



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

ATRIBUTOS DE SEMENTES DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
DO CERRADO *SENSU STRICTO* E SUAS IMPLICAÇÕES NA  
RESTAURAÇÃO EM UM CLIMA EM MUDANÇAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Botânica da Universidade de Brasília como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção do Título  
de Doutor em Botânica.

José Nicola Martorano Neves da Costa  
Orientador: Prof. Dr. Fabian Borghetti

Brasília, agosto de 2019.

Atributos de sementes de espécies arbóreas do cerrado *sensu stricto* e suas implicações na restauração em um clima em mudanças

Banca examinadora

---

Dr. Fabian Borghetti  
Universidade de Brasília - Departamento de Botânica

---

Dra. Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz  
Universidade de Brasília – Departamento de Botânica

---

Dra. Patrícia Carla de Oliveira  
Universidade Federal de Mato Grosso – Departamento de Botânica e Ecologia

---

Dr. José Felipe Ribeiro  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados

---

Dr. Daniel Luis Mascia Viera  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia



**Benedito Nunes**

*A ciência pode classificar  
e nomear os órgãos de um sabiá  
mas não pode medir seus encantos.*

*A ciência não pode calcular  
quantos cavalos de força existem  
nos encantos de um sabiá.*

*Quem acumula muita informação  
perde o condão de adivinhar: divinare.*

*Os sabiás divinam.*

**Manoel de Barros**

## AGRADECIMENTOS

Ufa! Acho que está acabando! Mais um ciclo se fechando.

Retornar após 10 anos à universidade e ao ensino formal não foi tarefa tão fácil como imaginei. Mas por sorte ou algo do destino encontrei pessoas que muito me apoiaram e ajudaram nesses anos. O agradecimento traz à lembrança dos momentos passados na confecção desse trabalho e por que “topei” fazê-lo.

Primeiro gostaria de agradecer ao professor **Fabian Borghetti** por ter me aceitado como orientado e disponibilizado recursos e estrutura para a realização da pesquisa. Nesse sentido também agradeço a **FAPDF**, que por meio do projeto “*Mudanças climáticas e seus impactos na sobrevivência e germinação de sementes de espécies savânicas do território brasileiro*” disponibilizou recursos para os trabalhos de campo, ao **Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação** da Universidade de Brasília que por meio do edital nº 02/2016 disponibilizou recursos para aquisição de materiais de laboratório e à **CAPES** pela bolsa concedida para a realização do doutorado.

Por coincidências ou não vim parar na Unb e no laboratório da Termobiologia, pois estava procurando um local que estudasse as sementes com um olhar mais ecológico do que técnico, como estava acostumado a vivenciar. Depois de alguns meses na Termobiologia descubro que esse foi o laboratório do pesquisador Luiz Labouriau que escreveu o texto “*O interesse do estudo das sementes*”, que tanto utilizava nas minhas apresentações para falar da história das sementes e os mares que elas já atravessaram.

Inicialmente pensei e escrevi um projeto, que acabou se transformando em outro. Bom, independente, o novo projeto teria que ser executado. Projeto no papel, agora vamos começar a colocar a mão na massa. Primeiro escolher as áreas de coleta. Aqui quero agradecer a **Thaise** da Embrapa Cerrados, que me disponibilizou as informações de pluviosidade, temperatura e veranicos dos últimos 40 anos no Cerrado.

Inicialmente selecionamos três regiões de transição para coleta: Cerrado com Mata Atlântica, Cerrado com Amazônia e Cerrado com Caatinga. Próximo passo é pedir licença de coleta. Tirei a nacional, mas como ela não vale para parques estaduais, vamos lá pedir para os parques estaduais ocasionando maior demora e, enquanto isso, as sementes iam dispersando. No final, coletei em duas regiões, afinal a “perna” não é tão grande assim. Uma das regiões de coleta foi o Norte de Minas Gerais, única “fronteira” do Cerrado que não conhecia: a “fronteira” com a Caatinga. Aqui quero agradecer as

peessoas do Laboratório de Ecologia Vegetal da Unimontes em Montes Claros - MG, meu ponto de apoio naquela região. A **Adriana** e as professoras **Yule Roberta** e **Maria das Dores** que me receberam e mostraram diversas áreas no entorno de Montes Claros e na APA do Rio Pandeiros. Ao **Odilei** que me ajudou nas coletas de sementes nas áreas de Montes Claros e ao **Gilberto** do Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas. Um pouco mais ao Norte, em Monte Azul, agradeço ao gerente, técnicos e brigadistas do Parque Estadual Caminho dos Gerais, por me darem todo o suporte de campo nas coletas no Parque: **Alessandre, Magal, Ismael, Feliciano e Roni**.

A outra região de coleta foi o Nordeste do Mato Grosso, local que morei por algum tempo. Aqui agradeço ao **Murilo, Adryan e Carol** por me acolherem nas suas casas em Nova Xavantina e pelas prosas e, aos coletores de sementes **Santino, Luzia, Vera e Vilmar** por me ajudarem no trabalho com a coleta e beneficiamento das sementes. Um pouco mais ao Norte, quase na divisa com o Pará, agradeço à **Claudinha** por disponibilizar sua casa e emprestar a bicicleta para ir a área de coleta e ao **Valdo** por me receber e permitir a coleta na área da Associação Terra Viva.

Sementes na mão e agora começam as análises de laboratório. Mas, primeiramente, conseguir um lugar para armazená-las, e aqui agradeço à professora **Ana Dionísia** e à **Helena** por disponibilizarem parte da câmara de armazenamento para as minhas “filhas”. Agradeço aos professores, **Flávio Gandara** do Laboratório de Agroecologia e Ecologia Vegetal da ESALQ e **Fátima Piña Rodrigues** do Laboratório de Sementes e Mudas da UFSCar Sorocaba, por abrirem as portas de seus laboratórios para a realização das análises e mostrarem que a universidade e seus laboratórios são para todos usarem, mas claro com alguns combinados. À técnica **Elza Ferraz** pela paciência para ensinar a rotina do laboratório, pelas prosas, receitas e por cuidar das minhas “filhas” quando precisei viajar para fazer coletas e participar de congressos. Ao **Frederico** (Soca) pelas fotos das sementes. À **Ana** por ajudar no início do trabalho. E um agradecimento especial à **Mirian** por me ajudar no laboratório e deixar as sementes sempre quentinhas, as vezes, até demais, 45 °C quem resiste?

Como sempre, começam os “probleminhas” na pesquisa. Fungos meus amigos, fungos. Tão importantes, mas para sementes não são tão legais assim. Obrigado à professora **Maria Heloisa** (Hêlo) pela ajuda na identificação dos fungos e nos testes para o controle e interferência na germinação. Uma pesquisa dentro da pesquisa. Agradeço a professora **Sandra Carmello-Guerreiro** que junto com seus alunos me ensinaram a

analisar o tegumento das sementes: preparar o material, realizar os cortes e medir. Mas, por falta de “pernas”, não consegui realizar as análises e inserir na pesquisa.

Com a vivência nesses laboratórios e a participação em congressos, encontros e seminários foi possível perceber as diferenças de olhar as sementes de forma mais tecnológica, ou de uma forma mais ecológica, e concluir que o conhecimento sobre sementes não agrícolas é grande no Brasil, mas está fragmentado, e está na hora de organizar um encontro nacional apenas sobre sementes não agrícolas.

Agora sim, quase quatro anos depois, dados coletados e na mão. Vamos às análises. Agora temos o R, que tudo faz e tudo pode. Mas primeiro precisamos decidir como analisaremos: com a visão frequentista da estatística ou com a base em modelos e na verossimilhança. Mesmo você pensando, antecipadamente, as análises que responderiam sua pergunta, sempre surge aquele probleminha. Aqui agradeço a todos que ajudaram direta ou indiretamente (por pitacos e conversas filosóficas e de direcionamento): **Tadeu Siqueira, Marcus Cianciaruso, Eduardo Moribe, Diego Sotto, Natashi Pilon, Natalia Guerin, André Teixeira e Rafaela Naves**. Agradeço também a **Rosane Covellati e Cibele Silva** pelas análises filogenéticas, que não estão neste documento mas farão parte das futuras publicações.

Depois dos “loops” estatísticos, agora tá fácil, dados analisados e vamos escrever. Obrigado **aos músicos desse mundão** que embalaram esse momento e tornaram a escrita algo mais agradável. Afinal, como dizem, a arte existe para que a realidade não nos destrua e para conseguir olhar para uma coisa e encontrar outra. Agradeço a **Carolina Pedrotti** pela elaboração dos mapas e as primeiras revisoras dos textos: **Maria Teresa (Maitê) e Natalia**.

Agradeço aos professores que aceitaram participar das bancas de projeto, qualificação e agora de defesa, pelas sugestões e questionamentos: **Felipe Ribeiro, Augusto Cesar, Eduardo Mori, José Roberto, Isabel Belloni, Patrícia Carla e Cássia Munhoz**.

Por último, mas não menos importante, pelo contrário, às pessoas que faziam parte da sua vida, continuaram e apoiaram esse momento e independentemente do que acontecer continuarão na minha vida. Ao meu primo **Juliano** (Juquinha) por me receber em Brasília e me apresentar alguns pontos pitorescos da cidade. Nesses anos passamos por muitas aventuras e crises e tivemos muitas prosas. Depois desses anos, eu fiz essa pesquisa e ele colocou no mundo junto com a Anoushe, a gatinha da Manuela. Aproveito e agradeço também as pessoas que junto com o Juliano tornaram a estadia em Brasília

mais agradável: **Anoushe, Tariana, Elisa**, e muitos outros que conheci nas andanças por Brasília. Agora vamos ver o que a vida tem a nos proporcionar.

E, finalizando as mulheres da minha vida: **Fábia e Natalia**. Independentemente das minhas escolhas sempre me apoiaram e no “jeitinho” delas me deram forças nos momentos em que pensei largar tudo e “chutar o pau da barraca”. À Natalia, principalmente, por segurar os momentos de crises e pelos “pedala Robinho” carinhosos que me colocaram no prumo. Às vezes um pouco de energia não faz mal a ninguém.

E SEGUE O BAILE .....

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS.....	14
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
REFERÊNCIAS .....	26
<b>1.ATRIBUTOS GERMINATIVOS DE SEMENTES: IMPLICAÇÕES PARA A RESTAURAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO EM UM CLIMA EM MUDANÇA.....</b>	<b>31</b>
1.1INTRODUÇÃO .....	31
1.2 OBEJETIVO GERAL .....	34
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
1.4 RESULTADOS.....	47
1.5 DISCUSSÃO .....	65
1.6 CONCLUSÕES .....	69
1.7 REFERÊNCIAS .....	70
<b>2.ATRIBUTOS DE SEMENTES ARBÓREAS DE CERRADO <i>SENSU STRICTO</i> EM REGIÕES COM DIFERENTES INTENSIDADES DE PLUVIOSIDADE .....</b>	<b>78</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	78
2.2 OBJETIVO GERAL .....	83
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	84
2.4 RESULTADOS.....	93
2.5 DISCUSSÃO .....	102
2.6 CONCLUSÃO .....	107
2.7 REFERÊNCIAS .....	108



## RESUMO

### **Atributos de sementes de espécies arbóreas do cerrado *sensu stricto* e suas implicações na restauração em um clima em mudanças**

Para superar filtros abióticos e bióticos, as espécies desenvolveram ao longo do tempo diferentes estratégias que se expressam nas características morfofisiológicas de suas sementes. Os atributos das sementes desempenham um importante papel, porque determinam a capacidade das plantas em dispersar e se estabelecer, e podem ser divididos em três categorias: morfológico, biofísico e germinativo. Identificar os atributos que estão relacionados ao nicho de germinação, superação de filtros ambientais e co-existência das espécies é de extrema importância para explicar a construção de comunidades vegetais. Além disso, os atributos são respostas dos indivíduos aos filtros ecológicos, que podem apresentar variabilidade conespecíficas ainda pouco conhecidas. Existem evidências de que os atributos de germinação e pós-germinação estão positivamente associados, e que a temperatura e o potencial hídrico são os principais fatores que controlam a germinação e afetam tanto a germinabilidade como a velocidade e tempo médio de germinação das espécies. Para auxiliar a seleção de propágulos para a restauração, e a previsão de como as mudanças climáticas poderão afetar a distribuição de espécies, a partir de atributos das sementes, procuramos compreender as interações entre os atributos das sementes e como eles estão correlacionados às condições ambientais distintas. Para isso, coletamos propágulos de 20 espécies arbóreas de cerrado *sensu stricto* de duas regiões de Cerrado: Norte de Minas Gerais (cerrado seco) e Nordeste de Mato Grosso (cerrado úmido). Avaliamos a germinabilidade das sementes em relação à temperatura (25, 30, 35, 40 e 45°C), disponibilidade de água (0,0, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa) e dessecação a 5%. No capítulo 1, avaliamos os atributos coespecificamente para identificar quais atributos estão relacionados ao local de origem das sementes. No capítulo 2, avaliamos como as interações entre os atributos das sementes interferem na germinabilidade frente a condições ambientais extremas. Os atributos germinativos foram os que mais diferenciaram o cerrado úmido do cerrado seco, sendo que a maior germinabilidade foi encontrada no cerrado seco. Sementes mais pesadas com germinação lenta germinaram mais em temperaturas mais elevadas e em condições mais secas. Sementes mais úmidas germinaram menos em condições mais secas. Sementes do cerrado úmido, com maior teor de umidade e que germinam rápido, foram capazes de germinar em condições mais secas. Sementes mais pesadas foram mais resistentes à dessecação, quando provenientes de locais mais secos. Por outro lado, o aumento do teor de umidade da semente rompeu a resistência à dessecação para sementes de locais mais úmidos. Este estudo mostrou que os atributos das sementes podem ser utilizados para a seleção de regiões para a coleta de propágulos mais adaptados a altas temperaturas, menor disponibilidade de água e maior dessecação, frente às projeções de mudanças do clima em nível regional. Nossos resultados apontam para a necessidade de um zoneamento climático que considere os atributos das sementes para a seleção de propágulos voltados para a restauração e conservação.

Palavras chaves: germinação; temperatura; potencial osmótico; cerrado; filtros abióticos; velocidade média de germinação; umidade inicial de sementes.

## ABSTRACT

Through time, species developed different strategies that are manifested in the morphological and physiological seeds traits, aiming at overcome abiotic and biotic filters. Seeds traits play an important role, since they define plants ability to disperse and establish, and can be divided in three categories: morphological, biophysical and germinative. Identify which traits are related to germination niche, overcoming environmental filters and species coexistence is vital to understand vegetation communities assembly. In addition, traits are individual responses to ecological filters that can present co-specific variability, that are still scarcely known. There are some evidences that germination and postgermination traits are positively associated, and that temperature and water potential are the main factors regulating germination and affecting both germinability, germination rate and germination time of seeds. Aiming at assisting the propagules selection for restoration purposes and conservation, and the predictions of how climate change may affect species distribution, throughout seeds traits, we assessed the interactions between traits and how they relate to different environmental conditions. We collected propagules of 20 woody species of the cerrado *sensu stricto*, from two Cerrado (Brazilian Savanna) regions: North of Minas Gerais (dry cerrado) and Northeast of Mato Grosso (wet cerrado). We evaluated seeds germinability in different temperatures (25, 30, 35, 40 e 45°C), water potential (0.0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 e -1.0 MPa) and desiccation at 5%. In chapter 1, we assessed seeds traits in terms of co-specificity, aiming at identifying which traits are related with seeds source. In chapter 2, we assessed how interactions between seeds traits can intervene in germinability responses to extreme environmental conditions. Germination traits distinguished the wet cerrado from the dry cerrado, and higher germinability was recorded on seeds from the dry cerrado. Heavier seeds with slow germination rates responded better in higher temperatures and dryer conditions. Seeds with higher moisture germinated less in dry conditions. Seeds from wet cerrado, with higher moisture content and fast germination rates, were able to overcome dry conditions. Heavier seeds from dry cerrado were more tolerant to desiccation. However, with the increase of seed water content, desiccation tolerance was breached in seeds from wet cerrado. This study showed that seeds traits can be used to guide the selection of regions for collections of seeds are more adapted to higher temperatures, lower water availability and greater desiccation tolerance, considering the predictions for regional climate change. Our findings indicate the urge of a climate zoning that consider seeds traits for the propagule's selection for restoration and conservation purposes.

Keywords: germination, temperatures, water potential, savanna, abiotic filters, velocity of germination, humid seeds.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Fases e componentes da dispersão das espécies. A fase 1 encontra-se marcada em cinza claro. O momento da germinação encontra-se em destaque pontilhado. Adaptado de Shupp et al.(2010) e Chambers e Macmahon (1994)..... 17
- Figura 2: Mapa da precipitação média anual dos últimos 40 anos no Domínio do Cerrado e localização das regiões de origem das populações estudadas na pesquisa (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016)..... 25
- Figura 1.1: Áreas de coletas e precipitação média anual dos últimos 40 anos na região do norte de Minas Gerais (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016)..... 36
- Figura 1.2: Climatograma do município de Monte Azul – MG. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)). ..... 37
- Figura 1.3: Climatograma do município de Montes Claros – MG. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)). ..... 37
- Figura 1.4: Municípios onde estão localizadas as áreas de coleta e precipitação média anual dos últimos 40 anos na região nordeste de Mato Grosso (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016). ..... 39
- Figura 1.5: Climatograma do município de Nova Xavantina – MT. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)). ..... 40
- Figura 1.6: Climatograma do município de Nova Xavantina – MT. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) ..... 40
- Figura 1.7: Média e desvio padrão do potencial hídrico do solo no cerrado úmido para as três profundidades e horários avaliados no estudo ..... 47
- Figura 1.8: Média e desvio padrão do potencial hídrico do solo no cerrado seco para três profundidades e horários avaliados no estudo..... 48
- Figura 1.9: Temperaturas média, máxima e mínima mensais do solo em três profundidades avaliadas na no cerrado seco (Norte de Minas Gerais)..... 49
- Figura 1.10: Temperaturas média, máxima e mínima mensais do solo nas duas profundidades avaliadas no cerrado úmido (Nordeste de Mato Grosso)..... 49
- Figura 1.11: Boxplot do peso seco de sementes de pares coespecíficos. O box é delimitado pelo primeiro e terceiro quartis, a linha no interior representa a mediana, a linha representa a dispersão dos dados e as letras diferentes representam diferenças significativas entre as populações ( $p < 0,05$ ). cer\_sec – cerrado seco e cer\_umi – cerrado úmido. .... 50
- Figura 1.12: Germinabilidade de sementes de espécies colhidas nas diferentes regiões sob potenciais osmóticos mais negativos (MPa). Espécies: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaiifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriacea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran – *Qualea grandiflora*; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido..... 54
- Figura 1.13: Germinabilidade e T50 das sementes das espécies das diferentes regiões e temperaturas. Espécies: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaiifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriacea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia*

<i>reticulata</i> e Qua_gran – <i>Qualea grandiflora</i> ; Local: cer_sec: cerrado seco, cer_umi: cerrado úmido. ....	59
Figura 1.14 :Tempo médio de germinação em horas (h) + desvio padrão das espécies e suas populações a 30°C. Espécie: Bow_virg - <i>Bowdichia virgilioide</i> , Cop_lang - <i>Copaifera langsdorffii</i> , Him_obov - <i>Himatanthus obovatus</i> , Hym_stig - <i>Hymenaea stigonocarpa</i> , Kie_cori - <i>Kielmeyera coriacea</i> , Mag_pube - <i>Magonia pubescens</i> , Pla_reti - <i>Plathymenia reticulata</i> e Qua_gran – <i>Qualea grandiflora</i> ; Local: cer_sec: cerrado seco e cer_umi: cerrado úmido. ....	62
Figura 1.15: Tempo médio de germinação em horas (h) + desvio padrão das espécies e suas populações a 30°C. Espécie: Bow_virg - <i>Bowdichia virgilioide</i> , Cop_lang - <i>Copaifera langsdorffii</i> , Him_obov - <i>Himatanthus obovatus</i> , Hym_stig - <i>Hymenaea stigonocarpa</i> , Kie_cori - <i>Kielmeyera coriacea</i> , Mag_pube - <i>Magonia pubescens</i> , Pla_reti - <i>Plathymenia reticulata</i> e Qua_gran – <i>Qualea grandiflora</i> ; Local: cer_sec: cerrado seco e cer_umi: cerrado úmido. ....	63
Figura 1.16: Número de espécies e suas respostas as categorias e atributos no cerrado úmido e cerrado seco. Um aumento do número de espécies (sobre a linha) foi representado pela cor preta, uma diminuição (abaixo da linha) foi representado pela cor cinza escuro e uma igualdade ou não mudança (sobre a linha) foi representada pela cor cinza claro. Tp- temperatura, Po – potencial osmótico, Tm- tempo médio de germinação, Vm – velocidade média de germinação, D5% - sementes sofreram dessecação a 5% de umidade, Uin- umidade inicial e Psec- massa seca. ....	64
Figura 2.1: Mapa da pluviosidade média anual dos últimos 40 anos no Domínio do Cerrado e localização das regiões das áreas de coleta (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016). ....	85
Figura 2.2: Climatograma do município de Monte Azul – MG. (Fonte: INMET, disponível em: <a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a> ). ....	86
Figura 2.3: Climatograma do município de Montes Claros – MG. (Fonte: INMET, disponível em: <a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a> ) ....	86
Figura 2.4: Climatograma do município de Nova Xavantina – MT. (Fonte: INMET, disponível em: <a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a> ). ....	87
Figura 2.5: Climatograma do município de Porto Alegre do Norte – MT. (Fonte: INMET, disponível em: <a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a> ) ....	88
Figura 2.6: Gráfico da probabilidade de germinação, utilizando distribuição binomial, em diferentes temperaturas e locais de origem. As linhas azul e vermelha indicam a probabilidade de germinação, as cores no entorno da linha central é o intervalo de confiança e os pontos na parte inferior e superior são os resíduos parciais. local – cer_sec: cerrado seco, cer_umi: cerrado úmido. ....	94
Figura 2.7: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a 40°C em relação às interações do modelo ajustado entre a umidade inicial e local. local: cer_sec – cerrado seco. cer_umi – cerrado úmido. ....	95
Figura 2.8: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a 40°C em relação às interações entre velocidade média de germinação com a umidade inicial e o peso da semente. ....	95
Figura 2.9: Gráfico da probabilidade de germinação, utilizando distribuição binomial, em diferentes potenciais osmóticos e locais de origem. As linhas azul e vermelha indicam a	

probabilidade de germinação, a cor no entorno da linha central é o intervalo de confiança e os pontos na parte inferior e superior são os resíduos parciais. local – cer_sec: cerrado seco, cer_umi: cerrado úmido.....	96
Figura 2.10: Gráficos da probabilidade de germinação em relação a umidade inicial das sementes nos potenciais osmótico de -0,4 e 0,6 MPa. local: cer_sec – cerrado seco. cer_umi – cerrado úmido.....	98
Figura 2.11: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a -0,6 MPa em relação as interações entre velocidade média de germinação e umidade inicial da semente com os locais de origem. local: cer_sec – cerrado seco. cer_umi – cerrado úmido. ....	98
Figura 2.12: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a -0,6 MPa em relação as interações entre velocidade média de germinação com a umidade inicial e o peso da semente. ....	99
Figura 2.13: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a -0,4 MPa em relação as interações entre velocidade média de germinação e peso da semente com os locais de origem. local: cer_sec – cerrado seco. cer_umi – cerrado úmido.....	99
Figura 2.14: Gráfico da probabilidade de germinação, utilizando distribuição binomial, de sementes que sofreram ou não dessecação e locais de origem. As linhas azul e vermelha indicam a probabilidade de germinação, a cor no entorno da linha central é o intervalo de confiança e os pontos na parte inferior e superior são os resíduos parciais. local – cer_sec: cerrado seco, cer_umi: cerrado úmido.....	100
Figura 2.15: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes após dessecação até 5% de umidade em relação as interações entre umidade inicial e peso da semente com os locais de origem. local: cer_sec – cerrado seco. cer_umi – cerrado úmido. ....	101

