-GARCÍA et al., 2009; HAY, PROBERT, 2013).

Portanto, antes da implementação da estratégia de banco de sementes para os campos de altitude, com a finalidade de fornecer sementes para programas de restauração, além de contribuir para alcançar a meta 8 da Estratégia Global de Conservação de Plantas (GSPC) (Convenção sobre Diversidade Biológica 2012), pesquisas devem ser realizadas para garantir a qualidade das sementes nas condições de armazenamento mais adequadas. No Brasil, existem estudos importantes sobre bancos de sementes *ex situ* de espécies silvestres, ameaçadas e endêmicas de ecossistemas ameaçados (RODRIGUES et al., 2014; SANTOS et al., 2018). No entanto, até onde sabemos, não existem pesquisas sobre o armazenamento de sementes para espécies dos campos de altitude, um dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil.

6.2 Objetivos

Neste contexto, este estudo tem como objetivo comparar os efeitos de diferentes condições de armazenamento (alta e baixa umidade relativa do ar sob temperaturas de 10°C e -20°C) sobre características de sementes de 47 espécies dos campos de altitude, investigando a longevidade de sementes para apoiar a conservação *ex situ* e ações de restauração. Especificamente, perguntamos:

- Qual é o comportamento de armazenamento de sementes das espécies dos campos de altitude sob três condições diferentes de temperatura e umidade relativa?
- Quais são as alterações (superação ou indução) no estado de dormência das sementes frescas e armazenadas?
- Como as características de sementes frescas e armazenadas sob baixa temperatura e umidade relativa do ar (-20°C; 10% UR) influenciam a capacidade de armazenamento após 30 meses?

6.3 Material e métodos

6.3.1 Coleta de sementes

Sementes maduras de 47 espécies, de 26 famílias, foram coletadas entre os meses de outubro de 2014 e setembro de 2015 (Tabela 4). Detalhes do local de coleta e dos procedimentos pós-coleta estão apresentados nos itens 1.2.2 e 3.3.1, respectivamente. Para todas as espécies, as sementes maduras foram coletadas no início de seu período de dispersão em pelo menos 20 indivíduos selecionados aleatoriamente de diferentes populações.

6.3.2 Armazenamento das sementes

Para avaliar o comportamento de armazenamento, as sementes frescas foram colocadas em envelopes de papel permeáveis a umidade, acondicionadas em frascos de vidro herméticos e armazenadas em três condições de temperatura e umidade relativa (UR): (1) frio-úmido – FU (10°C; 85% UR); (2) frio-seco - FS (10°C; 10% UR); (3) freezer-seco - FZ (-20°C; 10%). Solução saturada de cloreto de potássio (KCl) foi utilizada para obter a umidade relativa de 85%, sendo ajustada pela adição de água destilada quando necessário (CARVALHO, NAKAGAWA, 2012). Sílica gel foi usada para obter 10% de umidade relativa nos frascos herméticos. Para todas as espécies, as sementes foram testadas quanto a germinação e viabilidade após 0 (sementes frescas), 12 e 30 meses (sementes armazenadas).

6.3.3 Teste de germinação

A germinabilidade (porcentagem de germinação) foi avaliada em placas de Petri de plástico (5 cm de diâmetro) revestidas com duas camadas de papel filtro umedecido com 2 mL de água destilada. Os ensaios de germinação consistiram em seis repetições de 20 sementes para cada tratamento, incubadas a 15-25°C, com um termoperíodo de 8 horas de luz (dia) e 16 horas de escuro (noite) por quatro semanas. Todas as placas de Petri foram colocadas em sacos plásticos fechados para minimizar a perda de umidade do substrato após o plantio. As placas

foram alocadas aleatoriamente no germinador durante as contagens de germinação. A germinação foi registrada três dias por semana, e a emergência de radículas com geotropismo positivo foi considerada como o critério para germinação (LABOURIAU, 1983). Ao final do experimento, a viabilidade das sementes não germinadas foi avaliada pelo teste de corte (GODEFROID et al., 2013). Sementes não germinadas foram consideradas dormentes quando, após o teste de corte apresentaram endosperma e o embrião intactos, firme e branco. A dormência das sementes frescas foi expressa pelo índice de dormência (DI) para cada espécie. DI representa a faixa de valores que varia de 0,0 (semente não dormente) a 1,0 (alta dormência) e valores >0,4 indicam dormência (OFFORD et al., 2004). Para avaliar as mudanças na dormência, o DI foi calculado também após o armazenamento para espécies com DI de semente frescas >0,4 e com viabilidade $\geq 60\%$. A viabilidade foi expressa como a porcentagem do número total de sementes viáveis, germinadas e não germinadas.

A massa das sementes foi calculada pelo peso de três repetições selecionadas aleatoriamente de 10 (semente maior) ou 100 sementes (semente menor), secas em estufa a 80°C por 48 horas. Os resultados foram apresentados em miligramas de peso seco de uma semente para cada espécie.

6.3.4 Análise estatística

Os dados foram avaliados quanto à normalidade e a heterogeneidade através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente (ZAR, 2010). Os parâmetros porcentagem final de germinação, viabilidade e dormência das sementes, considerando todas as espécies juntas e individualmente foram analisadas por modelos lineares generalizados (GLM, pacote lme4) (ZUUR et al., 2009; BATES et al., 2014) com a função de ligação logit e distribuição binomial. O critério AIC foi utilizado para escolha do melhor modelo nas análises de GLM (AKAIKE, 1973). O índice de dormência (DI) para sementes frescas e armazenadas foi calculado de acordo a equação de Offord e colaboradores (2004): $DI = 1 - (\% \text{ sementes germinadas} / \% \text{ sementes viáveis})$.

A análise de componentes principais (PCA) foi conduzida para investigar a estrutura de correlação subjacente das características das sementes e a análise de agrupamento hierárquico com o método de Ward e distância euclidiana para investigar a similaridade das espécies com

base nas características das sementes. Os resultados foram plotados usando dois componentes principais (PCA) com o pacote FactoMineR (LE et al., 2008) e análise de agrupamento com o pacote Factoextra (KASSAMBRA, 2017). O número de clusters foi determinado usando o pacote NbClust (CHARRAD et al., 2015). As características da semente, viabilidade, germinação, dormência e massa de sementes frescas (Vf, Gf, Df) e armazenadas (Vst, Gst, Dst) a -20°C, após 30 meses foram utilizadas para a análise de PCA e para classificar as espécies em uma análise de cluster hierárquica. Todas as análises foram realizadas no programa R 3.6.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), e os gráficos foram confeccionados no programa Origin 8.0 (ORIGINLAB CORPORATION, EUA).

6.4 Resultados

6.4.1 Efeito do armazenamento nas respostas germinativas

Nas análises com as 47 espécies juntas, os resultados mostraram que todas as condições e tempos de armazenamento tiveram uma influência significativa nas três características fisiológicas das sementes, quando comparados com o controle. Considerando o tamanho pequeno das sementes e o baixo número de sementes coletadas, não foi possível determinar o teor de água das sementes para a maioria das espécies ao longo do estudo. Quando os testes puderam ser realizados, o teor de água das sementes frescas e armazenadas (12 e 30 meses) em condições úmidas (85%UR) e secas (10%UR) apresentaram valores que variaram de 10-18%, 22-36% e 6-10%, respectivamente (dados não mostrados).

Os valores de viabilidade, germinação e dormência das sementes frescas variaram de zero a 100%, com uma média entre as espécies de 82%, 51% e 31%, respectivamente (Figura 20). Houve redução significativa em todas as variáveis entre 12 e 30 meses de armazenamento e em todas as condições de armazenamento, exceto para a porcentagem de dormência no armazenamento a frio-seco (FS). O armazenamento subsequente por 12 e 30 meses diminuiu significativamente as características fisiológicas das sementes de uma forma mais rápida no frio-úmido (FU) do que nas outras duas condições de armazenamento (Figura 20). Todas as 47 espécies apresentaram sementes frescas com porcentagem de viabilidade acima de 60%. No

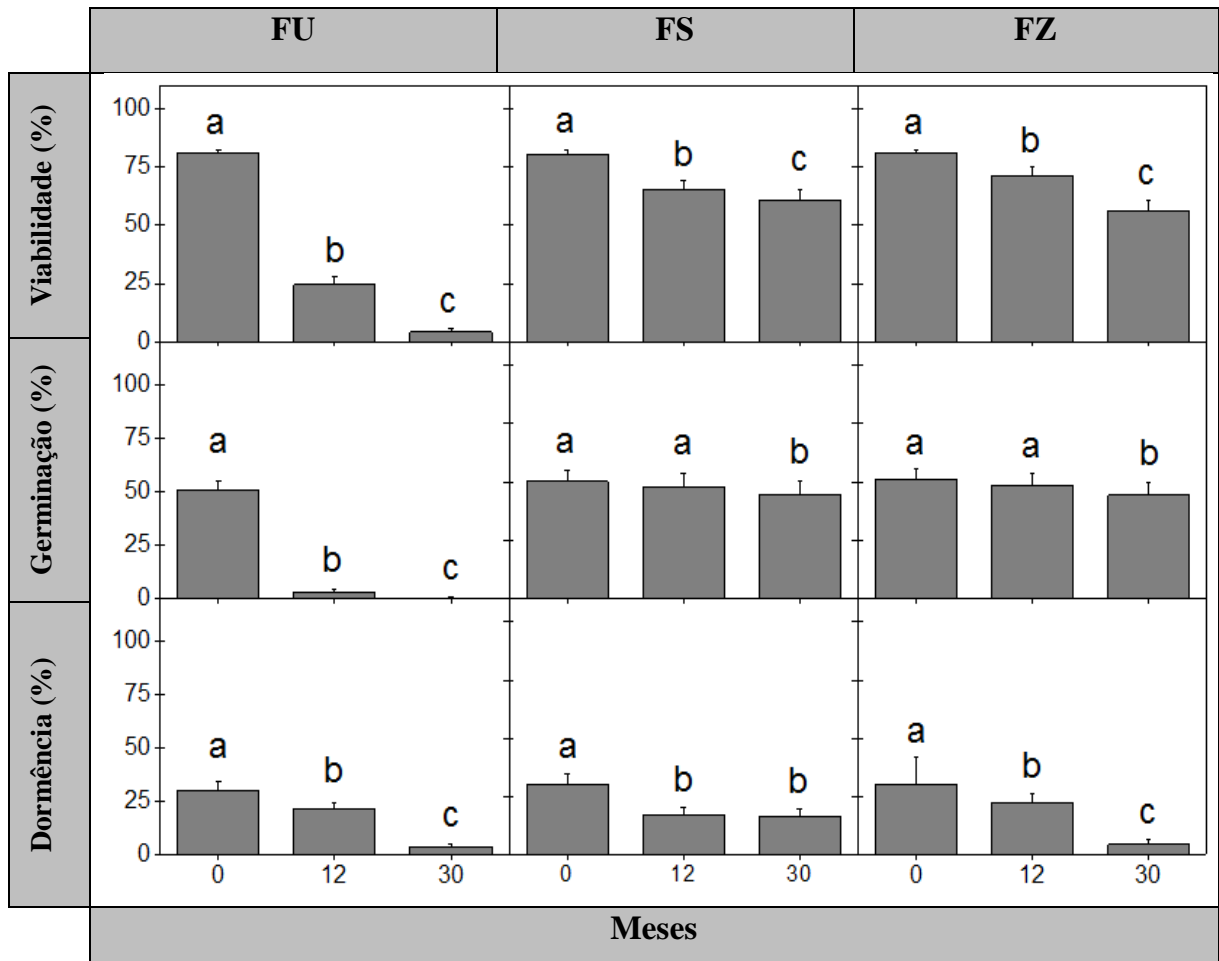
entanto, apenas 21 delas apresentaram sementes frescas com porcentagens de germinação acima do mesmo valor. Sementes de 27 e 21 espécies armazenadas a -20°C por 30 meses permaneceram altamente viáveis e com alta germinação, respectivamente. A variação no comportamento de armazenamento das espécies está detalhada na Tabela 7 para as sementes frescas e condição FZ, e no APÊNDICE G para as condições FU e FS.

6.4.2 Alterações no estado de dormência de sementes

Os valores do índice de dormência (DI) indicaram a manutenção ou mudança do estado de dormência após 12 e 30 meses, em pelo menos uma das três condições de armazenamento em 22 espécies. A condição FU apresentou queda acentuada na porcentagem de dormência das sementes armazenadas, o que está intimamente relacionado à diminuição na porcentagem de viabilidade. Apenas *L. gibertianus* (DI semente fresca = 0,68; DI sementes armazenadas = 0,64) e *A. hispidula* (DI semente fresca = 0,0; DI sementes armazenadas = 1,0) permaneceram viáveis (> 60%) nesta condição de armazenamento após 12 meses, com seus níveis de dormência mantidos e induzidos após o armazenamento, respectivamente (Figura 21).

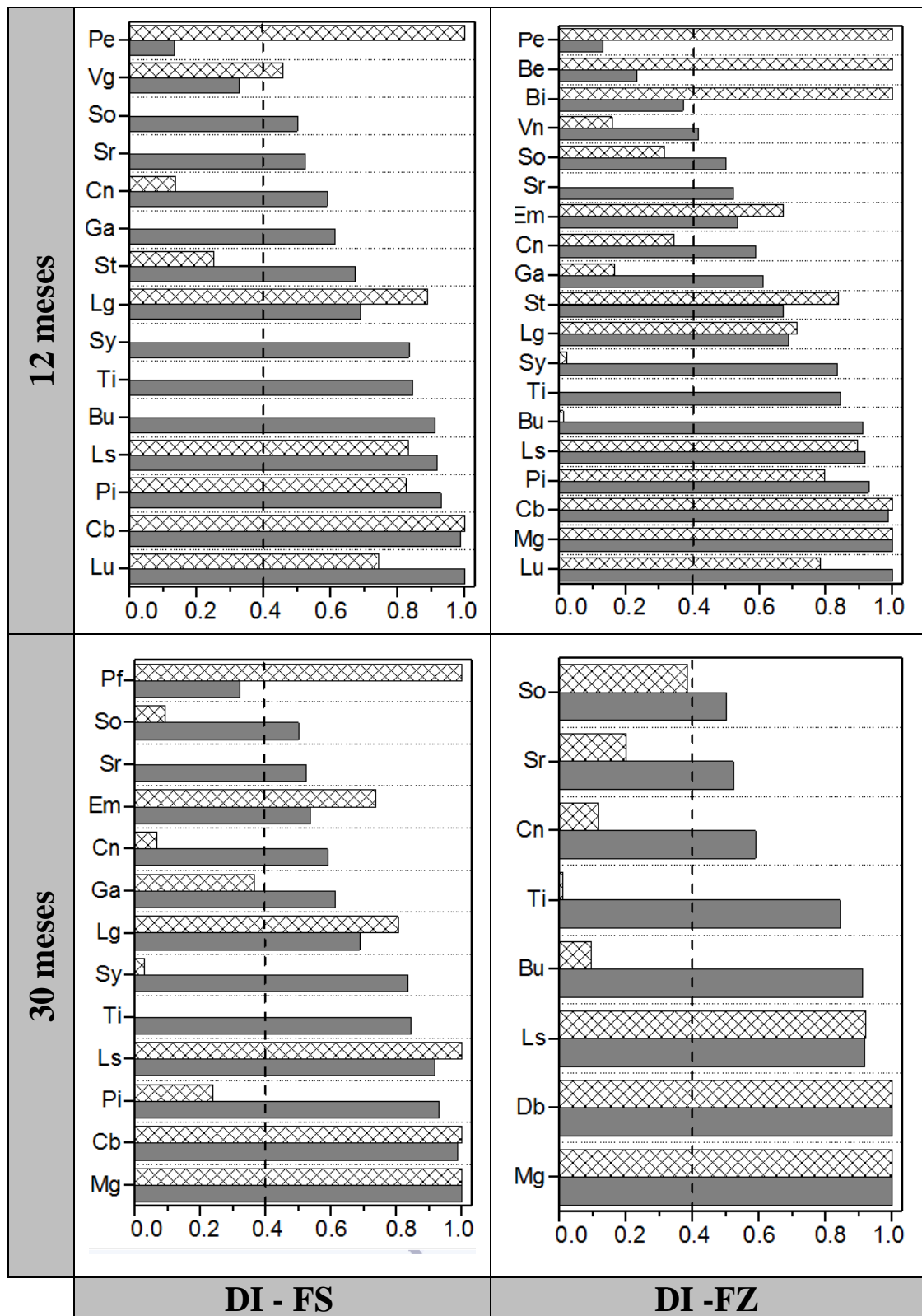
Em ambas as condições de armazenamento a seco (FS e FZ), a dormência das sementes foi preservada, liberada ou induzida em diferentes grupos de espécies (Figura 21). Dez espécies mostraram redução em seus níveis de dormência (DI sementes frescas $>0,4$ e DI sementes armazenadas $<0,4$), nove espécies mantiveram o nível de dormência (DI sementes frescas e DI sementes armazenadas $>0,4$) e cinco espécies mostraram indução de dormência nas sementes (sementes frescas DI $<0,4$ e DI sementes armazenadas $>0,4$) (Figura 21). Em ambas as condições de armazenamento a seco, *L. speciosa* permaneceu dormente, independentemente do tempo de armazenamento. *C. condalia*, *Senecio oleosus*, *S. wettsteinii* e *Tibouchina itatiaiae* apresentaram superação de dormência em ambas as condições de armazenamento a seco, independentemente do tempo de armazenamento (Figura 21). *S. itatiaie* e *Paepalanthus itatiaiensis* apresentaram comportamento diferente entre as condições e/ou tempos de armazenamento (Figura 21).

Figura 20 – Mudanças temporais (média \pm 1 se) nas porcentagens de viabilidade, germinação e dormência de 47 espécies após o armazenamento de sementes nas condições frio-úmido FU (85%UR, 10°C), frio-seco FS (10%UR, 10°C) e freezer-seco FZ (10%UR, -20°C).



Legenda: Dentro de cada condição de armazenamento, os tempos de armazenamento com letras diferentes foram significativamente diferentes de acordo com os resultados do GLM ($P < 0,05$).

Figura 21 – Mudanças no índice de dormência (DI) de sementes frescas e armazenadas após 12 e 30 meses sob condições de armazenamento frio-seco (FS) e freezer-seco (FZ).



Legenda: Sementes frescas correspondem às barras cinza, e sementes armazenadas às barras hachuradas. Código da espécie de acordo com a Tabela 7.

6.4.3 Análises de PCA e cluster após armazenamento a -20°C

A análise de componentes principais (PCA) revelou variações entre as características da semente e explicou 67% da variância total no conjunto de dados. As duas primeiras dimensões (Dim1 e Dim 2) do PCA foram responsáveis por 49,9% e 17,1% das variações observadas, respectivamente (Figura 22). A capacidade de germinação (Gst e Gf), a presença de dormência das sementes (Df e Dst), e a viabilidade das sementes armazenadas (Vst) apresentaram as maiores contribuições na Dim1. As variáveis G e V foram positivamente correlacionadas com a Dim 1, enquanto a variável D apresentou correlação negativa (Tabela 6; Figura 22). O peso da semente (MASS) apresentou maiores contribuições no Dim2, que se correlacionou negativamente (Tabela 6; Figura 22). Os altos valores de contribuição indicam como as variáveis influenciam o arranjo das espécies nas duas Dimensões (Dim1 e Dim 2).

A análise de agrupamento das 47 espécies revelou cinco agrupamentos principais (Figura 22), indicando que as características da semente podem ser usadas para separar as espécies investigadas ao longo das duas primeiras dimensões com base na capacidade de armazenamento. O “cluster 1” (3 espécies) inclui as espécies com baixo Gf e Gst, devido ao alto Df e Dst (<50%), respectivamente. Essas espécies preservaram a dormência das sementes e alta viabilidade após o armazenamento. “Cluster 2” (2 espécies) e “Cluster 3” (16 espécies) representam perda de viabilidade após o armazenamento e, conseqüentemente, baixo Gst e Dst. Além disso, o “Cluster 2” representa as sementes mais pesadas. “Cluster 4” (10 espécies) representam espécies com alto Vst e aumento de Gst, além daquelas com liberação de dormência na condição FZ após 30 meses. “Cluster 5” (16 espécies) representa a alta capacidade de germinação (>70%) e baixa dormência (0-12%) de sementes frescas e armazenadas. Os agrupamentos e as porcentagens de germinação, viabilidade e dormência de sementes frescas e armazenadas estão detalhados na Tabela 7.

Tabela 6 – Contribuição (Ctr) das respostas germinativas das sementes frescas (f) e armazenadas (st) após 30 meses na condição freezer-seco e massas das sementes (MASS); valores dos coeficientes de Spearman (ρ); variância e variância cumulativa explicada pelos dois principais componentes do PCA (Dim1 e Dim2).

Variáveis	Dim1		Dim2	
	Ctr	ρ	Ctr	ρ
Df	20,08	-0,83	12,79	0,39
Dst	13,43	-0,69	13,62	0,40
Gf	20,98	0,86	8,44	-0,32
Gst	23,76	0,91	4,72	0,24
Vf	0,86	0,17	2,70	0,18
Vst	17,08	0,77	21,11	0,50
MASS	3,77	-0,36	36,58	-0,66
Variância (%)	49,92		17,05	
Variância cumulativa (%)	49,92		66,97	

Legenda: D - dormência; V - viabilidade; G -germinação.

Os números em negrito demonstram correlação significativa ($P < 0,05$).

Figura 22 – Análise de PCA e análise de cluster. No PCA está representada a variação das características de germinação (G), viabilidade (V) e dormência (D) de sementes frescas (f) e armazenadas (st) na condição freezer-seco (-20°C,10%UR), além da massa de sementes (MASS). Na análise de cluster estão representados os agrupamentos das espécies nas duas primeiras dimensões (Dim1 e Dim2)

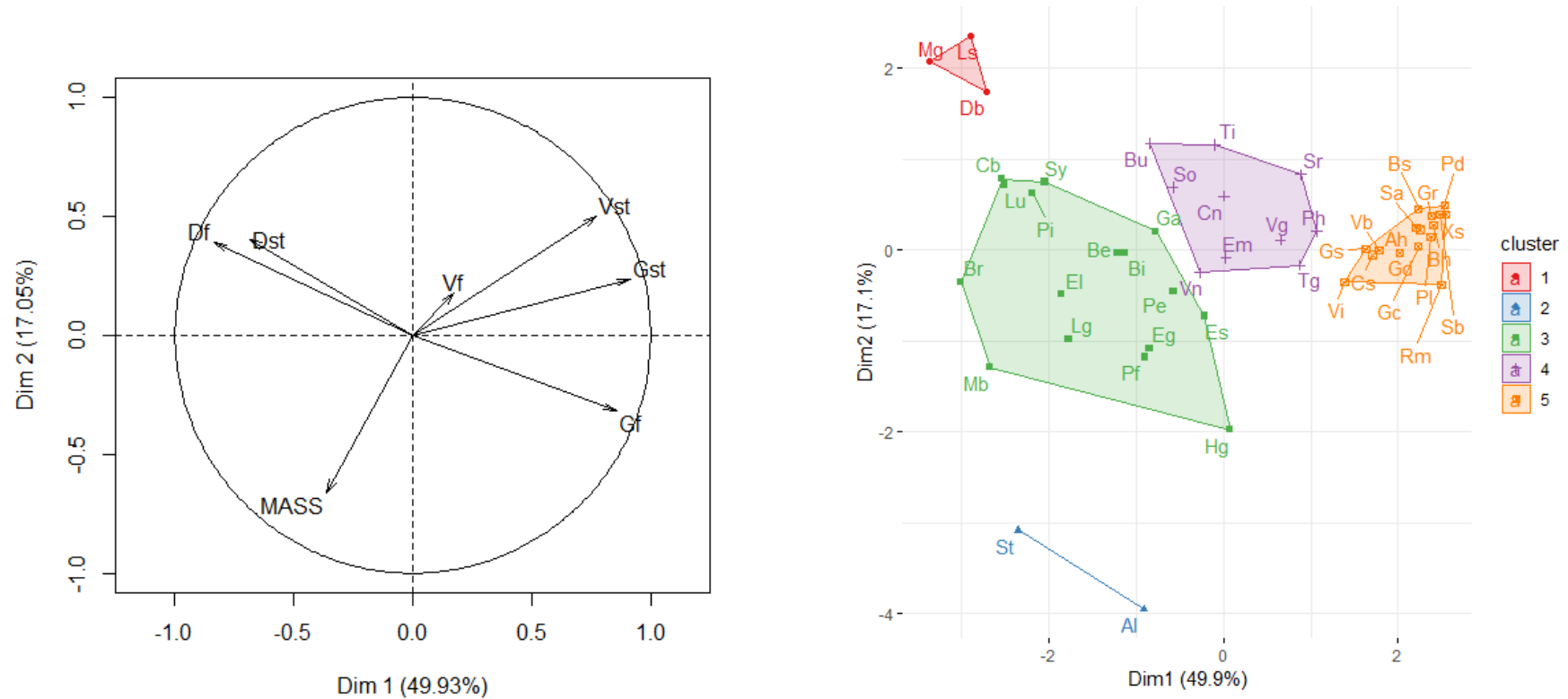


Tabela 7 – Lista de 47 espécies dos campos de altitude, código das espécies (CD), respostas germinativas de sementes frescas (f) e armazenadas (st) após 12 e 30 meses na condição freezer-seco (-20°C,10%UR). Germinação (G), viabilidade (V) e dormência (D), e agrupamento da análise de cluster. (Continua)

Espécies	CD	Gf	Vf	Df	Gst12	Vst12	Dst12	Gst30	Vst30	Dst30	Cluster
<i>Alstroemeria isabelleana</i>	Al	83,8	83,8	0,0	8,0	15	7,0	0,0	5,83	5,83	2
<i>Hippeastrum morelianum</i>	Hg	100	100	0,0	0,0	2,0	2,0	0,0	5,0	5,0	3
<i>Eryngium glaziovianum</i>	Eg	61,2	75	13,7	51	70	19	0,0	15	15	3
<i>Austrocritonia velutina</i>	Vn	35	60	25	64	76	12	43,3	50	6,7	4
<i>Baccharis maxima</i>	Bh	95	95	0,0	72	78	6,0	91	95	4,2	5
<i>Baccharis semiserrata</i>	Bi	55	87,5	32,5	0,0	66	66	0,0	25	25	3
<i>Graphistylis argyrotricha</i>	Gr	91,2	97,5	6,3	50	75	25	93	95	1,7	5
<i>Graphistylis dichroa</i>	Gd	85	85	0,0	74	80	6,0	83	85,4	2,1	5
<i>Pentacalia desiderabilis</i>	Pd	88,7	95	6,3	100	100	0,0	100	100	0,0	5
<i>Senecio adamantinus</i>	Sa	85	90	5,0	94	96	2,0	91	91,6	0,8	5
<i>Senecio brasiliensis</i>	Sb	86,2	90	3,8	96	97	1,0	100	100	0,0	5
<i>Senecio oleosus</i>	So	37,5	75	37,5	59	86	27	40	65	25	4
<i>Trixis glaziovii</i>	Tg	58,7	70	11,2	90	92	2,0	65	70	5,0	4
<i>Verbesina glabrata</i>	Vg	43,8	65	21,2	42	65	23	71	75	4,2	4
<i>Begonia occhionii</i>	Be	53,8	70	16,2	0,0	61	61	0,0	36,6	36,6	3
<i>Berberis campos-portoi</i>	Br	0,0	91,2	91,2	0,0	51	51	0,0	19,1	19,1	3
<i>Vriesea bituminosa</i>	Vb	88,7	100	11,2	78	80	2,0	72	71,6	0,0	5
<i>Vriesea itatiaiae</i>	Vi	93,7	93,8	0,0	50	52	2,0	52	60	7,5	5
<i>Maytenus boaria</i>	Mb	3,7	72,5	68,7	2,0	6,0	4,0	0,0	8,3	8,3	3
<i>Clethra scabra</i>	Cs	78,7	80	1,3	66	71	5,0	76,6	80	3,4	5
<i>Carex brasiliensis</i>	Cb	1,2	95	93,7	0,0	62	62	0,0	14,1	14,1	3
<i>Agarista hispidula</i>	Ah	75	75	0,0	78	84	6,0	100	100	0,0	5
<i>Gaultheria serrata</i>	Gs	75	75	0,0	80	93	13	77,5	83,3	5,8	5
<i>Eriocaulon majusculum</i>	Em	32,5	70	8,7	21	64	43	45	55	10	4

Tabela 7 – Lista de 47 espécies dos campos de altitude, código das espécies (CD), respostas germinativas de sementes frescas (f) e armazenadas (st) após 12 e 30 meses na condição freezer-seco (-20°C, 10%UR). Germinação (G), viabilidade (V) e dormência (D), e agrupamento da análise de cluster. (Conclusão)

Espécies	CD	Gf	Vf	Df	Gst12	Vst12	Dst12	Gst30	Vst30	Dst30	Cluster
<i>Paepalanthus itatiaiensis</i>	Pi	5,0	70	65	12	59	47	9,1	33,3	24,1	3
<i>Escallonia bifida</i>	El	17,5	70	52,5	2,0	19	17	0,0	5,83	5,8	3
<i>Lupinus gibertianus</i>	Lg	25	80	55	18	63	45	18,3	33,3	15	3
<i>Senna itatiaiaiae</i>	St	25	76,2	51,2	13	80	67	10	16,6	6,6	2
<i>Gelasine coerulea</i>	Gc	81,3	81,3	0,0	93	95	2,0	96,6	97,5	0,9	5
<i>Sisyrinchium marginatum</i>	Sy	13,7	82,5	68,8	90	92	2,0	10	35,8	25,8	3
<i>Sisyrinchium wettsteinii</i>	Sr	41,2	86,3	45	100	100	0,0	80	100	20	4
<i>Lepechinia speciosa</i>	Ls	7,5	90	82,5	8,0	75	67	5,8	72,5	66,7	1
<i>Leandra quinquedentata</i>	Lu	0,0	86,2	86,2	18	83	65	1,7	18,3	16,6	3
<i>Pleroma echinata</i>	Pe	75	86,3	11,3	0,0	59	59	0,0	25	25	3
<i>Pleroma foveolatum</i>	Pf	47,5	70	22,5	83	85	2,0	3,3	5,0	1,7	3
<i>Pleroma hospitum</i>	Ph	47,5	65	17,5	87	92	5,0	82	83,3	1,7	4
<i>Tibouchina itatiaiaiae</i>	Ti	12,5	80	67,5	98	98	0,0	76	76,6	0,8	4
<i>Esterhazyia eitenorum</i>	Es	75	76,3	1,3	55	73	18	10	30	20	3
<i>Plantago australis</i>	Pl	86,2	86,3	0,1	98	98	0,0	96	95,8	0,0	5
<i>Myrsine gardneriana</i>	Mg	0,0	95	95	0,0	75	75	0,0	65	65	1
<i>Roupala montana</i>	Rm	98,8	98,8	0,0	78	83	5,0	97	97,5	0,0	5
<i>Coccocypselum condalia</i>	Cn	28,8	70	41,2	57	87	30	64	72,5	8,4	4
<i>Galium hypocarpium</i>	Ga	35	90	55	71	85	14	29	35	5,9	3
<i>Buddleja speciosissima</i>	Bs	76,2	85	8,8	75	82	7,0	100	100	0,0	5
<i>Barbacenia gounelleana</i>	Bu	7,5	85	77,5	90	91	1,0	55	60,8	5,8	4
<i>Xyris stenophylla</i>	Xs	88,7	91,2	2,5	67	78	11	100	100	0,0	5
<i>Drymis brasiliensis</i>	Db	0,0	91,2	91,2	0,0	0,0	0,0	0,0	60	60	1

6.5 Discussão

Os resultados do presente estudo mostraram que as condições de armazenamento promovem diferentes efeitos sobre as características associadas à capacidade de conservação das sementes. Este estudo revelou também uma severa perda de viabilidade e germinação das sementes de quase todas as espécies sob armazenamento frio-úmido, quando comparado com as condições de frio-seco e freezer-seco. Na ausência de tegumentos impermeáveis à água e gases, as sementes atingem teores de umidade específicos, de acordo com o equilíbrio higroscópico entre os seus tecidos internos e a umidade relativa do ambiente circundante sob condições herméticas (VERTUCCI, ROSS, 1990). Assim, altos teores de umidade das sementes (>20%) armazenadas em condição frio-úmido provavelmente aumentaram sua taxa metabólica e a deterioração das sementes, além de promover visível crescimento de fungos em muitas sementes não germinadas. Nessa condição de armazenamento, o crescimento de fungos também pode acelerar o processo de respiração da semente e diminuir seu potencial de armazenamento (McCORMACK, 2004; ZHOU et al., 2020).