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.1: Lista das espécies coletadas para realização do estudo, Cod: código das espécies, síndrome e época de dispersão e tipo de dormência (Sd – sem dormência, Fi – dormência física). ..... 42
- Tabela 1.2: Atributos das sementes, processos ecológicos relacionados e sua significância funcional (adaptado de JIMÉNEZ-ALFARO *et al.*, 2016; SAATKAMP *et al.*, 2019). 42
- Tabela 1.3: Umidade inicial, germinabilidade, tempo médio de germinação + desvio padrão e T50 com umidade inicial (controle) e após o tratamento de dessecação a 5% (5% de umidade). Espécie: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriácea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran – *Qualea grandiflora*; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido; G: germinabilidade e TMG: tempo médio de germinação. As letras diferentes representam diferenças significativas entre as populações ( $p < 0,05$ ) para a umidade inicial e \* indica que as sementes foram escarificadas. .... 51
- Tabela 1.4: Resultados da comparação de modelos através do critério de informação de Akaike para dessecação das sementes a 5% de umidade. Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3- (germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4- (germinabilidade~tratamento\*região de coleta). As linhas em negrito são dos modelos selecionados. .... 52
- Tabela 1.5: Germinabilidade (%) e tempo médio de germinação (h) + desvio padrão e T50 em diferentes potenciais osmóticos. Espécies Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriácea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran – *Qualea grandiflora* ; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido..... 56
- Tabela 1.6: Resultados da comparação de modelos através do critério de informação de Akaike para a germinação nos diferentes potenciais osmóticos. Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3- (germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4- (germinabilidade~tratamento\*região de coleta). As linhas em negrito são dos modelos selecionados. .... 57
- Tabela 1.7: Germinabilidade (%) e tempo médio de germinação em horas (h) + desvio padrão e T50 (dias) em diferentes temperaturas. Espécie: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriácea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran – *Qualea grandiflora* Local: cer\_sec: cerrado seco e cer\_umi: cerrado úmido. O \* indica que as sementes foram escarificadas. .... 60
- Tabela 1.8: Resultados da comparação de modelos através do critério de informação de Akaike para as diferentes temperaturas de germinação. Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3- (germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4-

(germinabilidade~tratamento*região de coleta). As linhas em negrito são dos modelos selecionados.....	61
Tabela 2.1: Lista das espécies coletadas para realização do estudo, sigla que será utilizada nos resultados, síndrome e época de dispersão e tipo de dormência (Sd – sem dormência, Fi – dormência física).....	89
Tabela 2.2: Coeficientes do modelo linear misto generalizado para a germinação de sementes a 40 <sup>o</sup> C. s.e – desvio padrão, n.s – não significativo. ....	94
Tabela 2.3: Coeficientes do modelo linear misto generalizado para a germinação de sementes a -0,4 e -0,6 MPa. s.e – desvio padrão, n.s – não significativo.....	97
Tabela 2.4: Coeficientes do modelo linear misto generalizado para a germinação de sementes que sofreram dessecação, passando a ficar com 5% de umidade. s.e – desvio padrão, n.s – não significativo. ....	101

## INTRODUÇÃO GERAL

A dispersão de sementes é um processo ecológico que começa com a liberação da semente, seu transporte visando locais favoráveis a germinação e estabelecimento da nova planta até a maturidade (SCHUPP *et al.*, 2010). Sendo assim, para estruturar ou montar uma comunidade as espécies precisam dispersar, germinar e se estabelecer. Para isso, superar os filtros abióticos e bióticos atuantes. Os filtros abióticos são caracterizados pelo nicho fundamental (por exemplo: temperatura, luminosidade, disponibilidade de água etc) e sua ação resulta na convergência de estratégias adaptativas na comunidade. Já os filtros bióticos são representados pelas interações entre as espécies (por exemplo: competição, herbivoria, dispersão etc) e fomentam a diferenciação ecológica entre as espécies, visando a exploração máxima dos recursos disponíveis (MENEZES *et al.*, 2016; CORNWELL *et al.*, 2006).

Para melhor compreender e determinar a efetividade de cada uma das etapas da dispersão Shupp *et al.* (2010) e Chambers e Macmahon (1994) dividiram esse processo em duas grandes fases: 1) quantitativa: caracterizada desde o momento de liberação do propágulo até sua chegada ao solo. É influenciada pela quantidade de sementes dispersa, e pela relação entre o propágulo e o seu dispersor envolvendo o tipo de dispersão, número e tamanho dos dispersores e a relação entre o número de visitas e sementes dispersa. 2) qualitativa: probabilidade de uma semente dispersa se transformar em um adulto. Caracteriza-se pelo tratamento que a semente recebe de seu dispersor e pelo local de deposição. Possui como parâmetros a germinação e emergência e, conseqüentemente, sua sobrevivência e crescimento (Figura 1). Para superar cada fase, as espécies desenvolveram diferentes estratégias que se expressam nos atributos morfofisiológicos de suas sementes, tais como: polimorfismo, investimento em quantidade e qualidade das reservas, fotoblastismo, quantidade de água armazenada, tipo de germinação e dormência.

Atributo é qualquer característica ou traço que se adapte indiretamente através de seus efeitos no crescimento, reprodução e sobrevivência. Característica ou traço é definido como qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica mensurável no indivíduo, do nível celular até o organismo completo independentemente se interfere ou não no crescimento, reprodução ou sobrevivência do indivíduo. Assim, esta definição implica que nenhuma informação externa para os indivíduos (fatores ambientais) ou em qualquer outro nível de organização (população, comunidade ou no ecossistema) é



necessário para definir uma característica ou traço. Porém, quando a característica ou traço impacta o *fitness* (aptidão ecológica) através dos seus efeitos no crescimento, reprodução ou sobrevivência é chamado de atributo ou atributo funcional (VIOLLE *et al.*, 2007).

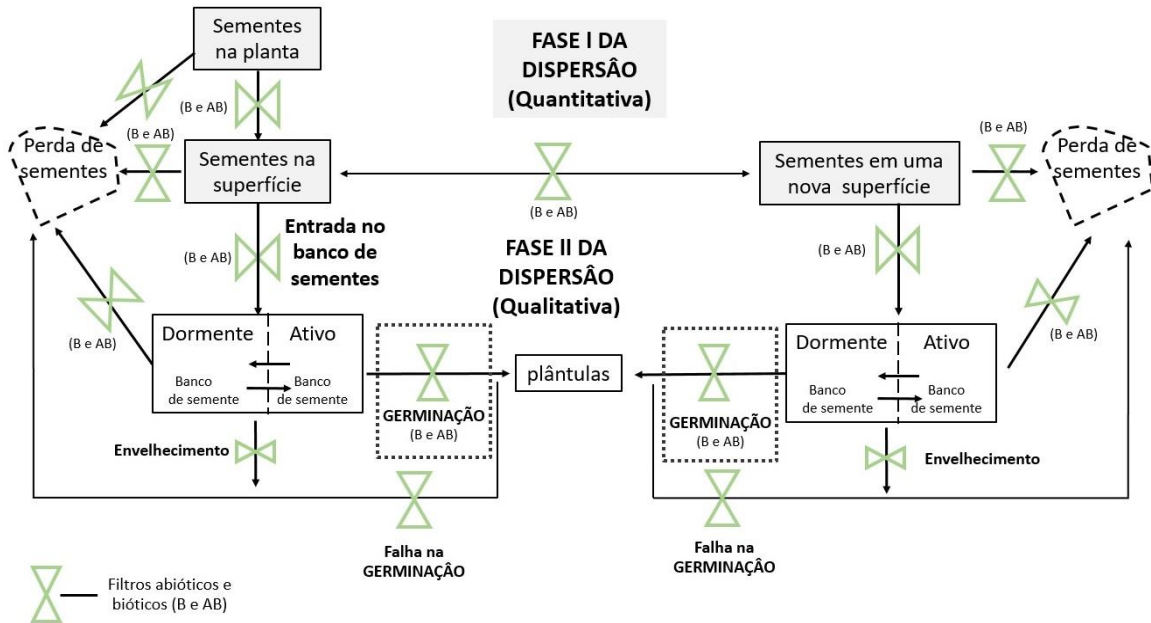


Figura 1: Fases e componentes da dispersão das espécies. A fase 1 encontra-se marcada em cinza claro. O momento da germinação encontra-se em destaque pontilhado. Adaptado de Shupp *et al.*(2010) e Chambers e Macmahon (1994).

Os atributos estão sendo utilizados para entender as relações entre biodiversidade, filtros abióticos e processos ecossistêmicos; estudar as diferenças entre indivíduos e populações de uma mesma espécie e resumir a diversidade de espécies do ambiente em um número menor de grupos com comportamento mais ou menos previsível diante de algum fator. Os atributos mais abundantes que as plantas possuem em uma determinada área, além de mostrar claramente quais são os fatores seletivos mais importantes (disponibilidade de água, temperatura, herbivoria, etc.), além de também determinar a magnitude, taxa e direção dos processos do ecossistema. Por isso, atributos importantes são aqueles diretamente relacionados com respostas ecológicas e aos processos fisiológicos fundamentais das plantas e sua afinidade com filtros abióticos e bióticos em que vivem como, por exemplo, os relacionados às sementes como a persistência no banco de sementes, velocidade de dispersão ou taxa de recrutamento (DÍAZ *et al.*, 2002).

Nesse sentido, os atributos da semente desempenham importante papel, porque determinarão a capacidade das plantas de se dispersar e de se estabelecer. Jiménez-Alfaro *et al.* (2016) sugerem dividir os atributos das sementes em três categorias: morfológica,

biofísica e germinativa. Os atributos morfológicos estariam relacionados à morfologia da unidade de dispersão e funcionalmente aos processos de dispersão. Os atributos biofísicos refletiriam as propriedades físico-químicas do endosperma ou embrião da semente e estariam relacionados à regulação de água e dormência física das sementes. Já os atributos de germinação seriam os relacionados ao tempo e às condições necessárias para a semente germinar e refletiriam seus processos fisiológicos controlados pelo ambiente.

Essa variedade de atributos das sementes vem gerando subsídios que auxiliam pesquisas sobre construção ou montagem de comunidades (POSCHLOD *et al.*, 2013), mudanças climáticas (WALCK *et al.*, 2011, COCHARNE, 2015; WU *et al.*, 2018), conservação (COCHARNE *et al.*, 2011) e ecologia da restauração (BREED *et al.*, 2012). No entanto, mais avanços podem ser feitos nessa fronteira da ecologia funcional, a partir de estudos que relacionem fisiologia de sementes, botânica, ecologia vegetal, ecologia evolutiva, ecologia de comunidade e ecologia e botânica aplicadas, direcionando esforços para coleta padronizada de atributos de sementes e implementação de banco de dados rigorosos (SAATKAMP *et al.*, 2018).

Para as espécies brasileiras pesquisas com estes enfoques seriam ainda mais relevantes, por ser tratar de um país considerado megadiverso e subamostrado. Além disso, os núcleos de pesquisa estão concentrados em poucas regiões, os estudos priorizam áreas protegidas, há grande viés filogenético, concentrando-se em poucos gêneros, sendo escassos os estudos sobre espécies consideradas ameaçadas e muitos os dedicados a espécies arbóreas, frutíferas e com dispersão biótica (RIBEIRO-OLIVEIRA & RANAL, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2016).

Atualmente apenas alguns atributos morfológicos como o tamanho ou biomassa, a forma da semente e a estrutura de sua superfície através do tipo de dispersão são contemplados pelo “*New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide*” (PÉREZ-HARGUINDEUY *et al.*, 2013) e também são os atributos mais utilizado para determinar padrões de sementes em comunidade, sua relação com a germinação e estabelecimento (JIMÉNEZ-ALFARO *et al.* 2016). Isso, provavelmente, deve-se à facilidade de se medir esses atributos, por serem os que mais se relacionam com as diversas funções das sementes (SAATKAMP *et al.*, 2018) e, assim, são os mais utilizados para prever a resistência às condições ambientais adversas (RIBEIRO *et al.*, 2015), à herbivoria (BONFIN, 1998), bem como crescimento de plântulas (QUERO *et al.*, 2007), estabelecimento (KIDSON & WESTOBY, 2000) e comportamento de

armazenamento das sementes (HONG & ELLIS, 2002). Em geral, sementes grandes de espécies arbóreas apresentam mais resistência aos choques térmicos, são mais tolerantes aos ambientes inóspitos e geram plântulas maiores (MELO *et al.*, 2004; QUERO *et al.*, 2007; ver RIBEIRO *et al.*, 2015). Vale lembrar que, em ambientes sazonais, sementes podem apresentar dormência, possuir germinação não homogênea, ou ainda não expor seus cotilédones (SMITH *et al.*, 2002; BASKIN & BASKIN, 2014).

A diferença no tamanho e biomassa de sementes também é associada com mudanças espaciais (na estrutura da vegetação) e temporais (na evolução das angiospermas) o que possibilitou na colonização de novos ambientes pela divergência filogenética entre e dentro dos táxons (MOLES *et al.*, 2005). Em ambientes tropicais é relacionada à temperatura, pois em locais com baixa latitude, a variação da temperatura é bem menor do que a da precipitação (MOLES *et al.*, 2014). Hong e Ellis (2002) estudaram o tamanho, comportamento e a tolerância à dessecação de quarenta espécies de Meliaceae ao longo de um gradiente de umidade (savana – transição – floresta úmida) e encontraram que sementes menores foram mais comuns nas savanas e sementes maiores na floresta úmida.

Apesar do grande valor dado ao tamanho e massa das sementes, a existência de comunidades formadas por plantas que só produzem sementes pequenas e ocorrem em ambientes sazonais ou com condições ambientais restritas indica que tamanho não é o único atributo a ser considerado (MOLES *et al.*, 2007). Também deve ser levado em conta a composição química, a concentração das substâncias de reserva, o fotoblastismo, à tolerância a dessecação e o tipo de germinação, interferem na germinação e no tempo de crescimento e sincronização das plântulas, assim como na redução de perda de água dos cotilédones, na possibilidade de emergirem em diferentes situações e de se desenvolverem em ambientes com diferentes comprimentos de luz e variações de temperatura (SMITH *et al.*, 2002; JESUS *et al.*, 2010).

Sendo assim, atributos morfológicos podem estar relacionados a apenas uma parte do processo e das regras de montagem ou construção da comunidade. Desta forma, torna-se importante investigar os atributos com respostas fisiológicas claras como os germinativos. No modelo proposto por Shupp *et al.* (2010) e Chambers e Macmahon (1994), a germinação é considerada uma das variáveis que influenciam o componente qualitativo da dispersão. O modelo pressupõe que a emergência de plântulas relaciona-se à qualidade do local onde as sementes foram depositadas, pois um local pode ser

adequado para manter a semente viva e inadequado para o estabelecimento de novos indivíduos (Figura 1). Assim, espera-se que os atributos de germinação, juntamente com atributos relacionados à dispersão na fase I (Figura 1), ou a dispersão em um sentido restrito, desempenhem um importante papel nos processos que selecionam as espécies que irão formar as comunidades locais de planta (JIMÉNEZ-ALFARO *et al.* 2016).

Somando-se a isso, a germinação de sementes e a adaptação pós-germinação são atualmente reconhecidas como fases cruciais da vida da planta e fortemente dependentes de filtros ambientais. Em geral, as sementes respondem a mudanças ambientais e tendem a germinar durante condições favoráveis ao estabelecimento. Como a germinação é um processo irreversível e o estabelecimento é o estágio mais vulnerável do ciclo de vida da planta, a fase de germinação é geralmente mais sensível a variações ambientais como, por exemplo, temperatura e umidade do que o crescimento e a sobrevivência de plantas adultas (DONOHUE *et al.*, 2010). Rother *et al.* (2013), ao estudarem as fases de recrutamento de três espécies, encontraram que os fatores iniciais pós-dispersão (germinação e estabelecimento) são mais limitantes do que a dispersão para o estabelecimento de novos indivíduos e determinantes para uma regeneração bem sucedida. Já Larson *et al.* (2015) verificaram, em gramíneas, que tamanho de sementes e densidade do tecido do coleóptilo são dois atributos importantes para a superação das fases de transição de semente a plântula estabelecida.

No cerrado os atributos germinativos estão sendo pesquisados com enfoque na sazonalidade do ambiente e tendo como referência: a) seus principais filtros abióticos, como as flutuações de temperatura, tanto do ambiente como dos choques térmicos causados pela passagem do fogo, bem como a disponibilidade hídrica durante o ano em razão da sazonalidade de chuva e da umidade do solo de diferentes habitats (OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002); b) ea dormência das sementes (BASKIN & BASKIN, 2014).

A época de dispersão e a dormência das sementes são estratégias utilizadas para formar banco de sementes transitórios, onde os propágulos recrutam ou morrem, e, evitar a germinação durante a estação seca e na transição da estação de chuva para a seca, que seriam inadequadas para o estabelecimento de plântulas (ESCOBAR *et al.*, 2018; RAMOS *et al.*, 2017; SALAZAR *et al.*, 2011;). A dormência está relacionada à época de dispersão e à síndrome de dispersão: espécies anemocóricas sem dormência dispersam sementes na época de transição da estação seca para a chuvosa; espécies autocóricas com dormência física tendem a dispersar durante a estação seca e na transição entre estação

chuvosa e seca; e as zoocóricas não dormentes, durante a estações seca e chuvosa (ESCOBAR *et al.*, 2018).

A disponibilidade de água para a germinação no cerrado pode ser afetada em diversas escalas pela sazonalidade da estação de chuva e frequência de veranicos nessa estação, pela altura do lençol freático e pela distribuição regional anual de chuvas (RIBEIRO & WALTER, 1998; SILVA *et al.*, 2008). Com isso, após a dispersão, as sementes podem experimentar condições de déficit hídrico no solo e este pode ser um fator de seleção para a ocupação de habitats. Afinal, a água é um fator primordial para a reidratação, embebição e reativação do metabolismo (CASTRO *et al.*, 2004). Em espécies arbóreas do cerrado ocorre uma redução da viabilidade e germinabilidade de sementes quanto menor quantidade de água disponível (potenciais osmóticos - MPa - mais negativos) e aumento no tempo médio de germinação, que é variável entre espécies, regiões do Domínio e fitofisionomia. Porém, não ultrapassando a um potencial osmótico mais negativo que -1,0 MPa (RIBEIRO, 2014; SOUZA, 2019).

Existe a tendência de espécies que germinam em temperaturas menores serem capazes de germinar em condições mais secas do que as que germinam em temperaturas mais altas (DÜRR *et al.*, 2015). Isso pode ser uma condição adaptativa sugerindo que em maiores temperaturas as sementes precisam esperar até que ocorra água suficiente para a germinação, que seriam chuvas intensas em um curto período de tempo, para aumentar o teor de água no solo muito acima do potencial hídrico base (mínimo necessário para germinar) e assim resultando em uma rápida germinação (PIRES *et al.*, 2009 apud DÜRR *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.* 2017; GURVICH *et al.*, 2017).

O impacto da temperatura na germinação das sementes do cerrado também é relacionado ao fogo, pois é um dos filtros ambientais que tem moldado a estrutura da vegetação do Cerrado, estabeleceu seu mosaico fitofisionômico e selecionou linhagens de espécies lenhosas de outros Domínios após eventos climáticos globais que levaram à sua expansão ou retração (MÉIO *et al.*, 2002; SIMON *et al.*, 2009; DANTAS *et al.*, 2013; BUENO *et al.*, 2018). Assim, o choque térmico causado pela passagem do fogo poderia ser considerado primordial para a quebra de dormência e germinação das sementes no cerrado (COUTINHO, 2002). Entretanto, pesquisas recentes têm mostrado que o fogo não aumenta a germinação das espécies (DAIBES *et al.*, 2019; FIDELIS *et al.*, 2016), mas pode ajudar de forma indireta ao retirar o excesso de biomassa morta acumulada e assim permitir o contato da sementes com o solo, a maior exposição à luz e à flutuação de temperaturas diárias na superfície do solo (COUTINHO, 2016; DAIBES *et al.*, 2017),

selecionar o estabelecimento de algumas espécies florestais no cerrado (RIBEIRO & BORGHETTI, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2015) e tornar as sementes resistentes à passagem do fogo e altas temperaturas e, por isso, esse atributo de resistência das sementes ao fogo deve ser considerado como uma característica funcional das plantas para esse bioma (FIDELIS *et al.*, 2016; FICHINO *et al.*, 2016).

Os filtros abióticos como o fogo selecionam os atributos das sementes através de respostas de curto prazo. Já a seleção de longo prazo ocorre pelas relações filogenéticas (efeitos históricos), como, por exemplo, a variação de tamanho das sementes dentro e entre táxon (MOLES *et al.*, 2005) e a tolerância ao calor das sementes do cerrado, que têm como origem as linhagens de espécies florestais que conseguiram colonizar as savanas, por possuírem determinadas características relacionadas ao tamanho e dormência física das sementes. As espécies florestais com sementes maiores podem ter irradiado linhagens de pares congêneros vicariantes com estratégias de estabelecimento diferentes para habitats contrastantes (MÉIO *et al.*, 2002; DAIBES *et al.*, 2019). A filogenia pode explicar entre 5,8 % (WANG *et al.*, 2016) e 30 % (SEGLIAS *et al.*, 2018) as variações de germinabilidade interespecíficas, e as estratégias que determinam essas variações são independentes de outros atributos funcionais das plantas (HOYLE *et al.*, 2015).