Em contraste, o armazenamento de sementes em condições seca (10%UR), em ambas temperaturas (10°C e -20°C), permitiu a melhor manutenção da taxa de viabilidade das sementes (>60%) em mais da metade das espécies. Esses resultados confirmam a expectativa de comportamento de armazenamento ortodoxo das sementes para muitas espécies de vegetação campestre, com base em algumas características morfológicas, ecológicas e fisiológicas das plantas e sementes (por exemplo, plantas com frutos secos deiscentes, sementes pequenas e com baixo teor de umidade na maturidade) (HONG, ELLIS, 1996; DICKIE, PRITCHARD, 2002; HAMILTON et al., 2013; BLOMSTEDT et al., 2018). Para espécies ortodoxas, a longevidade aumenta com a redução do teor de umidade das sementes e da temperatura de armazenamento (HAY, PROBERT, 2013).

Enquanto uma variação relativa na longevidade das sementes é esperada entre as espécies, graças à diversidade dos gêneros (n = 39) e famílias (n = 26) estudadas, a redução na viabilidade das sementes sob armazenamento a seco é surpreendente, dado o esperado comportamento de armazenamento ortodoxo das sementes. Esses resultados podem estar relacionados ao armazenamento de amostras compostas por sementes imaturas. Pesquisas sobre a conservação de sementes de espécies silvestres tropicais e temperadas mostraram alta variação na viabilidade de sementes dentro e entre as espécies, tanto em sementes frescas quanto armazenadas (PROBERT et al., 2009; GODEFROID et al., 2013; MONDONI et al., 2011).

Nesses casos, respostas erráticas foram atribuídas às variações geneticamente reguladas do desenvolvimento das sementes e estágio de maturidade, que muitas vezes são influenciadas pela natureza imprevisível e severa de regiões montanhosas em anos específicos (CHAMBERS, 1989; WALTERS, 1998; GIMÉNEZ-BENAVIDES et al., 2005). Em geral, sementes imaturas exibem baixa tolerância ao frio e ao congelamento, e menor longevidade do que sementes maduras (CRAWFORD et al., 2007; BALLESTEROS, PENCE, 2017).

É importante observar que as mudanças na germinabilidade com o tempo devem ser vistas com cuidado, se usadas como uma medida de viabilidade de amostras de sementes armazenadas. Como os protocolos de germinação e superação de dormência não foram definidos para a maioria das espécies silvestres em todo o mundo, incluindo para espécies dos campos de altitude, o teste de corte foi usado neste estudo para produzir informações mais precisas sobre a proporção de sementes não germinadas e viáveis (ou seja, sementes dormentes). Este procedimento é usado principalmente em espécies silvestres, quando a quantidade de sementes é um fator limitante nos estudos de germinação, para melhorar a qualidade dos dados sobre o manejo e conservação em bancos de sementes (WALSH et al., 2003; GODEFROID et al., 2013; HAY, WHITEHOUSE, 2017).

Embora o estado de dormência seja uma característica fisiológica que contribui para a longevidade das sementes (SANO et al., 2016), as baixas taxas de germinação devido a dormência resultam em gargalos críticos para melhorar o uso eficaz de sementes de espécies silvestres em projetos de conservação (TURNER et al., 2013; ABELI et al., 2020). O presente estudo identificou 45% das espécies com sementes dormentes no momento da dispersão, levando em consideração o critério do índice de dormência ($DI > 0,4$; OFFORD et al., 2004) e seu nível de viabilidade $>60\%$, para sementes frescas e armazenadas em condição seca (10°C e -20°C). Ambas as condições promoveram a superação da dormência de sementes para a maioria das espécies, durante 12 e 30 meses de armazenamento. Essas espécies provavelmente requerem um período de pós-maturação para superar a dormência, um estágio geralmente alcançado em condições de armazenamento frio e seco (FINCH-SAVAGE, LEUBNER-METZGER, 2006; GONZÁLEZ-BENITO et al., 2011). Esse padrão é típico de espécies com dormência fisiológica, com alta prevalência entre algumas das famílias selecionadas neste estudo (BASKIN, BASKIN, 2014; WILLIS et al., 2014). Para poucas espécies, as condições de armazenamento mantiveram a dormência das sementes (verificado após o teste de corte), como nos dois táxons das famílias Fabaceae (gêneros *Lupinus* e *Senna*; dormência física) e um

táxon das famílias Alstroemeriaceae, Apiaceae, Escalloniaceae e Winteraceae (dormência morfológica).

O efeito do armazenamento a -20°C e seco (30 meses) sobre as características das sementes mostrou diferentes respostas das espécies pela análise multivariada e permitiu a formação de cinco grupos distintos. Os resultados são apresentados sob a abordagem da conservação *ex situ* (bancos de sementes) e restauração ecológica. No cluster 1 (6% das espécies), *Drymis brasiliensis* (Winteraceae) é a única espécie com viabilidade $<50\%$ após armazenamento e com dormência morfológica, causada provavelmente pelo embrião subdesenvolvido (FORBIS et al., 2002). Neste caso, a superação da dormência requer um período de desenvolvimento (maturidade) do embrião sob condições específicas de temperatura e umidade do solo, antes que ocorra a germinação. As outras duas espécies que apresentaram viabilidade e dormência $>60\%$ no mesmo período pertencem às famílias Lamiaceae e Primulaceae, cujas sementes provavelmente apresentam dormência fisiológica (WILLIS et al., 2014). Este tipo de dormência é geralmente superado incubando as sementes em temperatura alternada ou pela aplicação de ácido giberélico (BASKIN, BASKIN, 2014; RIBEIRO, COSTA, 2015).

Embora apresentem taxas moderadas de viabilidade e dormência logo após a dispersão das sementes, as espécies agrupadas nos clusters 2 e 3 (38%) apresentaram baixa capacidade de armazenamento das sementes. Este grupo é composto por várias famílias (Apiaceae, Berberidaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Iridaceae e Orobanchaceae, entre outras), cujas espécies possuem sementes não dormentes ou diferentes tipos de dormência (morfológica, física e fisiológica; WILLIS et al., 2014). Dada a capacidade de armazenamento por curto prazo, suas sementes devem ser usadas preferencialmente logo após a coleta, tanto para a semeadura direta como na produção e plantio de mudas em projetos de restauração de áreas de perturbadas (BROADHURST et al., 2016; BASKIN, BASKIN, 2020).

No geral, os clusters 4 e 5 agruparam as espécies (56%) por sua viabilidade inicial moderada-alta e taxas de dormência moderadas (cluster 4) e baixas (cluster 5). A superação da dormência durante o armazenamento seco (pós-amadurecimento) é frequentemente relatada em espécies com dormência fisiológica não profunda (FINCH-SAVAGE, LEUBNER-METZGER, 2006), com uma alta prevalência entre as famílias encontradas no cluster 4 (Asteraceae, Melastomataceae, Eriocaulaceae e Rubiaceae ; WILLIS et al., 2014). Dada a sua alta viabilidade ($>60\%$) e baixa dormência de sementes após 30 meses de armazenamento, a maioria das espécies desses dois grupos tem alto potencial de conservação em bancos de sementes. Essa

estratégia de conservação *ex situ* pode ser crucial para o uso bem-sucedido de espécies nativas em projetos de restauração ecológica, nas épocas mais adequadas do ano, uma vez que, os campos de altitude apresentam períodos severos de sobrevivência/crescimento das plantas (pouca chuva, ventos fortes e mais de dois meses com temperaturas congelantes; SCARANO, 2009).

Apesar do crescente interesse em preservar os campos de altitude, um dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil (OVERBECK et al., 2007; OVERBECK et al., 2015; SCARANO et al., 2016), além da demanda por sementes de espécies adaptadas (OVERBECK et al., 2006; BUISSON et al., 2019; THOMAS et al., 2019), este é o primeiro estudo que fornece informações detalhadas sobre a conservação *ex situ* de sementes deste ecossistema, incluindo espécies endêmicas e ameaçadas. As análises fornecem informações gerais sobre o efeito das condições de armazenamento nas características das sementes, incluindo 25% das espécies endêmicas ou ameaçadas (CNCFLORA, 2020) No entanto, mais estudos são necessários incluindo outras características de sementes para mostrar a variação das taxas de envelhecimento entre as espécies sob diferentes condições de armazenamento.

6.6 Conclusões

- As condições e o período de armazenamento afetaram a longevidade das sementes;
- As espécies apresentaram alto potencial de conservação *ex situ* em bancos de sementes;
- Os níveis de dormência foram alterados de forma distintas entre as condições de armazenamento.

DISCUSSÃO GERAL

O presente trabalho apresentou informações sobre a ecofisiologia de sementes dos campos de altitude e os possíveis efeitos das mudanças climáticas na germinação das sementes. A princípio, para avaliar os efeitos das mudanças climáticas no recrutamento via sementes dessa comunidade, era necessário o conhecimento sobre as respostas germinativas, assim como foi sugerido em estudos prévios (OOI et al., 2009, 2012; WALCK et al., 2011; COCHRANE, 2016, 2017). Esses autores reportaram que a germinação e a dormência de sementes são mecanismos que controlam a regeneração das plantas, além de apresentarem forte correlação com os fatores climáticos. Logo, esses mecanismos podem ser utilizados para um melhor conhecimento dos efeitos das mudanças climáticas a longo prazo nas espécies.

Em conjunto com as características edafoclimáticas (MARTINELLI, 2007; ASSIS, MATTOS, 2016), as respostas germinativas encontradas no presente estudos para as espécies dos campos de altitude, refletem a sua fragilidade diante as ameaças antrópicas e naturais. A germinação em temperaturas mais amenas, a presença de dormência na maioria das espécies, e a perda de viabilidade diante do aumento da temperatura de germinação e do estresse hídrico, são alguns dos fatores que contribuem para vulnerabilidade desse ecossistema. Além disso, por serem processos distintos, a germinação e a dormência serão influenciadas de forma independente pelas mudanças climáticas (FENNER, THOMPSON, 2005). Assim, dependendo da espécie, as alterações do clima podem atuar de maneira distinta no recrutamento via sementes, levando ao aumento da ocorrência de algumas espécies em detrimentos daquelas que possuem características germinativas mais restritas e sensíveis a tais alterações (ADLER, HILLE RIS LAMBERS, 2008; WALCK, DIXON, 2009; BAETEN et al., 2010; WEN et al., 2011).

Adicionalmente, apesar de estarem inseridos em uma Unidade de Conservação, os campos de altitude vêm sofrendo diversas intervenções humanas principalmente com queimadas e desmatamento (AXIMOFF, RIBEIRO, 2012). Associadas às essas intervenções, (i) a intensificação da ocorrência das queimadas previstas pelas mudanças climáticas (IPCC, 2014), (ii) a alta flamabilidade da vegetação (AXIMOFF et al., 2016; ASSIS, MATTOS, 2016), e (iii) o comportamento sensível ou tolerante (na temperatura moderada) das sementes ao choque térmico encontrado para a maioria das espécies neste estudo, mostram o risco de um declínio das espécies nesse ecossistema.

Dessa forma, para mitigar o impacto da perda de diversidade das plantas nos campos de altitude, devido às ameaças antrópicas e naturais, é vital desenvolver estratégias de conservação *in situ* e *ex situ*. Os resultados do presente estudo indicam o alto potencial de conservação *ex situ* em bancos de sementes. De acordo com Cochrane e colaboradores (2007) e Merritt e Dixon (2011), os bancos de sementes representam uma estratégia *ex situ* mais econômica para a conservação das plantas, desempenhando um papel fundamental na preservação das espécies, para futura reintrodução e na restauração desse ameaçado ecossistema.

CONCLUSÕES FINAIS

Diante do exposto o presente estudo tem como conclusões finais:

- A maioria das sementes apresentaram altas viabilidade e germinabilidade, e com algum tipo de dormência das sementes;
- As altas temperaturas provocadas pelo choque térmico afetaram a germinação da maioria das espécies, que apresentaram comportamento sensível ou tolerante na temperatura moderada;
- O aumento do estresse hídrico e da temperatura afetaram negativamente a viabilidade e germinação das espécies;
- As sementes apresentaram alto potencial de conservação *ex situ* em bancos de sementes sob condição seca e fria a -20°C;
- As mudanças climáticas previstas representam um alto risco ao recrutamento via sementes das espécies dos campos de altitude.

PERSPECTIVAS

- Análisar a superação de dormência das sementes;
- Análisar dos demais produtos relacionados ao fogo na germinação das espécies;
- Análisar qualitativa e quantitativa, e dos possíveis efeitos das mudanças climáticas no banco de sementes do solo;
- Incluir outras características funcionais das sementes para mostrar a variação nas taxas de envelhecimento

REFERÊNCIAS

- ABELI, T.; DALRYMPLE, S.; GODEFROID, S. et al. Ex situ collections and their potential for the restoration of extinct plants. *Conservation Biology*, v. 34, p. 303-313. 2020.
- ABREU, E. M. P.; GARCIA, Q. S. Efeito da luz e da temperatura na germinação de sementes de espécies de *Xyris* L. (Xyridaceae) ocorrentes na Serra do Cipó, MG, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, p. 149-154. 2005.
- ADLER, P. B.; HILLE, R. I. S.; LAMBERS, J. The influence of climate and species composition on the population dynamics of ten prairie forbs. *Ecology*, v. 89, p. 3049–3060. 2008.
- AGEVAP. *Relatório técnico da bacia do rio Paraíba do Sul: subsídios às ações de melhoria da gestão*. Resende, RJ: 2011. Disponível em: <http://www.agevap.org.br/downloads/Relatorio%20Geral%20versao%20para%20site%2029dez11.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2016.
- AINSLEY, P. J.; JONES, M. K. Overcoming physiological seed dormancy in semi-arid *Prostanthera* (Labiaceae). *Journal of the Adelaide Botanic Gardens*, v. 24, p. 1-5. 2010.
- AKAIKE, H. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle, In: PETROV, B. N.; SAKI, F. (Eds.). *2nd International Symposium on Information Theory* Akademiai Kiado, Budapest: 1973. p. 267-281.
- ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K.; CHENCHOUNI, H. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, v. 259, p. 660– 684. 2010.
- ALVES, R. J. V.; CARDIN, L.; KROPF, M. S. Angiosperm disjunction “campos rupestres – restingas”: a re-evaluation. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, p. 675-685. 2007.
- ALVES, R. G. *Análise do padrão de distribuição da flora vascular dos campos de altitude do Maciço do Itatiaia – RJ/MG*. 2013. 157 f. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, 2013.
- ALVARADO, V.; BRADFORD, K. J. Hydrothermal time analysis of seed dormancy in true (botanical) potato seeds. *Seed Science Research*, v.15, p.77–88. 2005.
- ANDRADE, B.; KOCH, C.; BOLDRINI, I. et al. Grassland degradation and restoration: A conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. *Natureza e Conservação*, v. 13, p. 95-104. 2015.
- ARCOVERDE, S. N. S.; MARTINS, E. A. S.; MELO, R. M. et al. Germinação e crescimento de plântulas de niger sob diferentes disponibilidades hídricas do substrato e regimes de luz. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 25, p. 344-353. 2017.

- ASSIS, M. V.; MATTOS, E. A. Vulnerabilidade da vegetação de campos de altitude às mudanças climáticas. *Oecologia Australis*, v. 20, p. 162-174. 2016
- ASHWORTH, L.; CAMINA, J. L.; GUILERMO, F. Dormición física en *Lepechinia floribunda* (Lamiaceae): Un arbusto nativo de interés medicinal. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, v. 12. 2017.
- AULD, T. D. Population dynamics of the shrub *Acacia suaveolens* (Sm.) Willd.: fire and the transition to seedlings. *Australian Journal of Ecology*, v. 11, p. 373–385. 1986.
- AULD, T. D.; O'CONNELL, M. A. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Australian Journal of Ecology*, v. 16, p. 53 –70. 1991.
- _____; OOI, M. K. J. Heat increases germination of water-permeable seeds of obligate-seeding *Darwinia* species (Myrtaceae). *Plant Ecology*, v. 200, p. 117-127. 2009.
- AXIMOFF, I. O que perdemos com a passagem do fogo pelos campos de altitude do estado do Rio de Janeiro? *Biodiversidade Brasileira*, v. 2, p. 180-200, 2011.
- _____; RODRIGUES, R. C. Histórico dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal*, v. 21, p. 83-92. 2011.
- _____; RIBEIRO, K. T. *Guia de Plantas: Planalto do Itatiaia*. 1º ed. Rio de Janeiro, 2012.
- _____; NUNES-FREITAS, A. F.; BRAGA J. M. A. Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque nacional do Itatiaia, Sudeste do Brasil. *Oecologia Australis*, v. 20, p. 200-218. 2016.
- BALLESTEROS, D.; PENCE, V. C. Survival and death of seeds during liquid nitrogen storage: A case study on seeds with short lifespans. *CryoLetters*, v. 38, p. 278–289. 2017.
- BAETEN, L.; DE FRENNE, P.; VERHEYEN, K.. et al. Forest herbs in the face of global change: a single-species-multiple-threats approach for *Anemone nemorosa*. *Plant Ecology and Evolution*, v. 143, p. 19–30. 2010.
- BARBETA, A.; OGAYA, R.; PEÑUELAS, J. Dampening effects of long-term experimental drought on growth and mortality rates of a Holm oak forest. *Global Change Biology*, v.19, p. 3133–3144. 2013.
- BARROS, M. J. F.; SILVA-ARIAS, G. A.; FREGONEZI, J. N. et al. Environmental drivers of diversity in Subtropical Highland Grasslands. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 17, p. 360-368. 2015.
- BARTHOLOMEUS, R. P.; WITTE, J. P. M.; VAN BODEGOM, P. M. et al. Climate change threatens endangered plant species by stronger and interacting water-related stresses. *Journal of Geophysical Research*, v. 116. 2011.
- BASKIN, J. M., BASKIN, C. C. Role of temperature in regulating timing of germination in soil seed reserves of *Thlaspi arvense* L. *Weed Research*, v. 29, p. 317-326. 1989.

_____; _____; LI, X. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology*, v. 15, p. 139–152. 2000.

_____; _____. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, v. 14, p. 1-16. 2004a.

_____; _____. Classification, biogeography, and phylogenetic relationship of seed dormancy, In: Smith, R. D.; Dickie, J. B., Linington, S.H. et al. (Eds.). *Seed Conservation: Turning Science Into Practice*. Kew Publishing, London: 2004b. p. 517–544.

_____; _____; DIXON, K. W. Physical dormancy in the endemic Australian genus *Stylobasium*, a first report for the family Surianaceae (Fabales). *Seed Science Research*, v. 16, p. 229–232. 2006.

BASKIN, C. C.; THOMPSON, K.; BASKIN, J. M. Mistakes in germination ecology and how to avoid them. *Seed Science Research*, v. 16, p. 165–168. 2006b.

_____; BASKIN, J. M. A revision of Martin's seed classification system, with particular reference to his dwarf-seed type. *Seed Science Research*, v. 17, p. 11–20. 2007.

_____; _____. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. 2^oed. Academic Press, San Diego, 2014.

_____; _____. Breaking Seed Dormancy during Dry Storage: A Useful Tool or Major Problem for Successful Restoration via Direct Seeding? *Plants*, v. 9, p. 636. 2020.

BATES, D.; MARTIN, M.; BEN, B. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using Lme4. *ArXiv*, p. 1–51. 2014.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and are history in the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais (Parana), Brazil. *Review Palaeobotany and Palynology*, v. 97, p. 109-121. 1997.

_____; DUPONT, L.; SAFFORD, H. D. et al. Late-glacial and Holocene vegetation and climate dynamics in the Serra da Bocaina, southeastern Brazil. *Quaternary International*, v. 131, p. 22-31. 2007.

_____.; SAFFORD, H. D. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Global Change Biology*, v. 16, p. 1661-1671. 2010.

BE´LLARD, C.; LECLERC, C.; LEROY, B. et al. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, p. 1376–1386. 2014.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B. et al. Soils associated to rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, p. 569–577. 2007.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. From *Avicennia* to *Zizania*: seed recalcitrance in perspective. *Annals of Botany*, v. 101, p. 213–228. 2008.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. *Seeds: physiology of development and germination*. 2° ed. Plenum Press, New York, 1994.

_____. Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell*, v. 9, p. 1055-1066. 1997.

_____; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M. et al. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3° ed. Springer, New York, 2013.

BICALHO, E. M.; SOARES DA MOTA, L. A., GARCIA, Q. S. Temperature and light requirements for germination of species of Velloziaceae from different Brazilian rocky outcrops. *Acta Botanica Brasilica*, v. 32, p. 240–246. 2018.

BITTENCOURT, H. V. H.; BONOME, L. T. S.; TREZZI, M. M. et al. Seed germination ecology of *Eragrostis plana*, an invasive weed on South American pasture lands. *South African Journal of Botany*, v. 109, p. 246-252. 2017.

BLOMSTEDT, C. K.; GRIFFITHS, C. A.; GAFF, D. et al. Plant Desiccation Tolerance and its Regulation in the Foliage of Resurrection “Flowering-Plant” Species. *Agronomy*, v. 8, p. 146. 2018.

BOND, W. J.; MIDGLEY, J. J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 16, p. 45-51. 2001.

_____. What limits trees in C4 grasslands and savannas? *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 39, p. 641–59. 2008.

_____; KEELEY, J. E. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 20, p. 387–394. 2005.

BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P. et al. Fire in the Earth System. *Science*, v. 324, p. 481–484. 2009.

BRADE, A. C. A flora do Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, v. 5, p. 7-85. 1956.

BRADFORD, K. J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, J. (eds.). *Seed development and germination*, New York: 1995.

BRADFORD, K. J.; NONOGAKI, H. *Seed development, dormancy and germination*. Blackwell Publishing, Oxford: 2007.

BRADSTOCK, R. A.; GILL, A. M.; HASTINGS, S. M., et al. Survival of serotinous seedbanks during bushfires: comparative studies of *Hakea* species from southeastern Australia. *Australian Journal of Ecology*, v. 19, p. 276-282. 1994.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção*. 2008.

BROADHURST, L. M.; JONES, T. A.; SMITH, F. S. et al. Maximizing Seed Resources for Restoration in an Uncertain Future, *BioScience*, v. 66, p. 73–79. 2016.

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

BU, H. Y.; DU, G. Z.; CHEN, X. L. et al. Community-wide germination strategies in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet plateau: phylogenetic and life-history correlates. *Plant Ecology*, v. 195, p. 87–98. 2008.

BUISSON, E.; LE STRADIC, S.; SILVEIRA, F. A. O. et al. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. *Biological Review*, v. 94, p. 590-609. 2019.

CAIN, S. A. Life forms and phytoclimate. *Botanical Review*, v. 16, p. 1-32. 1950.

CALLAWAY, R. M. Positive interactions among plants. *Botanical Review*, v. 61, p. 306-349. 1995.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. FUNEP, Jaboticabal: 2000.

CASTRO, R. D.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (orgs.). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed, Porto Alegre: 2004. p. 149-162.

CERABOLINI, B.; ANDREIS, R. D.; CERIANI, R. M.; et al. Seed germination and conservation of endangered species from the Italian Alps: *Physoplexis comosa* and *Primula glaucescens*. *Biological Conservation*, v. 117, p. 351–356. 2004.

CHAMBERS, J. C. Seed viability of alpine species: variability within and among years. *Journal of Range Management*, v. 42, p. 304-308. 1989.

CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V. et al. NbClust: An R package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of Statistical Software*, v. 6, p. 1–36. 2015.

CHAVERRI-POLINI, A. Mountains, biodiversity and conservation. *Unasylla*, v. 195, p. 22-33. 1998.

CHEIB, A. L.; GARCIA, Q.S. Longevity and germination ecology of seeds of endemic Cactaceae species from high-altitude sites in southeastern Brazil. *Seed Science Research*, v. 22, p. 45–53. 2012.

CHEN, I. C.; HILL, J. K.; OHLEMÜLLER, R. et al. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, v. 333, p. 1024-1026. 2011.

COCHRANE, M. A.; SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: Effects on forest Structure, biomass, and species composition. *Biotropica*, v. 31, p. 2–16. 1999.

_____. Synergistic interactions between habitat fragmentation and fire in evergreen tropical forests. *Conservation Biology*, v. 15, p. 1515–1521. 2001.

_____; CRAWFORD, A. D.; MONKS, L. T. The significance of ex situ seed conservation to reintroduction of threatened plants. *Australian Journal of Botany*, v. 55, p. 356–361. 2007.

_____. Can sensitivity to temperature during germination help predict global warming vulnerability? *Seed Science Research*, v. 26, p. 14–29. 2016.