Portanto, a variação dos atributos germinativos interespecíficos e entre populações é explicada tanto pelas características filogenéticas como pelos atributos morfológicos das sementes e filtros abióticos do local de origem. Assim, as variações podem ser respostas de fatores genéticos (adaptação local ou deriva genética) ou ambientais que podem gerar uma plasticidade fenotípica através de efeitos maternos (WOLF & WADE, 2009) e memória térmica ou hídrica (FERNÁNDEZ-PASCUAL *et al.*, 2019; LIMA & MEIADO, 2018).

Os “efeitos ambientais maternos” referem-se a um fenômeno particular em que o ambiente ecológico externo do progenitor materno influencia o fenótipo da sua descendência através de um efeito sobre o peso e/ou dormência das sementes (DONOHUE, 2009). A memória térmica permite que as sementes ajustem sua germinação às mudanças climáticas ao incorporarem informações da história térmica de seus progenitores; e a memória hídrica é decorrente de hidratações descontínuas (DUBROVSKY 1996, 1998 *apud* LIMA & MEIADO, 2018).

Sendo assim, entender a plasticidade e os atributos envolvidos na germinação e as suas relações com os filtros abióticos, podem ser bons indicadores para prever o deslocamento de biomas em um cenário de mudanças climáticas, e, auxiliar futuras ações

de restauração ecológicas por meio da seleção de espécies ou populações cujos atributos germinativos melhor responderão às condições ambientais do local a ser restaurado.

Nesse sentido, o Cerrado nos permite investigar a relação entre os atributos das sementes e os filtros abióticos, pois encontra-se distribuído em ecoregiões onde os filtros abióticos atuam com diferentes intensidades e podem gerar variabilidade espécie-específica em diferentes atributos. A precipitação média anual e a temperatura variam espaço-temporalmente no Cerrado como, por exemplo no centro-sul do Piauí e em parte do Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais, onde a precipitação média anual varia entre 400 a 600 mm. Avançando na direção leste para oeste, a precipitação aumenta, podendo chegar a 2.200 mm, com médias mensais variando de 0 a 500 mm. Além disso, durante a estação chuvosa podem ocorrer períodos de estiagem de quinze dias com diferentes frequências, que variam de 0 a 8 vezes, dependendo da região (ver SILVA *et al.*, 2008). E também possui espécies com distribuição ampla ou restrita (RATTER *et al.*, 2003; DURIGAN *et al.*, 2012).

O presente estudo teve como objetivo geral identificar as correlações entre os atributos de sementes de espécies lenhosas do cerrado e filtros abióticos de duas regiões do Cerrado com diferentes intensidades de condições edafo-climáticas (Figura 2), contribuindo para a compreensão da construção e funcionamento desses ecossistemas, e, a partir desta discussão identificar atributos de sementes que possam ser utilizados para a seleção de propágulos utilizados na restauração em um cenário de mudanças climáticas.

Para isso, escolhemos espécies arbóreas que ocorrem em cerrado *stricto sensu* e avaliamos comparativamente os atributos germinativos das sementes provenientes de populações localizadas em áreas sujeitas a diferentes condições climáticas, denominadas neste estudo como “cerrado úmido” e “cerrado seco”, conforme critérios que seguem:

a) “cerrado úmido”: região Nordeste do estado de Mato Grosso, com pluviosidade média anual entre 1250 -1750 mm; temperatura média anual entre 24 a 26 °C; temperatura do solo a 2 cm de profundidade de 30 °C e picos de 60 °C nos meses mais quentes, potencial hídrico médio do solo a 2 cm de profundidade entre -30 a -40 MPa e frequência média anual de veranicos entre 0 e 2 ;

b) “cerrado seco”: região Norte de Minas Gerais, com pluviosidade média anual entre 500-1000 mm; temperatura média anual entre 22 a 23 °C; temperatura do solo a 2 cm de profundidade entre 25 a 30 °C e picos de 55 °C nos meses mais quentes; potencial

hidrico médio do solo a 2cm de profundidade entre -70 a -80 MPa e frequência média anual de veranicos entre 2 a 4 (Figura 2).

No Capítulo 1 buscamos responder a seguinte questão: existe diferença na resposta germinativa de populações de uma mesma espécie provenientes de regiões do Cerrado com diferentes intensidades de filtros abióticos?. Para isso, analisamos pares conespecíficos de populações de oito espécies com a finalidade de identificar se as categorias dos atributos das sementes eram diferentes entre as populações. E, em caso positivo, qual categoria de atributo estaria relacionada ao local de origem da semente e, conseqüentemente à temperatura e ao regime de pluviosidade do ambiente.

No Capítulo 2 analisamos as populações das regiões com diferentes condições climáticas para correlacionar as categorias dos atributos das sementes e a germinabilidade. E, responder as seguintes perguntas: as respostas dos atributos germinativos são afetadas pelos atributos biofísico e morfológicos das sementes? E estes atributos são influenciados pelas diferenças das condições climáticas das regiões de origem?



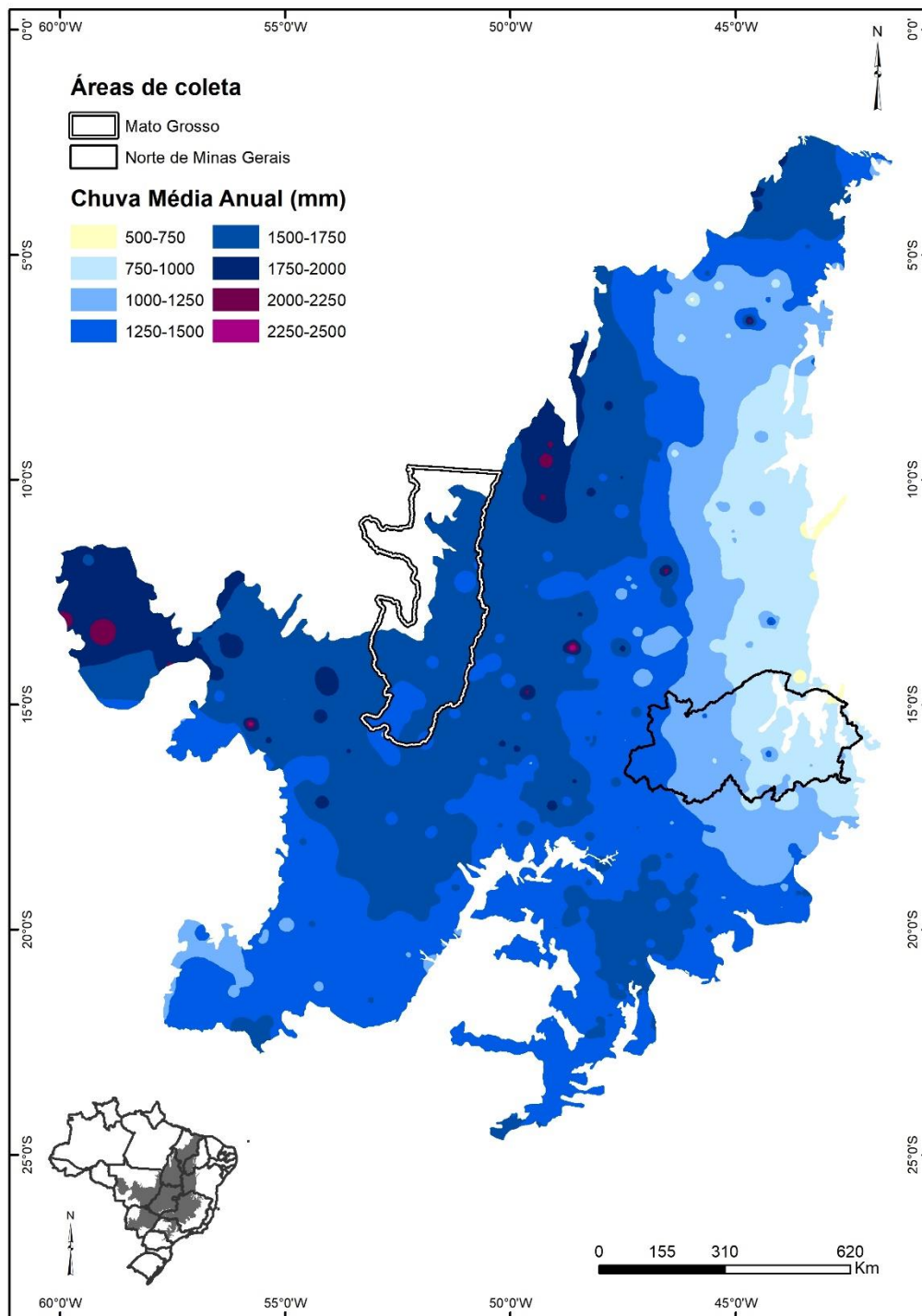


Figura 2: Mapa da precipitação média anual dos últimos 40 anos no Domínio do Cerrado e localização das regiões de origem das populações estudadas na pesquisa (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016).

## REFERÊNCIAS

- BASKIN, C.C; BASKIN, J.N. (2014). *Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. 2 ed. Elsevier-Academic Press.
- BONFIN, C. (1998). The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany*, v.85, p.79-87.
- BREED, F.M. *et al.* (2012). Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetic*, v.14, p. 1-10.
- BUENO, M.L. *et al.* (2018). The environmental triangle of the Cerrado Domain: ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. *Journal of Ecology*, v. 106, p. 2109-2120.
- CASTRO, R.D. *et al.* (2004). Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. (Orgs). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed. Porto Alegre. Cap. 9, p. 149-162.
- CHAMBERS, J.C.; MACMAHON, J.A. (1994). A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implication for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 25, p. 263-292
- COCHRANE, A. (2015). Can sensitivity to temperature during germination help predict global warming vulnerability? *Seed Science Research*, v.26, p. 14-29.
- COCHRANE, A. *et al.* (2011). Seed-based approach for identifying flora at risk from climate warming. *Austral Ecology*, v.36, p. 923-935.
- CORNWEL, W.K. *et al.* (2006). A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology*, 87:1465-1471.
- COUTINHO, L.M. (2016). *Biomass brasileiros*. São Paulo: Oficina de Textos.
- COUTINHO, M.L. (2002). O bioma do cerrado. In: KLEIN, A.L. (Org.). *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. São Paulo: Editora Unesp; Imprensa Oficial do Estado. p. 77 – 91.
- DAIBES, F.L. *et al.* (2017). A field perspective on effects of fire and temperature fluctuation on Cerrado legume seeds. *Seed Science Research*, v. 27, p. 74-83.
- DAIBES, F.L. *et al.* (2019). Fire and legume germination in a tropical savanna: ecological and historical factors. *Annals of Botany*, v. 123, p. 1219-1229.
- DANTAS, V.L. *et al.* (2013). The role of fire in structuring trait variability in Neotropical savannas. *Oecologia*, v. 171, p. 487-497.

DÍAZ, S. *et al.* (2002). ¿Quién necesita tipos funcionales de plantas?. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, v. 37, p. 135-140.

DONOHUE, K. (2009). Completing the cycle: maternal effects as the missing link in plant life histories. *Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Science*, v.364, p. 1059-1074.

DONOHUE, K. *et al.* (2010). Germination, postgermination, adaptation and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 41, p. 293-319.

DURIGAN, G. *et al.* (2012). *Espécies indicadoras de fitofisionomias na transição Cerrado-Mata Atlântica no Estado de São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. SMA/CBRN. 146 p.

DÜRR, C. *et al.* (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: Contribution to seed trait database. *Agriculture and Forest Meteorology*, v.200, p. 222-232.

ESCOBAR, D.F.E *et al.* (2018). Timing of seed dispersal and seed dormancy in Brazilian savanna: two solutions to face seasonality. *Annals of Botany*, v.121, p. 1197-1209.

FERNÁNDEZ-PASCUAL *et al.*, (2019). Seeds of future past: climate change and thermal memory of plant reproductive traits. *Biological Reviews*, v.94, p. 439-456

FICHINO, B.S. *et al.* (2016). Does fire trigger seed germination in the Neotropical savannas? experimental tests with six cerrado species. *Biotropica*, v. 48, p. 181-187.

FIDELLIS, A.*et al.* (2016). To resist or to germinate? The effect of fire on legume seeds in Brazilian subtropical grasslands. *Acta Botanica Brasilica*, v. 30, p. 147-151.

GURVICH, D.E. *et al.* (2017). Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 227, p. 18-24.

HONG, T.D.; ELLIS, R.T (2002). Storage. In: VOZZO, J.A. *Tropical tree seed manual*. USDA-Forest Service. Cap.5.p. 125-136.

HOYLE, G.L. *et al.* (2015). Seed germination strategies: an evolutionary trajectory independent of vegetative functional traits. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1-13.

JESUS, R.M. *et al.* (2010). *Pesquisa em Sementes Florestais na Reserva Natural Vale*. Editora Movimento

JIMÉNEZ-ALFARO, B. *et al.* (2016). Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 27, p. 637-645.

KINDSON, R.; WESTOBY, M. (2000). Seed mass and seedling dimensions in relation to seedling establishment. *Oecologia*. v.125. p.11-17.

- LARSON, J.E. *et al.* (2015). Seed and seedling traits affecting critical life stage transitions and recruitment outcomes in dryland grasses. *Journal of Applied Ecology*, v. 52, n. 1, p. 199-209.
- LIMA, A.T. & MEIADO, M.V. (2018). Effects of seed hydration memory on initial growth under water deficit of cactus from two populations that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. *Plant Species Biology*, v. 33, p. 268-275.
- MÉIO, B.B. *et al.* (2002). Influência da flora das florestas Amazônica e Atlântica na vegetação do cerrado sensu stricto. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 26, p. 437-444.
- MELO, F.L.P. *et al.* (2004). Recrutamento e estabelecimento de plântulas. In: FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. (Orgs). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed. Porto Alegre. Cap. 15
- MENEZES *et al.*, (2016). Montagem de comunidades: conceitos, domínio e estrutura teórica. *Oecologia Australis*, v. 20, p. 1-17.
- MOLES, A. T. *et al.* (2005). A brief history of seed size. *Science*, v. 307, p. 576-580.
- MOLES, A. T. *et al.* (2007). Global patterns in seed size. *Global ecology and biogeography*, v. 16, p. 109-116.
- MOLES, A.T. (2014). Which is a better predictor of plant traits: temperature or precipitation?. *Journal of Vegetation Science*, v. 25, n.5, p. 1167-1180
- OLIVEIRA, D.M. *et al.*(2017). O aumento da temperatura reduz a tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de *Pereskia grandifolia* Haw. susp. *grandifolia* (Cactaceae)?. *Gaia Scientia*, v.11, p.26-36.
- OLIVEIRA-FILHO, T.; RATTER, J.A. (2002) Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Eds) *The cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a Neotropical savanna*. New York, Columbia University Press. Cap. 6, p. 91–120.
- PÉREZ-HARGJUINDEGUY, N. *et al.*, (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwilde. *Australian Journal of Botany*, v.61, p. 167-234
- POSCHLOD, P. *et al.* (2013). Seed ecology and assembly rules in plant communities. In: MAARAE, E.; FRANKLIN, J. (Ed.). *Vegetation Ecology*. John Wiley & Son. Cap.6. p. 164-202
- QUERO, J. L. *et al.* (2007). Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany*. v.94. p. 1795-1803.
- RAMOS, D.M. *et al.* (2017). Avoiding the dry season: dispersal time and syndrome mediate seed dormancy in grasses in Neotropical savanna and wet grasslands. *Journal Vegetation Science*, v.28, p. 798-807.

- RATTER, J.A. *et al.* (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, v.60, n.1, p. 57-109.
- RIBEIRO, G.V.T. *et al.* (2016). Assessing bias and knowledge gaps on seed ecology research: implications for conservation agenda and policy. *Ecological Applications*, v. 26, p. 2033-2043.
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. (1998). Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). *Cerrado: ambiente e flora*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Cap. 3, p. 89-166.
- RIBEIRO, L. C.; BORGHETTI, F. (2014). Comparative effects of desiccation, heat shock and high temperatures on seed germination of savanna and forest tree species. *Austral Ecology*, v.39, n.3.
- RIBEIRO, L. *et al.* (2015). The importance of seed biomass for the tolerance to heat shock of savannas and forest tree species. *Journal of Vegetation Science*, v.26, n.6, p. 1102-1111.
- RIBEIRO, L.C. (2014). Fatores ambientais e a germinação de espécies arbóreas do Brasil Central e de áreas disjuntas da Amazônia no bioma Cerrado. Tese(doutorado). Universidade de Brasília. 91p.
- RIBEIRO-OLIVEIRA, J.P. & RANAL, M.A. (2014). Sementes florestais brasileiras: início precário, presente inebriante e o futuro, promissor?. *Ciência Florestal*, v. 24, p. 771-784.
- ROTHER *et al.* (2013). Demographic bottlenecks in tropical plant regeneration: a comparative analysis of causal influences. *Perspective in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v.15, n.2, p. 86-95.
- SAATKAMP, A. *et al.* (2019). A research agenda for seed-trait functional ecology. *New Phytologist*. v. 221, p. 1764-1775.
- SALAZAR, A. *et al.* (2011). Timing of seed dispersal and dormancy, rather than persistent soil seed-banks, control seedling recruitment of woody plants in Neotropical savannas. *Seed Science Research*, v. 21, p. 103-116.
- SEGLIAS, A. *et al.* (2018). Phylogeny and source climate impact seed dormancy and germination of restoration-relevant forb species. *Plos One*, v. 13, p. 1-18.
- SHUPP, W.E. *et al.* (2010). Seed dispersal effectiveness revisited a conceptual review. *The New Phytologist*, v. 188, p. 333-353
- SILVA, F.A.M. *et al.* (2008). Caracterização climática do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados – Brasília,DF. Cap. 3, p. 71-88.

SIMON, M.F. *et al.* (2009). 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. 20359-20364.

SMITH *et al.* (2002). Dormancy and germination. In: VOZZO, J.A. *Tropical tree seed manual*. USDA-Forest Service. Cap.5.

SOUZA, S.S. (2019). O microclima de campos secos e campos úmidos e seus impactos na capacidade germinativa de sementes de gramíneas nativas do cerrado. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília. 72p.

VIOLLE, C. *et al.* (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, v. 16, p. 882-892.

WALCK, J.L. *et al.* (2011). Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology*, v. 17, p. 2145-2161.

WANG, Z. *et al.* (2016). 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. 1-10.

WOLF, J.B. & WADE, M.J. (2009). What are maternal effects (and what are they not)?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, p. 1107-1115.

WU, H. *et al.* (2018). Geographic patterns and environmental drivers of seed traits of a relict tree species. *Forest Ecology and Management*, v.422, p. 59-68.

## CAPÍTULO 1

### 1. ATRIBUTOS GERMINATIVOS DE SEMENTES: IMPLICAÇÕES PARA A RESTAURAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO EM UM CLIMA EM MUDANÇA

#### 1.1 INTRODUÇÃO

A restauração ecológica é considerada uma ferramenta para a conservação ao proporcionar oportunidades para a criação de novos habitats para a biodiversidade (YOUNG, 2000). Para cumprir essa função e considerando os cenários projetados pelas mudanças climáticas, torna-se necessário rever algumas estratégias de intervenção e investigação da restauração. Sobretudo, ao consideramos a interferência humana como base para a criação de biomas antrópicos (ELLIS & RAMANKUTTY, 2008) e os neoecossistemas (*novel ecosystem*, HOBBS *et al.*, 2009; MORSE *et al.*, 2014).

Harris *et al.* (2006), sugerem duas abordagens para a restauração em um cenário de mudanças climáticas: i – responsável; que busque a restauração e criação de habitats para conservar e proteger espécies e comunidades em novas áreas, restaurando, assim, o capital natural e os bens e serviços ecossistêmicos e ii - preventiva ou paliativa; para atenuar, mitigar e reverter os efeitos das mudanças climáticas globais e locais.

Nessa perspectiva, a utilização de propágulos de diferentes origens genéticas e com diferentes atributos pode acelerar a adaptação da espécie ou população às mudanças climáticas (HARRIS *et al.*, 2006) e, com isso, alterar o pressuposto atual da restauração, que se baseia na priorização de propágulos provenientes de populações locais que estariam melhor adaptadas ao ambiente. Nesse sentido, uma nova abordagem para a seleção de propágulos a serem utilizados é fundamental para a restauração em um cenário de mudanças climáticas (RAMALHO *et al.*, 2017).

Existem evidências de que os atributos de germinação e pós-germinação estão positivamente associados (DONOHUE *et al.*, 2010). Plântulas crescem ou sobrevivem mais em ambientes nos quais as sementes germinam em maiores percentagens. Além disso, a amplitude do nicho de germinação reflete a amplitude do nicho das plântulas, ou seja, sementes capazes de germinar em condições de estresse ambiental possuem plântulas mais resistentes a essas condições (DONOHUE *et al.*, 2010). Por outro lado, a

variação de atributos relacionados a germinação é pouca conhecida entre populações coespecíficas (COCHRANE *et al.*, 2015).

Alguns estudos ainda consideram a estratégia de plantar propágulos não locais como potencialmente arriscada, pois as plantas podem estar pouco adaptadas ao ambiente novo e essa introdução pode interferir nas relações intra-específicas e afetar as redes ecológicas locais (BUCHAROVA *et al.*, 2019). Além disso, evidências de adaptações locais são inconsistentes e podem ser resultado das diferentes abordagens experimentais e metodológicas que foram usadas para testar a adaptação (BUCHAROVA *et al.*, 2017). O meio termo seria a estratégia da “mistura regional de propágulos” que considera a combinação de sementes provenientes de diversas populações dentro de uma mesma região, que seriam misturadas antes do uso (BUCHAROVA *et al.*, 2019). A partir desse método há um aumento do nicho de germinação e, conseqüentemente, aumento do nicho de pós germinação e mais oportunidade para adaptação em diferentes condições sem afetar a aptidão pós-germinativa (DONOHUE *et al.*, 2010).

Para algumas técnicas aplicadas na restauração como a semeadura direta, a seleção de propágulos é ainda mais importante. A semeadura direta de espécies nativas utiliza como estratégia restabelecer o banco de sementes através de uma mistura de sementes de muitas espécies de diferentes estádios sucessionais (DURIGAN *et al.*, 2013), ou mesmo a utilização de algumas poucas espécies para substituir o plantio de mudas, a fim de reduzir custos ou aumentar a riqueza da área (DAMASCO & CORREIA, 2010; GRONSSNICKLE & IVETIC, 2017). Em ambos os casos, a seleção de propágulos deve, portanto, considerar a capacidade das sementes de superar os filtros abióticos e bióticos que atuam na construção da nova comunidade e que são co-dependentes, mudam no tempo e no espaço, e são constantemente reajustados por retroalimentações (*feedback*) internas e externas (HOBBS & NORTON, 2004; TEMPERTON & HOBBS, 2004; FATTORINI & HALLE, 2004).

Identificar os atributos de sementes que estão relacionadas ao nicho de germinação, à superação de filtros ambientais e à coexistência das espécies é de extrema importância para explicar a sucessão de comunidades vegetais. Entretanto, a relação entre ecologia de comunidades e ecologia de sementes ainda é pouco explorada (POSCHLOD, 2013). Estudos que avaliam a semeadura direta, por exemplo, focam apenas na relação entre os atributos morfológicos, como o tamanho de sementes, com a germinação (CECCON *et al.*, 2015; PALMA & LAURANCE, 2015). Uma abordagem que



correlacione os diversos atributos das sementes à ecologia de comunidades ainda é escassa na literatura (SAATKAMP *et al.*, 2019).

Por outro lado, a temperatura e o potencial hídrico são os principais fatores que controlam a germinação e afetam tanto a germinabilidade como a velocidade e tempo médio de germinação das espécies (DÜR *et al.* 2014). A faixa de temperatura de germinação das sementes é um atributo que pode determinar a distribuição espacial das espécies (LABOURIAU, 1981; BORGHETTI, 2005) e ainda é pouco estudado em comparações coespecífica ou cogenérica (COCHRANE *et al.*, 2015), mesmo considerando que os atributos são características respostas dos indivíduos aos filtros bióticos e abióticos e podem apresentar variabilidade (PILLAR, 2004).

Desse modo, para que a restauração ecológica seja adaptada aos cenários futuros, nos quais os filtros abióticos locais e globais terão intensidade e direção alterados (IPCC, 2014; NOBRE *et al.*, 2007) e, conseqüentemente, alterarão a dinâmica das comunidades em restauração e a distribuição se torna necessário adaptar projetos de restauração e conservação as previsões indicadas pelos modelos de mudanças climáticas. As previsões e modelos para a América do Sul indicam um aumento de temperatura entre 1 a 4 °C (cenário mais otimista - B1) e 2 a 6 °C (cenário mais pessimista – A2; IPCC, 2014). Além do aumento de temperatura espera-se maior irregularidade na pluviosidade com um aumento da extensão de dias sem chuvas (veranicos) e chuvas concentradas em um período mais curto (IPCC, 2014), e aumento da frequência de queimadas (HOFFMANN & JACKSON, 2000). Isso levaria a expansão das áreas de cerrado sobre as florestas tropicais nas áreas de contato entre Domínios (VELAZCO *et al.*, 2018) como, por exemplo, a oeste e leste da floresta Amazônica (NOBRE *et al.*, 2007) e uma expansão do cerrado na área central do Domínio (MONCRIEFF *et al.*, 2016) causando, assim, mudança na distribuição das espécies que levaria a extinção de algumas (VELAZCO *et al.*, 2018; SILVA, 2018; SIQUEIRA & PETERSON, 2013). Principalmente ao considerarmos que sua expansão acontecerá em regiões de fronteira agrícola em expansão ou regiões agrícolas já estabelecidas que apresentam passivo ambiental e áreas para restauração (STRASSBURG *et al.*, 2017).

Assim, a incorporação da ecologia de sementes, no que se refere a resposta da germinação frente a filtros, é uma abordagem promissora para a seleção de propágulo e o Cerrado nos permite investigar a relação entre os atributos das sementes e os filtros abióticos, pois encontra-se distribuído em regiões nas quais os filtros abióticos atuam com

diferentes intensidades e possui espécies com distribuição ampla ou restrita (RATTER *et al.*, 2003; DURIGAN *et al.*, 2012). Essa característica permite estudar as diferenças entre indivíduos e populações de uma mesma espécie. Diferentes fenótipos, ecótipos ou estádios ontogenéticos dentro da mesma espécie podem apresentar diferentes resposta ao ambiente e ter diferentes efeitos nos processos ecossistêmicos (DÍAZ *et al.*, 2002).

Nesse contexto, levantamos as seguintes questões: 1) Existe diferença na resposta germinativa de populações de uma mesma espécie provenientes de diferentes subregiões do Cerrado com diferentes intensidades de filtros abióticos? e 2) Quais atributos estão relacionados ao local de origem da semente e, conseqüentemente, à temperatura e à disponibilidade de água do ambiente? A partir destas perguntas levantamos as seguintes hipóteses: i) sementes provenientes de locais mais secos estão mais adaptadas as condições ambientais extremas e, por isso, sementes de populações provenientes de cerrados com menores médias pluviométricas anuais e sujeitas a mais veranicos serão mais tolerantes ao dessecamento, a temperaturas extremas e precisarão de uma menor quantidade de água para germinar, ii) cerrados com menores médias pluviométricas anuais terão sementes mais pesadas, mas com menor teor de água inicial. Já cerrados com maiores médias pluviométricas terão sementes com menores velocidades de germinação e maiores tempo médio de germinação, pois espera-se que espécies de ambientes mais úmidos produzem sementes com maior umidade e velocidade de germinação.

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

Correlacionar os atributos de sementes às condições ambientais da sua região de origem, contribuindo assim para o entendimento de como o clima local modifica os parâmetros morfo-fisiológicos das sementes, e visando a colaborar na seleção de propágulos para serem utilizados na restauração ecológica no cenário de mudanças climáticas.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar as correlações entre os atributos das sementes e os filtros abióticos relacionados a subregiões de cerrado com diferença na temperatura, pluviosidade e duração da estação seca.

- Avaliar como o comportamento germinativo de sementes espécie-específica, provenientes de diferentes locais e se seus atributos são afetados pelo aumento da temperatura, dessecação e disponibilidade de água.
- Contribuir para o aprimoramento da escolha de espécies em projetos de restauração, com base nos atributos das sementes.

### **1.3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A seguir apresentaremos como coletamos os dados para avaliar coespecificamente a relação entre filtros abióticos e atributos morfológicos, germinativos e biofísicos de sementes provenientes de diferentes subregiões do Cerrado e como estas são afetadas pelo aumento de temperatura, redução de sua umidade e quantidade de água disponível para germinação.

#### **Áreas de coleta e dados climáticos**

Selecionamos áreas de cerrado *sensu stricto* localizadas em regiões do Domínio Cerrado (COUTINHO, 2002) que apresentassem diferenças quanto a pluviosidade, temperatura e frequência de veranicos anuais (SILVA *et al.*, 2008). Escolhemos áreas para coleta na região Norte de Minas Gerais (Figura 1.1) e nordeste de Mato Grosso.

Os dados da amplitude térmica e da distribuição temporal da precipitação das regiões onde as sementes foram coletadas foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

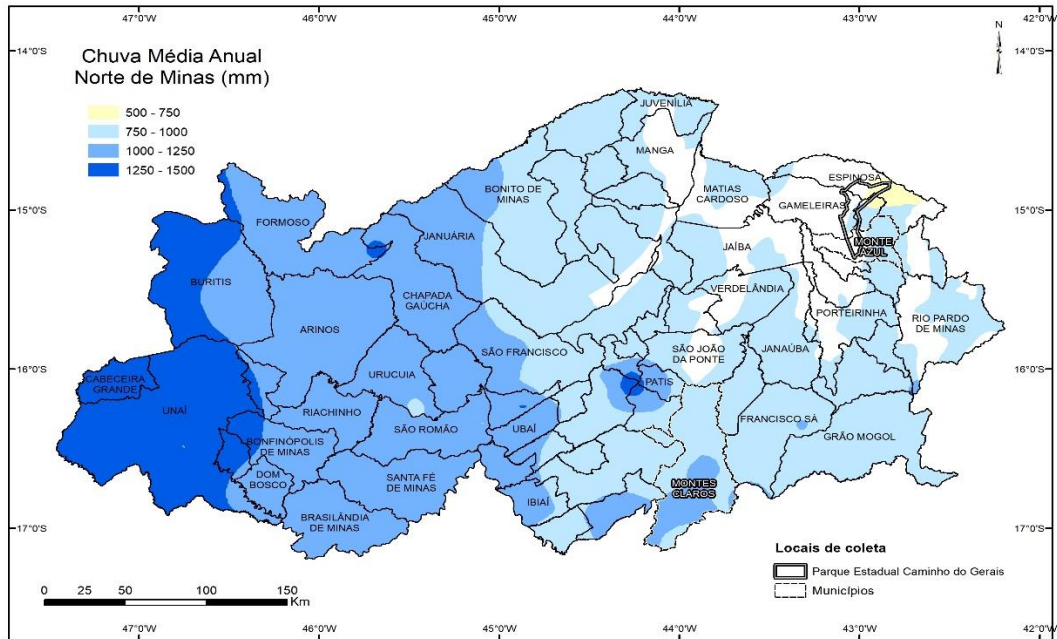


Figura 1.1: Áreas de coletas e precipitação média anual dos últimos 40 anos na região do norte de Minas Gerais (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016).

A região do Norte de Minas Gerais apresenta temperatura média anual entre 22 a 23 °C, e frequência média de veranicos anuais entre 2 a 4. Considerando seus índices pluviométricos é dividida em três regiões: semiárida, subúmida seca e de entono. A região semiárida e subúmida seca possuem pluviosidade média anual entre 500 a 750 mm e 750 a 1000 mm, respectivamente (Figura 1.1) e estão sujeitas ao processo de desertificação (COOMAP, 2010). As precipitações se concentram nos meses de novembro, dezembro e janeiro.

Na região do semiárido coletamos no Parque Estadual Caminhos das Gerais localizado nos municípios de Monte Azul, Espinosa, Gameleiras e Mamonas ( 14° 45' e 15° 30' S e 43° 15' e 42° 45' W). O período com menores ou nenhuma precipitação inicia-se em abril e estende-se até outubro (Figura 1.2). O parque possui 56,3 mil hectares e seus geoambientes predominantes são: arbustal ou carrasco (30%), cerrado rupestre (28,7%) e cerrado *sensu stricto* (18%) que estão localizados em tabuleiros elevados sobre Neossolos Quartzzârenico (RODRIGUES, 2015).

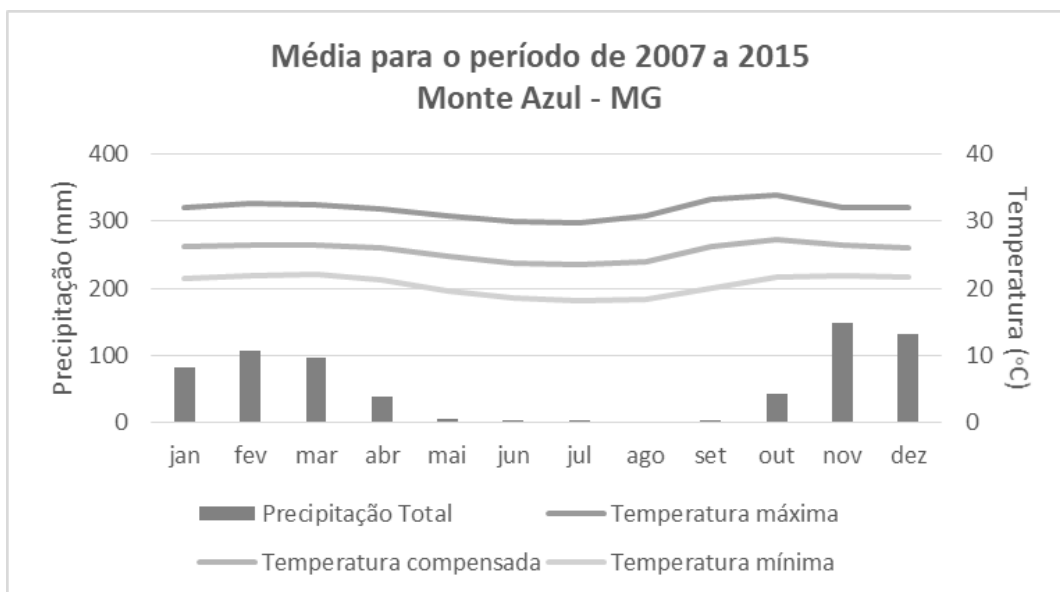


Figura 1. 2: Climatograma do município de Monte Azul – MG. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

Já na região subúmida seca, onde o período de menor precipitação se inicia em maio e estende-se até setembro (Figura 1.3), realizamos coletas na área de reserva do Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas (CAA/NM) localizado no município de Montes Claros (16° 25.575' S e 44° 02.118' W).

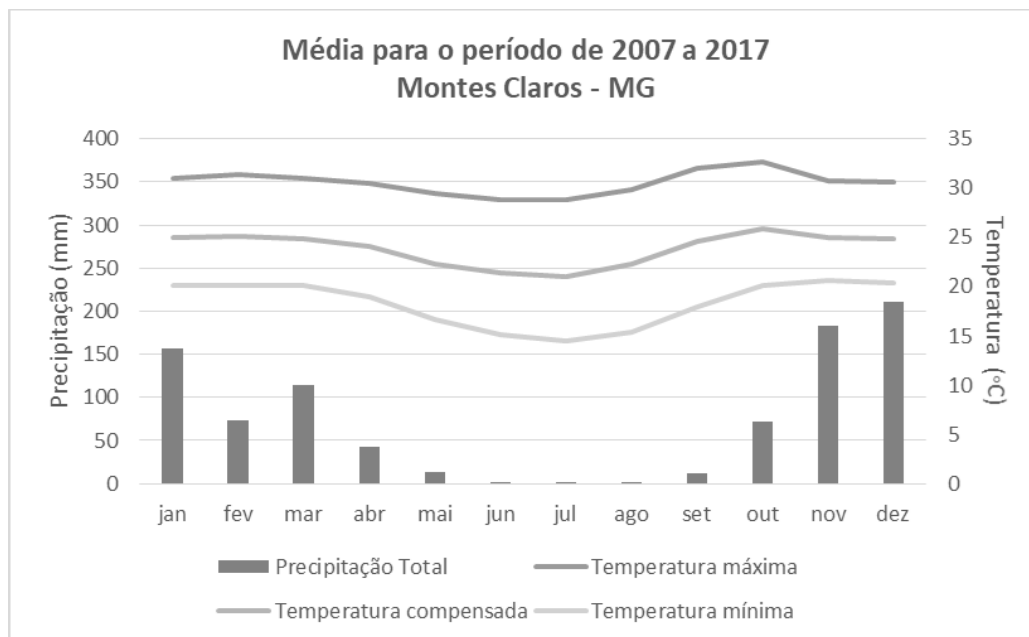


Figura 1.3: Climatograma do município de Montes Claros – MG. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

Na região nordeste de Mato Grosso (MT) realizamos coletas no Parque Municipal do Bacaba, no município de Nova Xavantina (14° 42.932' S e 52° 21.146' W). O parque

possui 500 ha sendo o cerrado *sensu stricto* a fitofisionomia predominante, além de áreas de cerrado e floresta (MARIMON JR. & HARIDASAN, 2005). A outra área de coleta no MT foi em um cerrado *sensu stricto* preservado da Associação de Terra Viva de Agricultura Alternativa e Educação Ambiental, em Porto Alegre do Norte (10° 52.333'S e 51° 52.271'W; Figura 1.4).

Essa região tem frequência média anual de veranicos entre 0 a 2, temperatura média anual entre 24 a 26 °C e precipitação média anual variando entre 1250-1500 mm e 1500-1750 mm para áreas do município de Nova Xavantina e Porto Alegre do Norte, respectivamente (Figura 1.5 e 1.6).

Devido às diferenças de pluviosidade média anual e veranicos entre as regiões, para comparações dos atributos das sementes entre as populações, denominamos o cerrado da região Norte de Minas Gerais como “cerrado seco” e do nordeste de Mato Grosso de “cerrado úmido”.

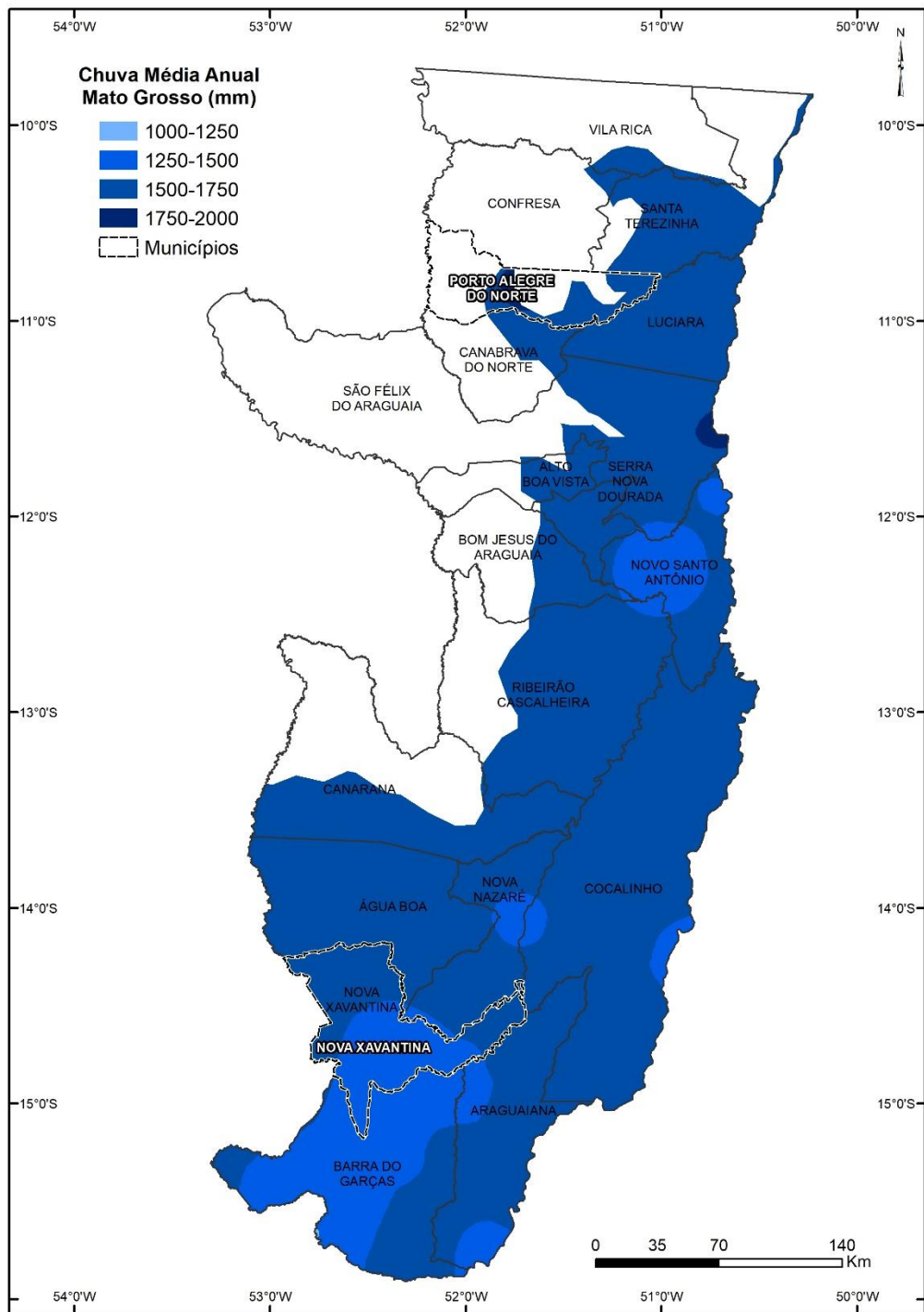


Figura 1.4: Municípios onde estão localizadas as áreas de coleta e precipitação média anual dos últimos 40 anos na região nordeste de Mato Grosso (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016).

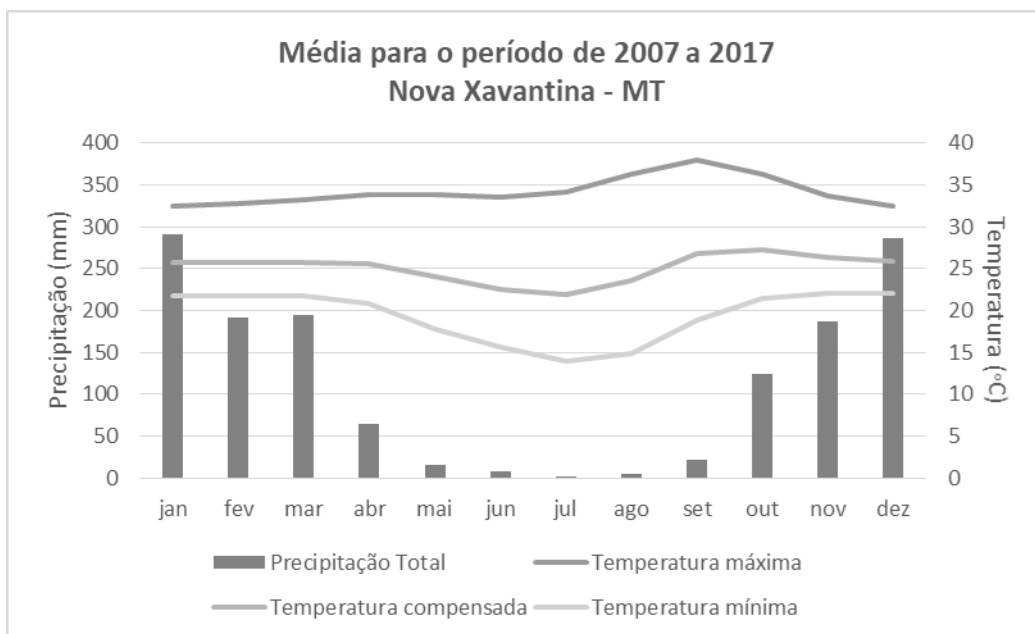


Figura 1.5: Climatograma do município de Nova Xavantina – MT. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

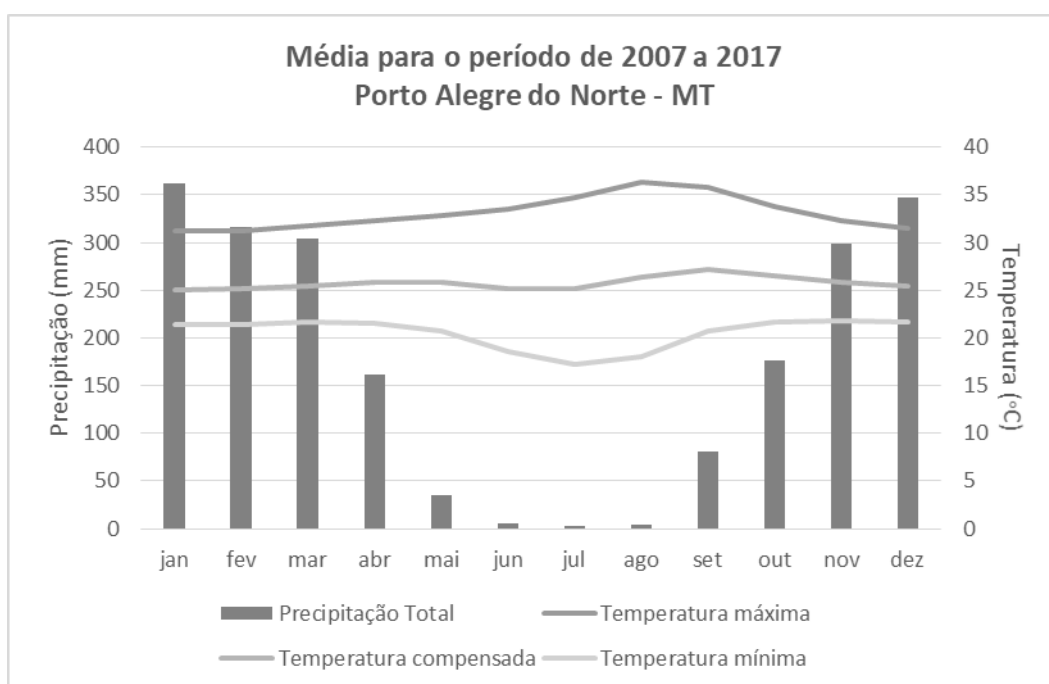


Figura 1.6: Climatograma do município de Nova Xavantina – MT. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br))



## **Filtros abióticos**

### ***Características edáficas e disponibilidade de água no solo***

Nos locais de coleta das sementes, coletamos amostras de solo com trado a 10 cm de profundidade, para análises granulométrica, macro e micronutrientes, saturação de complexos de troca e pH pela empresa Campo – Centro de Tecnologia Agrícola e Ambiental, do município de Brasília – DF.