_____. Modelling seed germination response to temperature in Eucalyptus L'Her. (Myrtaceae) species in the context of global warming. *Seed Science Research*, v. 27, p. 99–109. 2017.

COLWELL, R. K.; BREHM, G.; CARDELÚS, C. L. et al. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science*, v. 322, p. 258–61. 2008.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. *Global Strategy for Plant Conservation: 2011–2020*. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, UK: 2012.

COPELAND, L. O.; McDONALD, M. B. *Principles of seed science and technology*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts: 2001.

CORLETT, R. T.; PRIMACK, R. B. *Tropical rain forests: an ecological and biogeographical comparison*. Hoboken, NJ: 2011.

COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. In: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. (eds.). *Ecology of Tropical Savannas*, Springer-Verlag, Berlin: 1982. p. 273–291.

CRAWFORD, A. D.; STEADMAN, K. J.; PLUMMER, J. A. et al. Analysis of seed-bank data confirms suitability of international seed-storage standards for the Australian flora. *Australian Journal of Botany*, v. 55, p. 18–29. 2007.

DAIBES, L. F.; ZUPO, T.; SILVEIRA, F. A. O. et al. A field perspective on effects of fire and temperature fluctuation on Cerrado legume seeds. *Seed Science Research*, v. 27, p. 74–83. 2017.

DALGLEISH, H. J.; KOONS, D. N.; ADLER, P. B. Can lifehistory traits predict the response of forb populations to changes in climate variability. *Journal Ecology*, v. 98, p. 209–217. 2010.

DAYAMBA, S. D.; TIGABU, M.; SAWADOGO, L. et al. Seed germination of herbaceous and woody species of the Sudanian savanna-woodland in response to heat shock and smoke. *Forest Ecology and Management*, v. 256, p. 462–70. 2008.

_____; SAWADOGO, L.; TIGABU, M. et al. Effects of aqueous smoke solutions and heat on seed germination of herbaceous species of the Sudanian savanna-woodland in Burkina Faso. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 205, p. 319–25. 2010.

DAYRELL, R. L. C.; GONÇALVES-ALVIM, S. J.; NEGREIROS, D. et al. Environmental control on seed dormancy and germination of *Mimosa calodendron* (Fabaceae): implications for ecological restoration of a highly threatened environment. *Brazilian Journal of Botany*, v. 38, p. 395-399. 2015.

_____; GARCIA, Q. S.; NEGREIROS, D. et al. Phylogeny strongly drives seed dormancy and quality in a climatically buffered hotspot for plant endemism. *Annals of Botany*, v. 119, p. 267-277. 2017.

DAWS, M. I.; GARWOOD, N. C.; PRITCHARD, H. W. Traits of recalcitrant seeds in semideciduous tropical forest in Panamá: some ecological implications. *Functional Ecology*, v. 19, p. 874-885. 2005.

_____; _____. Prediction of desiccation sensitivity in seeds of woody species: a probabilistic model based on two seed traits and 104 species. *Annals of Botany*, v. 97, p. 667–674. 2006.

_____; CRABTREE, L. M., DALLING, J. W. et al. Germination responses to water potential in neotropical pioneers suggest larger seeded species take more risks. *Annals of Botany*, v. 102, p. 945-951. 2008.

DE VITIS, M.; ABBANDONATO, H.; DIXON, K. et al. The European Native Seed Industry: Characterization and Perspectives in Grassland Restoration. *Sustainability*, v. 9, p. 1682. 2017.

DICKIE, J. B.; PRITCHARD, H. W. Systematic and evolutionary aspects of desiccation tolerance in seeds. In: BLACK, M.; PRITCHARD, H.W. (eds.). *Desiccation and Survival in Plants Drying Without Dying*. CAB International, Wallingford: 2002. p. 239–259.

DONOHUE, K. Niche construction through germination cueing: life history responses to timing of germination in *Arabidopsis thaliana*. *Evolution*, v. 59, p. 771–785. 2005.

DONOHUE, K.; RUBIO DE CASAS, R.; BURGHARDT, L. et al. Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 41, p. 293–319, 2010.

DUCAN, C.; SCHULTZ, N. L.; GOOD, M. K. et al. The risk-takers and –avoiders: germination sensitivity to water stress in an arid zone with unpredictable rainfall. *AoB Plants*, v. 11, p. 1-12. 2019.

DULLINGER, S.; HÜLBER, K. Experimental evaluation of seed limitation in alpine snowbed plants. *PLoS One*, v.6. 2011.

_____; GATTRINGER, A.; THUILLER, W. et al. Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first-century climate change. *Nature Climate Change*, v. 2, p. 619-622. 2012.

- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, v. 53, p. 11–15. 2015.
- ELZENGA, J. T.; BEKKER, R. M.; PRITCHARD, H. W. Maximising the use of native seeds in restoration projects. *Plant Biology*, v. 21, p. 377-379, 2019.
- ENGELBRECHT, B. M. J.; DALLING, J. W.; PEARSON, T. R. H. et al. Short dry spells in the wet season increase mortality of tropical pioneer seedlings. *Oecologia*, v. 148, p. 258-269. 2006.
- ENGLER, R.; RANDIN, C. F.; THUILLER, W. 21st Century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, v. 17, p. 2330–2341. 2011.
- ESCUADERO, A.; NÚÑEZ, Y.; PÉREZ-GARCÍA, F. Is fire a selective force of seed size in pine species? *Acta Oecologica*, v. 21, p. 245–256. 2000.
- ESPERÓN-RODRIGUEZ, M.; BARRADAS, V. L. Ecophysiological vulnerability to climate change: water stress responses in four tree species from the central mountain region of Veracruz, Mexico. *Regional Environmental Change*, v. 15. 2014.
- EVANS, C.; ETHERINGTON, J. R. The effect of soil water potential on seed germination of some British plants. *New Phytologist*, v. 115, p. 539–548. 1990.
- EVANS, M. E. K.; DENNEHY, J. J. Germ banking: bet-hedging and variable release from egg and seed dormancy. *The Quarterly Review of Biology*, v. 80, p. 431–451. 2005.
- FACELLI, J. M.; CHESSON, P. L.; BARNES, N. Differences in seed biology of annual plants in arid lands: a key ingredient of the storage effect. *Ecology*, v. 86, p. 2998–3006. 2005.
- FAO. *Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture*. 2014
Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf> > Acesso em: 10 Nov. 2019.
- FAY, P. A.; SCHULTZ, M. J. Germination, survival, and growth of grass and forb seedlings: effects of soil moisture variability. *Acta Oecologica*, v. 35, p. 679–684. 2009.
- FENNER, M. The effects of the parent environment on seed germinability. *Seed Science Research*, v. 1, p. 75–84. 1991.
- _____; THOMPSON, K. *The ecology of seeds*. Cambridge University Press, New York: 2005.
- FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: 2004.
- FICHINO, B.; FIDELIS, A.; SCHMIDT, I. et al. Efeitos de altas temperaturas na germinação de sementes de capim-dourado (*Syngonanthus nitens* (Bong) Ruhland, Eriocaulaceae): implicações para o manejo. *Acta Botanica Brasilica*, v. 26, p. 508-511. 2012.

- _____; PIVELLO, V. R.; FIDELIS, A. Does fire trigger seed germination in the Neotropical Savannas? Experimental tests with six Cerrado species. *Biotropica*, v. 48, p. 181-187. 2016.
- FIDELIS, A.; DELGADO-CARTAY, M. D.; BLANCO, C. C. et al. Fire intensity and severity in Brazilian Campos grasslands. *Interciencia*, v. 35, p. 739-745. 2010.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, v. 171, p. 501–523. 2006.
- FLANNIGAN, M. D.; AMIRO, B. D.; LOGAN, K. A. et al. Forest fires and climate change in the 21st Century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 11, p. 847–859. 2005.
- FLORA DO BRASIL 2020. *FLORA DO BRASIL 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 10 Fev. 2018.
- FORBIS, T. A.; FLOYD, S. K.; QUEIROZ, A. D. The evolution of embryo size in Angiosperms and other seed plants: implications for the evolution of seed dormancy. *Evolution*, v. 56, p. 2112-2125. 2002.
- FURTADO, L. M. V.; MAGRO, T. C.; FREIXÊDAS-VIEIRA, V. M. et al. *Plano de Uso Público – Parque Nacional do Itatiaia*. Brasília: 2001.
- GARWOOD, N. C. Seed-germination in a seasonal tropical forest in Panama—a community study. *Ecological Monographs*, v. 53, p. 159–181. 1983.
- GASHAW, M.; MICHELSEN, A. Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia. *Plant Ecology*, v. 159, p. 83–93. 2002.
- GHEBREHIWOT, H. M.; KULKARNI, M. G.; KIRKMAN, K. P. J. et al. Smoke and heat: influence on seedling emergence from the germinable soil seed bank of mesic grassland in South Africa. *Plant Growth Regulation*, v. 66, p. 119–127. 2012.
- GILLET, F.; MAUCHAMP, L.; BADOT, P. M. et al. Recent changes in mountain grasslands: a vegetation resampling study. *Ecology and Evolution*, v. 6, p. 2333-2345. 2016.
- GIMÉNEZ-BENAVIDES, L.; ESCUDERO, A.; PÉREZ-GARCIA, F. Seed germination of high mountain Mediterranean species, altitudinal, interpopulation and interannual variability. *Ecological Research*, v. 20, p. 433-444. 2005.
- GLOBAL ISSUES. *Climate Change and Global Warming Introduction*. Disponível em: <<http://www.globalissues.org/article/233/climate-change-and-globalwarming-Introduction>> Acesso em: 3 mai. 2015.
- GODEFROID, S.; VYVER, A. V.; LEBRUN, J. et al. Germination capacity and seed storage behaviour of threatened metallophytes from the Katanga copper belt (D.R. Congo): implications for ex situ conservation. *Plant Ecology and Evolution*, v. 146, p. 183-192. 2013.
- GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; BUCCI, S. J. et al. Water economy of Neotropical savanna trees: six paradigms revisited. *Tree Physiology*, v. 28, p. 395–404. 2008.

GONZALEZ-BENITO, M. E.; PÉREZ-GARCÍA, F.; TEJEDA, G. et al. Effect of the gaseous environment and water content on seed viability of four Brassicaceae species after 36 years storage. *Seed Science and Technology*, v. 39, p. 443-451. 2011.

GORAI, M.; TLIG, T.; NEFFATI, M. Influence of water stress on seed germination characteristics in invasive *Diplotaxis harra* (Forssk.) Boiss (Brassicaceae) in arid zone of Tunisia. *Journal of Phytology*, v. 1, p. 249-254. 2009.

GOSLING, P. G. Viability testing. In: SMITH, R. D.; DICKIE, J. B. et al. (eds.). *Seed conservation turning science into practice*. Kew Royal Botanic Gardens: 2003. p.44–481.

GRALEWICZ, N. J.; NELSON, T. A.; WULDER, M. A. Factors influencing national scale wildfire susceptibility in Canada. *Forest Ecology and Management*, v. 265, p. 20-29. 2012.

HAMILTON, M. B. *Ex situ* conservation of wild plant species: Time to reassess the genetic assumptions and implications of seed banks. *Conservation Biology*, v. 1, p. 39–49. 1994.

HAMILTON, K. I. M.; OFFORD, C. A.; CUNEO, P. et al. A comparative study of seed morphology in relation to desiccation tolerance and other physiological responses in 71 Eastern Australian rainforest species. *Plant Species Biology*, v. 28, p. 51-62. 2013.

HANLEY, M. E.; FENNER, M.; NE'EMAN, G. Effect of pre-germination heat-shock on seedling growth of firefollowing Fabaceae from four Mediterranean-climate regions. *Acta Oecologica*, v. 22, p. 315–320. 2001.

_____; UNNA, J. E.; DARVILL, B. Seed size and germination response: a relationship for fire-following plant species exposed to thermal shock. *Oecologia*, v. 134, p. 18–22. 2003.

HAY, F. R.; PROBERT, R. J. Advances in seed conservation of wild plant species: a review of recent research. *Conservation Physiology*, v. 1, p. 11. 2013.

_____; SMITH, R. D. Seed maturity: when to collect seeds from wild plants. In: SMITH, R. D.; DICKIE, J. B. et al. (eds.). *Seed Conservation – Turning Science into Practice*. Royal Botanic Gardens Kew: 2003.

_____; WHITEHOUSE, K. J. Rethinking the approach to viability monitoring in seed genebanks. *Conservation Physiology*, v. 5. 2017.

HEDHLY, A.; HORMAZA, J. I.; HERRERO, M. Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Science*, v. 14, p. 30–36. 2009.

HERMANT, M.; PRINZING, A.; VERNON, P. et al. Endemic species have highly integrated phenotypes, environmental distributions and phenotype environment relationships. *Journal of Biogeography*, v. 40, p. 1583-1594. 2013.

HERRANZ, J. M.; FERRANDIS, P.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J. Influence of heat on seed germination of seven Mediterranean Leguminosae species. *Plant Ecology*, v. 136, p. 95-103. 1998.

HILHORST, H. W. M. Standardizing Seed Dormancy Research. In: KERMODE, A. R. (ed.). *Seed dormancy: methods and protocols*, Springer: 2011.

HOEGH-GULDBERG, O. et al. Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al (eds.). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, In press, 2018.

HONG, T. D.; ELLIS, R. H. *A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour*. International Plant Genetic Resources Institute, Italy: 1996.

HOYLE, G. L.; STEADMAN, K. J.; GOOD, R. B. et al. Seed germination strategies: an evolutionary trajectory independent of vegetative functional traits. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 731. 2015.

HU, X. W.; FAN, Y.; BASKIN, C. C. et al. Comparison of the effects of temperature and water potential on seed germination of Fabaceae species from desert and subalpine grasslands. *American Journal of Botany*, v. 102, p. 1-12. 2015.

HUANG, C. Y.; ANDEREGG, W. R. L. Large drought-induced aboveground live biomass losses in southern Rocky Mountain aspen forests. *Global Change Biology*, v. 18, p. 1016–1027. 2012.

HUANG, Z.; FOOTITT, S.; FINCH-SAVAGE, W. E. The effect of temperature on reproduction in the summer and winter annual *Arabidopsis thaliana* ecotypes Bur and Cvi. *Annals Botany*, v. 113, p. 921-929. 2014.

_____; LIU, S.; BRADFORD, K. J. et al. The contribution of germination functional traits to population dynamics of a desert plant community. *Ecology*, v. 97, p. 250–261. 2016.

IBAMA. *Plano de Ação Emergencial para o Parque Nacional de Itatiaia*, Brasília: 1994.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Primeira Monitoria e Avaliação Assistida dos Instrumentos de Planejamento da Parte Baixa do Parque Nacional do Itatiaia*. Brasília: 2009.

IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, FIELD, C.B., BARROS, V.R., DOKKEN, J. et al. (orgs.). Cambridge University Press, United Kingdom and New York: 2014.

JANTZ, S. M.; BARKER, B.; BROOKS, T. M. et al. Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate change mitigation. *Conservation Biology*, v. 29, p. 1122-1131. 2015.

JAUREGUIBERRY, P.; DÍAZ, S. Post-burning regeneration of the Chaco seasonally dry forest: germination response of dominant species to experimental heat shock. *Oecologia*, v. 177, p. 689–699. 2015.

JIMÉNEZ-ALFARO, B.; GAVILÁN, R.; ESCUDERO, A. et al. Decline of dry grassland specialists in Mediterranean high-mountain communities influenced by recent climate warming. *Journal of Vegetation Science*, v. 25, p. 1395-1404. 2014.

_____; SILVEIRA, F. A. O.; FIDELIS, A. et al. Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 27, p. 637–645. 2016.

JOGAIAH, S.; GOVIND, S. R.; TRAN, L. S. P. Systems biology-based approaches toward understanding drought tolerance in food crops. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 33, p. 23–39. 2013.

JORDAN, C. L.; HAFERKAMP, M. R. Temperature responses and calculated heat units for germination of several range grasses and shrubs. *Journal of Range Management*, v. 41, p. 42-45. 1989.

KASSAMBARA, A. Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. *R Package version 1.0.5*. p. 1–76. 2017.

KAZANCI, D. D.; TAVŞANOĞLU, C. Heat shock-stimulated germination in Mediterranean Basin plants in relation to growth form, dormancy type, and distributional range. *Folia Geobotanica*, v. 54, p. 85-98. 2019.

KEELEY, J. E. Role of fire in seed germination of woody taxa in Californian chaparral. *Ecology*, v. 68, p. 434–443. 1987.

_____. Seed germination and life history syndromes in the California Chaparral. *The Botanical Review*, v. 57, p. 81–116. 1991.

_____. Seed germination patterns in fire-prone Mediterranean-climate regions. In: ARROYO, M. T. K.; ZEDLER, P. H.; FOX, M. D. (eds.). *Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California and Australia*. Academic Press, San Diego: 1995. p. 239–273.

_____; BOND, W. J. Convergent seed germination in South African fynbos and Californian chaparral. *Plant Ecology*, v. 133, p. 153–167. 1997.

_____; FOTHERINGHAM, C. J. Smoke-induced seed germination in California Chaparral. *Ecology*, v. 79, p. 2320–2336. 1998.

_____; _____. Role of fire in regeneration from seed. In: FENNER, M. (ed.). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. CAB International, London: 2000.

_____; PAUSAS, J. G.; RUNDEL, P. W. et al. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, v. 16, p. 406-411. 2011.

KILDISHEVA, O. A.; DIXON, K. W.; SILVEIRA, F. A. O. et al. *Dormancy and germination: making every seed count in restoration*. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/rec.13140> >. Acesso em: 10 mar. 2020.

- KITAJIMA, K.; FENNER, M. Seedling regeneration ecology. In: FENNER, M. (ed.). *Seeds: Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, London: 2000. p. 331–360.
- KOLB, R. M.; PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Factors influencing seed germination in Cerrado grasses. *Acta Botanica Brasilica*, v. 1, p. 87-92. 2016.
- KOHLER, T.; WEHRLI, A.; JUREK, M. *Mountains and climate change: A global concern. Sustainable Mountain Development Series*. Switzerland, Centre for Development and Environment (CDE), Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia: 2014.
- KÖRNER, C.; SPEHN, E. *Mountain biodiversity: a global assessment*. Parthenon Publication Group, Boca Raton, Florida: 2002.
- _____. *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer, Berlin: 2013.
- KOS, M.; POSCHLOD, P. Correlates of inter-specific variation in germination response to water stress in a semi-arid savannah. *Basic and Applied Ecology*, v. 9, p. 645-652. 2008.
- KREYLING, J.; WANA, D.; EIERKUHNLEIN, C. Potential Consequences of Climate Warming for Tropical Plant Species in High Mountains of Southern Ethiopia. *Diversity and Distributions*, v. 16, p. 59-605. 2010.
- LABOURIAU, L. G. *A germinação das sementes*. Washington, OEA: 1983.
- LAMONT, B. B.; HE, T., Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire adapted traits. *Trends Plant Science*, v. 22, p. 278–288. 2017.
- LAN, Q.; YIN, S.; HE, H. et al. Seed dormancy-life form profile for 358 species from the Xishuangbanna seasonal tropical rainforest, Yunnan Province, China, compared to world database. *Scientific Reposts*, v. 8. 2018.
- LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, v. 25, p. 1–18. 2008.
- LE STRADIC, S.; SILVEIRA, F. A. O.; BUISSON, E. et al. Diversity of germination strategies and seed dormancy in herbaceous species of campo rupestre grasslands. *Austral Ecology*, v. 40, p. 537–546. 2015.
- LEÃO, T. C. C.; FONSECA, C. R.; PERES, C. A. et al. Predicting Extinction Risk of Brazilian Atlantic Forest Angiosperms: Neotropical Plant Extinction Risk. *Conservation Biology*, v. 28, p 1349–1359. 2014.
- LEHMANN, C. E.; ANDERSON, T. M.; SANKARAN, M. et al. Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. *Science*, v. 343, p. 548–52. 2014.

LEISHMAN, M. R.; WESTOBY, M. Classifying plants into groups on the basis of associations of individual traits--evidence from Australian semi-arid woodlands. *Journal of Ecology*, v. 80, p. 417-424. 1992.

_____; WRIGHT, I. J.; MOLES, A. T., WESTOBY, M., FENNER, M. The evolutionary ecology of seed size. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 7, p. 368-372. 2000.

LEMES, E. Q.; LOPES, J. C. Temperaturas cardinais para germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de Paineira. *Scientia Forestalis*, v. 40, p. 179-186. 2012.

LEWANDROWSKI, W.; ERICKSON, T. E.; DIXON, K. W. et al. Increasing the germination envelope under water stress improves seedling emergence in two dominant grass species across different pulse rainfall events. *Journal of Applied Ecology*, v. 54, p. 997-1007. 2017.

LEWIS S. L.; EDWARDS D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. *Science*, v. 349, p. 827-832. 2015.

LI, D. Z.; PRITCHARD, H. W. The science and economics of ex situ plant conservation. *Trends in Plant Science*, v. 14, p. 614-621. 2009.

LI, X. H.; LI, X. L.; JIANG, D. M. et al. Germination strategy and ecological adaptability of *Eragrostis pilosa*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, v. 17, p. 607-610. 2006.

LIBANO, A. M.; FELFILI, J. M. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado *sensu stricto* do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, p. 927-936. 2006.

LIU, K., BASKIN, J. M., BASKIN, C. C. et al. Effect of storage conditions on germination of seeds of 489 species from high elevation grasslands of the eastern Tibet Plateau and some implications for climate change. *American Journal of Botany*, v. 98, p. 12-19. 2011.

LLROTE, F.; PEÑUELAS, J.; PRIETO, P. et al. Plant community changes induced by experimental climate change: Seedling and adult species composition. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 11, p. 53-63. 2009.

LOPES, J. C.; SOARES, A. Germinação de sementes de *Miconia cinnamomifolia* (Dc.) Naud. *Brasil Florestal*, v. 21, p. 31-38. 2003.

LUDEWIG, K.; ZELLE, B.; ECKSTEIN, L. et al. Differential effects of reduced water potential on the germination of floodplain grassland species indicative of wet and dry habitats. *Seed Science Research*, v. 24, p. 49-61. 2014.

LUNA, B., MORENO, J. M., CRUZ, A. et al. Heat-shock and seed germination of a group of Mediterranean plant species growing in a burned area: an approach based on plant functional type. *Environmental and Experimental Botany*, v. 60, p. 324-333. 2007.

MACKENZIE, B. D. E.; AULD, T. D.; KEITH, D. F. et al. The effect of seasonal ambient temperatures on fire-stimulated germination of species with physiological dormancy: a case study using *Boronia* (Rutaceae). *PLoS ONE*, v. 11. 2016.

MCLEAN, N.; LAWSON, C. R.; LEECH, D. I. et al. Predicting when climate-driven phenotypic change affects population dynamics. *Ecology Letters*, v. 19 p. 595-608. 2016.

MAGRIN, G. O. et al., Central and South America. In: BARROS, V. R. et al. (eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York: 2014. p. 1499-1566.

MARAGHNI, M.; GORAI, M.; NEFFATI, M. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. *South African Journal of Botany*, v. 76, p. 453-459. 2010.

MARCANTE, S.; SIERRA-ALMEIDA, A.; SPINDELBOCK, J. P. et al. Frost as a limiting factor for recruitment and establishment of early development stages in an alpine glacier foreland? *Journal of Vegetation Science*, v. 23, p. 858–868. 2012.

MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, São Paulo, 2005.

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: 2006.

_____. *Mudanças climáticas – Informações e reflexões para um jornalismo contextualizado. Consequências no Brasil. Um olhar sobre nossas cinco regiões*. Disponível em: <
<http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/147>> Acesso em: 5 set 2014.

MARQUES, A. R.; ATMAN, A. P. F.; SILVEIRA, F. A. O. et al. Are seed germination and ecological breadth associated? Testing the regeneration niche hypothesis with bromeliads in a heterogeneous neotropical montane vegetation. *Plant Ecology*, v. 215, p. 517–529. 2014.

MARTIN, A. C. The comparative internal morphology of seeds. *The American Midland Naturalist*, v. 36, p. 513–660. 1946.

MARTINELLI, G. *Campos de altitude*. 2ª Ed. Editora Index, Rio de Janeiro, 1996.

_____. Mountain biodiversity in Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, p. 587-597. 2007.

_____; MORAES, M. A. *Livro Vermelho da Flora do Brasil*. 1ºed. Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2013.

MATOS, I. S.; ELLER, C. B.; OLIVERAS, I. et al. Three eco-physiological strategies of response to drought maintain the form and function of a tropical montane grassland. *Journal of Ecology*, in press. 2020.

MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. *The germination of seeds*. Pergamon Press, New York: 1989.

McCORMACK, J. H. *Seed processing and storage: principles and practices of seed harvesting, processing, and storage. An organic seed production manual for seed growers in the Mid-Atlantic and Southern, US*: 2004.

McLAREN, K. P.; McDONALD, M. A. The effects of moisture and shade on seed germination and seedling survival in a tropical dry forest in Jamaica. *Forest Ecology Management*, v. 183, p. 61–75. 2003.

MEIADO, M. V.; MACHADO, M. C.; ZAPPI, D. C. et al. Ecological attributes, geographic distribution and endemism of cacti from the São Francisco Watershed. *Gaia Scientia*, v. 9, p. 40-53. 2015.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, D.; GORENSTEIN, M. R. Efeito do fogo sobre o banco de sementes em faixa de borda de Floresta Estacional Semidecidual, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, p. 927-934. 2007.

MERRITT, D. J.; DIXON, K. W. Restoration seed banks—A matter of scale. *Science*, v. 332, p. 424–425. 2011.

_____; MARTYN, A. J.; AINSLEY, P. et al. A continental-scale study of seed lifespan in experimental storage examining seed, plant, and environmental traits associated with longevity. *Biodiversity and Conservation*, v. 23, p. 1081-1104. 2014.

MEYER, S. E.; ALLEN, P. S.; BECKSTEAD, J. Seed germination regulation in *Bromus tectorum* L. (Poaceae) and its ecological significance. *Oikos*, v. 78, p. 475–485. 1997.

MILBERG, P.; ANDERSSON, L.; THOMPSON, K. Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. *Seed Science Research*, v. 10, p. 99-104. 2000.

MILLER-RUSHING, A. J.; PRIMACK, R. B. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord: a community perspective. *Ecology*, v. 89, p. 332–341. 2008.

MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; DIAS, I. F. O. et al. Soil and air temperatures during prescribed cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v. 9, p. 313–320. 1993.

MOLES, A. T.; WARTON, D. I.; WESTOBY, M. Do small-seeded species have higher survival through seed predation than large-seeded species? *Ecology*, v. 84, p. 3148–3161. 2003.

_____; WESTOBY, M. Seedling establishment after fire in Ku-ring-gai Chase National Park, Sydney, Australia. *Austral Ecology*, v. 29, p. 383-390. 2004.

_____; ACKERLY, D. D.; WEBB, C. O. et al. A brief history of seed size. *Science*, v. 307, p. 576–580. 2005.

MONDONI, A.; PROBERT, R. J.; ROSSI, G. et al. Seeds of alpine plants are short lived: implications for long-term conservation. *Annals of Botany*, v. 107, p. 171–179. 2011.

_____; ROSSI, G.; ORSENIGO, S. et al. Climate warming could shift the timing of seed germination in alpine plants. *Annals of Botany*, v. 110, p. 155–164. 2012.

MOREIRA, B.; TORMO, J.; ESTRELLES, E. et al. Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean basin flora. *Annals of Botany*, v. 105, p. 627–635. 2010.

MUCUNGUZI, P.; ORIEM-ORYGA, H. Effects of heat and fire on the germination of *Acacia sieberiana* DC and *Acacia gerrardii* Benth. in Uganda. *Journal of Tropical Ecology*, v. 12, p. 1–11. 1995.

MURPHY, B. P.; BOWMAN, D. M. What controls the distribution of tropical forest and savanna? *Ecology Letters*, v. 15, p. 748–758. 2012.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853–858. 2000.

NAGEL, M.; BORNER, A. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Seed Science Research*, v. 20, p. 1–12. 2010.

NASSIF, S. M. L.; PEREZ, S. C. J. G. A. Efeitos da temperatura na germinação de sementes de amendoim-do-campo (*Pterogyne nitens* Tull.). *Revista Brasileira de Sementes*, v. 22, p. 1–6, 2000.

NEVES, B. M. C.; MIRANDA, H. S. Temperatura do solo em um campo sujo de cerrado durante uma queimada prescrita. In: PEREIRA, R. C.; NASSER, L. C. B. (eds.). *Simpósio sobre o Cerrado: Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no cerrado*. Planaltina, Embrapa-CPAC: 1996. p. 396–399.

NOBRE, C. A.; SALAZAR, L. F.; OYAMA, M. et al. *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Ministério do Meio Ambiente. Relatório 6, Brasília: 2007.

NÚÑEZ, M. R.; CALVO, L. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*. *Forest Ecology and Management*, v. 131, p. 183–190. 2000.

NUNES, F. P.; DAYRELL, R. L. C.; SILVEIRA, F. A. O. et al. *Seed germination ecology in ruprestrian grasslands*. In: *Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil*. Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil and Biology Department, Stanford University, USA: 2016.

O'DONNELL, K.; SHARROCK, S. The Contribution of Botanic Gardens to Ex Situ Conservation through Seed Banking. *Plant Diversity*, v. 39, p. 373–378. 2017.

OFFORD, C. A.; MCKENSY, M. L.; CUNEO, P. V. Critical review of threatened species collections in the New South Wales Seedbank: implications for ex situ conservation of biodiversity. *Pac Conservation Biology*, v. 10, p. 221–236. 2004.

OOI, M. K. J.; AULD, T. D.; DENHAM, A. J. Climate change and bet-hedging: interactions between increased soil temperatures and seed bank persistence. *Global Change Biology*, v. 15, p. 2375–2386. 2009.

_____; _____. Projected soil temperature increase and seed dormancy response along an altitudinal gradient: implications for seed bank persistence under climate change. *Plant and Soil*, v. 353, p. 289–303. 2012.

_____; DENHAM, A. J.; SANTANA, V. M. et al. Temperature thresholds of physically dormant seeds and plant functional response to fire: variation among species and relative impact of climate change. *Ecology and Evolution*, v. 4, p. 656–671. 2014.

OLIVEIRA, P. G.; GARCIA, Q. S. Efeitos da luz e da temperatura na germinação de sementes de *Syngonanthus elegantulus* Ruhland, *S. elegans* (Bong.) Ruhland e *S. venustus* Silveira (Eriocaulaceae). *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, p. 639–645. 2005.

_____; _____. Germination characteristics of *Syngonanthus* seeds (Eriocaulaceae) in campos rupestres vegetation in south-eastern Brazil. *Seed Science Research*, v. 21, p. 39–45. 2011.

OLIVEIRA, P. C.; SILVA, F. H. B.; CUNHA, C. N. Effect of fire on the soil seed bank of Neotropical grasslands in the Pantanal wetland. *Oecologia Australis*, v. 23, p. 904–916. 2019.

ORIGIN. *Origin Pro 8*. OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA: 2018.

OVERBECK, G. E., MÜLLER, S. C.; PILLAR, V. D., et al. No heat-stimulated germination found in herbaceous species from burned subtropical grassland. *Plant Ecology*, v. 184, p. 237–243. 2006.

_____; _____. FIDELIS, A. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspectives in Plant Ecology, *Evolution and Systematics*, v. 9, p. 101–116. 2007.

_____; VELEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R. et al. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and Distributions*, v. 21, p. 1455–1460. 2015.

PAULA, S.; PAUSAS, J.G. Burning seeds: germinative response to heat treatments in relation to resprouting ability. *Journal of Ecology*, v. 96, p. 543–552. 2008.

PAUSAS, J. G.; BRADSTOCK, R. A.; KEITH, D. A. et al. Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems. *Ecology*, v. 85, p. 1085–1100. 2004.

_____; KEELEY, J.E. A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, v. 59, p. 593–601. 2009.

_____; VERDÚ, M. Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of the Mediterranean basin: a phylogenetic approach. *Oikos*, v. 109, p. 196–202. 2005.

PEARSON, T. R. H.; BURSLEM, D. F. R. P.; MULLINS, C. E. et al. Germination ecology of neotropical pioneers: interacting effects of environmental conditions and seed size. *Ecology*, v. 83, p. 2798–2807. 2002.

PENFIELD, S.; KING, J. Towards a systems biology approach to understanding seed dormancy and germination. *Proceedings of the Royal Society - Biological Sciences*, v. 276, p. 3561–3569. 2009.

PENMAN, T. D.; TOWERTON, A. L. Soil temperatures during autumn prescribed burning: implications for the germination of fire responsive species? *International journal of Wildland Fire*, v. 17, p. 572- 578. 2008.

PEÑUELAS, J.; PRIETO, P.; BEIER, C. et al. Response plant species richness and primary productivity in shrublands along a north-south gradient in Europe to seven years of experimental warming and drought: reductions in primary productivity in the heat and drought year of 2003. *Global Change Biology*, v. 13, p. 2563–2581. 2007.

PEREIRA, I. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; BOTELHO, S. A., et al. Composição florística do comportamento arbóreo de cinco remanescentes florestais do maciço do Itatiaia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. *Rodriguésia*, v. 57, p. 103-126. 2006.

PEREIRA, A. R.; ANDRADE, A. C. S.; PEREIRA, S. T. et al. Comportamento germinativo de bromélias epífitas e rupícolas. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 32, p. 827-838. 2009.

_____; _____; _____. et al. Morphological aspects of seed, germination and storage of *Pitcairnia albiflos* (Bromeliaceae). *Seed Science and Technology*, v. 38, p. 79-87. 2010.

PÉREZ-GARCÍA, F.; GÓMEZ-CAMPO, C.; ELLIS, R. H. Successful long-term ultra-dry storage of seed of 15 species of Brassicaceae in a genebank: variation in ability to germinate over 40 years and dormancy. *Seed Science & Technology*, v. 37, p. 640–649. 2009.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany*, v. 61, p. 167-234. 2013.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LEWIS, S. L. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*. v. 323, p. 1344–1347. 2009.

PIVELLO, V. R.; OLIVERAS, I.; MIRANDA, H. S. et al. Effects of fire on soil availability in an open savanna in Central. *Brazilian Plant Soil*, v. 337, p. 111-123. 2010.

POISOT, T.; BEVER, J. D.; NEMRI, A. et al. A conceptual framework for the evolution of ecological specialisation. *Ecology Letters*, v. 14, p. 841–851. 2011.

PONS, T. L. Induction of dark dormancy in seeds: its importance for the seed bank in the soil. *Functional Ecology*, v. 5, p. 669-675. 1991.

_____. Seed responses to light. In: FENNER, M. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, CABI Publishing, Wallingford: 2000. p. 237–260

_____. Light-mediated Germination. In: GALLAGHER, R.S. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 3° ed, CABI Publishing, Wallingford: 2014. p. 111-134.

- POORTER, L.; HAYASHIDA-OLIVER, Y. Effects of seasonal drought on gap and understorey seedlings in a Bolivian moist forest. *Journal Tropical of Ecology*, v. 16, p. 481–498. 2000.
- POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, p. 579-586. 2007.
- POSCHLOD, P.; WALLIS DE VRIES, M. F. The historical and socioeconomic perspective of calcareous grasslands—lessons from the distant and recent past. *Biological Conservation*, v. 104, p. 361-376. 2002.
- PRITCHARD, H. W.; NADARAJAN, J. Cryopreservation of Orthodox (Desiccation Tolerant) Seeds. In: REED, B. M. (ed.). *Plant Cryopreservation: A Practical Guide*. Springer, New York: 2008.
- PROBERT, R. J. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: FENNER, M. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, CABI Publishing, Wallingford: 2000. p. 261-292.
- _____; ADAMS, J.; CONEYBEER, J. et al. Seed quality for conservation is critically affected by pre-storage factors. *Australian Journal of Botany*, v. 55, p. 326–335. 2007.
- _____; DAWS, M. I.; HAY, F.R. Ecological correlates of ex situ seed longevity: a comparative study on 195 species. *Annals of Botany*, v. 104, p. 57–69. 2009.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> > Acesso em: 5 set. 2019.
- RANIERI, B. D.; LANA, T. C.; NEGREIROS, D. et al. Germinação de sementes de *Lavoisiera cordata* e *Lavoisiera francavillana* (Melastomataceae), espécies simpátricas da Serra do Cipó, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 17, p. 523–530. 2003.
- RAMOS, D. M.; VALLS, J. F. M.; BORGHETTI, F. et al. Fire cues trigger germination and stimulate seedling growth of grass species from Brazilian savannas. *American Journal of Botany*, v. 106, p. 1190-1201. 2019.
- RAUNKIAER, C. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford, Clarendon: 1934.
- REYES, O.; TRABAUD, L. Germination behaviour of 14 Mediterranean species in relation to fire factors: smoke and heat. *Plant Ecology*, v. 202, p. 113-121. 2009.
- RIBEIRO, K. T.; MEDINA, B. M. O. *Estrutura, Dinâmica e Biogeografia das Ilhas de Vegetação Sobre Rocha do Planalto do Itatiaia*. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, Itatiaia: 2002.
- _____; _____; SCARANO, F. R. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 30, p. 623-639. 2007.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, p. 1141-1153. 2009.

RIBEIRO, L. C.; PEDROSA, M.; BORGHETTI, F. Heat shock effects on seed germination of five Brazilian savanna species. *Plant Biology*, v. 15, p. 152–157. 2013.

_____; BARBOSA, E. R. M.; VAN LANGEVELDE, F. et al. The importance of seed mass for the tolerance to heat shocks of savanna and forest tree species. *Journal of Vegetation Science*, v. 26, p. 1102–1111. 2015.

RIBEIRO, J.; COSTA, C. The effect of temperature regulation on seed germination of the tropical tree *Myrsine parvifolia* A. DC near its southern limit. *South African Journal of Botany*, v. 98, p. 128-133. 2015.

RICHTER, M. *Geotecnologias no Suporte ao Planejamento e Gestão de Unidades de Conservação Estudo de caso: Parque Nacional do Itatiaia*. 2004. 162f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Programa de Pós Graduação em Geografia. Rio de Janeiro, 2004.

ROCCA, M. E.; BROWN, P. M.; MACDONALD, L. H. et al. Climate change impacts on fire regimes and key ecosystem services in Rocky Mountain forests. *Forest Ecology and Management*, v. 327, p. 290–305. 2014.

RODRIGUES, A.; FORZZA, R.; ANDRADE, A. C. S. Physiological characteristics underpinning successful cryopreservation of endemic and endangered species of Bromeliaceae from the Brazilian Atlantic Forest. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 176, p. 567-578. 2014.

ROLIM, S. G.; JESUS, R. M.; NASCIMENTO, H. E. M. et al. Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. *Oecologia*, v. 142, p. 238–246. 2005.

RUBIO DE CASAS, R.; WILLIS, C. G.; PEARSE, W. D. et al. Global biogeography of seed dormancy is determined by seasonality and seed size: a case study in the legumes. *New Phytologist*, v. 214, p. 1527-1536. 2017.

SAATKAMP, A.; AFFRE, L.; DUTOIT, T.; et al. Germination traits explain soil seed persistence across species: the case of Mediterranean annual plants in cereal fields. *Annals of Botany*, v. 107, p. 415– 415. 2011.

SAFFORD, H. D. Brazilian páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography*, v. 26, p. 693-712. 1999a.

_____; Brazilian páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography*, v. 26, p. 713-737. 1999b.

_____; Brazilian páramos III. Patterns and rates of postfire regeneration in campos de altitude. *Biotropica*, v. 33, p. 282-302. 2001.

_____; Brazilian páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *Journal of Biogeography*, v. 34, p. 1701-1722. 2007.

SANO, N.; RAJJOU, L.; NORTH, H. M. et al. Staying alive: molecular aspects of seed longevity. *Plant and Cell Physiology*, v. 57, p. 660–674. 2016.

SANTANA, V. M.; BAEZA, M. J.; BLANES, M. C. Clarifying the role of fire and daily temperature fluctuations as germination cues for Mediterranean Basin obligate seeders. *Annals of Botany*, v. 111, p. 127-134. 2013.

SANTOS, S. R. G.; AGUIAR, I. B. Germinação de sementes de branquilha (*Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs) em função do substrato e do regime de temperatura. *Revista brasileira de sementes*, v. 22, p. 120-126, 2000.

SANTOS, R. F.; NETO, A. G. P.; CORDAS, S. M. Mapeamentos temáticos: Geologia e Geomorfologia. In: FUNBIO (ed.). *Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. O Parque Nacional de Itatiaia*. Rio de Janeiro: 2000.

SANTOS, A. P.; HASSEMER, G.; MEIADO, M. V. Seed storage of Brazilian cacti species in different threat categories. *Plant Species Biology*, v. 33, p. 203-211. 2018.

SARMIENTO, F. O. Human drivers of landscape change: treelines dynamics in neotropical montology. *Ecotropicos*, v. 15, p. 129-146. 2002.

SARMIENTO, L.; SMITH, J. K.; MÁRQUEZ, N. et al. Constraints for the restoration of tropical alpine vegetation on degraded slopes of the Venezuelan Andes. *Plant Ecology & Diversity*, v. 8, p. 277-291. 2015.

SATYANTI, A.; NICOTRA, A. B.; MERKLING, T. et al. Seed mass and elevation explain variation in seed longevity of Australian alpine species. *Seed Science Research*, v. 28, p. 319-331. 2018.

SCARANO, F. R. Plant communities at the periphery of the Atlantic rain forest: Rare-species bias and its risks for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, p. 1201–1208. 2009.

_____; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity and Conservation*, v. 24, p. 2319-2331. 2015.

_____; _____; MARTINELLI, G. Climate change and “campos de altitude: forecasts, knowledge and action gaps in Brazil. *Oecologia Australis*, v. 20, p. 139-144. 2016.

SCHÜTZ, W.; MILBERG, P.; LAMONT, B. B. Germination requirements and seedling responses to water availability and soil type in four eucalypt species. *Acta Oecologica*, v. 23, p. 23-30. 2002.

SCHWILK, D. W.; ACKERLY, D. D. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. *Oikos*, v. 94, p. 326–336. 2001.

SCHWIENBACHER, E.; MARCANTE, S.; ERSCHBAMER, B. Alpine species seed longevity in the soil in relation to seed size and shape-A 5-year burial experiment in the

Central Alps. Flora-Morphology, Distribution. *Functional Ecology of Plants*, v. 205, p. 19–25. 2010.

_____; NAVARRO-CANO, J. A.; NEUNER, G. et al. Seed dormancy in alpine species. Flora-Morphology, Distribution, *Functional Ecology of Plants*, v. 206, p. 845–856. 2011a.

_____; _____; _____. et al. Seed dormancy in alpine species. *Flora*, v. 206, p. 845–856. 2011b.

SEAL, C. E. Assessing the vulnerability of species to climate change. *Samara*, v. 22, p. 6. 2012.

SETTELE, J. et al. Terrestrial and Inland Water Systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. In: FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN D. J. et al. (eds.). *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY: 2014. p. 271–359.

SHAW, M. R.; LOIK, M. E.; HARTE, J. Gas exchange and water relations of two rocky mountain shrub species exposed to a climate change manipulation. *Plant Ecology*, v. 146, p. 197–206. 2000.

SILVA, L. M. M.; AGUIAR, I. B. Efeito dos substratos e temperaturas na germinação de sementes de *Cnidoscylus phyllacanthus* Pax & K. Hoffm. (faveleira). *Revista Brasileira de Sementes*, v. 26, p. 9-14, 2004.

SILVEIRA, F. A. O.; RIBEIRO, R. C.; OLIVEIRA, D. M. T. et al. Evolution of physiological dormancy multiple times in Melastomataceae from Neotropical montane vegetation. *Seed Science Research*, v. 22, p. 37-44. 2012a.

_____; NEGREIROS, D.; ARAÚJO, L. M. et al. Does seed germination contribute to ecological breadth and geographic range? A test with sympatric *Diplusodon* (Lythraceae) species from rupestrian fields. *Plant Species Biology*, v. 27, p. 170–173. 2012b.

_____. Sowing seeds for the future: the need for establishing protocols for the study of seed dormancy. *Acta Botanica Brasilica*, v. 27, p. 264–269. 2013.

SILVEIRA, F. S.; OVERBECK, G. E. Effect of high temperature on germination of four legumes from a forest-grassland mosaic in Southern Brazil. *Biota Neotropica*, v. 13, p. 331-335. 2013.

SILVERTOWN, J. Phenotypic Variety in Seed Germination Behavior: The Ontogeny and Evolution of Somatic Polymorphism in Seeds. *The American Naturalist*, v. 124, p. 1-16. 1984.

_____; CHARLESWORTH, D. *Plant population biology*. 4^{ed.}, Blackwell Science, Oxford, Reino Unido: 2001.

- SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P. et al. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, p. 20359–64. 2009.
- SIMPSON, G. M. *Seed Dormancy in Grasses*. Cambridge University Press, UK: 1990.
- SOARES DA MOTA, L. A.; GARCIA, Q. S. Germination patterns and ecological characteristics of *Vellozia* seeds from high-altitude sites in south-eastern Brazil. *Seed Science Research*, v. 23, p. 67–74. 2013.
- SOUZA, L. A. *Sementes e plântulas: germinação, estrutura e adaptação*. Ponta Grossa, Paraná: 2009.
- STEHMANN, J. R.; FORZZA, R.; SALINO, A. et al. *Plantas da Floresta Atlântica*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2009.
- STEINER, A. M.; RUCKENBAUER, P. Germination of 110-year-old cereal and weed seeds, the Vienna sample of 1877. Verification of effective ultra-dry storage at ambient temperature. *Seed Science Research*, v. 5, p. 195-199. 1995.
- STONE, B.; VARGO, J.; HABEEB, D. Managing climate change in cities: Will climate action plans work? *Landscape and Urban Planning*, v. 107, p. 263-271. 2012.
- SWAB, R. M.; REGAN, H. M.; KEITH, D. A. et al. Niche models tell half the story: spatial context and life-history traits influence species responses to global change. *Journal of Biogeography*, p. 1365-2699. 2012.
- SWARTZ, N. D.; DIXON, K. W. *Conservation methods for Terrestrial Orchids*. J. Ross Publishing, USA: 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*, 4ªed. Editora Artmed, São Paulo: 2009.
- TELEWSKI, F. W.; ZEEVAART, J. A. D. The 120-yr period for dr. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany*, v. 89, p. 1285-1288. 2002.
- THANOS, C. A.; GEORGHIOU, K.; KADIS, C. et al. Cistaceae: a plant family with hard seeds. *Israel Journal of Plant Sciences*, v. 41, p. 251–263. 1992.
- THOMPSON, P. A.; SMITH, R. D.; DICKIE, J. B. et al. Collection and regeneration of populations of wild plants from seed. *Biological Conservation*, v. 20, p. 229-245. 1981.
- TOBE, K.; ZHANG, L.; OMASA, K. Seed germination and seedling emergence of three *Artemisia* species (Asteraceae) inhabiting desert sand dunes in China. *Seed Science Research*, v. 16, p. 61–69. 2006.
- _____; _____. Seed size effects on seedling emergence of desert psammophytes in China. *Arid Land Research and Management*, v. 21, p. 181–192. 2007.

THEOBALD, E. J.; BRECKHEIMER, I.; HILLE RIS LAMBERS, J. Climate drives phenological reassembly of a mountain wildflower meadow community. *Ecology*, v. 98, p. 2799-2812. 2017.

THOMAS, P. A.; OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C. Restoration of abandoned subtropical highland grasslands in Brazil: mowing produces fast effects, but hay transfer does not. *Acta Botanica Brasilica*, v. 33, p. 405-411. 2019.

THOMPSON, K.; CERIANI, R. M.; BAKKER, J. P. et al. Are seed dormancy and persistence in soil related? *Seed Science Research*, v. 13, p. 97-100. 2003.

_____; OOI, M. To germinate or not to germinate : More than just a question of dormancy. *Seed Science Research*, v. 20, p. 209-211. 2010.

TOMZHINSKI, G. W. *Análise Geológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia*. 2012. 137f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2012.

TÖRÖK, P.; VIDA, E.; BALÁZS, D. et al. Grassland restoration on former croplands in Europe: An assessment of applicability of techniques and costs. *Biodiversity and Conservation*, v. 20, p. 2311-2332. 2011.

TÖRÖK, P.; DENGLER, J. Palaeartic grasslands in transition: overarching patterns and future prospects. In: SQUIRES, V.R.; DENGLER, J.; FENG, H. et al. (eds.). *Grasslands of the world: diversity, management and conservation*. CRC Press, Boca Raton, US: 2018.

TRAVESET, A.; HELENO, R.; NOGALES, M. The Ecology of Seed Dispersal. In: GALLAGHER, R. S. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 3^o ed. CABI, Oxon, UK: 2013. p. 62-93.

TRUDGILL, D. L.; SQUIRE, G. R.; THOMPSON, K. A thermal time basis for comparing the germination requirements of some British herbaceous plants. *New Phytologist*, v. 145, p. 107-114. 2000.

TSUYUZAKI, S.; MIYOSHI, C. Effects of smoke, heat, darkness and cold stratification on seed germination of 40 species in a cool temperate zone in northern Japan. *Plant Biology*, v. 11, p. 369-378. 2009.

TUDELA-ISANTA, M.; LADOUCEUR, E.; WIJAYASINGHE, M. et al. The seed germination niche limits the distribution of some plant species in calcareous or siliceous alpine bedrocks. *Alpine Botany*, v. 128, p. 83-95. 2018a.

_____; FERNÁNDEZ-PASCUAL, E.; WIJAYASINGHE, M. et al. Habitat-related seed germination traits in alpine habitats. *Ecology and Evolution*, v. 8, p. 150-161. 2018b.

TURNER, S.; STEADMAN, K.; VLAHOS, S. et al. Seed Treatment Optimizes Benefits of Seed Bank Storage for Restoration-Ready Seeds: The Feasibility of Prestorage Dormancy Alleviation for Mine-Site Revegetation. *Restoration Ecology*, v. 21, p. 186-192. 2013.

TWEDDLE, J. C.; DICKIE, J. B.; BASKIN, C. C. et al. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. *Journal of Ecology*, v. 91, p. 294-304. 2003.

- VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças Climáticas: Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. *Oecologia Australis*, v. 13, p. 518-535. 2009.
- VANDELOOK, F.; BOLLE, N.; VAN ASSCHE, J. A. Morphological and physiological dormancy in seeds of *Aegopodium podagraria* (Apiaceae) broken successively during cold stratification. *Seed Science Research*, v. 19, p. 115–123. 2009.
- VANDVIK, V.; KLANDERUD, K.; MEINER, E. et al. Seed banks are biodiversity reservoirs: species–area relationships above versus below ground. *Oikos*, v. 125, p. 218–228. 2016.
- VARELA, V. P.; FERRAZ, I. D. K.; CARNEIRO, N. B. Efeito da temperatura na germinação de sementes de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn – Bombacaceae). *Revista Brasileira de Sementes*, v. 21, p. 170-174. 1999.
- VÁZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Ecological significance of light controlled seed germination in two contrasting tropical habitats. *Oecologia*, v. 83, p. 171-175. 1990.
- _____; _____. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. *Annual Review Ecology Systematic*, v. 24, p. 69-87. 1993.
- VENABLE, D. L. Bet hedging in a guild of desert annuals. *Ecology*, v. 88, p. 1086-1090. 2007.
- _____; BROWN, J. S. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. *The American Naturalist*, v. 131, p. 360– 384. 1988.
- VERÍSSIMO, P. N.; SAFFORD, H. D.; BEHLING, V. Holocene vegetation and fire history of the Serra do Caparaó, SE Brazil. *The Holocene*, v. 22, p. 1243-1250. 2012.
- VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S. et al. Erratum: Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stress that affect plant water status. *Plant Journal*, v. 45, p. 523-539. 2006.
- VILLIERS, T. A. Seed dormancy. In: KOZLOWSKY, T. T. (ed.). *Seed biology*, Academic Press, New York: 1972. p.220-282.
- WALCK, J. L.; BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. et al. Defining transient and persistent seed banks in species with pronounced seasonal dormancy and germination patterns. *Seed Science Research*, v. 15, p. 189–196. 2005.
- _____; DIXON, K. W. Time to future-proof plants in storage. *Nature*, v. 462, p. 721. 2009.
- _____; HIDAYATI, S.; DIXON, K. W. et al. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology*, v. 17, p. 2145-2161. 2011.
- WALSH, D. G. F.; WALDREN, S.; MARTIN, J. R. Monitoring seed viability of fifteen species after storage in the Irish threatened plant gene bank. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, v. 103, p. 59-67. 2003.

WALTERS, C. Principles for preserving germplasm in gene banks. In: GUERRANT, F. R., E. O.; HAVENS, K.; MAUNDER, M. (eds.). *Ex situ plant conservation*. Island Press, London: 2005. p.113-138.

_____; BERJAK, P.; PAMMENTER, N. et al. Preservation of Recalcitrant. *Seeds Science*, v. 339, p. 915-916. 2013.

_____; KAMESWARA, R. N., HU, X. Optimizing seed water content to improve longevity in ex situ genebanks. *Seed Science Research*, v. 8, p. 15-22. 1998.

WANG, Z.; WANG, L.; LIU, Z. et al. Phylogeny, Seed Trait, and Ecological Correlates of Seed Germination at the Community Level in a Degraded Sandy Grassland. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 1532. 2016.

WEN, W.; ARAUS, J. L.; SHAH, T. et al. Molecular characterisation of a diverse maize inbred line collection and its potential utilisation for stress tolerance improvement. *Crop Science*, v. 51, p. 2569– 2581. 2011.

WHELAN, R. J. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 1995.

WHITMORE, T. C. A review of some aspects of tropical rain forest seedling ecology with suggestions for further enquiry. In: SWAINE, M. D. (ed.). *The ecology of tropical forest tree seedlings - man and the biosphere series*. Parthenon Pub. Group Inc., New York: 1996. p.3-39.

WIGGERS, M. S.; HIERS, J. K.; BARNETT, A. et al. Seed heat tolerance and germination of six legume species native to a fire-prone longleaf pine forest. *Plant Ecology*, v. 218, p. 151–171. 2016.

WILLIS, C. G.; BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. et al. The evolution of seed dormancy: Environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. *New Phytologist*, v. 203, p. 300–309. 2014.

WULFF, R. D. Environmental maternal effects on seed quality and germination. In: KIGEL, J.; GALILI, G. (eds.). *Seed development and germination*. Marcel Dekker, New York: 1995. p. 491-505.

XU, J.; LI, W. L.; ZHANG, C. H. et al. Variation in seed germination of 134 common species on the Eastern Tibetan Plateau: phylogenetic, life history and environmental correlates. *PLoS ONE*, v. 9, 2014.

YI, F.; WANG, Z.; BASKIN, C. C. et al. Seed germination responses to seasonal temperature and drought stress are species-specific but not related to seed size in a desert steppe: Implications for effect of climate change on community structure. *Ecology and Evolution*, v. 9, p. 2149-2159. 2019.

YUAN, X.; WEN, B. Seed germination response to high temperature and water stress in three invasive Asteraceae weeds from Xishuangbanna, SW China. *PLoS ONE*, v. 13. 2018.

ZAIDAN, L. B. P.; CARREIRA, R. C. Seed germination in Cerrado species. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 20, p. 167–181. 2008.

ZALUAR, H.; SCARANO, F. R. Facilitação em restingas em resting de moitas: Um século de buscas por espécies focais. In: ESTEVES, F. A.; LACERDA, L. D. (eds.). *Restingas: Origem, Estrutura e Processos*. Rio de Janeiro: 2000.

ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*. 5^oed. Prentice-Hall, Upper Saddle River: 2010.

ZHOU, W.; CHEN, F.; LUO, X. et al. A matter of life and death: Molecular, physiological, and environmental regulation of seed longevity. *Plant Cell Environ*, v. 43, p. 293–302. 2020.

ZIRONDI, H. L.; SILVEIRA, F. A. O.; FIDELIS, A. Fire effects on seed germination: heat shock and smoke on permeable vs impermeable seed coats. *Flora*, v. 253, p. 98–106. 2019.

ZULOAGA-AGUILAR, S.; BRIONES, O.; OROZCO-SEGOVIA, A. Effect of heat shock on germination of 23 plant species in pine-oak and montane cloud forests in Western Mexico. *International Journal of Wildland Fire*, v. 19, p. 759-773. 2010.

ZUPO, T.; BAEZA, M. J.; FIDELIS, A. The effect of simulated heat-shock and daily temperature fluctuations on seed germination of four species from fire-prone ecosystems. *Acta Botanica Brasílica*, v. 30, p. 514–519. 2016.

ZUUR, A. F., IENO, E. N., WALKER, N. J. et al. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York: 2009.

APÊNDICE A – Lista das famílias, espécies, código das espécies (CD), número de tomo do Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (N° HRJ), forma de vida ((FV) geófito - G, Caméfito – Cam, Hemicriptófito – H, Fanerófito – Fa), massa seca da semente (MS); período de dispersão ((PD) estação chuvosa – Ch, estação seca – S, dispersão nas duas estações – As) para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continua).