Medimos a variação do potencial hídrico do solo a 2.0, 5.0 e 10 cm de profundidade, em cada área de coleta utilizando o Medidor de Potencial Hídrico MP4C da DECAGON Devices. Amostramos dez pontos em três horários: 8, 12 e 17h. Realizamos as medidas na época de seca para determinar qual seria o potencial hídrico mais negativo possível do local de coleta.

### ***Temperatura do solo***

Registramos a variação da temperatura do solo durante um ano, por meio de sensores de temperatura (ibuttons) instalados em três pontos das áreas de coleta, nas profundidades 2.0, 5.0 e 10.0 cm.

### **Escolha das espécies e coleta de sementes**

A partir de dados de literatura (RATTER, *et al.*, 2003; MARIMON *et al.*, 2006; NERI, *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2010; ARANHA, 2013; FRANÇOSO, 2014; RODRIGUES, 2015) selecionamos para este estudo espécies arbóreas com ampla distribuição no Cerrado e presentes nas regiões definidas para coleta.

Coletamos diásporos entre junho a outubro de 2016 e 2017 de oito espécies arbóreas, pertencentes a cinco famílias, totalizando 16 populações (Tabela 1.1). Os lotes foram compostos por sementes coletadas de no mínimo dez matrizes, que estavam espaçadas entre si por no mínimo 100 m. Os diásporos coletados foram beneficiados, homogeneizados e armazenados em geladeiras modificadas ou câmaras de armazenamento de sementes.

Tabela 1.1: Lista das espécies coletadas nas duas regiões para realização do estudo, Cod: código das espécies, síndrome e época de dispersão e tipo de dormência (Sd – sem dormência, Fi – dormência física).

Família	Espécies	Cod.	Síndrome de dispersão	Época de dispersão	Dormência
Apocyanaceae	<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson	<i>Him_obov</i>	Anemocoria	Junho a setembro	Sd
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	<i>Kim_cori</i>	Anemocoria	Junho a setembro	Sd
Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	<i>Bow_virg</i>	Anemocoria	Julho a outubro	Fi
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	<i>Cop_lang</i>	Zoocoria	Maior a outubro	Sd
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	<i>Hym_stig</i>	Zoocoria	Julho a outubro	Fi
	<i>Plathymentia reticulata</i> Benth.	<i>Pla_reti</i>	Anemocoria	Julho a outubro	Fi
Sapindaceae	<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	<i>Mag_pube</i>	Anemocoria	Setembro a novembro	Sd
Vochysiaceae	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	<i>Qua_gran</i>	Anemocoria	Agosto a fevereiro	Sd

### Atributos funcionais e comportamento germinativo

Classificamos os atributos das sementes em morfológico, biofísico e germinativo (JIMÉNEZ-ALFARO *et al.*, 2016; SAATKAMP *et al.*, 2019), afim de relacioná-los com seus locais de origem, filtros abióticos e funções (Tabela 1.2).

Tabela 1.2: Atributos das sementes, processos ecológicos relacionados e sua significância funcional (adaptado de JIMÉNEZ-ALFARO *et al.*, 2016; SAATKAMP *et al.*, 2019).

Categoria do atributo	Processo	Atributo da semente (unidade)	Significância funcional
Morfológico	Dispersão e estabelecimento	Peso (g)	Distância de dispersão, taxa de predação, capacidade de colonização de novas áreas e resistência ao fogo.
		Teor de água inicial ou conteúdo de água (%)	Sobrevivência da semente e longevidade no solo
Biofísico	Climáticos	Tolerância a dessecação (categórico)	Persistência, envelhecimento, maturação e resiliência em diferentes climas e habitats
Germinativo	Habitat	Potencial hídrico (MPa)	Habilidade em absorver água do substrato.

<b>Categoria do atributo</b>	<b>Processo</b>	<b>Atributo da semente (unidade)</b>	<b>Significância funcional</b>
		Temperatura de germinação (°C)	Adaptação climática, detecção de época para germinação e amplitude de nicho
		Germinabilidade (%)	Capacidade de recrutamento e viabilidade
	Interações bióticas	Taxas de velocidade de germinação (dias, horas, T50)	Habilidade competitiva, habilidade para germinar em condições restritas de água e tempo para recrutamento

A partir dessa categorização fizemos as seguintes análises:

### **Atributos morfológicos**

#### ***Biometria***

Pesamos 100 sementes de cada população para saber a biomassa úmida de cada semente. Depois colocamos as sementes em estufa e pesamos em ciclos de 24 h até a estabilização do peso para determinarmos a biomassa seca de cada semente.

### **Atributos biofísicos**

#### ***Teor de água inicial de sementes (TAS)***

Determinamos o teor de água inicial das sementes de cada população pela diferença entre o peso inicial (biomassa úmida) e o peso final (biomassa seca) após ciclos de 24 horas em estufa (LIMA JR., 2010). Repetimos o ciclo até a estabilização do peso final. Para isso, utilizamos 100 sementes divididas em quatro réplicas (25 sementes por réplica).

### **Sobrevivência das sementes ao dessecação**

Reduzimos o conteúdo de água das sementes a 5% em dessecador hermeticamente fechado e contendo sílica gel. As sementes foram pesadas em intervalos regulares até atingir a quantidade de água desejada. Para isso, utilizamos a expressão proposta por Cromarty *et al.*, (1985):

$$Md = [(100 - Ci) \cdot (100 - Cd) - 1] \cdot Mi$$

na qual Md é a massa (g) no conteúdo de água desejado, Mi é a massa (g) no conteúdo de água inicial, Ci é o conteúdo de água inicial e Cd é o conteúdo de água desejado.

Após o tratamento de dessecação colocamos 100 sementes de cada população para germinar em germinadores a 30°C e fotoperíodo de 12h. As sementes pequenas foram colocadas em gerbox e as grandes em bandejas plásticas, com papel germitest úmido. Para sementes com dormência física (tegumentar), testamos a germinação com e sem quebra de dormência. Realizamos contagens diárias anotando o número de sementes germinadas a partir da data da primeira semente germinada por um período de dois meses.

### **Atributos germinativos**

#### ***Capacidade de absorção de água das sementes – Potencial osmótico***

Para determinar a quantidade mínima de água necessária para a germinação e simular as condições de estresse hídrico, tal qual as sementes podem experimentar no solo (HARDEGREE; EMMERICH, 1994), colocamos 100 sementes de cada população para germinar em solução de polietilenoglicol (PEG 6000) com potenciais osmóticos ( $\psi\pi$ ) entre -0,2 e -1,0 MPa (VILLELA *et al.*, 1991; NARDOTO *et al.*, 1998). Para sementes com dormência física (tegumentar), montamos os tratamentos com quebra de dormência. Realizamos contagens diárias anotando o número de sementes germinadas por um período de dois meses.

Para garantir que o gerbox com as sementes mantivesse o mesmo potencial osmótico, substituíamos a solução de 4 em 4 dias e, conseqüentemente, remontávamos o gerbox.

#### ***Germinação das sementes em diferentes temperaturas***

Colocamos 100 de sementes de cada população em câmaras de germinação reguladas para temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C. Temperaturas entre 25 e 30°C são

consideradas adequadas para a germinação de uma grande quantidade de espécies do Cerrado (BRANCALION *et al.*, 2010). Para sementes com dormência física (tegumentar), realizamos o experimento com e sem quebra de dormência.

### ***Medidas de Germinação***

Após as contagens do número de sementes germinadas em cada experimento calculamos a porcentagem de germinação, a velocidade, o tempo médio e a variância para cada tratamento (SANTANA & RANAL, 2004).

### **Análise dos dados**

Diferentes formas de análise de dados foram empregadas para responder cada uma das questões levantadas neste capítulo, conforme descrito a seguir:

### ***Atributos morfológicos***

Calculamos a média e o desvio padrão da biomassa seca e úmida de cada população e comparamos esses atributos coespecificamente entre as populações do cerrado úmido e cerrado seco. Testamos os dados quanto à sua normalidade e homogeneidade de variância através dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Para dados com distribuição normal utilizamos o teste t-student, e para dados sem distribuição normal realizamos o teste de Mann-Whitney (VIEIRA, 2008).

### ***Atributos biofísico***

Inicialmente transformamos os dados que estavam em porcentagem através da raiz do Arcoseno (VIEIRA, 2008) e, testamos a seguir, a normalidade e homogeneidade de variância dos dados transformados. Se os dados possuísem distribuição normal e homogeneidade de variância, realizamos a comparação através do teste t-student. Caso contrario, realizamos o teste de Mann-Whitney (VIEIRA, 2008).

Para avaliar a germinação das sementes após dessecação a 5% comparamos a germinabilidade das populações da mesma espécie através de modelos de regressão linear e distribuição binomial (SANTANA *et al.*, 2017): Mo0 – nulo, Mo1-

(germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3 - (germinabilidade ~tratamento + região de coleta) e Mo4 (germinabilidade ~tratamento \* região de coleta). Os modelos foram comparados através do critério de informação de Akaike (AIC; AKAIKE, 1974; BATISTA, 2014). Selecionamos o modelo com menor valor de AIC e delta AIC menor que 2. Se dois modelos apresentassem essa condição, selecionamos o modelo mais simples. Após a seleção do melhor modelo, calculamos o  $R^2$  ajustado do modelo.

### ***Atributos germinativos***

Para avaliar o comportamento germinativo espécie-específico a partir dos dados de germinação, calculamos a germinabilidade, a velocidade, o tempo médio e a variância (SANTANA & RANAL, 2004) para cada tratamento e população. Utilizamos a velocidade e o tempo médio da germinação à temperatura de 30°C para compararmos estes atributos entre as populações através do desvio padrão (CUMMING *et al.*, 2007)

Para compararmos a resposta germinativa das populações espécie-especificamente em função da região de coleta, das temperaturas e dos potenciais osmóticos, utilizamos modelos de regressão linear e distribuição binomial (SANTANA *et al.*, 2017): Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3-(germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4-(germinabilidade~tratamento\*região de coleta). Os modelos foram comparados através do critério de informação de Akaike (AIC; AKAIKE, 1974; BATISTA, 2014). Selecionamos o modelo com menor valor de AIC. Selecionamos o modelo com menor valor de AIC e delta AIC menor que 2. Se dois modelos apresentassem essa condição, selecionávamos o modelo mais simples. Após a seleção do melhor modelo, calculamos o  $R^2$  ajustado do modelo.

Fizemos todas as análises e gráficos utilizando o ambiente computacional Rstudio versão 1.1.447(R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AT) e os pacotes car (FOX *et al.*, 2018), lsmeans (LENTH, 2018), sads (PRADO *et al.*, 2018), ggplot2 (WICKHAM *et al.*, 2019), rsq (ZHANG, 2018) e visreg (BHEHRENY & BURCHETT, 2019).

## 1.4 RESULTADOS

### Filtros abióticos

Os filtros abióticos relacionados à disponibilidade hídrica no solo foram mais restritivos nas áreas localizadas no cerrado seco (norte de Minas Gerais) e os relacionados à temperatura do solo nas áreas de cerrado úmido (nordeste de Mato Grosso), conforme detalhamento a seguir:

### Disponibilidade de água no solo - Potencial hídrico

O potencial hídrico do solo foi mais negativo na profundidade de 2 cm no cerrado seco, independente do horário do dia, quando comparado ao cerrado úmido. Para o cerrado úmido o potencial hídrico na profundidade de 2 cm foi mais negativo nos horários de 12 e 17h (Figura 1.7 e 1.8).

Nas profundidades de 5 e 10 cm as 17h os dois cerrados apresentaram potenciais hídricos semelhantes (Figura 1.7 e 1.8).

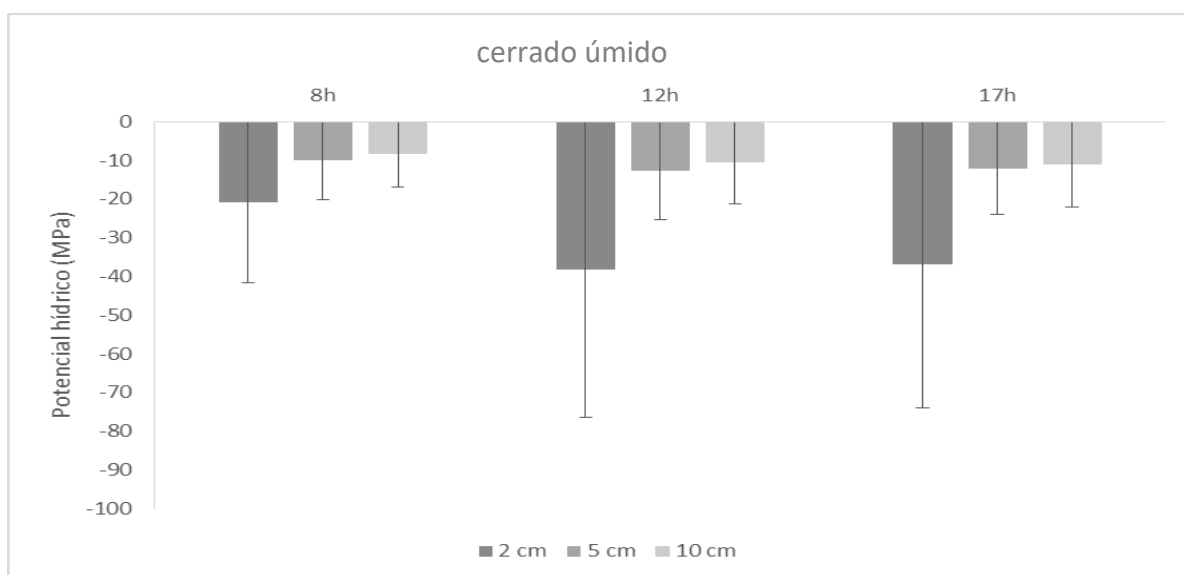


Figura 1.7: Média e desvio padrão do potencial hídrico do solo no cerrado úmido para as três profundidades e horários avaliados no estudo

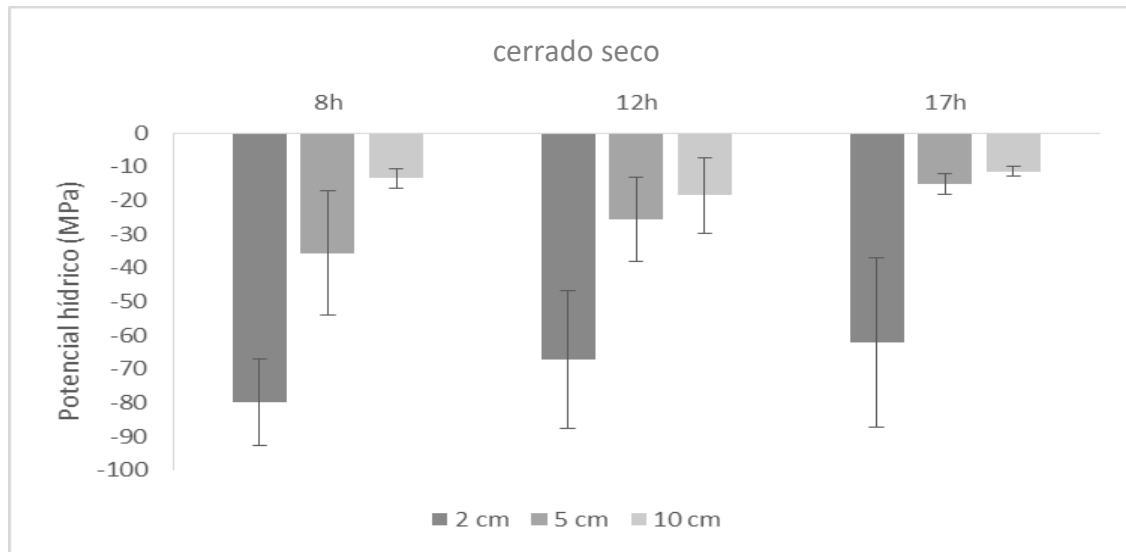


Figura 1 8: Média e desvio padrão do potencial hídrico do solo no cerrado seco para três profundidades e horários avaliados no estudo.

### ***Temperatura do solo***

No cerrado seco as menores temperaturas médias do solo ocorreram entre os meses de maio e julho independentemente da profundidade. Os maiores picos de temperatura, entre 40 e 50 °C, foram registrados de novembro a março a 2 cm de profundidade. As temperaturas mínimas também foram a 2 cm de profundidade, entre abril e outubro, e as diferenças nos picos de temperatura máxima e mínima foram menores entre 5 e 10 cm (Figura 1.9).

No cerrado úmido os maiores picos de temperatura foram entre 60 e 63 °C a 2 cm de profundidade durante os meses de agosto, outubro e novembro. Entre maio a setembro as maiores temperaturas médias foram encontradas a 5 cm de profundidade, provavelmente por se tratarem de meses mais frios e com maior amplitude térmica (Figura 1.10).



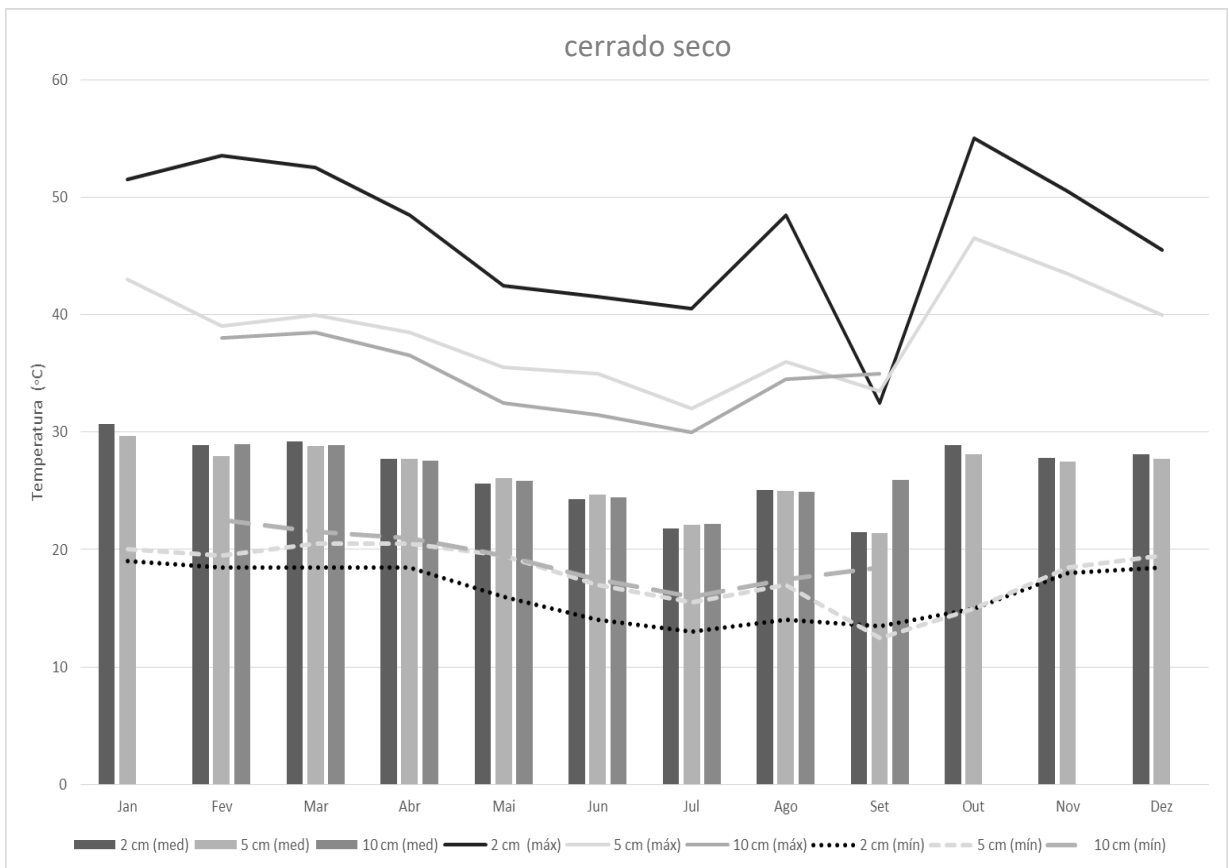


Figura 1.9: Temperaturas média, máxima e mínima mensais do solo em três profundidades avaliadas no cerrado seco (Norte de Minas Gerais).