Família	Espécies	CD	N° HRJ	FV	MS (mg)	PD
Alstroemeriaceae	<i>Alstroemeria isabelleana</i> Herb.	Al	13026	G	30,5	Ch
Amaryllidaceae	<i>Hippeastrum morelianum</i> Lem.	Hg	13027	G	7,70	Ch
Apiaceae	<i>Eryngium euricephalum</i> Malme	Ee	13028	H	1,03	As
Apiaceae	<i>Eryngium glaziovianum</i> Urb.	Eg	13029	H	2,54	As
Asteraceae	<i>Austrocritonia velutina</i> (Gardner) R.M.King & H.Rob.	Vn	13030	Fa	0,27	S
Asteraceae	<i>Baccharis brevifolia</i> DC.	Ba	13031	Fa	0,09	Ch
Asteraceae	<i>Baccharis crispa</i> Spreng.	Bc	13032	Fa	0,04	S
Asteraceae	<i>Baccharis glaziovii</i> Baker	Bg	13033	Fa	0,03	Ch
Asteraceae	<i>Baccharis maxima</i> Baker	Bh	13037	Fa	0,98	S
Asteraceae	<i>Baccharis oblongifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Bo	13034	Fa	0,12	Ch
Asteraceae	<i>Baccharis semiserrata</i> DC.	Bi	13035	Fa	0,06	S
Asteraceae	<i>Baccharis tarchonanthoides</i> DC.	Bt	13036	Fa	0,10	Ch
Asteraceae	<i>Chionolaena capitata</i> (Baker) Freire	Cc	13038	Fa	0,03	Ch
Asteraceae	<i>Dasyphyllum leptacanthum</i> (Gardner) Cabrera	Dl	13039	Fa	1,98	S
Asteraceae	<i>Graphistylis argyrotricha</i> (Dusén) B.Nord.	Gd	13040	Fa	0,99	S
Asteraceae	<i>Graphistylis dichroa</i> (Bong.) D.J.N.Hind	Gr	13041	Fa	1,06	S
Asteraceae	<i>Heterocondylus alatus</i> (Vell.) R.M.King & H.Rob.	Hl	13042	Fa	1,64	S
Asteraceae	<i>Micania glaziovii</i> Baker	Ml	13043	Cam	0,12	S
Asteraceae	<i>Pentacalia desiderabilis</i> (Vell.) Cuatrec.	Pd	13044	Fa	0,17	Ch
Asteraceae	<i>Senecio adamantinus</i> Bong.	Sa	13045	Fa	0,50	Ch

APÊNDICE A – Lista das famílias, espécies, código das espécies (CD), número de tombo do Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (N° HRJ), forma de vida ((FV) geófita - G, Caméfito – Cam, Hemicriptófito – H, Fanerófito – Fa), massa seca da semente (MS); período de dispersão ((PD) estação chuvosa – Ch, estação seca – S, dispersão nas duas estações – As) para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continuação).

Família	Espécies	CD	N° HRJ	FV	MS (mg)	PD
Asteraceae	<i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	Sb	13046	Fa	0,37	Ch
Asteraceae	<i>Senecio icoglossus</i> DC.	Si	13047	Cam	1,48	Ch
Asteraceae	<i>Senecio nemoralis</i> Dusén	Sn	13048	Fa	0,35	Ch
Asteraceae	<i>Senecio oleosus</i> Vell.	So	13049	Fa	0,88	Ch
Asteraceae	<i>Trixis glaziovii</i> Baker	Tg	13050	Fa	1,12	Ch
Asteraceae	<i>Verbesina glabrata</i> Hook. & Arn.	Vg	13051	Fa	0,76	As
Begoniaceae	<i>Begonia occhionii</i> Brade	Be	13052	G	0,001	S
Berberidaceae	<i>Berberis campos-portoi</i> Brade	Br	13053	Fa	15,5	Ch
Bromeliaceae	<i>Vriesea itatiaiae</i> Wawra	Vi	13054	H	0,98	S
Bromeliaceae	<i>Vriesea bituminosa</i> Wawra	Vb	13055	H	0,99	S
Celastraceae	<i>Maytenus boaria</i> Molina	Mb	13056	Fa	14,9	S
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Pers. var. <i>laevigata</i> (Meisn.) Sleumer	Cs	13057	Fa	0,29	As
Cyperaceae	<i>Carex brasiliensis</i> A.St.-Hil.	Cb	13058	H	0,48	Ch
Ericaceae	<i>Agarista eucalyptoides</i> (Cham. & Schltdl.) G.Don	Ae	13059	Fa	0,10	Ch
Ericaceae	<i>Agarista hispidula</i> (DC.) Hook. ex Nied.	Ah	13060	Fa	0,10	Ch
Ericaceae	<i>Agarista oleifolia</i> (Cham.) G.Don	Ao	13061	Fa	0,02	Ch
Ericaceae	<i>Gaultheria eriophylla</i> (Pers.) Sleumer ex Burt	Ge	13062	Fa	0,03	Ch
Ericaceae	<i>Gaultheria serrata</i> (Vell.) Sleumer ex Kin.-Gouv.	Gs	13063	Fa	0,04	Ch
Eriocaulaceae	<i>Actinocephalus polyanthus</i> (Bong.) Sano	Ap	13064	H	0,16	S
Eriocaulaceae	<i>Eriocaulon majusculum</i> Ruhland	Em	13065	H	0,17	Ch
Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus itatiaiensis</i> Ruhland	Pi	13066	H	0,17	Ch

APÊNDICE A – Lista das famílias, espécies, código das espécies (CD), número de tombo do Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Nº HRJ), forma de vida ((FV) geófita - G, Caméfito – Cam, Hemicriptófito – H, Fanerófito – Fa), massa seca da semente (MS); período de dispersão ((PD) estação chuvosa – Ch, estação seca – S, dispersão nas duas estações – As) para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continuação).

Família	Espécies	CD	Nº HRJ	FV	MS (mg)	PD
Escalloniaceae	<i>Escallonia bifida</i> Link & Otto	El	13067	Fa	0,005	Ch
Fabaceae	<i>Lupinus gibertianus</i> C.P.Sm.	Lg	13068	Fa	15,9	As
Fabaceae	<i>Mimosa itatiaiensis</i> Dusén	Mi	13069	Fa	5,26	S
Fabaceae	<i>Senna itatiaiae</i> H.S.Irwin & Barneby	St	13070	Fa	34,2	S
Iridaceae	<i>Gelasine coerulea</i> (Vell.) Ravenna	Gc	13071	G	2,55	As
Iridaceae	<i>Sisyrinchium marginatum</i> Klatt	Sy	13072	H	1,61	Ch
Iridaceae	<i>Sisyrinchium wettsteinii</i> Hand.-Mazz.	Sr	13073	H	3,65	S
Lamiaceae	<i>Lepechinia speciosa</i> (A.St.-Hil. ex Benth.) Epling	Ls	13074	Fa	3,98	S
Melastomataceae	<i>Leandra carassana</i> (DC.) Cogn.	Ld	13075	Fa	0,23	Ch
Melastomataceae	<i>Leandra quinquedentata</i> (DC.) Cogn.	Lu	13076	Fa	0,25	As
Melastomataceae	<i>Miconia cinerascens</i> Miq.	Mc	13077	H	0,16	S
Melastomataceae	<i>Pleroma echinata</i> Gardner	Pe	13078	Fa	0,02	S
Melastomataceae	<i>Pleroma foveolatum</i> (Naudin) Triana	Pf	13079	Fa	0,04	Ch
Melastomataceae	<i>Pleroma hospitum</i> (Schrank et Mart. ex DC.) Triana	Ph	13080	Fa	0,04	S
Melastomataceae	<i>Tibouchina itatiaiae</i> Cogn.	Ti	13081	Fa	0,04	As
Onagraceae	<i>Fuchsia regia</i> (Vell.) Munz	Fc	13082	Cam	0,80	As
Orobanchaceae	<i>Esterhazyia eitenorum</i> Barringer	Es	13083	Fa	0,11	Ch
Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i> Lam.	Pl	13084	H	1,07	S
Primulaceae	<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	Mg	13085	Fa	8,72	Ch
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> var. <i>impressiuscula</i> (Mez) K.S.Edwards	Rm	13086	Fa	8,90	As

APÊNDICE A – Lista das famílias, espécies, código das espécies (CD), número de tombo do Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (N° HRJ), forma de vida ((FV) geófita - G, Caméfito – Cam, Hemicriptófito – H, Fanerófito – Fa), massa seca da semente (MS); período de dispersão ((PD) estação chuvosa – Ch, estação seca – S, dispersão nas duas estações – As) para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (conclusão).

Família	Espécies	CD	N° HRJ	FV	MS (mg)	PD
Rubiaceae	<i>Coccocypselum condalia</i> Pers.	Cn	13087	Cam	0,50	As
Rubiaceae	<i>Galium hypocarpium</i> (L.) Endl. ex Griseb.	Ga	13088	Cam	0,85	Ch
Scrophulariaceae	<i>Buddleja speciosissima</i> Taub.	Bs	13089	Fa	0,30	S
Velloziaceae	<i>Barbacenia gounelleana</i> Beauverd	Bu	13090	H	0,13	S
Xyridaceae	<i>Xyris stenophylla</i> L.A.Nilsson	Xs	13091	H	0,17	S
Xyridaceae	<i>Xyris wawrae</i> Heimerl	Xw	13092	H	0,22	S
Winteraceae	<i>Drymis brasiliensis</i> Miers	Db	13093	Fa	3,69	Ch

Legenda: mg - miligrama

APÊNDICE B – Porcentagem final de germinação (Gf) e viabilidade (V) nas temperaturas constante de 20°C e alternada de 15-25°C (luz e escuro), 20-30°C e 25-35°C para as 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continua).

Espécies	Gf 20°C	Gf15-25°C/Luz	Gf20-30°C	Gf25-35°C	Gf15-25°C/Escuro	V20°C	V15-25°C/Luz	V20-30°C	V25-35°C	V15-25°C/Escuro
<i>Al</i>	85,0 A	83,2 A	82,5 A	10,0 B	85,0**	90,0 A	83,2 A	82,5 A	20,0 B	85,0**
<i>Hg</i>	91,9*	98,5	90,5	83,0	97,0**	91,9*	98,5	90,5	83,0	97,0**
<i>Ee</i>	33,7 A	13,8 Ba	26,2 AB	19,0 B	0,0 b	70,0 A	65,0 A	29,0 B	45,0 B	45,0 b
<i>Eg</i>	46,2 C	61,2 Ba	80,0 A	25,0 D	0,0 b	60,0 A	75,0 A	80,0 A	30,0 B	55,0 b
<i>Vn</i>	50,0 A	39,0 Ba	37,0 B	30,0 B	0,0 b	65,0 A	60,0 A	60,0 A	35,0 B	15,0 b
<i>Ba</i>	5,0*	5,35 a	4,68	4,5	1,2 b	60,0 A	55,0 A	55,0 A	30,0 B	30,0 b
<i>Bc</i>	53,0 A	58,7 Aa	38,7 B	2,5 C	0,0 b	70,0 A	70,0 A	65,0 A	25,0 B	55,0 b

APÊNDICE B – Porcentagem final de germinação (Gf) e viabilidade (V) nas temperaturas constante de 20°C e alternada de 15-25°C (luz e escuro), 20-30°C e 25-35°C para as 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continuação).

Espécies	Gf_{20°C}	Gf_{15-25°C/Luz}	Gf_{20-30°C}	Gf_{25-35°C}	Gf_{15-25°C/Escuro}	V_{20°C}	V_{15-25°C/Luz}	V_{20-30°C}	V_{25-35°C}	V_{15-25°C/Escuro}
<i>Bg</i>	95,0 A	90,0 Aa	87,5 A	29,0 B	1,2 b	95,0 A	95,0 A	95,0 A	40,0 B	60,0 b
<i>Bh</i>	97,5 A	95,0 ABa	85,0 B	39,0 C	0,0 b	97,5 A	95,0A	85,0 A	50,0 B	70,0 b
<i>Bo</i>	26,2 B	36,3 Aa	28,7 AB	11,2 C	0,0 b	65,0 A	65,0 A	70,0 A	45,0 B	60,0**
<i>Bi</i>	88,0 A	95,0 A	90,0 A	30,0 B	0,0 b	90,0 A	95,0A	90,0 A	30,0 B	70,0 b
<i>Bt</i>	77,5 B	83,7 ABa	92,5 A	75,0 B	0,0 b	77,5*	85,0	95,0	80,0	75,0**
<i>Cc</i>	86,2 A	85,0 Aa	76,2 A	54,0 B	35,0 b	90,0 A	85,0A	80,0 A	60,0 B	65,0 b
<i>Dl</i>	17,0 B	28,0 Aa	8,8 B	14,0 B	2,5 b	50,0*	65,0	55,0	45,0	35,0 b
<i>Gd</i>	78,7 AB	91,2 Aa	68,7 B	36,0 C	32,5 b	78,7 A	91,2 A	75,0 A	50,0 B	65,0 b
<i>Gr</i>	77,5 A	85,0 A	80,0 A	49,0 B	70,0**	77,5 A	90,0 A	80,0 A	55,0 B	70,0 b
<i>Hl</i>	53,0 AB	59,0 Aa	45,0 B	40,0 B	2,5 b	65,0 A	70,0 A	60,0 A	40,0 B	35,0 b
<i>Ml</i>	56,0 A	47,0 Aa	28,0 B	0,0 C	0,0 b	75,0 A	65,0 A	60,0 A	5,0 B	40,0 b
<i>Pd</i>	92,5*	88,7	85,0	89,0	85,0**	92,5*	95,0	90,0	90,0	85,0**
<i>Sa</i>	77,5 A	85,0 Aa	63,7 B	44,0 C	36,0 b	77,5 A	90,0 A	70,0 A	55,0 B	45,0 b
<i>Sb</i>	88,7 A	86,2 Aa	88,7 A	57,5 B	0,0 b	88,7 A	90,0 A	88,7 A	60,0 B	70,0 b
<i>Si</i>	53,3 AB	58,8 Aa	60,0 A	40,0 B	0,0 b	65,0AB	70,0 A	70,0 A	50,0 B	50,0 b
<i>Sn</i>	73,7 A	82,5 Aa	83,7 A	54,0 B	0,0 b	80,0 A	85,0 A	85,0 A	65,0 B	40,0 b
<i>So</i>	32,0 A	41,8 Aa	32,2 A	21,0 B	0,0 b	60,0 A	75,0 A	75,0 A	35,0 B	50,0 b
<i>Tg</i>	53,7 B	58,7 Ba	75,0 A	70,0 A	26,2 b	65,0*	70,0	75,0	70,0	50,0 b
<i>Vg</i>	66,2*	53,7	51,2	52,5	63,7**	80,0 A	65,0 B	65,0 B	60,0 AB	75,0**
<i>Be</i>	35,0 BC	53,7 Aa	41,2 AB	26,0 C	0,0 b	70,0 A	70,0 A	60,0 A	30,0 B	40,0 b
<i>Br</i>	95,0 A	95,0 A	78,7 B	40,0 C	73,7**	95,0 A	95,0 A	80,0 A	45,0 B	75,0 b
<i>Vi</i>	90,0 A	100,0 Aa	95,0 A	65,0 B	65,0 b	90,0 A	100,0 A	95,0 A	65,0 B	75,0 b
<i>Vb</i>	91,0 A	91,0 Aa	93,7 A	70,0 B	55,0 b	91,0 A	91,0 A	95,0 A	70,0 B	75,0 b
<i>Mb</i>	61,2 A	57,5 Aa	60,2 A	5,0 B	8,7 b	70,0 A	60,0 A	65,0 A	15,0 B	20,0 b

APÊNDICE B – Porcentagem final de germinação (Gf) e viabilidade (V) nas temperaturas constante de 20°C e alternada de 15-25°C (luz e escuro), 20-30°C e 25-35°C para as 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continuação).

Espécies	Gf_{20°C}	Gf_{15-25°C/Luz}	Gf_{20-30°C}	Gf_{25-35°C}	Gf_{15-25°C/Escuro}	V_{20°C}	V_{15-25°C/Luz}	V_{20-30°C}	V_{25-35°C}	V_{15-25°C/Escuro}
<i>Cs</i>	82,5*	78,5 a	88,7	85,0	0,0 b	85,0*	80,0	90,0	85,0	65,0 b
<i>Cb</i>	1,2 B	2,5 ABa	3,7 A	1,2 B	0,0 b	70,0 AB	80,0 A	80,0 A	55,0 B	60,0 b
<i>Ae</i>	6,2 B	15,0 ABa	15,0 AB	20,0 A	5,0 b	60,0*	55,0	60,0	50,0	25,0 b
<i>Ah</i>	73,7*	75,0	86,2	73,0	68,7**	75,0*	75,0	90,0	75,0	70,0**
<i>Ao</i>	46,2 AB	57,5 Aa	41,2 B	19,0 C	0,0 b	65,0 A	70,0 A	65,0 A	35,0 B	50,0 b
<i>Ge</i>	15,0 A	17,5 Aa	17,5 A	0,0 B	0,0 b	65,0 A	55,0 A	60,0 A	0,0 B	45,0**
<i>Gs</i>	66,2 A	75,0 Aa	73,7 A	45,0 B	0,0 b	70,0 A	75,0 A	75,0 A	45,0 B	65,0**
<i>Ap</i>	72,5 B	77,5 Ba	93,7 A	83,0 AB	0,0 b	70,0 B	80,0 AB	95,0 A	85,0 AB	70,0**
<i>Em</i>	60,0 A	50,8 Aa	52,2 A	13,0 B	0,0 b	90,0 A	60,0 B	70,0 AB	15,0 C	60,0**
<i>Pi</i>	36,2 A	26,2 ABa	18,7 B	35,0 A	0,0 b	65,0 AB	70,0 A	65,0 AB	40,0 B	55,0 b
<i>El</i>	5,0 B	17,5 Aa	1,2 B	1,2 B	0,0 b	60,0 A	70,0 A	60,0 A	5,0 B	40,0 b
<i>Lg</i>	25,0 AB	25,0 ABb	21,2 B	31,0 A	35,0 a	90,0 A	80,0 A	75,0 AB	65,0 B	75,0**
<i>Mi</i>	25,0*	19,0 b	29,0	29,0	37,0 a	80,0*	85,0	85,0	80,0	75,0**
<i>St</i>	46,2 A	42,5 Ab	48,7 A	19,0 B	59,0 a	80,0 A	75,0 A	85,0 A	65,0 B	70,0**
<i>Gc</i>	78,5 A	81,2 A	48,7 B	50,0 B	75,0**	78,5 AB	81,2 A	55,0 B	60,0 AB	75,0**
<i>Sy</i>	2,5 B	15,0 Aa	25,0 A	30,0 A	0,0 b	65,0*	65,0	70,0	60,0	60,0**
<i>Sr</i>	90,0 A	60,0 B	77,0 B	60,0 B	0,0 b	90,0 A	70,0 AB	80,0 A	60,0 B	50,0 b
<i>Ls</i>	15,0 A	7,5 Ba	6,2 B	13,0 AB	0,0 b	85,0 A	75,0 AB	70,0 AB	65,0 B	80,0**
<i>Ld</i>	12,5 AB	22,5 Aa	7,5 B	7,5 B	0,0 b	90,0 A	75,0 A	70,0 AB	55,0 B	50,0 b
<i>Lu</i>	43,7 A	43,0 Aa	10,0 B	11,2 B	0,0 b	70,0*	80,0	75,0	65,0	40,0 b
<i>Mc</i>	73,0 B	80,0 Ba	100,0 A	80,0 B	0,0 b	75,0 B	85,0 AB	100,0 A	80,0 B	50,0 b
<i>Pe</i>	69,4 B	75,0 B	88,4 A	70,0 B	7,5 b	70,0*	80,0	90,0	70,0	35,0 b
<i>Pf</i>	62,5 AB	56,0 Ba	72,0 B	45,0 C	0,0 b	80,0 A	70,0 A	85,0 A	50,0 B	60,0**
<i>Ph</i>	94,2 A	47,5 Ba	43,7 B	30,0 C	11,8 b	70,0 A	65,0 A	65,0 A	30,0 B	55,0**

APÊNDICE B – Porcentagem final de germinação (Gf) e viabilidade (V) nas temperaturas constante de 20°C e alternada de 15-25°C (luz e escuro), 20-30°C e 25-35°C para as 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (conclusão).

Espécies	Gf 20°C	Gf_{15-25°C/Luz}	Gf_{20-30°C}	Gf_{25-35°C}	Gf_{15-25°C/Escuro}	V_{20°C}	V_{15-25°C/Luz}	V_{20-30°C}	V_{25-35°C}	V_{15-25°C/Escuro}
<i>Ti</i>										
<i>Fc</i>										
<i>Es</i>	77,0 A	75,0 Aa	87,0 A	22,0 B	0,0 b	77,0 A	75,0 A	90,0 A	40,0 B	40,0 b
<i>Pl</i>	75,0 B	86,3 ABa	90,0 A	86,0 A	0,0 b	75,0*	90,0	90,0	90,0	90,0**
<i>Mg</i>	1,2 C	43,7 Ba	77,5 A	50,0 B	0,0 b	90,0 A	95,0 A	90,0 A	60,0 B	50,0 b
<i>Rm</i>	98,7*	98,7	100,0	96,0	90,0**	98,7*	98,7	100,0	96,0	90,0**
<i>Cn</i>	15,0 B	73,0 Aa	83,7A	90,0 A	0,0 b	85,0*	75,0	90,0	90,0	55,0 b
<i>Ga</i>	13,7 C	35,0 Ba	76,2 A	70,0 A	0,0 b	80,0*	90,0	80,0	80,0	60,0 b
<i>Bs</i>	77,5 A	83,7 Aa	1,2 B	0,0 B	7,5 b	77,5 A	85,0 A	30,0 B	45,0 B	60,0 b
<i>Bu</i>	13,7*	10,0 a	7,5	5,0	0,0 b	80,0*	85,0	85,0	70,0	70,0**
<i>Xs</i>	80,0*	95,0 a	95,0	93,0	0,0 b	80,0*	95,0	100,0	95,0	60,0 b
<i>Xw</i>	77,5 B	82,5 ABa	100,0 A	90,0 A	1,2 b	80,0*	90,0	95,0	90,0	30,0 b
<i>Db</i>	72,7 A	66,0 Aa	71,4 A	20,0 B	0,0 b	95,0 A	90,0 A	90,0 A	30,0 B	40,0b

Legenda: Médias de germinação (Gf%) e viabilidade (V%) seguidas de letra maiúscula distinta em cada linha diferiram entre si pelo teste do GLM (P<0,05).

Médias de germinação (Gf%) do tratamento luz/escuro na temperatura de 15-25°C seguidos por letras minúsculas distintas em cada linha diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade de erro.

* Não significativo estatisticamente entre as temperaturas na luz.

** Não significativo estatisticamente entre os tratamentos luz/escuro na temperatura de 15-25°C

APÊNDICE C – Dias necessários para atingir 50% da germinação total ($T_{50\%}$), nas temperaturas constante de 20°C, e alternadas de 15-25°C, 20-30°C e 25-35°C; valores da germinação relativa na luz (GRL) e na temperatura alternada (GRTA); taxa de embebição (TE%); classificação quanto ao fotoblastismo; classes de dormência; e número correspondente ao agrupamento pela análise de cluster para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continua)

Espécies	T_{50%} 20°C	T_{50%} 15-25°C	T_{50%} 20-30°C	T_{50%} 25-35°C	GRL	GRTA	TE (%)	Fotoblastismo	Dormência	Cluster
<i>Al</i>	19,5 A	29,5 AB	25,4 A	33,5 B	0,49	0,48	102,37	Neutro	MF	2
<i>Hg</i>	7,2 A	11,3 B	11,4 B	13,7 A	0,50	0,51	241,50	Neutro	ND	2
<i>Ee</i>	11,9*	13,7	15,7	13,8	1,00	0,29	237,54	Positivo	DM /MF	1
<i>Eg</i>	21,4*	24,0	25,5	29,0	1,00	0,57	160,38	Positivo	DM /MF	1
<i>Vn</i>	8,2 B	4,9 A	6,2 AB	6,3 A	1,00	0,44	165,30	Positivo	DF	1
<i>Ba</i>	2,8*	5,9	4,8	10,1	0,75	0,52	156,67	Positivo	DF	1
<i>Bc</i>	8,4*	10,1	8,1	23,1	1,00	0,53	210,36	Positivo	DF	1
<i>Bg</i>	6,7*	7,7	6,1	3,7	0,99	0,48	136,26	Positivo	ND	2
<i>Bh</i>	6,5*	8,9	6,2	9,5	1,00	0,50	155,23	Positivo	ND	2
<i>Bo</i>	11,4*	12,4	13,1	14,1	1,00	0,59	143,47	Positivo	DF	1
<i>Bi</i>	59,3*	55,8	53,2	60,2	1,00	0,51	136,66	Positivo	DF	3
<i>Bt</i>	5,6 A	10,6 B	6,9 A	7,2	1,00	0,52	122,77	Positivo	ND	2
<i>Cc</i>	5,4*	5,8	5,8	6,3	0,70	0,48	177,05	Positivo	ND	2
<i>Dl</i>	4,0 A	7,1 B	4,4 A	8,1	0,91	0,62	179,62	Positivo	DF	1
<i>Gd</i>	5,0*	5,3	6,5	6,3	0,74	0,52	128,94	Positivo	ND	2
<i>Gr</i>	7,8 A	9,7 AB	10,8 B	11,4	0,55	0,53	151,05	Neutro	ND	2
<i>Hl</i>	12,3*	12,8	8,4	11,9	0,94	0,53	165,35	Positivo	DF	1
<i>Ml</i>	9,6 A	15,8 B	14,8 B	0,0	1,00	0,46	259,91	Positivo	DF	1
<i>Pd</i>	2,0 A	3,7 B	2,4 AB	2,6	0,51	0,48	130,58	Neutro	ND	2
<i>Sa</i>	3,4 A	6,1 B	7,1 B	10,6	0,70	0,52	191,36	Positivo	ND	2

APÊNDICE C – Dias necessários para atingir 50% da germinação total ($T_{50\%}$), nas temperaturas constante de 20°C, e alternadas de 15-25°C, 20-30°C e 25-35°C; valores da germinação relativa na luz (GRL) e na temperatura alternada (GRTA); taxa de embebição (TE%); classificação quanto ao fotoblastismo; classes de dormência; e número correspondente ao agrupamento pela análise de cluster para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continuação)

Espécies	$T_{50\%}$ 20°C	$T_{50\%}$ 15-25°C	$T_{50\%}$ 20-30°C	$T_{50\%}$ 25-35°C	GRL	GRTA	TE (%)	Fotoblastismo	Dormência	Cluster
<i>Sb</i>	7,1*	7,2	6,9	4,6	1,00	0,49	194,91	Positivo	ND	2
<i>Si</i>	9,3 B	9,8 B	4,1 A	4,6	1,00	0,53	299,00	Positivo	DF	1
<i>Sn</i>	5,8 A	5,6 A	8,3 B	5,1	1,00	0,52	173,33	Positivo	ND	2
<i>So</i>	6,3*	6,8	5,7	8,2	1,00	0,57	166,59	Positivo	DF	1
<i>Tg</i>	7,0 A	9,8 B	6,1 A	2,5	0,69	0,52	325,37	Positivo	DF	1
<i>Vg</i>	5,2 A	6,6 B	5,7 A	5,7	0,37	0,39	210,20	Neutro	DF	1
<i>Be</i>	11,5 A	16,3 A	20,9 B	21,0	1,00	0,63	87,93	Positivo	DF	1
<i>Br</i>	51,2*	47,3	45,6	49,3	0,56	0,50	134,99	Neutro	MF	3
<i>Vi</i>	3,1*	2,7	2,6	3,2	0,80	0,52	99,57	Positivo	ND	2
<i>Vb</i>	2,4*	2,7	2,7	3,0	0,78	0,50	97,64	Positivo	ND	2
<i>Mb</i>	40,2 B	36,6 B	16,0 A	43,0	0,87	0,47	149,21	Positivo	DF	3
<i>Cs</i>	8,0 A	15,0 B	8,4 A	15,0	1,00	0,48	104,35	Positivo	ND	2
<i>Cb</i>	43,0 B	15,0 A	41,1 B	40,7	1,00	0,63	197,70	Positivo	DF	1
<i>Ae</i>	9,8*	10,3	9,1	7,0	0,65	0,70	99,16	Positivo	DF	1
<i>Ah</i>	8,5*	11,8	10,7	9,4	0,52	0,50	96,47	Neutro	ND	2
<i>Ao</i>	3,2 A	8,1 B	4,8 A	6,1	1,00	0,55	87,36	Positivo	DF	1
<i>Ge</i>	16,2*	17,1	18,6	0,0	1,00	0,51	75,48	Positivo	DF	1
<i>Gs</i>	4,8 A	14,5 B	15,7 B	19,1	1,00	0,53	64,53	Positivo	ND	2
<i>Ap</i>	8,4 AB	13,9 B	6,2 A	4,7	1,00	0,52	52,06	Positivo	ND	2
<i>Em</i>	15,0 A	22,5 B	12,0 A	14,6	1,00	0,45	40,21	Positivo	DF	1
<i>Pi</i>	26,4 A	35,0 B	20,3 A	15,1	1,00	0,45	70,22	Positivo	DF	1

APÊNDICE C – Dias necessários para atingir 50% da germinação total ($T_{50\%}$), nas temperaturas constante de 20°C, e alternadas de 15-25°C, 20-30°C e 25-35°C; valores da germinação relativa na luz (GRL) e na temperatura alternada (GRTA); taxa de embebição (TE%); classificação quanto ao fotoblastismo; classes de dormência; e número correspondente ao agrupamento pela análise de cluster para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (continuação)

Espécies	$T_{50\%}$ 20°C	$T_{50\%}$ 15-25°C	$T_{50\%}$ 20-30°C	$T_{50\%}$ 25-35°C	GRL	GRTA	TE (%)	Fotoblastismo	Dormência	Cluster
<i>El</i>	7,1 A	10,3 B	7,0 A	30,0	1,00	0,75	50,20	Positivo	MF	1
<i>Lg</i>	1,6*	1,9	1,7	1,2	0,42	0,50	70,79*	Negativo	FS	1
<i>Mi</i>	4,0*	5,2	3,4	4,5	0,34	0,43	49,38	Negativo	FS	1
<i>St</i>	9,3 A	18,5 B	11,1 A	7,9	0,42	0,48	76,37	Negativo	FS	1
<i>Gc</i>	9,0 A	9,4 A	16,2 B	15,7	0,52	0,51	159,79	Neutro	ND	2
<i>Sy</i>	7,0*	7,1	5,4	5,2	1,00	0,62	101,26	Positivo	DF	1
<i>Sr</i>	7,5 B	9,9 A	8,6 AB	9,0	1,00	0,40	111,65	Positivo	ND	2
<i>Ls</i>	6,3*	6,4	7,4	8,7	1,00	0,33	12,96*	Positivo	FS+DF	1
<i>Ld</i>	5,0 B	8,6 A	5,5 B	6,1	1,00	0,64	51,98	Positivo	DF	1
<i>Lu</i>	15,1 B	18,0 AB	21,9 A	21,8	1,00	0,49	46,92	Positivo	DF	1
<i>Mc</i>	17,1 B	9,0 A	15,3 B	11,9	1,00	0,52	151,96	Positivo	ND	1
<i>Pe</i>	11,0*	12,8	12,5	11,0	0,90	0,52	79,54	Positivo	ND	2
<i>Pf</i>	9,7 C	6,7 B	4,9 A	7,3	1,00	0,47	73,99	Positivo	ND	2
<i>Ph</i>	6,9 B	9,4 A	6,9 B	6,9	0,80	0,33	76,62	Positivo	DF	1
<i>Ti</i>	6,1 A	13,8 B	12,0 B	10,6	0,69	0,51	67,45	Positivo	DF	1
<i>Fc</i>	4,1*	4,4	4,0	11,5	0,58	0,51	119,84	Positivo	ND	2
<i>Es</i>	14,7 A	18,4 B	25,6 C	23,9	1,00	0,49	228,37	Positivo	ND	2
<i>Pl</i>	3,0*	3,5	3,1	4,0	1,00	0,53	629,27	Positivo	ND	2
<i>Mg</i>	70,0*	68,7	73,2	77,4	1,00	0,97	35,28	Positivo	MF	3
<i>Rm</i>	13,0*	14,4	15,1	18,4	0,52	0,50	102,48	Neutro	ND	2

APÊNDICE C – Dias necessários para atingir 50% da germinação total ($T_{50\%}$), nas temperaturas constante de 20°C, e alternadas de 15-25°C, 20-30°C e 25-35°C; valores da germinação relativa na luz (GRL) e na temperatura alternada (GRTA); taxa de embebição (TE%); classificação quanto ao fotoblastismo; classes de dormência; e número correspondente ao agrupamento pela análise de cluster para 68 espécies dos campos de altitude do Itatiaia: (conclusão)

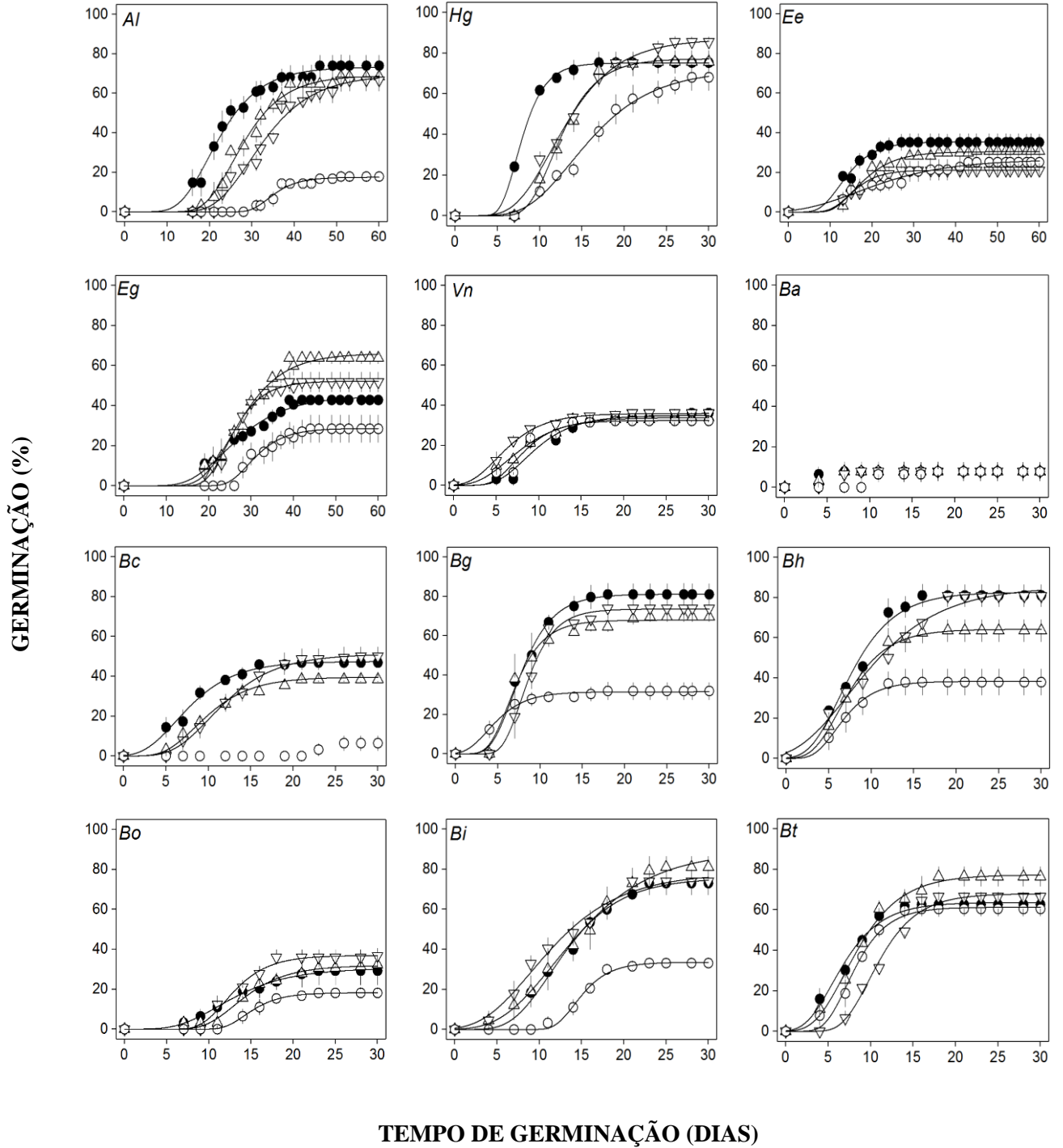
Espécies	$T_{50\%}$ 20°C	$T_{50\%}$ 15-25°C	$T_{50\%}$ 20-30°C	$T_{50\%}$ 25-35°C	GRL	GRTA	TE (%)	Fotoblastismo	Dormência	Cluster
<i>Cn</i>	21,6 B	25,3 B	17,4 A	20,1	1,00	0,82	87,86	Positivo	DF	1
<i>Ga</i>	11,5 A	16,3 AB	20,9 B	21,0	1,00	0,71	76,61	Positivo	DF	1
<i>Bs</i>	7,6 A	12,2 B	10,0 B	0,0	0,92	0,52	154,15	Positivo	DF	1
<i>Bu</i>	10,0 A	14,3 B	16,0 B	19,4	1,00	0,43	231,45	Positivo	DF	1
<i>Xs</i>	7,3 A	11,0 B	7,1 A	6,9	1,00	0,54	44,75	Positivo	ND	2
<i>Xw</i>	10,5 B	4,7 A	8,5 AB	5,6	0,99	0,52	42,71	Positivo	ND	2
<i>Db</i>	72,7*	71,4	76,6	82,0	1,00	0,48	35,01	Positivo	MF	3

Legenda: ND – não dormente; DF – dormência fisiológica; DM – dormência morfológica; MF – dormência morfofisiológica; FS – dormência física.

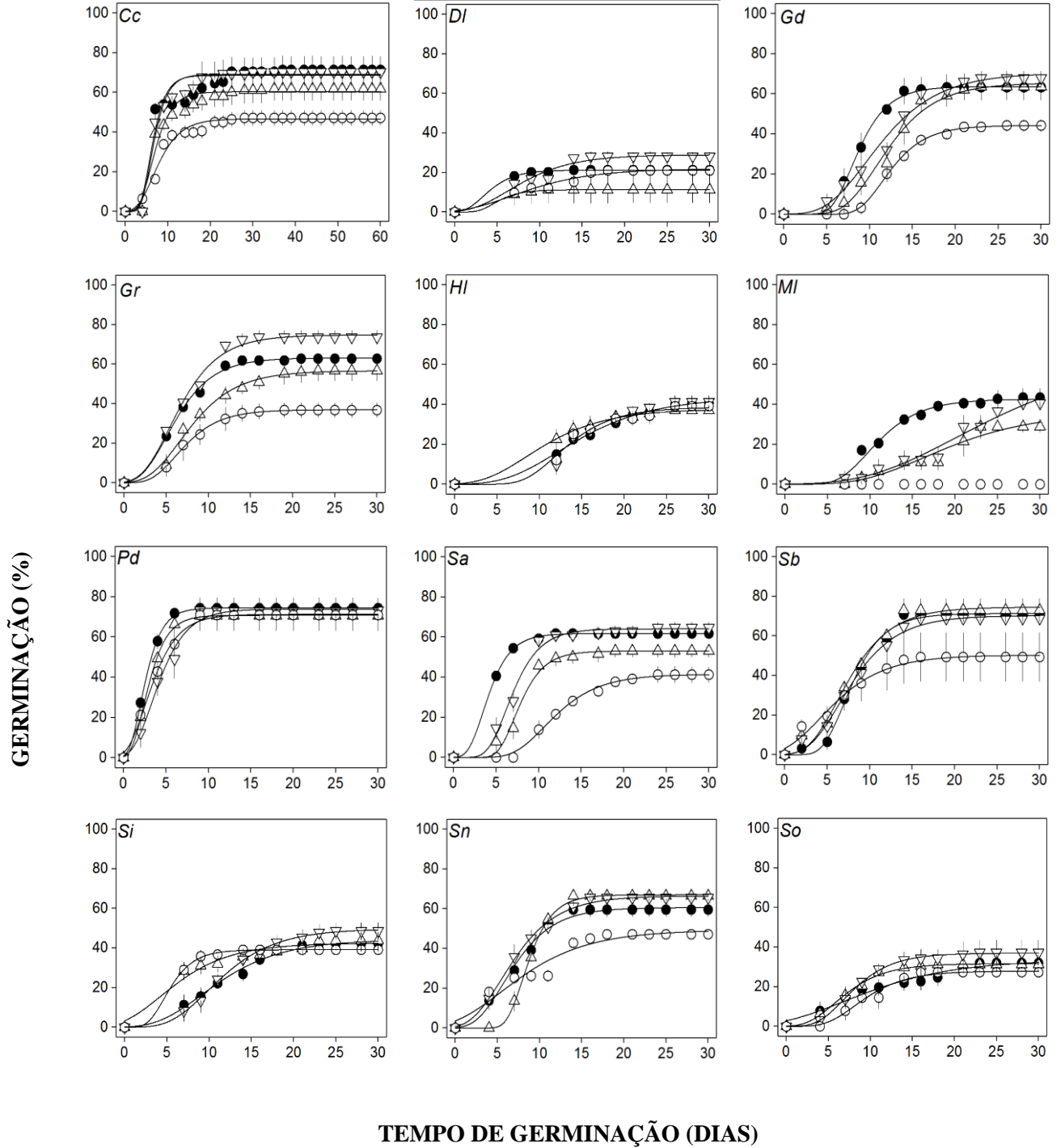
Valores de $T_{50\%}$ seguidos de letra distintas em cada linha diferiram entre si pelo teste do GLM ($P < 0,05$).

* Não significativo estatisticamente entre as temperaturas.

APÊNDICE D – Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude nas temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C ▽ ; 20-30°C △ ; 25-35°C ●). (continua)

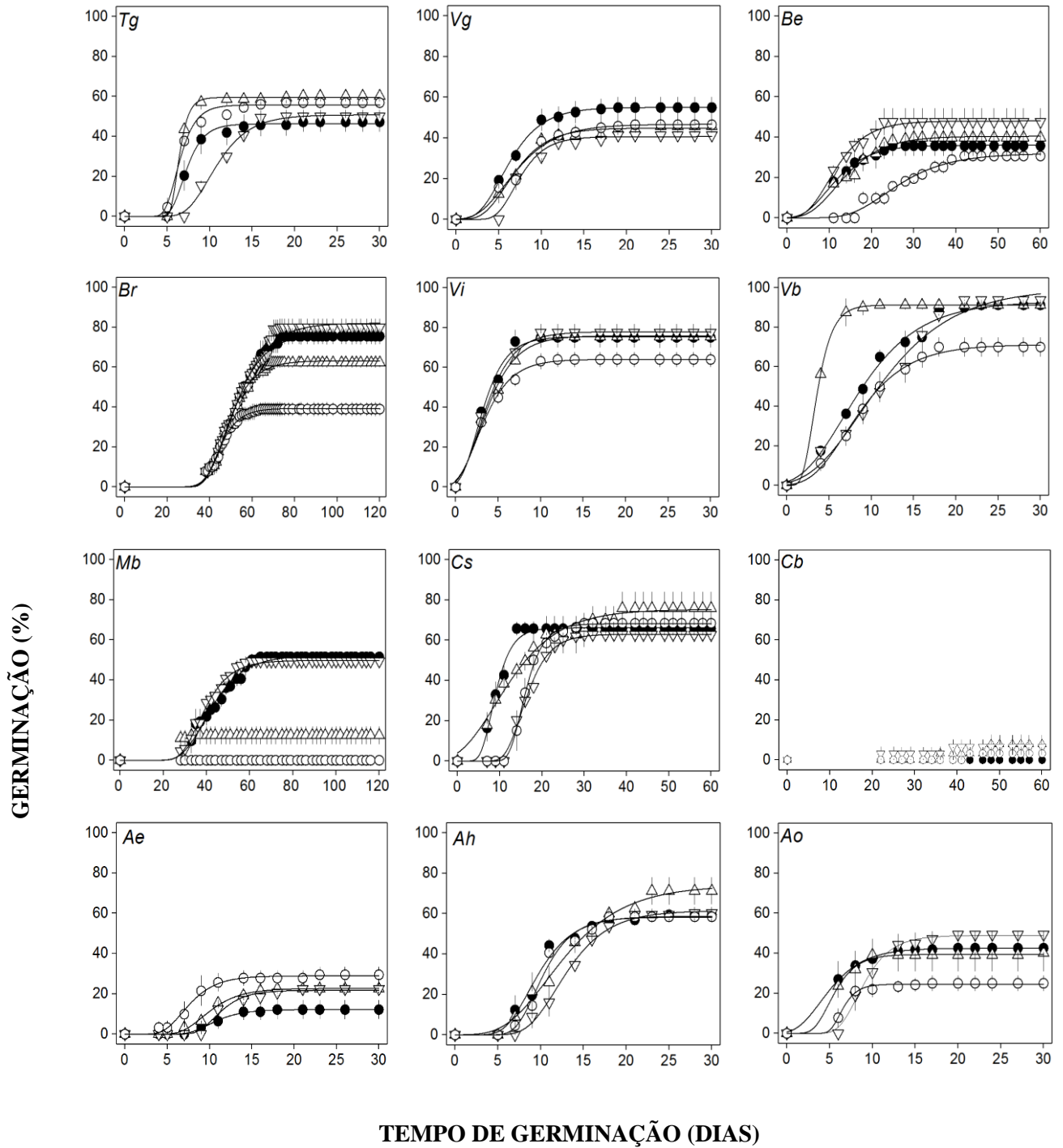


APENDICE D – Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude nas temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C △; 20-30°C ▽; 25-35°C●). (continuação)

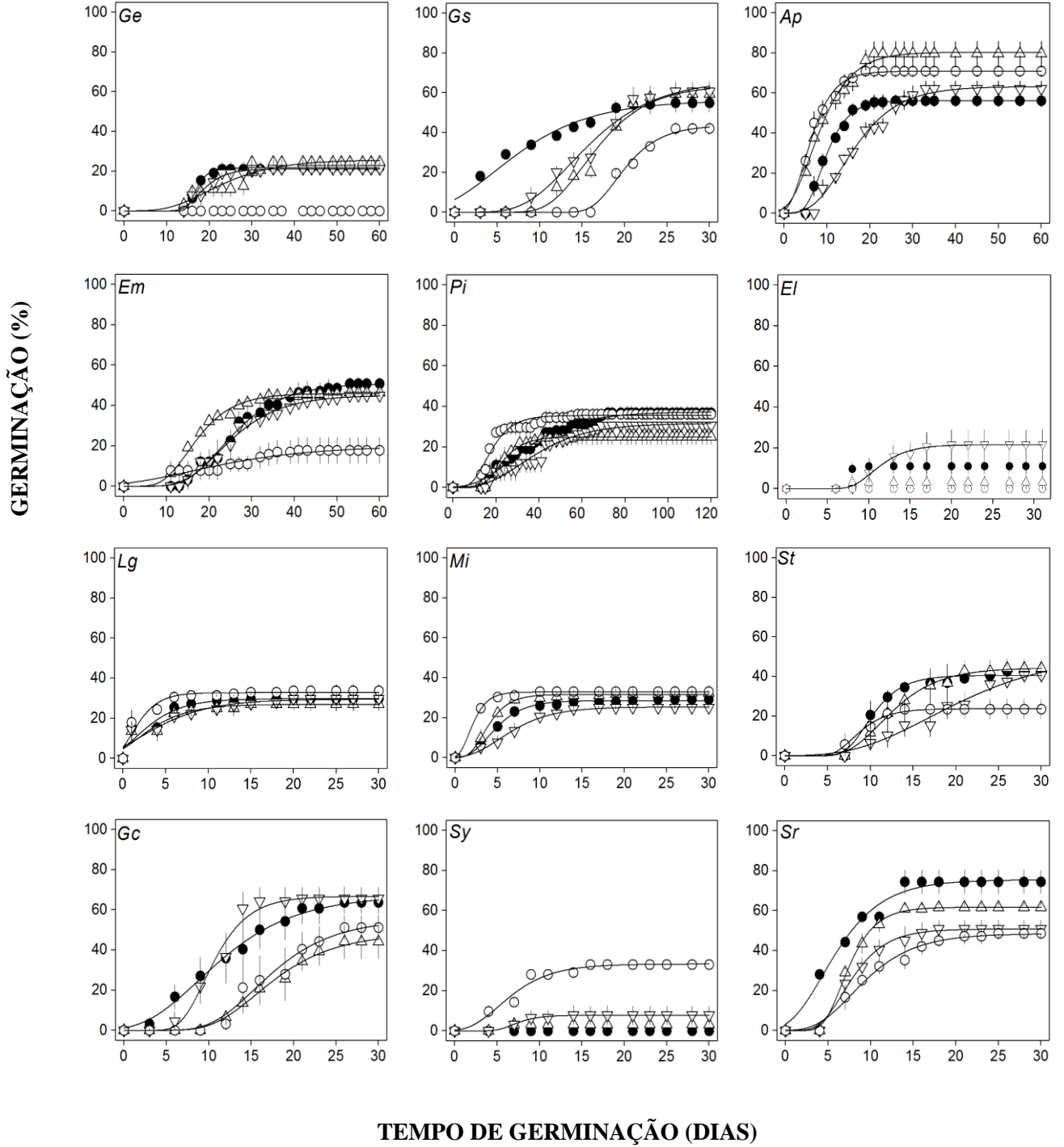


TEMPO DE GERMINAÇÃO (DIAS)

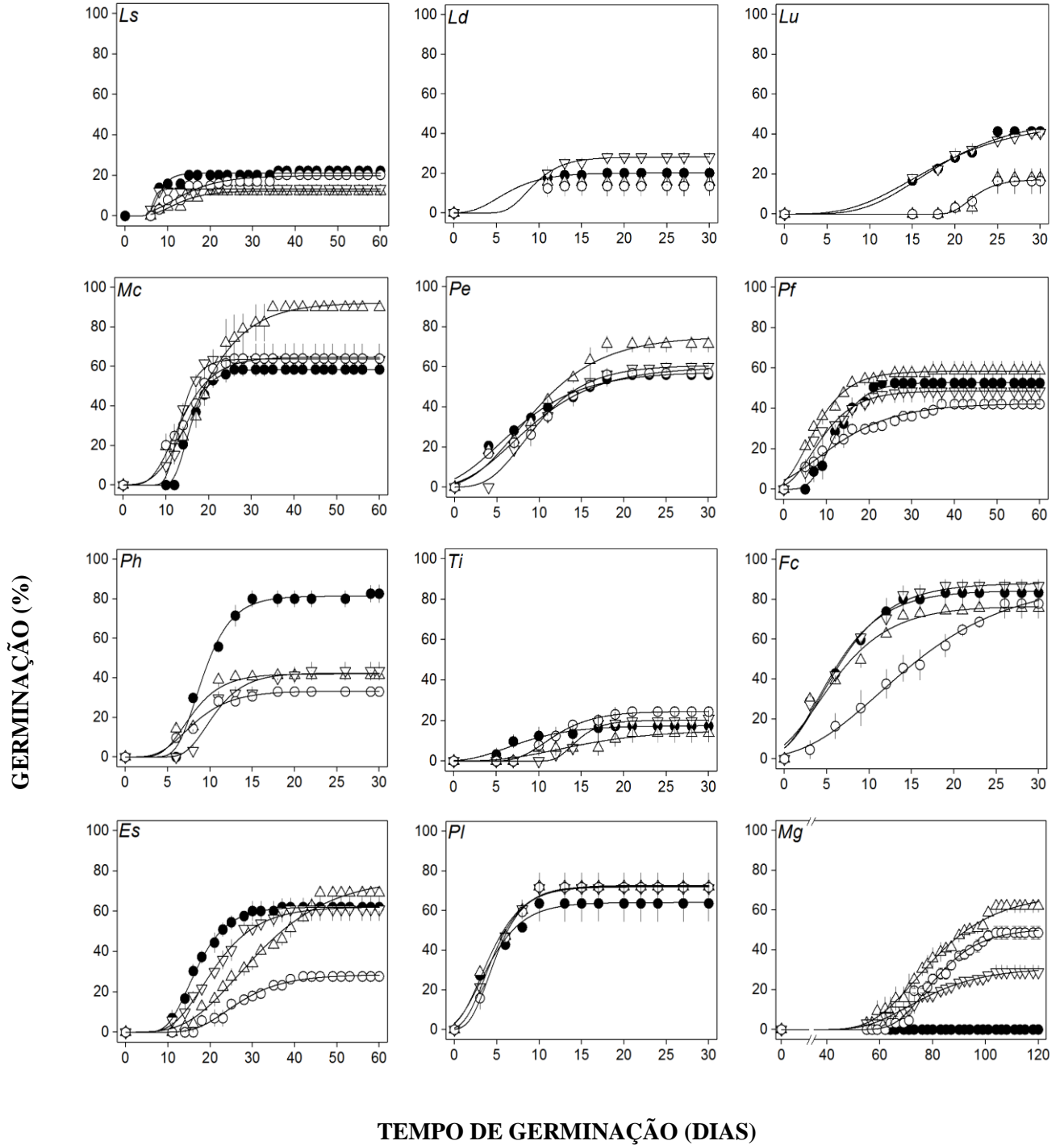
APENDICE D – Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude nas temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C △; 20-30°C ▽; 25-35°C ●). (continuação)



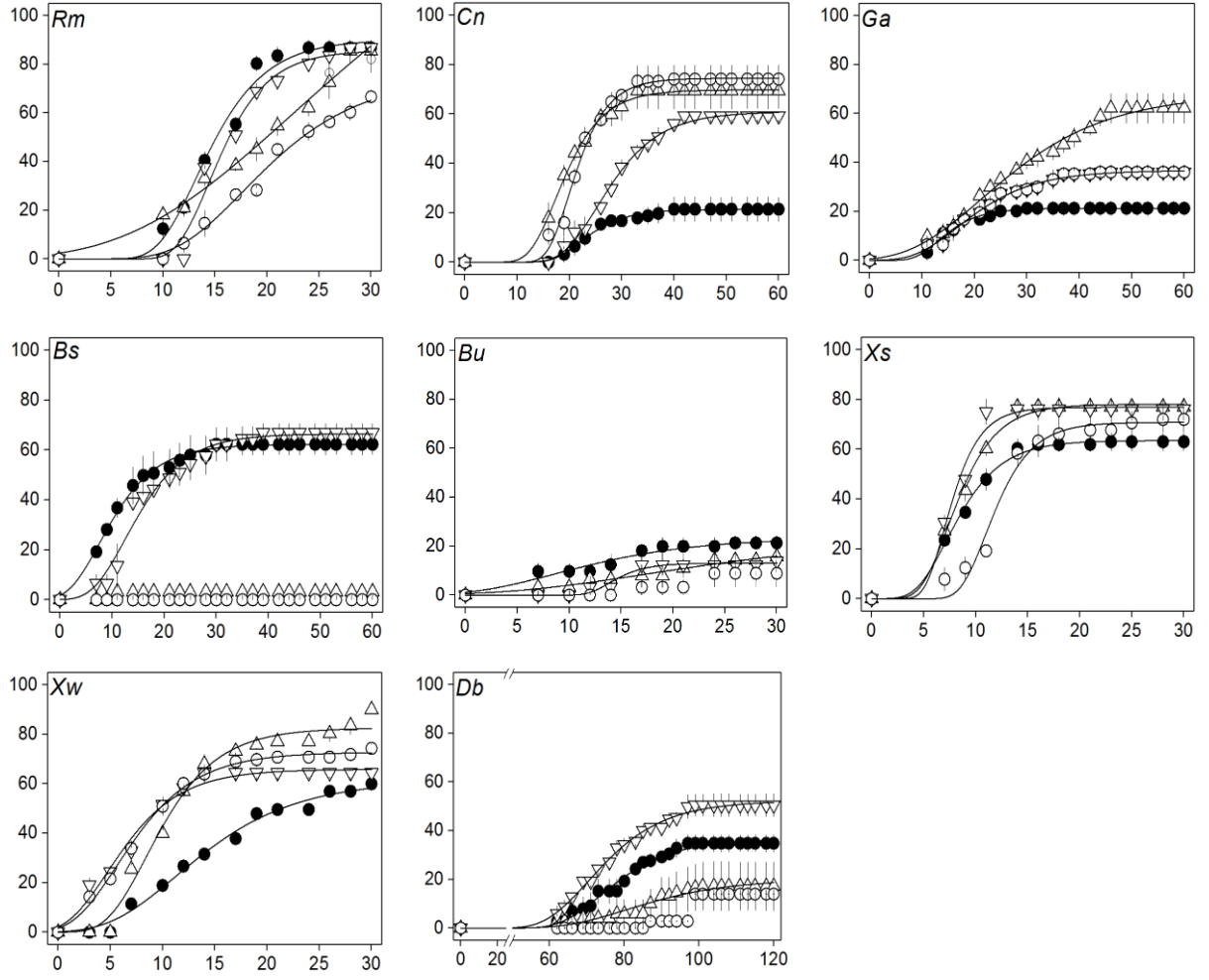
APÊNDICE D – Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude na: temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C △ 20-30°C ▽ ; 2. 35°C ●). (continuação)



APÊNDICE D – Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude na: temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C △ 20-30°C ; 2. 35°C●). (continuação)



APÊNDICE D – Curva de germinação em dias de 47 espécies dos campos de altitude na:
 temperaturas constante (20°C ○) e alternadas (15-25°C ▽ 20-30°C ; 2:
 35°C ●). (conclusão)



TEMPO DE GERMINAÇÃO (DIAS)

Legenda: Cada símbolo representa a média de germinação ± erro padrão de em cada dia.