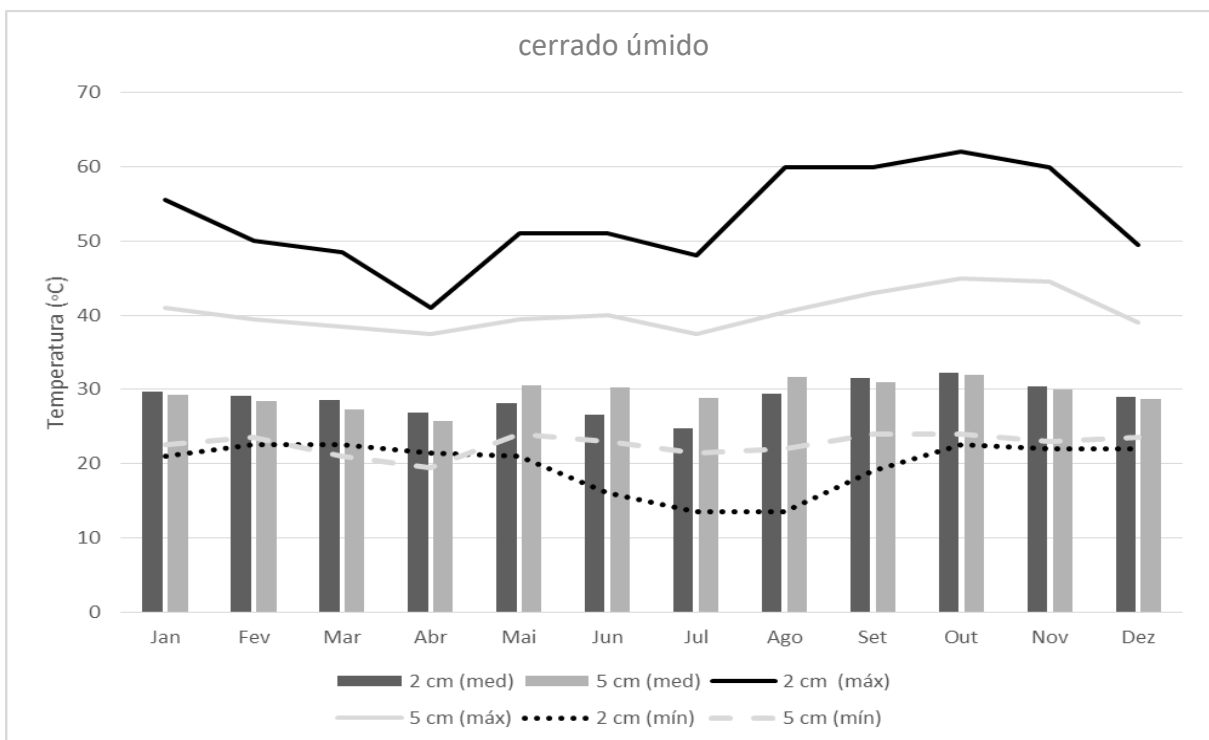


Figura 1.10: Temperaturas média, máxima e mínima mensais do solo nas duas profundidades avaliadas no cerrado úmido (Nordeste de Mato Grosso).

## Características edáficas

Os solos do cerrado seco e úmido foram classificados como tipo 1 (arenoso) areia fraca e franco-arenoso, respectivamente. Todos apresentaram ph ácido em torno de 5.0 e a percentagem de silte de 3,7 no cerrado seco e 20.0 no cerrado úmido (Anexo A1).

## Atributos funcionais e comportamento germinativo

### Atributos morfológicos

#### Biometria

Dentre as oito espécies consideradas, em quatro o peso da semente seca foi maior para as populações provenientes do cerrado seco; em três o peso foi maior nas populações do cerrado úmido e apenas para as sementes de *Hymenaea stigonocarpa* não houve diferença entre os cerrados quanto a este atributo (Figura 1.11).

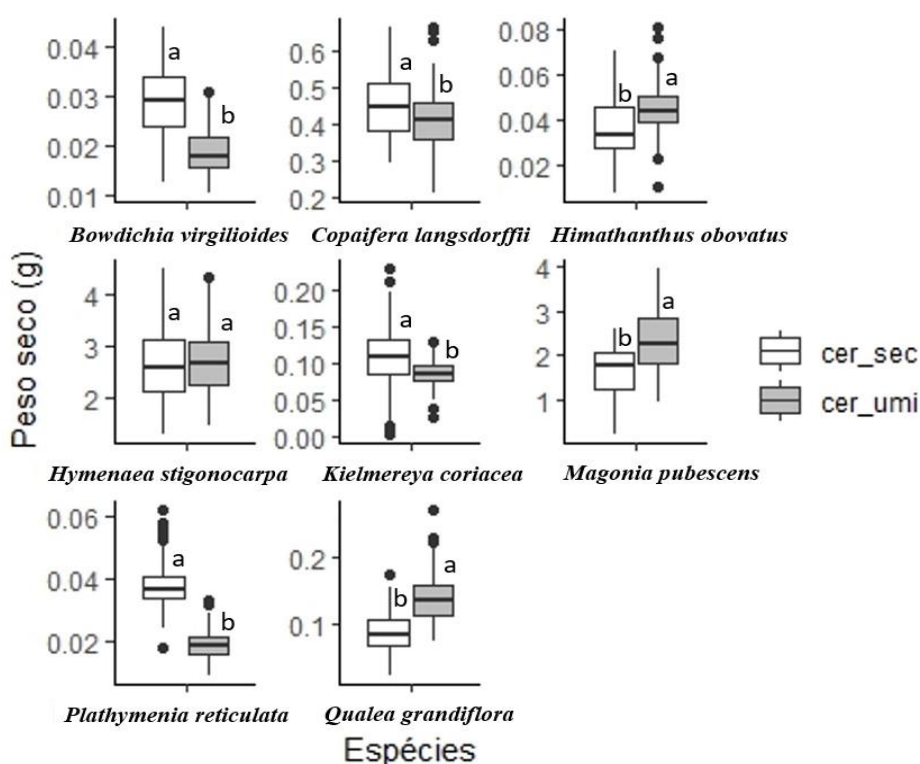


Figura 1.11: Boxplot do peso seco de sementes de pares coespecíficos. O box é delimitado pelo primeiro e terceiro quartis, a linha no interior representa a mediana, a linha representa a dispersão dos dados e as letras diferentes representam diferenças significativas entre as populações (p < 0,05). cer\_sec – cerrado seco e cer\_umi – cerrado úmido.

## Atributos biofísicos

### Teor de água inicial

A umidade inicial foi igual para três espécies independente da região de origem. O cerrado seco apresentou três populações com maior umidade inicial e duas populações com menor umidade (Tabela 1.3). As duas populações com menor umidade são espécies que possuem sementes achatadas, leves e dispersa pelo vento.

Tabela 1 3: Umidade inicial, germinabilidade, tempo médio de germinação  $\pm$  desvio padrão e T50 de sementes colocadas para germinar a 30°C com umidade inicial (controle) e após o tratamento de dessecação até atingirem 5% de umidade. Espécie: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriácea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran - *Qualea grandiflora*; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido; G: germinabilidade e TMG: tempo médio de germinação. As letras diferentes representam diferenças significativas entre as populações ( $p < 0,05$ ) para a umidade inicial e \* indica que as sementes foram escarificadas.

Espécie	Local	Umidade inicial (%)	Controle			5 % de umidade		
			G (%)	Tempo médio (h)	T50 (h)	G (%)	Tempo médio (h)	T50 (h)
Bow_virg	cer_sec	8.26 <sup>A</sup>	77	348,93 $\pm$ 169,60	360	71	574,31 $\pm$ 357,18	432
	cer_umi	9.8 <sup>A</sup>	78	385,24 $\pm$ 162,39	264	78	596,92 $\pm$ 21,43	540
Cop_lang	cer_sec	12.27 <sup>A</sup>	88	452,18 $\pm$ 165,39	456	86	500,93 $\pm$ 255,82	480
	cer_umi	10.15 <sup>B</sup>	80	581,05 $\pm$ 182,87	600	36	726,94 $\pm$ 378,10	600
Him_obov	cer_sec	5.47 <sup>B</sup>	95	166,48 $\pm$ 51,66	168	98	159,18 $\pm$ 47,55	144
	cer_umi	6.71 <sup>A</sup>	98	209,63 $\pm$ 50,59	216	96	243,5 $\pm$ 73,20	228
Hym_stig	cer_sec	12.47 <sup>A</sup>	91	393.23 $\pm$ 243.88	312	47	682.21 $\pm$ 403.88	648
	cer_umi	12.29 <sup>A</sup>	85	349.83 $\pm$ 161.01	312	62	553.54 $\pm$ 342.34	432
Hym_stig *	cer_sec	12.47 <sup>A</sup>	100	164.88 $\pm$ 34.72	168	100	150.96 $\pm$ 32.77	144
	cer_umi	12.29 <sup>A</sup>	100	195.12 $\pm$ 36.84	192	95	228.88 $\pm$ 59.51	216
Kie_cori	cer_sec	12.49 <sup>B</sup>	96	103.25 $\pm$ 49.62	96	53	183.84 $\pm$ 51.33	168
	cer_umi	14.43 <sup>A</sup>	94	164.42 $\pm$ 63.05	168	87	174.68 $\pm$ 51.97	192
Mag_pube	cer_sec	5.87 <sup>A</sup>	93	176.77 $\pm$ 81.75	144	92	173.47 $\pm$ 98.09	144
	cer_umi	5.45 <sup>A</sup>	96	194.25 $\pm$ 68.86	192	88	143.47 $\pm$ 45.36	144
Pla_reti	cer_sec	7.14 <sup>A</sup>	47	301.78 $\pm$ 214.64	240	23	303.65 $\pm$ 395.26	144
	cer_umi	5.17 <sup>B</sup>	53	316.52 $\pm$ 324.49	168	49	298.28 $\pm$ 268.41	168
Pla_reti *	cer_sec	7.14 <sup>A</sup>	99	101.81 $\pm$ 24.50	92	98	119.20 $\pm$ 29.02	120
	cer_umi	5.17 <sup>B</sup>	99	76.12 $\pm$ 23.51	72	100	74.4 $\pm$ 59.42	48
Qua_gran	cer_sec	15.2 <sup>A</sup>	97	181.11 $\pm$ 66.09	192	0		
	cer_umi	6.95 <sup>B</sup>	85	318.77 $\pm$ 115.84	288	0		

### ***Germinação das sementes após dessecação a 5% de umidade***

A dessecação levou ao aumento do tempo médio e T50 de germinação para quase todas as populações. Com exceção de *Qualea grandiflora*, as populações cujas sementes apresentaram umidade inicial menor que 7,72 % não foram afetadas pelo dessecação. Entretanto, populações com umidade inicial superior a 7,72% tiveram uma redução na germinabilidade após o tratamento (Tabela 1.3).

Ao gerarmos o melhor modelo comparando espécie-específica as populações apresentaram diferenças no melhor modelo (Tabela 1.4). Para duas espécies o melhor modelo foi o nulo (Mo0), ou seja, elas não são afetadas pela dessecação e nem pela região de origem das sementes. A influência apenas do tratamento (Mo1) foi observada em apenas uma das espécies, nesse caso, também, a região de origem da semente não influenciou a resposta germinativa (Tabela 1.3, Tabela 1.4).

A germinação das demais espécies (5) foi influenciada tanto pela dessecação da semente quanto pelo local de origem e três delas através de interação (Mo3, Mo4). Dessas cinco espécies uma (*Qualea grandiflora*) não germinou, independente da região, após o tratamento de dessecação; para três (*Hymenaea stigonocarpa*, *Kielmeyera coriácea*, *Plathymenia reticulata*) a dessecação reduziu a germinação das sementes oriundas do cerrado seco e para uma (*Copaifera langsdorffii*) ocorreu a redução da germinação da população do cerrado úmido (Tabela 3).

Tabela 1.4: Resultados da comparação de modelos através do critério de informação de Akaike para a dessecação das sementes a 5% de umidade. Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3- (germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4-(germinabilidade~tratamento\*região de coleta). As linhas em negrito são dos modelos selecionados.

<b>Espécie</b>	<b>Modelo</b>	<b>dAIC</b>	<b>df</b>	<b>AIC</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Bowdichia virgilioides</i>	<b>Mo0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>438.2</b>	<b>0</b>
	Mo1	1.8	2	440	
	Mo2	0.6	2	438.8	
	Mo3	2.4	3	440.6	
	Mo4	3.5	4	441.7	
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Mo0	62.8	1	466.6	
	Mo1	40.7	2	444.5	
	Mo2	24.8	2	428.5	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>403.8</b>	<b>0.18</b>
	Mo4	0	3	403.8	
<i>Himatanthus obovatus</i>	<b>Mo0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>116.7</b>	<b>0</b>
	Mo1	1.9	2	118.6	

Espécie	Modelo	dAIC	df	AIC	R <sup>2</sup>
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	Mo2	1.9	2	118.6	
	Mo3	3.8	3	120.5	
	Mo4	3.8	4	120.5	
	Mo0	57.8	1	481.9	
	Mo1	2.3	2	426.4	
	Mo2	58.8	2	482.9	
	Mo3	3.1	3	427.3	
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> *	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>424.1</b>	<b>0.15</b>
	Mo0	10.1	1	55.8	
	Mo1	5.1	2	50.8	
	Mo2	5.1	2	50.8	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>45.7</b>	<b>0.03</b>
<i>Kielmeyera coriacea</i>	Mo4	2	4	47.7	
	Mo0	70.5	1	373	
	Mo1	25.2	2	327.8	
	Mo2	54.2	2	356.7	
	Mo3	6.7	3	309.2	
<i>Magonia pubescens</i>	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>302.5</b>	<b>0.21</b>
	Mo0	0.9	1	220.1	
	<b>Mo1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>219.2</b>	<b>0.007</b>
	Mo2	2.8	2	222.1	
	Mo3	2	3	221.2	
<i>Plathymenia reticulata</i>	Mo4	2.2	4	221.5	
	Mo0	17.1	1	548.7	
	Mo1	11.6	2	542.6	
	Mo2	9.2	2	540.2	
	Mo3	2.9	3	533.9	
<i>Plathymenia reticulata</i> *	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>531</b>	<b>0.05</b>
	<b>Mo0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>46.8</b>	<b>0</b>
	Mo1	2	2	48.8	
	Mo2	0.9	2	47.7	
	Mo3	2.9	3	49.7	
<i>Qualea grandiflora</i>	Mo4	3.2	4	50	
	Mo0	435.8	1	553.3	
	Mo1	7.5	2	125	
	Mo2	436.3	2	553.8	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>117.5</b>	<b>0.84</b>
	Mo4	2	4	119.5	

## Atributos germinativos

### Capacidade de absorção de água das sementes

Independente da origem nenhuma das sementes das populações germinou a -1,0 MPa. Somente sementes de cinco populações germinaram no potencial osmótico de -0,8 MPa e, com exceção de uma, a germinação foi menor que 50%. Esse potencial foi limitante para 6 das 16 populações. O potencial de -0,4 MPa foi limitante para as populações de duas espécies (Figura 1.12, Tabela 1.5).

A quantidade mínima de água necessária para germinação ou o potencial osmótico mais negativo mostrou-se como um atributo relacionado à espécie. Pois, das oito espécies e 16 populações avaliadas, apenas duas espécies (*Plathymenia reticulata*, *Qualea grandiflora*) tiveram uma de suas duas populações germinando em um potencial osmótico mais negativo do que a outra (Figura 1.12, Tabela 1.5).

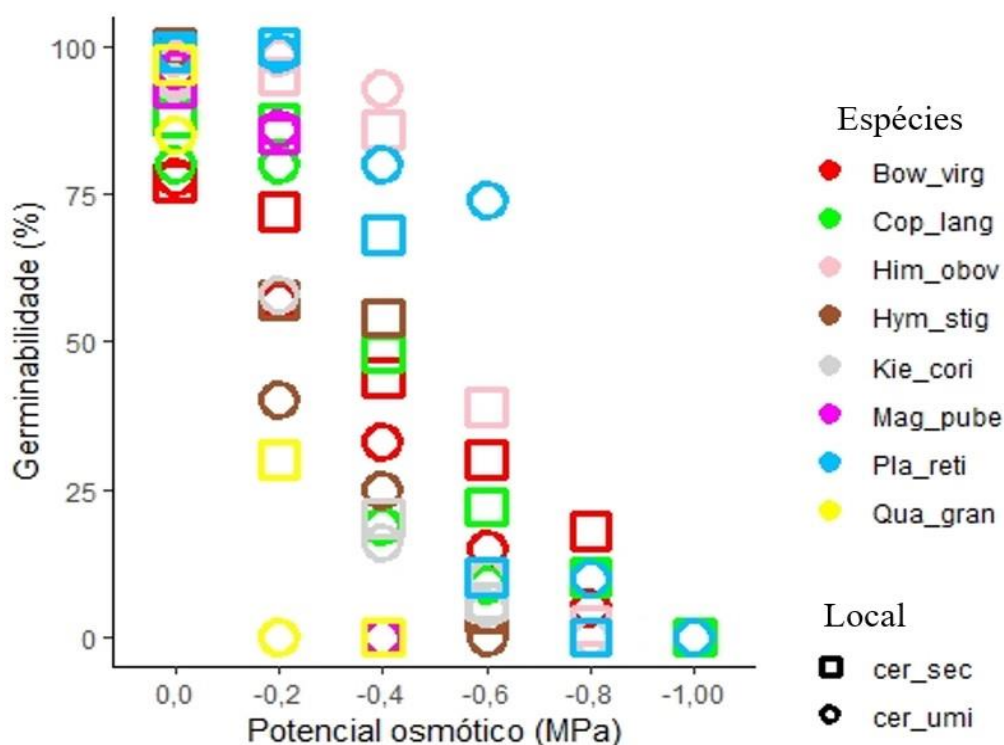


Figura 1.12: Germinabilidade de sementes de espécies colhidas nas diferentes regiões sob potenciais osmóticos mais negativos (MPa). Espécies: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriácea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran - *Qualea grandiflora*; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido.

Além de apresentar uma relação com a espécie, a quantidade mínima de água necessária para germinação ou potencial osmótico mais negativo mostrou relação com a região de origem das sementes. Pois, ao gerarmos o modelo comparando espécie-específica as populações apenas para uma espécie (*Magonia pubescens*) o melhor modelo foi o que não detectava efeito do local e apenas dos tratamentos (Mo1). Para as demais espécies (7), os melhores modelos foram os que consideravam o local de origem e tratamento (4, Mo3) e interação (3, Mo4). Nesse caso, as populações do cerrado seco de seis espécies germinaram mais em potenciais osmóticos mais negativos quando comparado as populações da mesma espécie do cerrado úmido (Tabela 1.6).

Tabela 1.5: Germinabilidade (%) e tempo médio de germinação (h) + desvio padrão e T50 em diferentes potencias osmóticos. Espécies Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriacea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran - *Qualea grandiflora* ; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido.

Espécie	Local	Potencial osmótico														
		0,0 MPa			- 0,2 MPa			- 0,4 MPa			- 0,6 MPa			- 0,8 MPa		
		G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50
Bow_virg	cer_sec	77	348.9 ± 169.6	360	72	544.7 ± 189.1	480	44	801.8 ± 218.2	840	30	811.2 ± 135.5	768	18	852 ± 157.7	840
	cer_umi	78	385.2 ± 162.4	264	57	616.8 ± 190.5	528	33	867.6 ± 261.4	792	15	897.6 ± 228.4	936	5	955.2 ± 166.6	864
Cop_lang	cer_sec	88	452.2 ± 165.4	456	87	511.7 ± 195.4	480	48	687.5 ± 231.6	600	22	780 ± 157.4	816	10	854.4 ± 56.8	864
	cer_umi	80	590.7 ± 185.4	600	80	600 ± 226.0	624	19	642.9 ± 142.6	624	9	701.3 ± 156.3	744	0		
Him_obov	cer_sec	95	166.5 ± 51.7	168	95	279.4 ± 74.3	288	86	360.3 ± 89.7	324	39	694.8 ± 311.5	552	2	444 ± 50.9	444
	cer_umi	98	209.6 ± 50.6	216	98	294.8 ± 89.2	264	93	459.3 ± 135.6	480	10	1118.4 ± 395.7	1368	0		
Hym_stig	cer_sec	100	164.9 ± 12.9	168	57	446.7 ± 96.4	456	54	637.3 ± 126.3	624	4	738 ± 109.8	780	0		
	cer_umi	100	195.1 ± 36.8	192	40	451.2 ± 76.1	432	25	555.8 ± 115.2	528	0			0		
Kie_cori	cer_sec	96	103.2 ± 49.6	96	85	472.6 ± 186.4	480	20	934.8 ± 19.8	744	6	976 ± 20.5	984	0		
	cer_umi	94	164.4 ± 63.0	168	58	252 ± 108.3	216	16	426 ± 123.1	408	5	614.4 ± 156.1	600	0		
Mag_pube	cer_sec	93	176.8 ± 81.7	144	85	285.4 ± 98.9	288	0			0			0		
	cer_umi	96	194.2 ± 68.9	192	86	200.4 ± 119.7	168	0			0			0		
Pla_reti	cer_sec	99	101.8 ± 24.5	92	100	125.8 ± 16.7	120	68	218.5 ± 66.4	216	10	549.1 ± 194.5	648	0		
	cer_umi	99	76.1 ± 23.5	72	99	119.3 ± 7.2	120	80	203.4 ± 56.9	216	74	344.4 ± 159.1	288	10	775.2 ± 183.5	672
Qua_gran	cer_sec	97	181.1 ± 66.1	192	30	270.4 ± 74.0	252	0			0			0		
	cer_umi	85	318.8 ± 115.8	288	0			0			0			0		



Tabela 1.6: Resultados da comparação de modelos através do critério de informação de Akaike para a germinação nos diferentes potenciais osmóticos. Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3- (germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4-(germinabilidade~tratamento\*região de coleta). As linhas em negrito são dos modelos selecionados.