APÊNDICE E – Média e erro padrão da massa das sementes secas e embebidas em água destilada por 72h, taxa de embebição (%) e valor do teste *t* para 68 espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia. (continua)

Espécies	Sementes secas	Sementes embebidas	TE%	<i>t</i>
<i>Al</i>	0,15 ±0,004	0,30 ±0,008	101,64	25,78*
<i>Hg</i>	0,07 ±0,001	0,22 ±0,008	218,61	21,30*
<i>Ee</i>	0,02 ±0,000	0,05 ±0,003	233,80	10,02*
<i>Eg</i>	0,03 ±0,001	0,07 ±0,004	159,57	10,47*
<i>Vn</i>	0,03 ±0,007	0,08 ±0,012	165,30	6,41**
<i>Ba</i>	0,02 ±0,002	0,03 ±0,001	154,67	8,65*
<i>Bc</i>	0,02 ±0,001	0,06 ±0,005	211,21	8,20**
<i>Bg</i>	0,01 ±0,000	0,03 ±0,003	136,67	7,33**
<i>Bh</i>	0,01 ±0,000	0,06 ±0,003	360,07	14,37*
<i>Bo</i>	0,02 ±0,001	0,03 ±0,000	144,65	7,23*
<i>Bi</i>	0,02 ±0,000	0,04 ±0,001	155,39	21,71*
<i>Bt</i>	0,03 ±0,000	0,04 ±0,000	123,98	9,12*
<i>Cc</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,004	177,98	7,59*
<i>Dl</i>	0,04 ±0,002	0,11 ±0,003	178,77	14,99*
<i>Gd</i>	0,03 ±0,000	0,07 ±0,002	154,38	16,47*
<i>Gr</i>	0,04 ±0,001	0,06 ±0,002	127,89	17,88*
<i>Hl</i>	0,04 ±0,005	0,07 ±0,002	165,45	15,77*
<i>Ml</i>	0,01 ±0,001	0,06 ±0,005	252,17	4,22**
<i>Pd</i>	0,01 ±0,000	0,03 ±0,000	137,47	15,22*
<i>Sa</i>	0,02 ±0,000	0,05 ±0,001	191,35	27,49*
<i>Sb</i>	0,01 ±0,001	0,04 ±0,003	224,28	7,72*
<i>Si</i>	0,02 ±0,000	0,06 ±0,002	296,75	22,58*
<i>Sn</i>	0,02 ±0,000	0,05 ±0,001	179,97	29,91*
<i>So</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,000	166,19	35,65*
<i>Tg</i>	0,01 ±0,001	0,06 ±0,001	328,63	13,87*
<i>Vg</i>	0,01 ±0,000	0,04 ±0,002	202,35	11,96*
<i>Be</i>	0,02 ±0,001	0,03 ±0,000	87,560	22,77*
<i>Br</i>	0,16 ±0,005	0,18 ±0,010	15,840	12,98*
<i>Vi</i>	0,02 ±0,001	0,03 ±0,009	97,640	13,65**
<i>Vb</i>	0,02 ±0,001	0,04 ±0,002	99,570	3,69*
<i>Mb</i>	0,14 ±0,020	0,35 ±0,010	150,10	27,98*
<i>Cs</i>	0,02 ±0,030	0,04 ±0,020	103,30	18,55*
<i>Cb</i>	0,15 ±0,000	0,46 ±0,010	199,49	21,56*
<i>Ae</i>	0,02 ±0,001	0,04 ±0,000	99,670	19,54*
<i>Ah</i>	0,01 ±0,000	0,03 ±0,000	93,600	16,80*
<i>Ao</i>	0,01 ±0,000	0,02 ±0,003	87,230	20,54*
<i>Ge</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,000	74,120	17,89*
<i>Gs</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,000	66,350	14,82*

APÊNDICE E – Média e erro padrão da massa das sementes secas e embebidas em água destilada por 72h, taxa de embebição (%) e valor do teste *t* para 68 espécies dos campos do Planalto do Itatiaia. (conclusão)

Espécies	Sementes secas	Sementes embebidas	TE%	<i>t</i>
<i>Ap</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,003	52,140	8,67*
<i>Em</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,000	40,380	13,52*
<i>Pi</i>	0,02 ±0,003	0,04 ±0,005	68,870	5,20**
<i>El</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,000	50,520	17,42*
<i>Lg</i>	0,10 ±0,002	0,17 ±0,020	63,130	2,77
<i>Mi</i>	0,15 ±0,004	0,24 ±0,014	49,38	7,94*
<i>St</i>	0,22 ±0,005	0,39 ±0,020	80,580	6,68*
<i>Gc</i>	0,06 ±0,000	0,15 ±0,004	157,60	19,62*
<i>Sy</i>	0,11 ±0,002	0,21 ±0,004	100,47	38,06*
<i>Sr</i>	0,16 ±0,034	0,35 ±0,036	111,65	12,62**
<i>Ls</i>	0,04 ±0,001	0,05 ±0,001	12,770	10,11
<i>Ld</i>	0,03 ±0,002	0,04 ±0,004	51,700	11,54*
<i>Lu</i>	0,02 ±0,000	0,03 ±0,000	49,350	10,13*
<i>Mc</i>	0,02 ±0,001	0,04 ±0,004	151,29	8,23**
<i>Pe</i>	0,01 ±0,001	0,03 ±0,003	79,540	6,27**
<i>Pf</i>	0,02 ±0,002	0,03 ±0,000	73,430	22,56*
<i>Ph</i>	0,02 ±0,001	0,03 ±0,001	76,490	20,49*
<i>Ti</i>	0,02 ±0,002	0,03 ±0,000	67,890	25,65*
<i>Fc</i>	0,01 ±0,001	0,04 ±0,003	123,30	22,47*
<i>Es</i>	0,02 ±0,001	0,05 ±0,004	230,31	9,95*
<i>Pl</i>	0,02 ±0,000	0,13 ±0,004	655,22	19,79*
<i>Mg</i>	0,10 ±0,000	0,14 ±0,000	35,010	24,92*
<i>Rm</i>	0,07 ±0,007	0,15 ±0,010	99,540	14,92*
<i>Cn</i>	0,04 ±0,000	0,46 ±0,003	85,650	12,60*
<i>Ga</i>	0,05 ±0,000	0,10 ±0,001	78,820	25,50*
<i>Bs</i>	0,01 ±0,000	0,04 ±0,000	154,64	40,46*
<i>Bu</i>	0,02 ±0,002	0,04 ±0,000	231,45	37,54*
<i>Xs</i>	0,03 ±0,000	0,04 ±0,000	45,430	35,82*
<i>Xw</i>	0,02 ±0,003	0,03 ±0,001	42,780	36,78*
<i>Db</i>	0,06 ±0,001	0,09 ±0,000	35,900	28,93*

Legenda: * $P < 0,01$; ** $P < 0,05$

APÊNDICE F – Número de dias para atingir 50% da germinação total ($T_{50\%}$) nos tratamentos controle e choque térmico nas temperaturas de 80°C, 100°C e 120°C para 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Planalato do Itatiaia. (continua)

Espécies	T_{50%} controle	T_{50%} 80°C	T_{50%} 100°C	T_{50%} 120°C
<i>Al</i>	25,1*	24,5	26,7	-
<i>Hg</i>	8,4*	11,1	-	-
<i>Eg</i>	2,7*	2,9	2,6	4,3
<i>Vn</i>	4,1 ^A	5,3 ^A	11,3 ^B	8,4 ^{AB}
<i>Bc</i>	8,7 ^A	11,5 ^A	12,8 ^A	26,5 ^B
<i>Bg</i>	7,4*	7,3	10,2	9,9
<i>Bh</i>	9,1	-	-	-
<i>Bo</i>	25,1	-	-	-
<i>Bi</i>	6,9*	7,2	8,8	3,0
<i>Dl</i>	6,0	-	-	-
<i>Gd</i>	8,1 ^{AB}	12,3 ^B	3,0 ^A	-
<i>Hl</i>	9,0 ^A	25,1 ^B	-	-
<i>Pd</i>	4,3	-	-	-
<i>Sa</i>	5,1	-	-	-
<i>Sb</i>	7,1 ^A	7,7 ^A	20,7 ^B	-
<i>Si</i>	3,3*	3,7	4,1	9,3
<i>Sn</i>	7,3 ^A	21,4 ^B	-	-
<i>So</i>	6,9*	5,8	-	-
<i>Tg</i>	4,0*	2,6	6,6	2,7
<i>Vg</i>	4,9*	6,7	-	-
<i>Be</i>	6,9*	5,6	3,6	-
<i>Br</i>	51,0*	48,0		
<i>Vi</i>	3,6*	3,5	3,8	4,5
<i>Mb</i>	37,5*	34,3	-	-
<i>Cb</i>	18,6	-	-	-
<i>Ah</i>	7,7*	11,8	7,6	-
<i>Gs</i>	24,2*	35,0	-	-
<i>Ac</i>	7,4*	7,4	10,0	10,7
<i>Em</i>	14,3 ^A	38,5 ^B	-	-
<i>El</i>	17,5*	27,3	21,2	-
<i>Lg</i>	3,7*	4,5	7,0	5,6
<i>Mi</i>	6,8*	6,8	7,5	9,0
<i>St</i>	17,9*	17,6	13,1	13,0
<i>Gc</i>	9,3*	9,6	10,4	5,6
<i>Sr</i>	4,8*	4,6	6,4	7,8
<i>Lp</i>	3,9*	3,5	3,4	7,8
<i>Lu</i>	26,2	-	-	-
<i>Pe</i>	11,7 ^A	20,9 ^B	15,7 ^{AB}	18,9 ^B

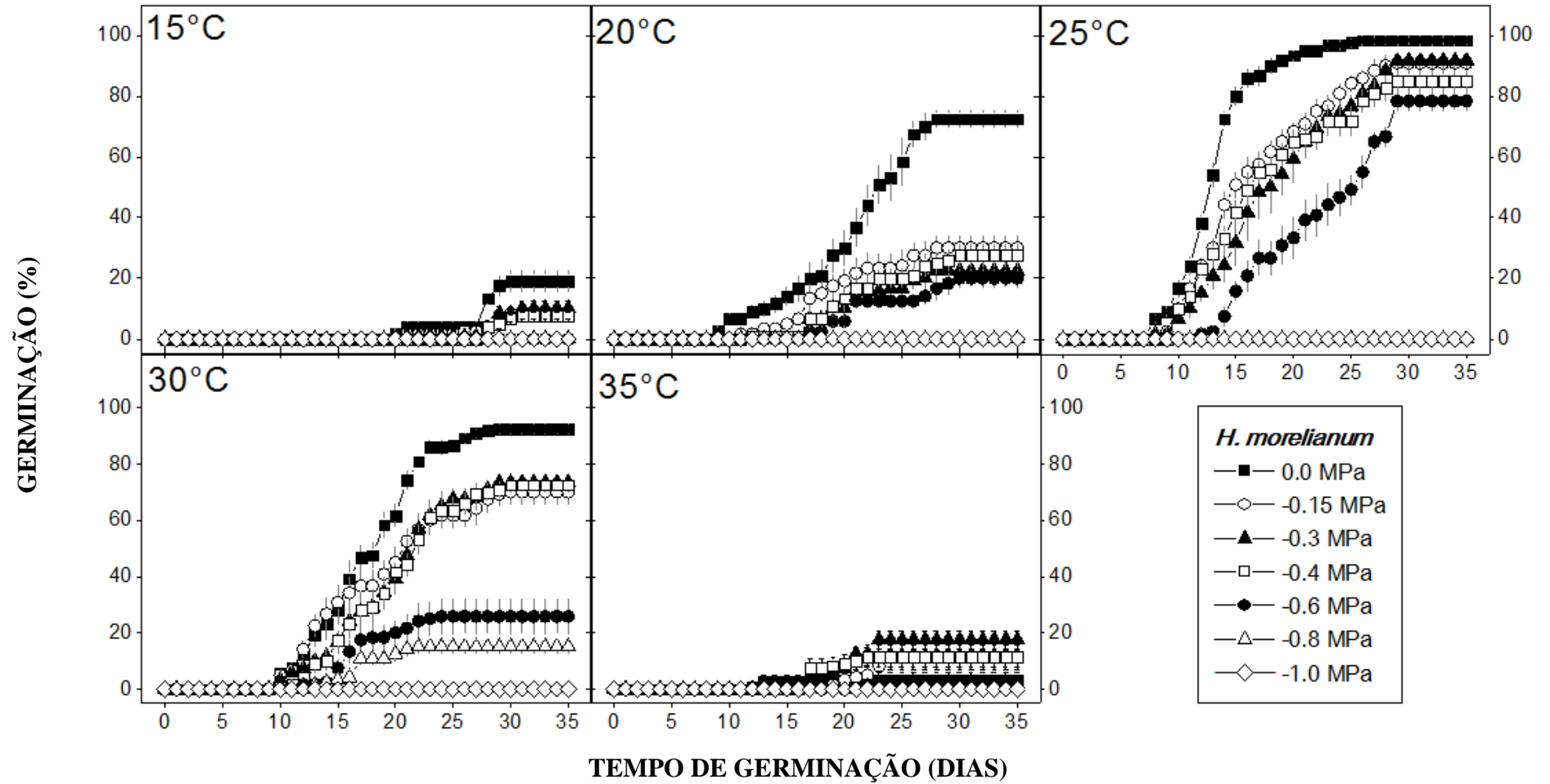
APÊNDICE F – Número de dias para atingir 50% da germinação total ($T_{50\%}$) nos tratamentos controle e choque térmico nas temperaturas de 80°C, 100°C e 120°C para 44 espécies coletadas nos campos de altitude do Planalato do Itatiaia. (conclusão)

Espécies	T_{50%} controle	T_{50%} 80°C	T_{50%} 100°C	T_{50%} 120°C
<i>Ph</i>	8,9	-	-	-
<i>Fc</i>	4,5	-	-	-
<i>Es</i>	13,7*	18,8	21,2	19,4
<i>Pl</i>	4,0*	3,5	3,4	7,8
<i>Rm</i>	14,0 ^A	31,3 ^B	45,0 ^B	-
<i>Cn</i>	24,1	-	-	-

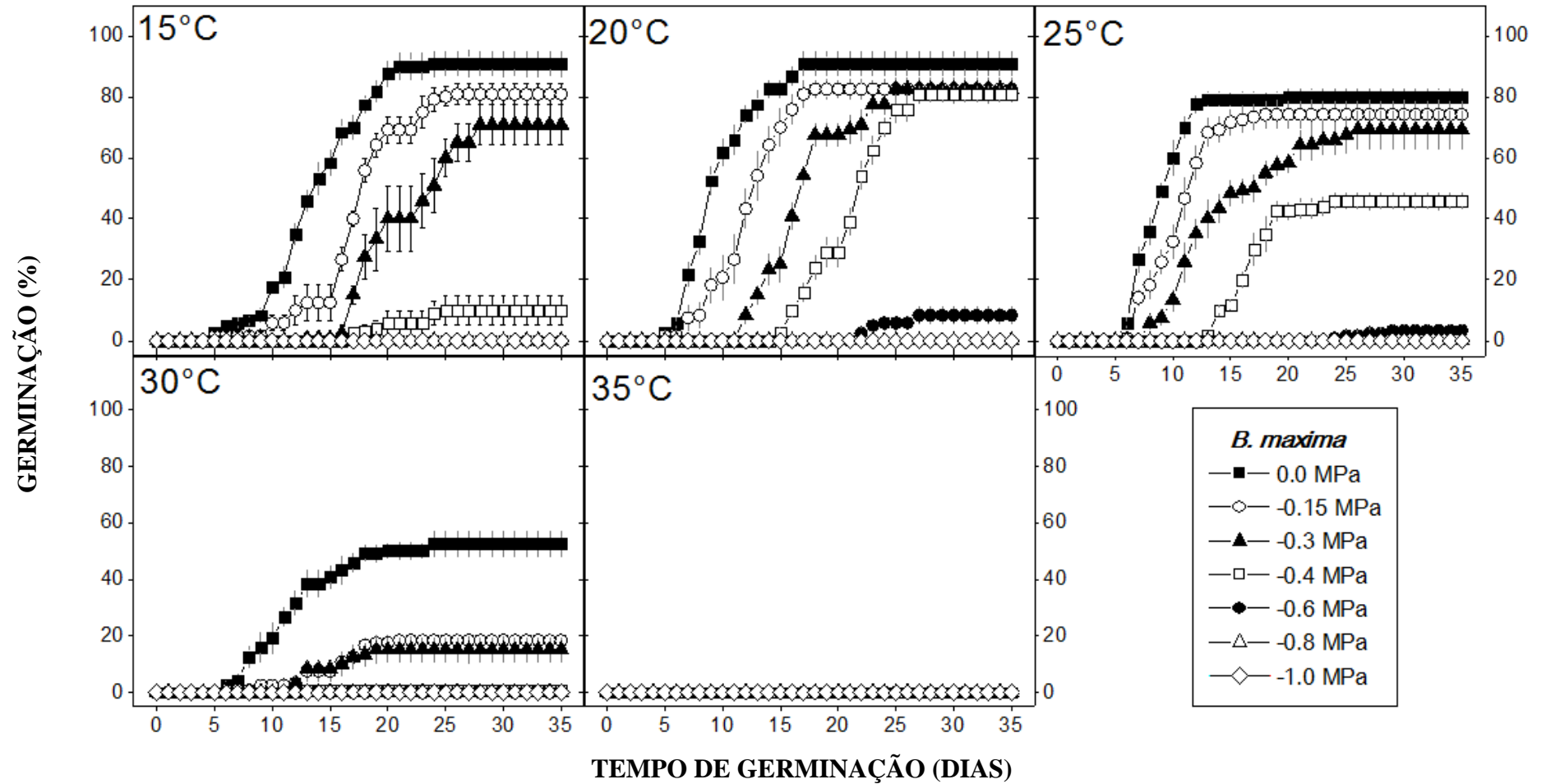
Legenda: Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferiram entre si estatisticamente pelo teste do GLM ($P < 0,05$).

*Não significativo entre o controle e os tratamento do choque térmico.

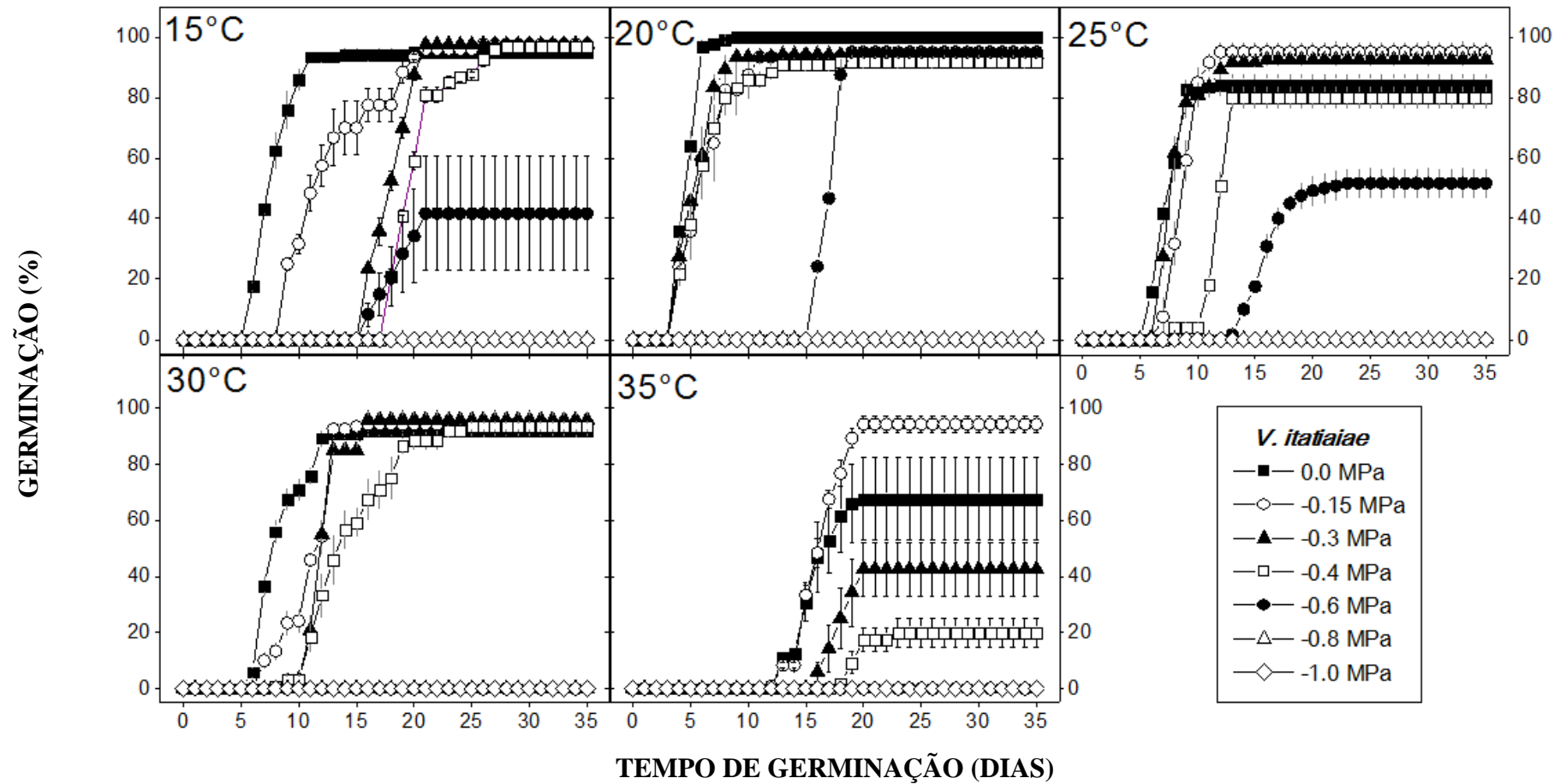
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia (continua).



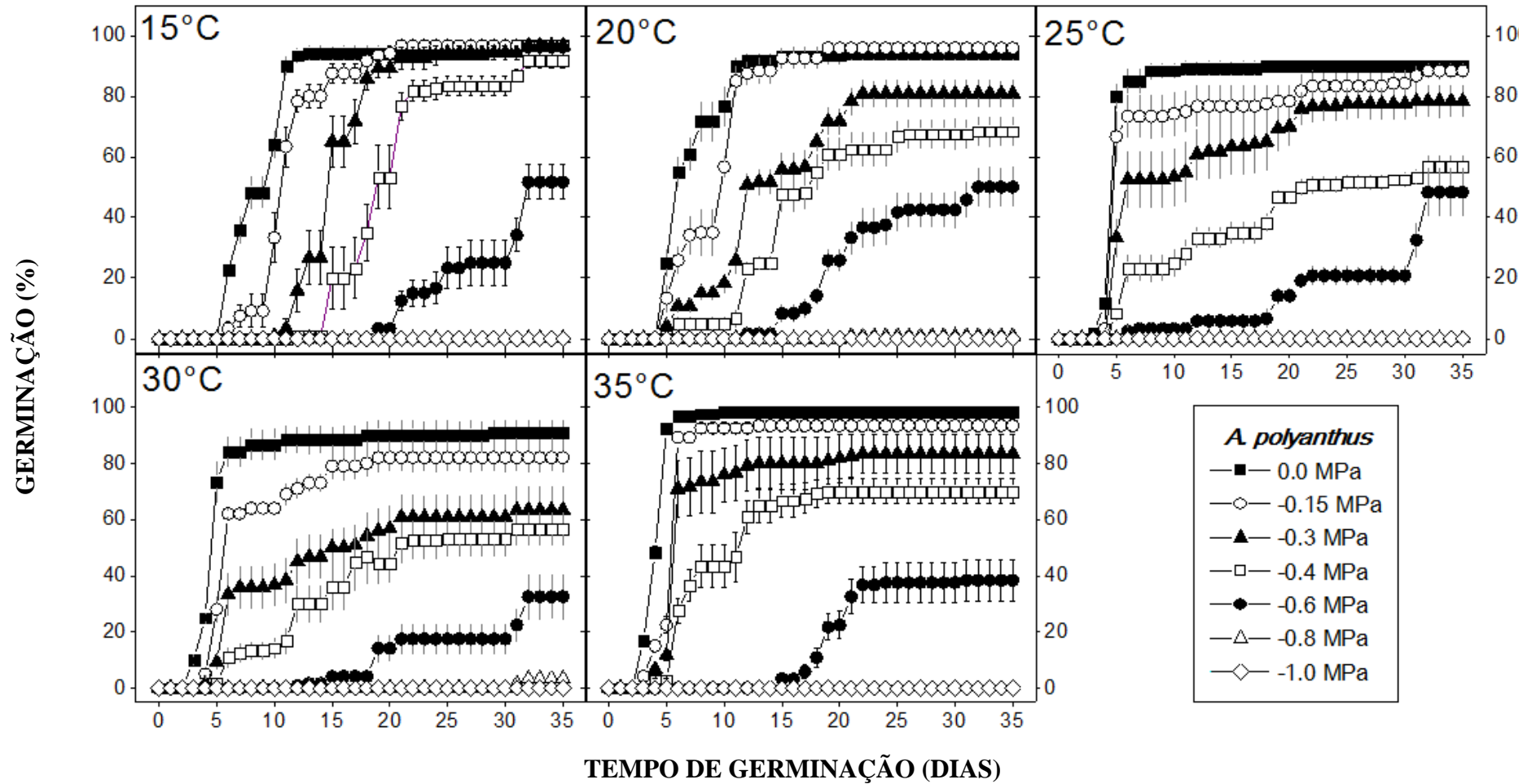
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalato do Itatiaia (continuação).



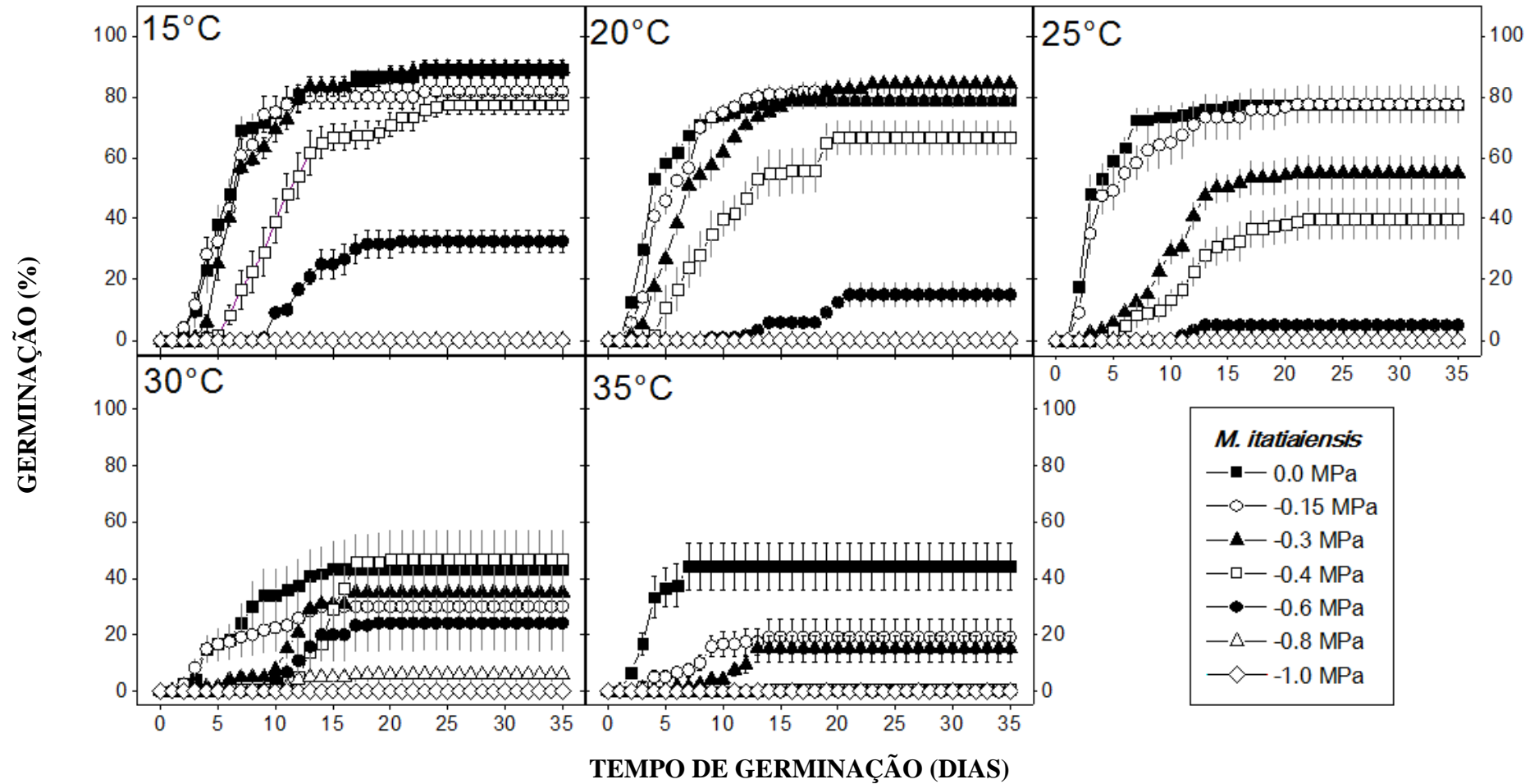
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalato do Itatiaia (continuação).



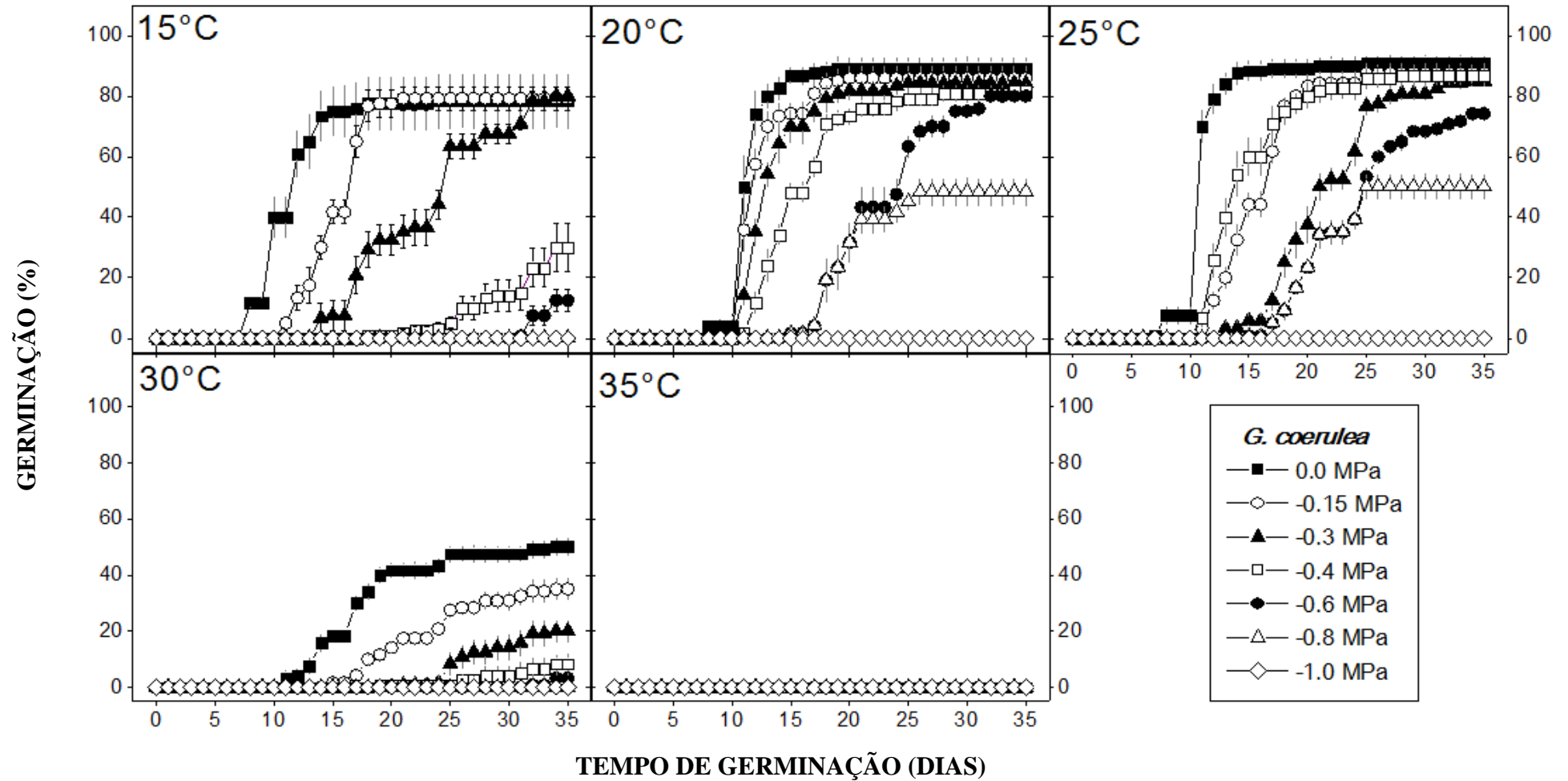
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalato do Itatiaia (continuação).



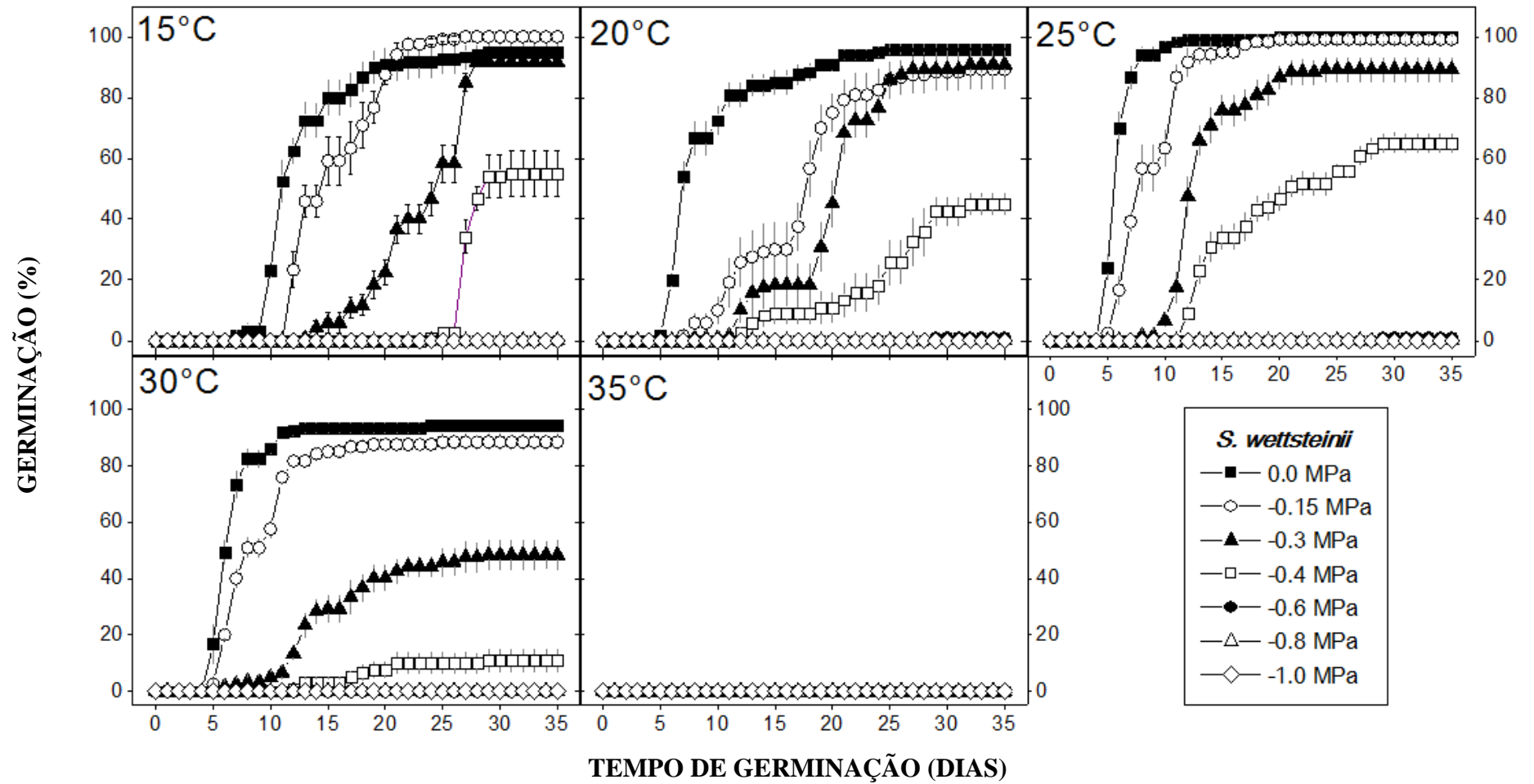
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia (continuação).



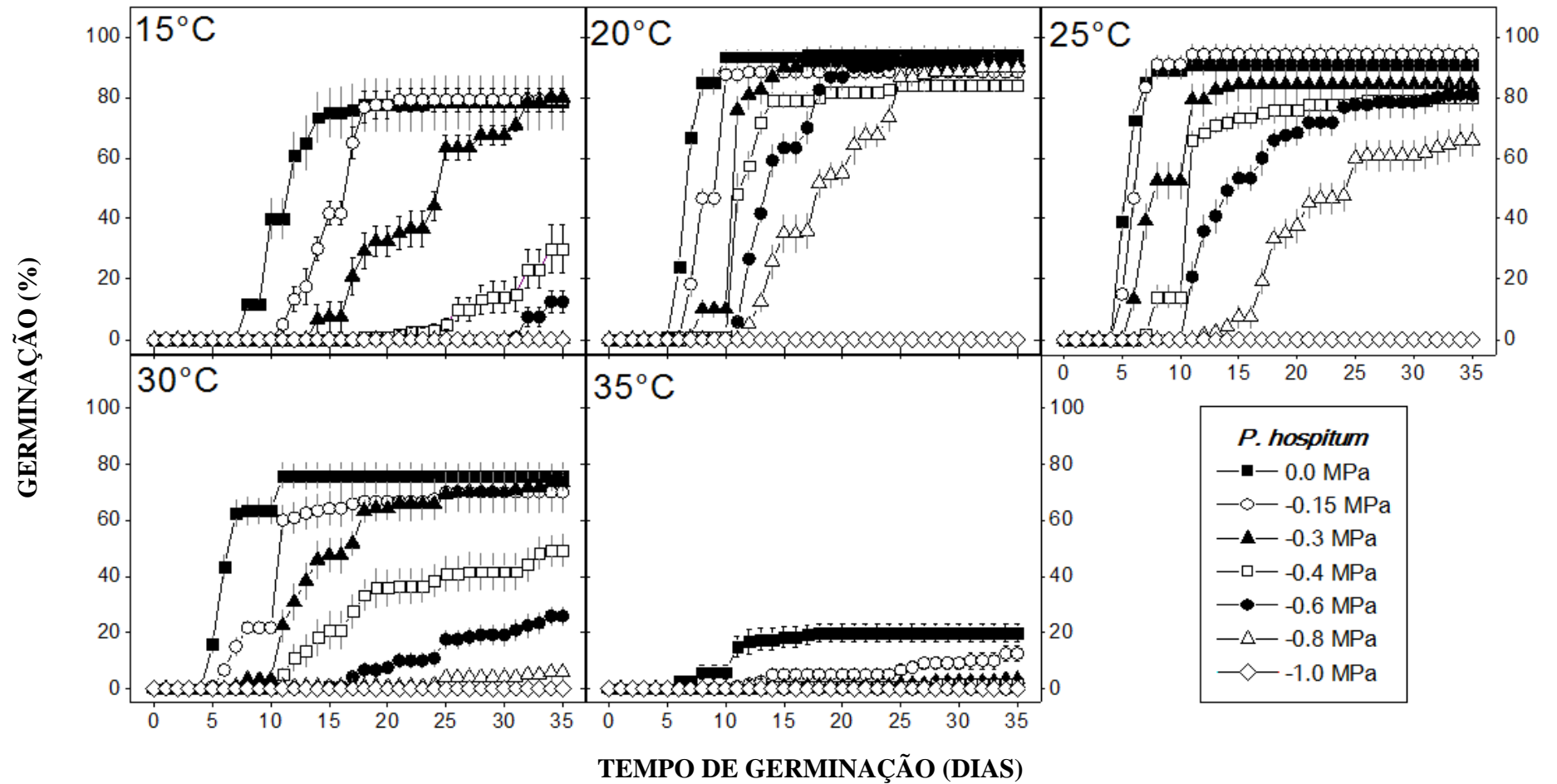
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia (continuação).



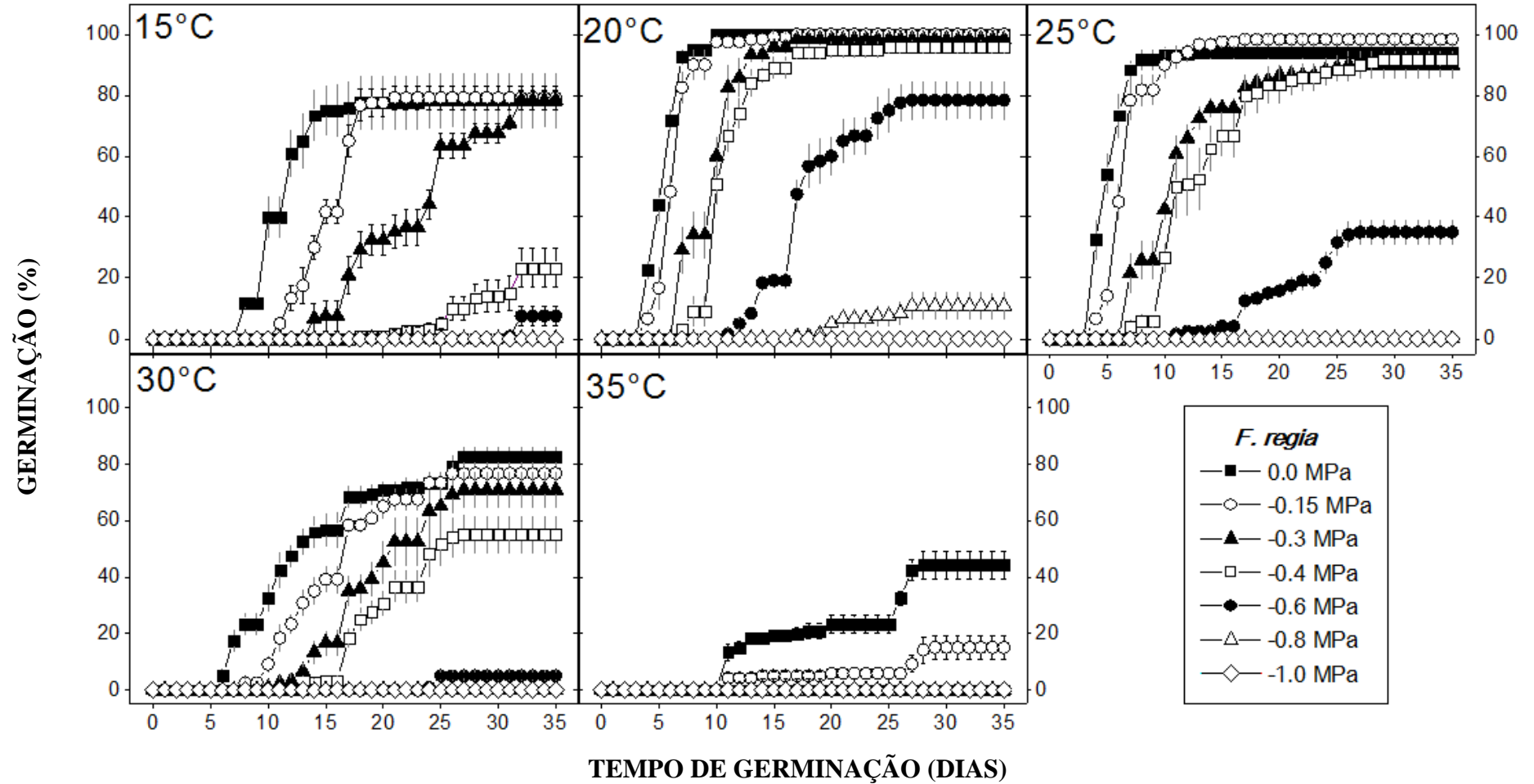
APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia (continuação).



APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia (continuação).



APÊNDICE G – Curva de germinação em dias dos sete potenciais hídricos em cinco temperaturas de dez espécies dos campos de altitude do Planalto do Itatiaia (continuação).



APÊNDICE H – Valores médios (%) de germinação (G), viabilidade (V), dormência (D) e tempo de germinação (T_{50%} - dias para atingir 50% da germinação final) de sementes armazenadas na temperatura de 10°C com umidade relativa (UR) de 5% e 85% após 12 (st12) e 30 (st30) meses de 47 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. (continua)

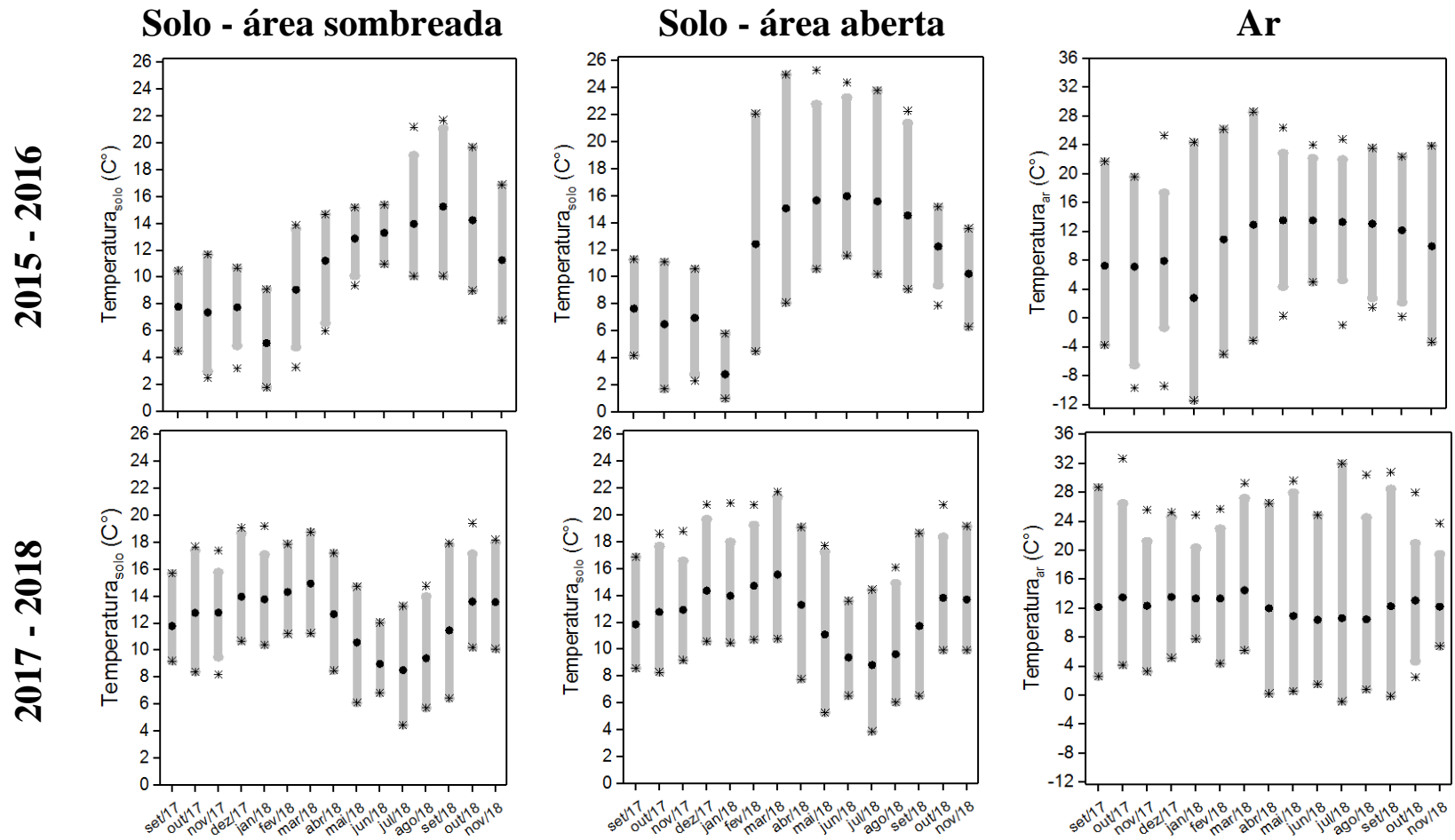
Espécies	UR 5%								UR 85%							
	Gst12	Vst12	Dst12	Tst50%12	Gst30	Vst30	Dst30	Tst50%30	Gst12	Vst12	Dst12	Tst50%12	Gst30	Vst30	Dst30	Tst50%30
<i>Al</i>	0,0	4,2	4,2	11,2	0,0	1,7	1,7	ng	0,0	2,0	2,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Hg</i>	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Eg</i>	35	54,2	19,2	18,4	2,5	55	52,5	16,9	0,0	2,0	2,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Vn</i>	58,3	58,3	0,0	23,4	34,2	40	5,8	6,3	0,0	35	35	ng	0,0	3,0	3,0	ng
<i>Bh</i>	66,7	66,7	0,0	9,2	65,8	66,7	0,8	8,3	0,0	49,2	49,2	ng	0,0	20	20	ng
<i>Bi</i>	0,0	55,8	55,8	ng	0,0	53,3	53,3	ng	0,0	5,0	5,0	ng	0,0	1,0	1,0	ng
<i>Gr</i>	59,2	65,8	6,7	6,6	46,7	56,7	10	6,8	0,0	3,0	3,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Gd</i>	66,7	70	3,3	10,5	93,8	93,8	0,0	8,9	0,0	3,0	3,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Pd</i>	88,3	88,3	0,0	5,4	100	100	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Sa</i>	90	90	0,0	7,2	88,3	88,3	0,0	6,9	0,0	2,0	2,0	ng	0,0	1,0	1,0	ng
<i>Sb</i>	92,5	92,5	0,0	6,9	100	100	0,0	8,2	0,0	22,5	22,5	ng	0,0	6,0	6,0	ng
<i>So</i>	96,7	96,7	0,0	7,3	57,5	63,3	5,8	6,4	35,8	58,3	22,5	6,9	0,0	26	26	ng
<i>Tg</i>	66,7	66,7	0,0	10,3	49,2	49,2	0,0	8,9	0,0	8,0	8,0	ng	0,0	2,0	2,0	ng
<i>Vg</i>	35,8	65,8	30	7,9	60,8	67,5	6,7	7,4	0,0	7,0	7,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Be</i>	0,0	30	30	ng	0,0	45,8	45,8	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Br</i>	0,0	3,3	3,3	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	14,2	14,2	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Vb</i>	100	100	0,0	5,6	70,8	70,8	0,0	4,9	0,0	46,7	46,7	ng	0,0	3,0	3,0	ng
<i>Vi</i>	100	100	0,0	4,7	0,0	2,5	2,5	ng	0,0	3,0	3,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Mb</i>	5,8	6,7	0,8	15,4	0,0	3,4	3,4	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Cs</i>	10,8	41,7	30,8	13,2	7,5	34,2	26,7	13,3	0,0	14,2	14,2	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Cb</i>	0,0	59,2	59,2	ng	0,0	65,8	65,8	ng	0,0	46,7	46,7	ng	0,0	18	18	ng
<i>Ah</i>	94,2	94,2	0,0	11,2	95,8	95,8	0,0	9,3	0,0	98,3	98,3	ng	0,0	8,0	8,0	ng
<i>Gs</i>	75	75,8	0,8	15,2	49,2	50,8	1,7	16,9	0,0	18,3	18,3	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Em</i>	0,8	3,3	2,5	17,5	17,5	66,7	49,2	18,6	1,0	9,0	8,0	19,4	0,0	0,0	0,0	ng

APÊNDICE H – Valores médios (%) de germinação (G), viabilidade (V), dormência (D) e tempo de germinação (T50% -- dias para atingir 50% da germinação final) de sementes armazenadas na temperatura de 10°C com umidade relativa (UR) de 5% e 85% após 12 (st12) e 30 (st30) meses de 47 espécies dos campos de altitude do Itatiaia. (conclusão)

Espécies	UR 5%								UR 85%							
	Gst12	Vst12	Dst12	Tst50%12	Gst30	Vst30	Dst30	Tst50%30	Gst12	Vst12	Dst12	Tst50%12	Gst30	Vst30	Dst30	Tst50%30
<i>El</i>	1,7	8,3	6,7	10,1	0,0	1,7	1,7	ng	1,0	8,0	7,0	7,6	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Lg</i>	7,5	67,5	60	4,2	11,7	60	48,3	3,9	22,5	63,3	40,8	4,2	13	25	12	4,3
<i>St</i>	45	60	15	17,5	0,0	45	45	ng	0,0	30	30	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Gc</i>	99,2	99,2	0,0	11,2	84,2	85	0,8	11,5	30,8	56,7	25,8	11,2	0,0	2,0	2,0	ng
<i>Sy</i>	95,8	95,8	0,0	7,9	85,8	88,3	2,5	6,9	0,0	40,8	40,8	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Sr</i>	96,7	96,7	0,0	6,2	95	95	0,0	7,9	0,8	37,5	36,7	4,2	0,0	2,0	2,0	ng
<i>Ls</i>	11,7	70	58,3	7,2	0,0	67,5	67,5	ng	2,5	35,8	33,3	7,1	0,0	2,0	2,0	ng
<i>Lu</i>	18,3	70,8	52,5	10,7	0,0	57,5	57,5	ng	0,8	35,8	35	12,4	0,0	18	18	ng
<i>Pe</i>	0,0	61,7	61,7	14,8	0,0	55,8	55,8	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Pf</i>	47,5	60,8	13,3	7,5	0,0	65	65	ng	0,0	37,5	37,5	ng	0,0	8,0	8,0	ng
<i>Ph</i>	84,2	88,3	4,2	9,8	86,7	87,5	0,8	9,7	5,8	51,7	45,8	8,5	0,0	1,0	1,0	ng
<i>Ti</i>	96,7	96,7	0,0	15,9	85	85	0,0	16,9	30,8	35,8	5,0	12,2	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Es</i>	47,5	47,5	0,0	16,7	0,0	40	40	ng	0,0	31,7	31,7	ng	0,0	10	10	ng
<i>Pl</i>	93,3	93,3	0,0	4,3	96,7	96,7	0,0	5,9	0,0	2,5	2,5	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Mg</i>	0,0	58,3	58,3	ng	0,0	61,7	61,7	ng	0,0	45,8	45,8	ng	0,0	3,0	3,0	ng
<i>Rm</i>	70,8	70,8	0,0	10,3	90,8	90,8	0,0	11,8	5,0	58,3	53,3	13,5	0,0	11	11	ng
<i>Cn</i>	64,2	74,2	10	16,4	70	75	5,0	13,9	0,0	30	30	ng	0,0	1,0	1,0	ng
<i>Ga</i>	69,2	69,2	0,0	13,9	39,2	61,7	22,5	11,5	0,0	47,5	47,5	ng	0,0	8,0	8,0	ng
<i>Bs</i>	18,3	35	16,7	11,8	94,2	95	0,8	11,7	0,0	23,3	23,3	ng	0,0	2,0	2,0	ng
<i>Bu</i>	95,8	95,8	0,0	10,9	19,2	34,2	15	10,4	0,0	25	25	ng	0,0	0,0	0,0	ng
<i>Db</i>	0,0	52,5	52,5	ng	0,0	0,0	0,0	ng	0,0	20	20	ng	0,0	2,0	2,0	ng
<i>Xs</i>	97,5	97,5	0,0	9,2	100	100	0,0	10	0,8	40	39,2	12,4	0,0	8,0	8,0	ng

Legenda: *ng – sementes não germinadas

APÊNDICE I – Medições da temperatura do ar, e do solo em uma área aberta e uma sombreada e temperatura do em dois períodos distintos (2015/2016 – 2017/2018) nos campos de altitude do Itatiaia.



Legenda: As amplitudes térmicas e de umidade são representadas pela barra cinza, a média mensal pelo círculo fechado, e as temperaturas e umidades máximas e mínimas pelos asteriscos.