<b>Espécie</b>	<b>Modelo</b>	<b>dAIC</b>	<b>df</b>	<b>AIC</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Bow_virg</i>	Mo0	461.1	1	1566.7	
	Mo1	13.6	2	1119.1	
	Mo2	452.9	2	1558.5	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1105.6</b>	<b>0.34</b>
	Mo4	0	3	1105.6	
<i>Cop_lang</i>	Mo0	741	1	1582.4	
	Mo1	32.6	6	874	
	Mo2	726.9	2	1568.3	
	Mo3	0.5	7	841.9	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>841.4</b>	<b>0.53</b>
<i>Him_obov</i>	Mo0	1172	1	1664.7	
	Mo1	20.1	6	512.9	
	Mo2	1172.9	2	1665.6	
	Mo3	17.6	7	510.3	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>492.7</b>	<b>0.77</b>
<i>Hym_stig</i>	Mo0	926.6	1	1500.4	
	Mo1	22.9	6	596.7	
	Mo2	1091.8	2	1665.6	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>573.8</b>	<b>0.62</b>
	Mo4	5.5	12	579.3	
<i>Kie_cori</i>	Mo0	907.2	1	1500.4	
	Mo1	11	6	604.2	
	Mo2	904.7	2	1497.9	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>593.2</b>	<b>0.66</b>
	Mo4	3.5	12	596.7	
<i>Mag_pube</i>	Mo0	1205.3	1	1468.1	
	<b>Mo1</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>262.8</b>	<b>0.86</b>
	Mo2	1207.2	2	1470	
	Mo3	1.5	7	264.3	
	Mo4	11.1	12	273.9	
<i>Pla_reti</i>	Mo0	1132.8	1	1660.5	
	Mo1	100	6	627.7	
	Mo2	1110.5	2	1638.2	
	Mo3	25.5	7	553.2	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>527.7</b>	<b>0.73</b>

Espécie	Modelo	dAIC	df	AIC	R <sup>2</sup>
<i>Qua_gran</i>	Mo0	866.5	1	1121.1	
	Mo1	47.5	6	302.1	
	Mo2	858.4	2	1113	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>254.6</b>	<b>0.78</b>
	Mo4	3.1	12	257.7	

### *Germinação das sementes em diferentes temperaturas*

Com a exceção de *Plathymenia reticulata*, que teve as sementes de suas populações germinando a 45° C, as demais espécies e suas populações apresentaram temperatura limitante superior de germinação em 40 °C. A temperatura ótima ficou entre 25 a 35°C, ou seja, a amplitude de germinação para as espécies foi alta. Exceção feita a *Qualea grandiflora*, que teve sua germinabilidade reduzida a 25°C. Ademais, independente da localidade de origem, a maioria das populações não teve sua germinabilidade alterada nas temperaturas entre 25 a 35 °C (Figura 1.13, Tabela 1.7).

A temperatura de germinação apresentou-se como um atributo relacionado à espécie. Pois, apenas *Kielmeyera coriacea* teve uma de suas duas populações germinando em uma temperatura mais restritiva que a outra (Figura 1.13, Tabela 1.7).

Todas as populações apresentaram diferenças no tempo médio da germinação e T50 correlacionadas à mudança da temperatura. Para o T50, tempo em que 50% das sementes germinaram, ocorreu uma tendência de que com o aumento da temperatura ocorria a diminuição do T50. Exceto para as sementes das populações de *Plathymenia reticulata*, *Copaifera langsdorffii* e *Hymenaea stigonocarpa* o tempo médio de germinação foi menor a 30°C (Figura 1.13, Tabela 1.7).

Assim como no potencial osmótico, a germinação no gradiente de temperatura apresentou uma relação com a espécie e com a região de origem das sementes. Quando geramos os modelos comparando espécie-específica as populações, apenas uma espécie (*Magonia pubescens*) apresentou como melhor modelo o que não relacionava a germinação ao local de origem das sementes (Mo1). Para as demais espécies (7), os melhores modelos foram os que consideravam o local de origem e as diferentes temperaturas (2, Mo3) e interação (5, Mo4). Para essas sete espécies, as populações do cerrado seco apresentaram maiores germinações no gradiente de temperatura do que as do cerrado úmido (Tabela 1.8).

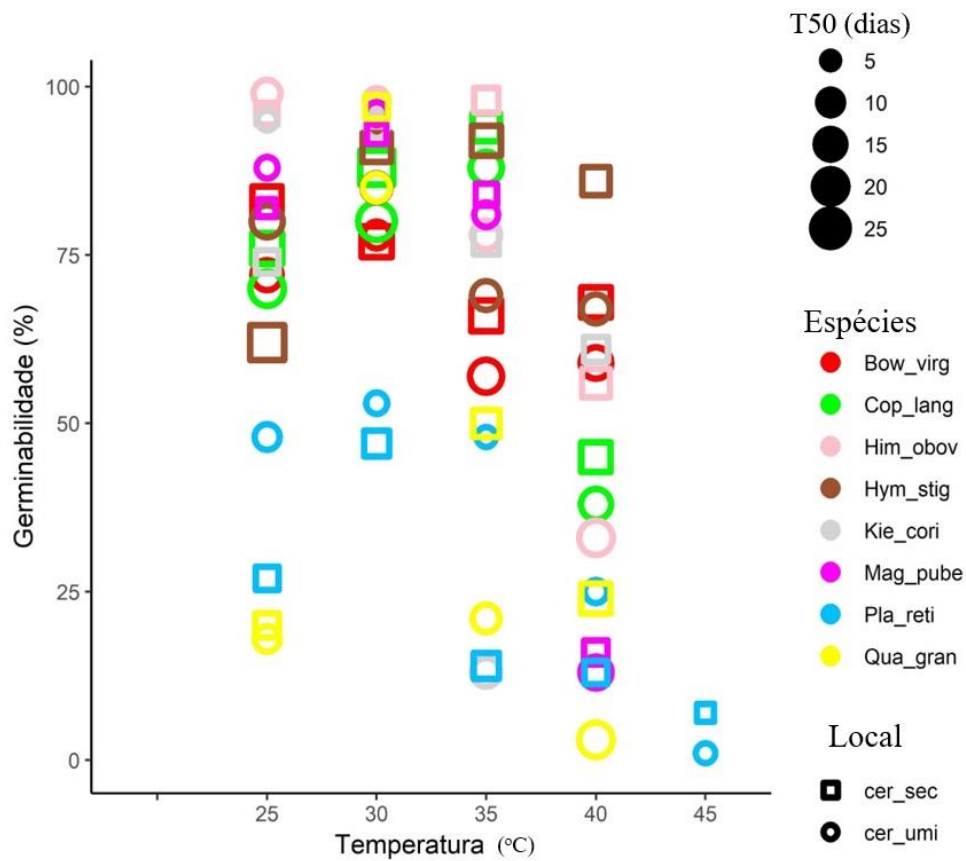


Figura 1.13: Germinabilidade e T50 das sementes das espécies das diferentes regiões e temperaturas. Espécies: Bow\_virg - *Bowdichia virgilioide*, Cop\_lang - *Copaifera langsdorffii*, Him\_obov - *Himatanthus obovatus*, Hym\_stig - *Hymenaea stigonocarpa*, Kie\_cori - *Kielmeyera coriacea*, Mag\_pube - *Magonia pubescens*, Pla\_reti - *Plathymenia reticulata* e Qua\_gran - *Qualea grandiflora*; Local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido.

Tabela 1.7: Germinabilidade (%) e tempo médio de germinação em horas (h)  $\pm$  desvio padrão e T50 (dias) em diferentes temperaturas. Espécie: *Bow\_virg* - *Bowdichia virgilioide*, *Cop\_lang* - *Copaifera langsdorffii*, *Him\_obov* - *Himatanthus obovatus*, *Hym\_stig* - *Hymenaea stigonocarpa*, *Kie\_cori* - *Kielmeyera coriacea*, *Mag\_pube* - *Magonia pubescens*, *Pla\_reti* - *Plathymenia reticulata* e *Qua\_gran* - *Qualea grandiflora* Local: cer\_sec: cerrado seco e cer\_umi: cerrado úmido. O \* indica que as sementes foram escarificadas.

Espécie	Local	Temperatura														
		25			30			35			40			45		
		G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50	G	Tempo médio	T50
<i>Bow_virg</i>	cer_sec	83	406 $\pm$ 259,4	14	77	385,2 $\pm$ 162,4	15	66	370 $\pm$ 99,1	15	68	399,2 $\pm$ 140,4	14,5	0		
	cer_umi	72	396,3 $\pm$ 212,9	14	78	348,9 $\pm$ 169,6	11	57	415,1 $\pm$ 109,1	18	59	393,8 $\pm$ 105,3	16	0		
<i>Cop_lang</i>	cer_sec	76	377,4 $\pm$ 110	15	88	452,2 $\pm$ 165,4	19	94	302,8 $\pm$ 81,1	12	45	339,2 $\pm$ 165,8	14	0		
	cer_umi	70	464 $\pm$ 147,8	20	80	581 $\pm$ 182,9	25	88	402,2 $\pm$ 102,6	17	38	376,4 $\pm$ 115,8	15	0		
<i>Him_obov</i>	cer_sec	96	182 $\pm$ 43,7	7	95	166,5 $\pm$ 51,7	7	98	206,7 $\pm$ 57,2	9	56	318,4 $\pm$ 142,2	12	0		
	cer_umi	99	295 $\pm$ 84,1	12	98	209,6 $\pm$ 50,6	9	78	316 $\pm$ 122,3	13	33	555,6 $\pm$ 179,1	20	0		
<i>Hym_stig</i>	cer_sec	62	514,8 $\pm$ 216,3	20	91	393,2 $\pm$ 243,9	13	92	429,4 $\pm$ 275,2	14	86	353 $\pm$ 195,9	12	0		
	cer_umi	80	455,1 $\pm$ 200	17	85	349,8 $\pm$ 161	13	69	332,9 $\pm$ 115,2	13	67	314,1 $\pm$ 81,3	13	0		
<i>Hym_stig</i> *	cer_sec	99	212,8 $\pm$ 54,3	8	100	164,9 $\pm$ 34,7	7	96	180,2 $\pm$ 44,4	8	91	210,2 $\pm$ 40,7	9	0		
	cer_umi	85	256,1 $\pm$ 46,2	10	100	195,1 $\pm$ 36,8	8	87	264,5 $\pm$ 58	11	85	268,1 $\pm$ 55,9	10	0		
<i>Kie_cori</i>	cer_sec	74	197,5 $\pm$ 62,9	8	96	103,2 $\pm$ 49,6	4	77	233,1 $\pm$ 72	10	61	236,8 $\pm$ 58,4	9	0		
	cer_umi	95	142,2 $\pm$ 29,3	6	94	164,4 $\pm$ 63	7	13	319,4 $\pm$ 90	13	0			0		
<i>Mag_pube</i>	cer_sec	82	131,1 $\pm$ 39,0	5	93	176,8 $\pm$ 81,7	6	84	178,3 $\pm$ 64,7	7	16	285 $\pm$ 168,1	8	0		
	cer_umi	88	171,5 $\pm$ 60,1	7	96	194,2 $\pm$ 68,7	8	81	272,6 $\pm$ 121,2	9	13	411,7 $\pm$ 35,1	17	0		
<i>Pla_reti</i>	cer_sec	27	390,8 $\pm$ 390,9	8	47	301,8 $\pm$ 214,6	10	14	252 $\pm$ 60,1	10	13	197,5 $\pm$ 29,6	8	7	123,4 $\pm$ 35,1	5
	cer_umi	48	336,5 $\pm$ 290,3	10	53	316,5 $\pm$ 324,5	7	48	243 $\pm$ 183,1	6	25	214,1 $\pm$ 122	8	1	144	6
<i>Pla_reti</i> *	cer_sec	98	142,5 $\pm$ 39,4	6	99	101,8 $\pm$ 24,5	4	97	97,7 $\pm$ 6,24	4	80	171,6 $\pm$ 32,6	7	20	224,4 $\pm$ 33,28	9
	cer_umi	94	126,9 $\pm$ 32,9	5	99	76,1 $\pm$ 23,5	3	100	106,6 $\pm$ 12,4	4	79	198,1 $\pm$ 99,3	6	18	166,7 $\pm$ 36,3	6
<i>Qua_gran</i>	cer_sec	20	211,2 $\pm$ 63,1	8	97	181,1 $\pm$ 66,1	8	50	289,4 $\pm$ 115	11	24	341 $\pm$ 77,5	14	0		
	cer_umi	18	224 $\pm$ 36,8	10	85	318,8 $\pm$ 115,8	10	21	301,7 $\pm$ 75,7	12	3	376 $\pm$ 201,3	20	0		

Tabela 1.8: Resultados da comparação de modelos através do critério de informação de Akaike para as diferentes temperaturas de germinação. Mo0 – nulo, Mo1- (germinabilidade~tratamento), Mo2 – (germinabilidade~região de coleta), Mo3-(germinabilidade~tratamento + região de coleta) e Mo4-(germinabilidade~tratamento\*região de coleta). As linhas em negrito são dos modelos selecionados.

<b>Espécie</b>	<b>Modelo</b>	<b>dAIC</b>	<b>df</b>	<b>AIC</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>Bow_virg</i>	Mo0	411.1	1	1373.9	
	Mo1	2.8	5	965.6	
	Mo2	409.9	2	1372.7	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>962.8</b>	<b>0.33</b>
	Mo4	5.8	10	968.6	
<i>Cop_lang</i>	Mo0	557	1	1362.6	
	Mo1	4	5	809.6	
	Mo2	555.8	8	1361.4	
	<b>Mo3</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>805.6</b>	<b>0.46</b>
	Mo4	7.1	10	812.7	
<i>Him_obov</i>	Mo0	780	1	1293.1	
	Mo1	25.9	5	539.1	
	Mo2	776	2	1289.1	
	Mo3	11	6	524.1	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>513.1</b>	<b>0.65</b>
<i>Hym_stig</i>	Mo0	532.4	1	1317.8	
	Mo1	27.7	5	813.1	
	Mo2	530.5	2	1315.9	
	Mo3	22.8	6	808.1	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>785.3</b>	<b>0.46</b>
<i>Hym_stig*</i>	Mo0	532.4	1	1317.8	
	Mo1	27.7	5	813.1	
	Mo2	530.5	2	1315.9	
	Mo3	22.8	6	808.1	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>785.3</b>	<b>0.46</b>
<i>Kie_cori</i>	Mo0	815.7	1	1387.9	
	Mo1	211	5	783.2	
	Mo2	772.4	2	1344.6	
	Mo3	120.2	6	692.4	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>572.2</b>	<b>0.65</b>
<i>Mag_pube</i>	Mo0	761.7	1	1377	
	<b>Mo1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>615.3</b>	<b>0.63</b>
	Mo2	763.7	2	1379	
	Mo3	1.9	6	617.2	
	Mo4	7	10	622.4	
<i>Pla_reti</i>	Mo0	170.7	1	1195.4	

Espécie	Modelo	dAIC	df	AIC	R <sup>2</sup>
<i>Pla_reti*</i>	Mo1	37.5	5	1062.2	<b>0.16</b>
	Mo2	151.1	2	1175.8	
	Mo3	14.8	6	1039.6	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>1024.7</b>	
	Mo0	170.7	1	1195.4	<b>0.16</b>
	Mo1	37.5	5	1062.2	
	Mo2	151.1	2	1175.8	
	Mo3	14.8	6	1039.6	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>1024.7</b>	
	Mo0	548.3	1	1252.7	
<i>Qua_gran</i>	Mo1	39.6	5	744	<b>0.49</b>
	Mo2	531.3	2	1235.7	
	Mo3	5.4	6	709.8	
	<b>Mo4</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>704.4</b>	

### Tempo médio de germinação

As populações de cinco espécies, independente da origem, tiveram tempos médios de germinação similares. Já três espécies apresentaram diferenças no tempo médio de germinação, sendo que as populações do cerrado úmido possuem os maiores tempo médio de germinação, ou seja, demoram mais para germinar (Figura 1.14).

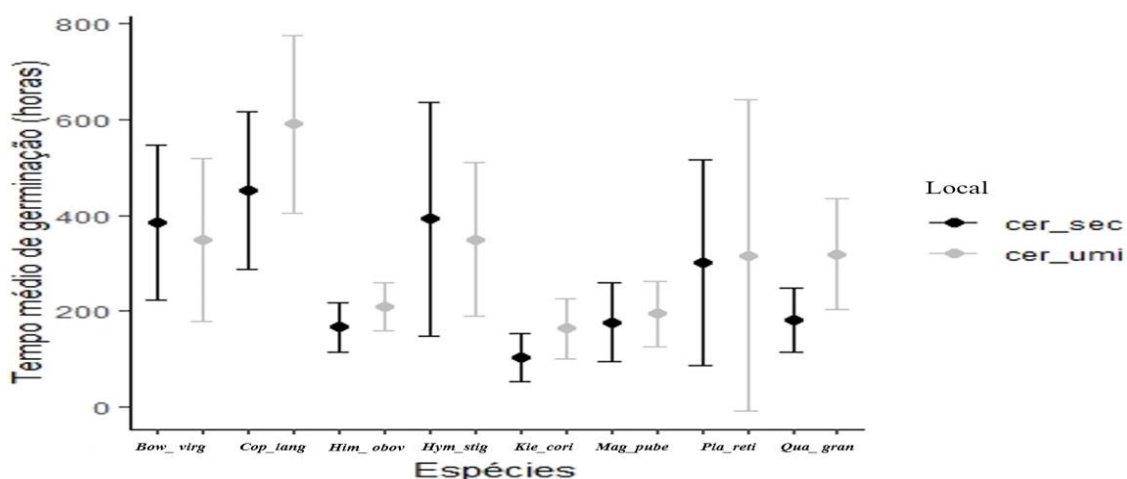


Figura 1.14 :Tempo médio de germinação em horas (h) ± desvio padrão das espécies e suas populações a 30°C. Espécie: *Bow\_virg* - *Bowdichia virgilioide*, *Cop\_lang* - *Copaifera langsdorffii*, *Him\_obov* - *Himatanthus obovatus*, *Hym\_stig* - *Hymenaea stigonocarpa*, *Kie\_cori* - *Kielmeyera coriacea*, *Mag\_pube* - *Magonia pubescens*, *Pla\_reti* - *Plathymenia reticulata* e *Qua\_gran* - *Qualea grandiflora* ; Local: cer\_sec: cerrado seco e cer\_umi: cerrado úmido.

### Velocidade média de germinação

Semelhante ao observado no tempo médio de germinação as populações de cinco espécies, independente da origem, tiveram a mesma velocidade média de germinação. Já três espécies apresentaram diferenças na velocidade média de germinação dependendo do local de origem. As maiores velocidades médias de germinação são das populações do cerrado seco (Figura 1.15).

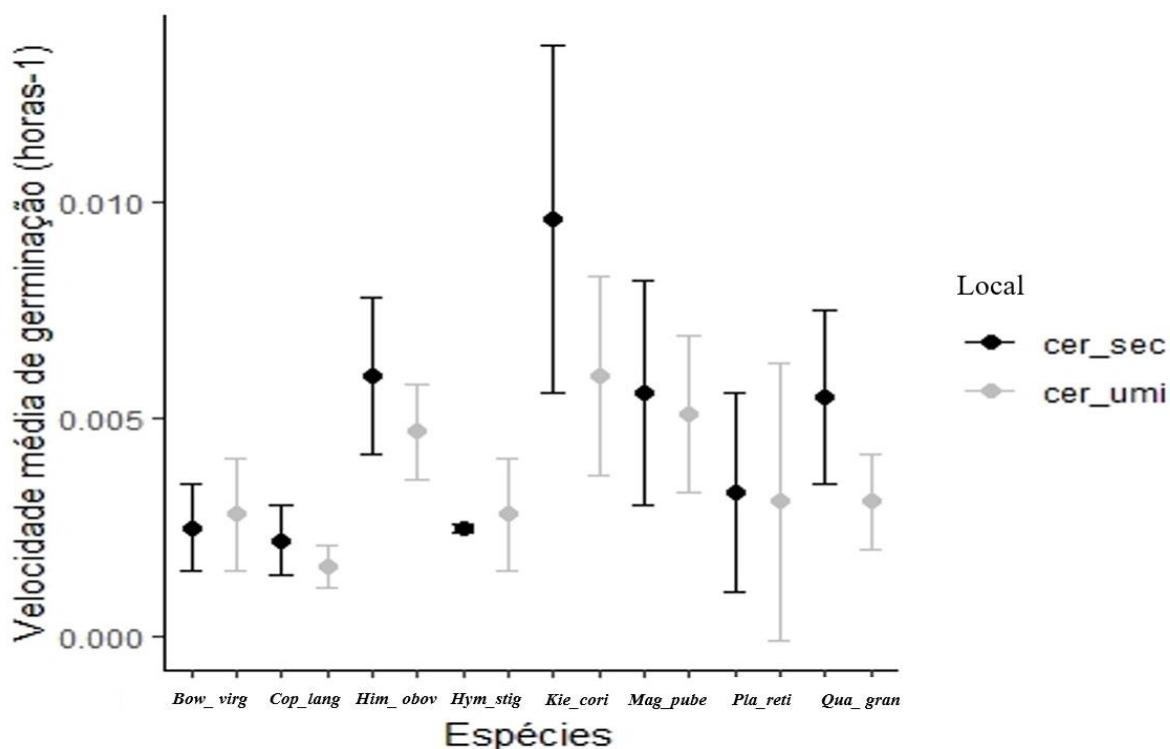


Figura 1.15: Tempo médio de germinação em horas (h)  $\pm$  desvio padrão das espécies e suas populações a 30°C. Espécie: *Bow\_virg* - *Bowdichia virgilioide*, *Cop\_lang* - *Copaifera langsdorffii*, *Him\_obov* - *Himatanthus obovatus*, *Hym\_stig* - *Hymenaea stigonocarpa*, *Kie\_cori* - *Kielmeyera coriacea*, *Mag\_pube* - *Magonia pubescens*, *Pla\_reti* - *Plathymenia reticulata* e *Qua\_gran* - *Qualea grandiflora* ; Local: cer\_sec: cerrado seco e cer\_umi: cerrado úmido.

## Categoria dos atributos e o cerrado seco e úmido

Comparando as respostas das espécies e os atributos das suas sementes com a região de origem, percebe-se que os atributos germinativos são os mais afetados e influenciados pelo local de origem da semente (Figura 1.16). O cerrado úmido apresentou 7 espécies menos resistentes aos gradientes de temperatura e 6 ao potencial osmótico testados. Sendo assim, podemos supor que a germinação dessas espécies estaria menos adaptada a condições de estresses relacionadas a temperatura e disponibilidade de água para germinação.

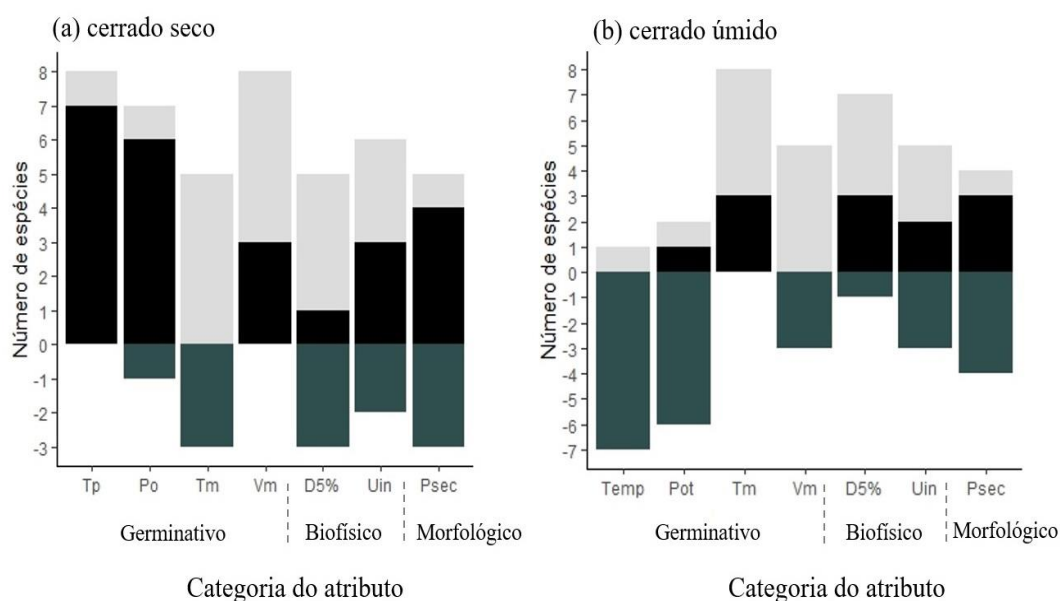


Figura 1.16: Número de espécies e suas respostas as categorias e atributos no cerrado úmido e cerrado seco. Um aumento do número de espécies (sobre a linha) foi representado pela cor preta, uma diminuição (abaixo da linha) foi representado pela cor cinza escuro e uma igualdade ou não mudança (sobre a linha) foi representada pela cor cinza claro. Tp- temperatura, Po – potencial osmótico, Tm- tempo médio de germinação, Vm – velocidade média de germinação, D5% - sementes sofreram dessecação a 5% de umidade, Uin-umidade inicial e Psec- massa seca.

Apesar de três espécies apresentarem maior tempo médio e menor velocidade média de germinação no cerrado úmido, o tempo médio e a velocidade de germinação foram os atributos germinativos mais conservados entre as espécies, ou seja, não modificaram entre o cerrado seco e úmido (Figura 1.16).

Os atributos biofísicos não diferenciaram os dois cerrados e, assim, o cerrado úmido apresentou mais espécies resistentes a dessecação (3), porém as espécies com respostas a dessecação iguais no cerrado seco foram quatro. Isso se repete para a umidade



inicial, entretanto o cerrado seco apresentou três espécies com umidades maiores e três foram iguais ao cerrado úmido.

Com o atributo morfológico (peso seco) também não foi possível diferenciar os dois cerrados. Ambos os cerrados possuem o mesmo número de espécies com sementes que possuem maior e menor massa e uma igual nos dois cerrados (Figura 1.16).

## 1.5 DISCUSSÃO

Neste estudo avaliamos se existe diferença na resposta germinativa de populações de uma mesma espécie provenientes de subregiões do Cerrado com diferentes intensidades de filtros abióticos. Ao compararmos os atributos germinativos, biofísicos e morfológicos de sementes de populações de oito espécies arbóreas de cerrado *sensu stricto* com alta pluviosidade média anual (cerrado úmido) com as oriundas de cerrado *stricto sensu* com baixa pluviosidade média anual (cerrado seco), identificamos plasticidade germinativa e maior tolerância das sementes de cerrado seco ao aumento de temperatura e à menor disponibilidade de água.

Os atributos germinativos relacionados à germinabilidade no gradiente de temperatura e potencial osmótico foram os que mais diferenciaram as sementes provenientes das populações dos dois cerrados. Quando comparadas, 90% das espécies do cerrado seco germinaram mais com o aumento da temperatura e 75% com menor disponibilidade de água. Essa diferença provavelmente está relacionada à superação de filtros abióticos como a disponibilidade de água (potencial hídrico do solo e pluviosidade) e a temperatura para a germinação, assim como aos efeitos ambientais maternos (DONOHUE, 2009).

Efeito materno é um tipo particular de plasticidade fenotípica que relaciona os efeitos de estádios posteriores do ciclo de vida a estádios anteriores, ou seja, os fenótipos da progênie são alterados em função do ambiente criado ou experimentado pelo genitor materno. Desta forma, os “efeitos ambientais maternos” referem-se a um fenômeno particular em que o ambiente ecológico externo do progenitor materno influencia o fenótipo da sua descendência como, por exemplo, a temperatura durante o desenvolvimento da semente (DONOHUE, 2009). Baskin & Baskin (2014) e Fenner (1991) apresentaram diversos estudos evidenciando a adaptação da germinação, nos quais o comportamento de germinação mudou quando a espécie estava em ambientes

diferentes. Esses autores encontraram variação entre e dentro de um táxon que foi associada ao habitat.

No cerrado, Ribeiro (2014), encontrou diferenças ao comparar os atributos germinativos entre populações do cerrado central e área disjuntas de cerrado na Amazônia, sendo que as populações das áreas disjuntas apresentaram maior tolerância ao déficit hídrico, temperatura e choque térmico.

No nosso estudo, as diferentes intensidades de pluviosidade e temperaturas entre os cerrados não estabeleceram tendências capazes de diferenciar suas populações quanto aos atributos biofísicos e morfológicos de suas sementes. Os atributos morfológicos são os mais estudados e os que apresentam maiores variações pois são influenciados por fatores: a) metabólicos durante a formação da semente (LI & LI, 2015); b) processos de dispersão e colonização (JIMÉNEZ-ALFARO *et al.*, 2016, SAATKAMP *et al.*, 2019) como, por exemplo, pelo gradiente climático relacionado à latitude, quando se comparam populações dentro de uma mesma espécie (COCHARNE, 2015); c) tipo de vegetação (MOLES *et al.*, 2007); d) e pela presença ou ausência de grandes dispersores (GALETTI *et al.*, 2003).

Dentre as espécies analisadas neste estudo, 50% das populações do cerrado seco apresentaram maiores massas seca de sementes em relação ao cerrado úmido. Assim é preciso pensar no tamanho da semente e no efeito parental do ambiente, ou efeito ambiental materno, como fatores relacionados e com efeito no crescimento e desenvolvimento das gerações. Desta forma, podemos inferir sobre as estratégias encontradas por essas populações para superar solos mais secos, sujeitos a potenciais hídricos mais negativos, como aumentar em até três vezes a sobrevivência da semente no banco de sementes (MOLLES *et al.*, 2003) e/ou superar a fase pós-germinativa e o estabelecimento de plântulas, já que sementes maiores conferem vantagens para a planta durante o início do estabelecimento, produzindo plântulas maiores que devem ser mais resistentes à seca (LEISHMAN & WESTTOBY, 1994). No cerrado seco, a maior biomassa seca somada a maior germinabilidade em alta temperatura poderia ser considerada como uma forma de plasticidade fenotípica, em resposta ao ambiente experimentado pela planta reprodutora desde o estabelecimento da plântula. Assim como pelas sementes antes e depois da dispersão, que, criaria uma memória térmica de reprodução das plantas, possibilitando a aclimação de indivíduos ao ambiente (FERNÁNDEZ-PASCUAL *et al.*, 2019; ELWELL *et al.*, 2011).

Os atributos biofísicos foram os que menos diferenciaram os cerrados “seco” e “úmido”, pois 50% das espécies estudadas não apresentaram redução na germinabilidade após o tratamento de dessecação. Além disso, nossos resultados demonstraram que a resistência à dessecação está mais relacionada à quantidade de água inicial na semente. No sentido mais clássico de avaliação, este atributo seria mais relacionado à tecnologia de sementes, como a secagem para o armazenamento, do que a filtros ambientais. Porém, Barbedo (2018) propõe que essa característica esteja relacionada à maturação das sementes e ao tempo de ligação da semente à planta mãe, além de ser influenciada por fatores evolutivos, que produziriam as grandes diferenças entre as espécies. Assim, pelas condições ambientais específicas do local e ano, que geraria a diferença fenotípica dentro de cada espécie. As pequenas mudanças relacionadas a estes fatores causariam o deslocamento da curva de tolerância à dessecação. Das populações avaliadas que não apresentaram diferença e germinaram após o dessecação três apresentaram umidade inicial inferior a 8%, ou seja, já estariam maduras e com total potencial de germinação no momento da dispersão nos dois ambientes. Entretanto, as populações das três espécies (38%) do cerrado úmido mais resistentes à dessecação indicam que, nesse ambiente, a maior tolerância à dessecação pode estar relacionada a quantidade de água disponível no ambiente. Isso porque, duas dessas espécies apresentaram percentagem inicial de umidade superior a 12,5% e para uma das populações a umidade foi superior à do cerrado seco.

Entretanto, para aprimorar a avaliação da variação dos atributos é necessário realizar estudos de longo prazo das populações, o que permitiria confirmar se as diferenças encontradas entre as regiões permanecem durante os anos e a cada ciclo de produção, tendo em vista que os processos que influenciam a maturação da semente podem alterar os resultados e, conseqüentemente, modificar a germinabilidade, ao longo dos anos. Ademais, alguns estudos que acompanham ano a ano indivíduos ou populações vêm mostrando diferenças anuais para alguns atributos como taxas de dormência e espessura de tegumento das sementes (ver DONOHUE *et al.*, 2010; MOLIZANE *et al.*, 2018).

Ao avaliarmos os atributos das sementes ao longo de gradientes ambientais, verificamos a sua variação desses dentro de uma mesma espécie, em resposta à heterogeneidade de ambientes. Sendo assim, estudos realizados com a mesma espécie sob diferentes condições ambientais, variando a localização ou o tempo de produção das sementes, tornam-se essenciais para esclarecer quais fatores são mais ou menos

influenciados pelos filtros abióticos. A plasticidade encontrada em algumas espécies indicam potencial para mudanças futuras e maior adaptabilidade a um novo habitat, considerando os cenários de mudanças climáticas globais e de distribuição do Cerrado (SIQUEIRA & PETERSON, 2003; STRASSBURG *et al.* 2017; SILVA, 2018). Mais estudos relacionados a variação dos atributos dentro de uma espécie em diferentes gradientes ambientais poderão auxiliar nas tomadas de decisão de programas de conservação e restauração.

Nesse sentido, algumas práticas relacionadas aos locais de origens de propágulos já poderiam ser incorporadas em programas de restauração para a adaptação das espécies ou populações às mudanças climáticas como: a) classificar áreas tendo como base fatores climáticos para identificar áreas com similaridades climáticas (DOHERTY *et al.*, 2016); b) levantar os atributos dos propágulos relacionados a disponibilidade de água e temperatura nas regiões similares climaticamente (SEGLIAS *et al.*, 2018); c) relacionar a região climática de procedência do propágulo com o clima do local a ser restaurado (RAMALHO *et al.*, 2017); d) relacionar a região de procedência do propágulo com a sua distribuição genética (RAMOS *et al.*, 2007; NOVAES *et al.*, 2010; NOVAES *et al.* 2013) e e) realizar misturas regionais de propágulos (BUCHAROVA *et al.*, 2019). Adicionalmente, sugerimos que estes estudos estejam relacionados a aspectos genéticos, para distinguir entre a adaptação genética local e efeito ambiental materno ou que se proponham a verificar se as mudanças estão correlacionadas à ativação e desativação de genes causadas pelos diferentes ambientes. Alguns estudos já identificaram genes relacionados a atributos das sementes como, por exemplo, os realizados por Delahaie *et al.* (2013) para tolerância a dessecação, Zinsmeister *et al.* (2016) para maturação e Donohue *et al.*, (2008) para fitocromo e germinação.

Sob o ponto de vista da restauração ecológica, recomendamos que a semeadura direta, que é uma das técnicas em ascensão no Brasil, passe a incorporar, em seu arcabouço teórico, conceitos e resultados de pesquisas relacionados a ecofisiologia e ecologia de sementes, e não somente à tecnologia de sementes. Exemplo representativo de novas abordagens aconteceu no âmbito da restauração florestal feita a partir do plantio de mudas, que deixou de considerar apenas técnicas silviculturais advindas dos experimentos com eucalipto, principalmente, e passou a incorporar os paradigmas, conceitos e teorias ecológicas para fundamentar suas metodologias (RODRIGUES & GANDOLFI, 2001).

Como implicações para a prática, nossos resultados indicam algumas estratégias que poderiam ser indicadas e utilizadas para a semeadura direta, a saber: a) as espécies prioritárias seriam as que apresentassem maior adaptabilidade a condições ambientais distintas, sobretudo a extremos climáticos; b) aumento de nichos de germinação pela mistura de propágulos de populações com origens diferentes e aumento da heterogeneidade do ambiente para a germinação durante o preparo da área. Para isso, é necessário a semeadura recíproca de genótipos de diferentes origens, visando estimar a sua aptidão para superar os estádios iniciais de desenvolvimento e que representam grande obstáculo para o recrutamento. Dessa forma os procedimentos poderiam testar e incorporar na sua prática os paradigmas e teorias ecológicas, como a da construção de comunidades a partir dos atributos das sementes (PALMER *et al.*, 2006; POSCHLOD *et al.*, 2013).

## **1.6 CONCLUSÕES**

Nossa pesquisa demonstrou que as sementes de populações de diferentes subregiões do Cerrado possuem diferenças em seus atributos germinativos, morfológicos e biofísicos. Essas diferenças se devem as diferentes intensidades dos filtros abióticos em cada subregião. As sementes provenientes de regiões mais secas do Cerrado foram mais adaptadas as condições extremas, tanto de disponibilidade de água quanto temperatura, apresentaram maior germinabilidade e maior biomassa, mas não apresentaram maior velocidade média de germinação. Como nosso estudo encontrou diferenças no que se refere aos aspectos fenotípicos das sementes, e não avaliamos se as populações apresentam diferenças genéticas que condicionam os atributos avaliados, entendemos que estudos futuros devem considerar estes aspectos genéticos e avaliações de longo prazo para que possam identificar flutuações nas respostas das sementes ao longo dos anos. Por fim, nossos resultados indicam que um zoneamento climático relacionado aos atributos das sementes seria uma alternativa para adaptar os projetos de restauração e conservação em um clima em mudanças.

## 1.7 REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. v. 19 (6), p. 716-726.
- ARANHA, B.A.(2013). Padrões filogenéticos de comunidades do cerrado: evolução e biogeografia. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas.161 p.
- BARBEDO, C.J. (2018). A new approach towards the so-called recalcitrant seeds. *Journal of Seed Science*, v.40, n.3, p. 221-236.
- BASKIN, C.C; BASKIN, J.N. (2014). *Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. 2 ed. Elsevier-Academic Press
- BATISTA, J.L.F. (2014). Biometria florestal segundo o axioma da verossimilhança. Tese (Livre-Docente). Universidade de São Paulo. 391p.
- BHEHENY, P. & BURCHETT, W. (2019). *Visreg: Visualization of Regression Models*.
- BORGHETTI, F. (2005). Temperaturas extremas e a germinação das sementes. In: NOGUEIRA, R.J.M.C. et al. (eds). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. MXM Gráfica. Recife, p. 207-218.
- BRANCALION, P.H.S. *et al.* (2010). Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. *Rev. Bras. Sementes*. v.32, p.15-21.
- BUCHAROVA, A. *et al.*(2017). Are local plants the best for ecosystem restoration? It depends on how you analyze the data. *Ecology and Evolution*, v.7, p.10683-10689.
- BUCHAROVA, A. *et al.*(2019). Mix and match: regional admixture provenancing strikes a balance among different seed –sourcing strategies for ecological restoration. *Conservation Genetic*, v.20, p. 7-17.
- CECCON, E. *et al.* (2015). Is direct seedling a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a meta-analysis. *Land Degradation & Development*. doi: 10.1002/ldr.2421.
- COCHRANE, A. *et al.* (2015). Will among-population variation in seed traits improve the chance of species persistence under climate change? *Global Ecology and Biogeography*, v.24, p. 12-24.
- COOMAP (2010). Cooperativa multidisciplinar de assistência técnica e prestação de serviço LTDA. Diagnóstico ambiental e institucional das áreas susceptíveis a desertificação do Estado de Minas Gerais. Montes Claros, jul., 2010.
- COSTA, V.F. *et al.*, (2010). Florística e estrutura da comunidade arbórea de duas áreas de cerrado sentido restrito no norte de Minas Gerais. *Cerne*, v.16, n.3, p. 267-281.

COUTINHO, M.L. (2002). O bioma do cerrado. In: KLEIN, A.L. (Org.). Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois. São Paulo: Editora Unesp; Imprensa Oficial do Estado. p. 77 – 91.

CROMARTY, A.S. *et al.* (1985). *Designing of seed storage facilities for genetic conservation*. IPGRI. Rome.

CUMMING, G. *et al.* (2007). Error bars in experimental biology. *Journal of Cell Biology*. v.177(1), p. 7-11.

DAMASCO, G.; CORREIA, R. S. (2010). Germinação e desenvolvimento de duas espécies de cerrado semeadas em consórcio com *Solanum lycocarpum* A. St. - HIL. em uma cascalheira no Distrito Federal. *Estudos de Biologia*, v. 32, n. 76-81.

DELAHAIE, J. *et al.* (2013). Polypeptide profiling of recalcitrant and orthodox legume seeds reveals ABI3-regulated LEA protein abundance linked to desiccation tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v.64, p.4559-4573.

DÍAZ, S. *et al.* (2002). ¿Quién necesita tipos funcionales de plantas?. *Bol. de la Sociedad Argentina de Botánica*, v. 37, p. 135-140.

DOHERTY, K.D. *et al.* (2016). Matching seed to site by climate similarity: techniques to prioritize plant development and use in restoration. *Ecological Applications*. v.27, p. 1010-1023.

DONOHUE, K. (2009). Completing the cycle: maternal effects as the missing link in plant life histories. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science*, v.364, p. 1059-1074.

DONOHUE, K. *et al.* (2008). Diversification of phytochrome contributions to germination as a function of maternal environment. *New Phytologist*. v. 177, 367–379.

DONOHUE, K. *et al.* (2010). Germination, postgermination, adaptation and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 41, p. 293-319.

DURIGAN, G. *et al.* (2012). *Espécies indicadoras de fitofisionomias na transição Cerrado-Mata Atlântica no Estado de São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. SMA/CBRN. 146 p.

DURIGAN, G. *et al.* (2013). Ecological restoration of Xingu Basin headwaters: motivations, engagement, challenges and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 169.

DÜRR, C. *et al.* (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: Contribution to seed trait database. *Agriculture and Forest Meteorology*, v.200, p. 222-232.

ELLIS, E.C.; RAMANKUTTY, N. (2008). Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and Environment*, v.6, p. 439-447.

ELWELL, A.L. *et al.* (2011). Separating parental environment from seed size effects on next generation growth and development in *Arabidopsis*. *Plant, Cell, and Environment*, v. 34, p. 291-301.

FATTORINI, M.; HALLE, S. (2004). The dynamic environmental filter model: how do filtering effects change in assembling communities after disturbance?. In: TEMPERTON, V.M. *et al.* (Ed.). *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*. New York: Island Press. Cap.6, p.96-114

FENNER, M. (1991). The effect of parent environment on seed germinability. *Seed Science Research*, v. 1, p – 75-84.

FERNÁNDEZ-PASCUAL *et al.*, (2019). Seeds of future past: climate change and thermal memory of plant reproductive traits. *Biological Reviews*, v.94, p. 439-456

FOX, J. *et al.* (2018). *Car: Companion to Applied Regression*.

FRANÇOSO, R.D. (2014). Padrões biogeográficos e composição das comunidades arbóreas do cerrado brasileiro. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. 158 p.

GALETTI, M. *et al.* (2013). Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. *Science*, v.340, p. 1086-1090.

GROSSNICKLE,S; VLADAN, I. (2017). Direct seedling in reforestation-a field performance review. *Reforesta*, v. 4, p. 94-142.

HARDEGREE, S.P; EMMERICH, W.E. (1994). Seed germination in response to polyethylene glycol solution. *Seed Science and Technology*, v.22, p. 1-7.

HARRIS, J.A *et al.* (2006). Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, v.14, n. 2, p. 170-176.

HOBBS, R.J. *et al.* (2009). Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology and Evolution*, v.24, p. 599-605.

HOBBS, R.J.; NORTON, D.A. (2004). Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. In: TEMPERTON, V.M. *et al.*(Ed.). *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*. New York: Island Press. Cap.5, p.72-95.

IPCC (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Field, C.B.V.R.; Barros, D.J.; Dokken, K.J.; Mach, M.D.; Mastrandrea, T.E.; Bilir, M.; Chatterjee, K.L.; Ebi, Y.O.; Estrada, R.C.; Genova, B.; Girma, E.S.; Kissel, A.N.; Levy, S.; MacCracken, P.R.; Mastrandrea, L.L.W. (eds.). New York: Cambridge University Press.1132p.

JIMÉNEZ-ALFARO, B. *et al.* (2016). Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 27, p. 637-645.



- LABOURIAU, L.G. (1983). *A germinação das sementes*. Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, Washington.
- LEISHMAN, M.R.; WESTOBY, M. (1994). The role of seed size in seedling establishment in dry soil conditions- experimental evidence from semi-arid. *Journal of Ecology*, v.82, n.2, p.249-258.
- LENTH, R. (2018). Lsmeans: Least-Squares Means.
- LI, N.; LI, Y. (2015). Maternal control of seed size in plants. *Journal of Experimental Botany*. v. 66, p. 1087-1097.
- LIMA JR., M.J. ed. (2010). Manual de procedimentos para análise de sementes florestais. 146 p. UFAM – Manaus – Amazonas – Brasil.
- MARIMON Jr., B.H. & HARIDASAN, M. (2005). Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta. Bot. Bras.* v.19, p. 913-926
- MARIMON, B.S. *et al.* (2006). Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the cerrado-amazonian forest ecotone. *Edinburgh Journal of Botany*, v.63, p. 323-341.
- MOLES, A.T. *et al.* (2007). Global patterns in seed size. *Global Ecology and Biogeography*, v.16, p. 109-116.
- MOLIZARE, D.M. *et al.* (2018). Physical, physiological and anatomical change in *Erythrina speciosa* Andrews seeds from different seasons related to the dormancy degree. *Journal of Seed Science*, v.40, p. 331-341.
- MOLLES, A.T. *et al.* (2003). Seed size and survival in the soil in arid Australia. *Austral ecology*, v. 28, p. 575-585.
- MONCRIEFF, G.R. *et al.* (2016). The future distribution of the savannah biome: model-based and biogeographic contingency. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. v.371.(doi:10.1098/rstb.2015.0311).
- MORSE, N.B. *et al.* (2014). Novel ecosystems in the Anthropocene: a revision of the novel ecosystem concept for pragmatic applications. *Ecology and Society*, v.19, n.2, art.12.
- NARDOTO, G.B. *et al.* (1998). Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriacea* (Spr) Mart. nos cerrados do Planalto Central: efeitos do estresse hídrico e sombreamento. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 98, p. 313-319.
- NERI, A.V. *et al.* (2007). Composição florística de uma área de cerrado sensu stricto no município de Senador Modestino Gonçalves, Vale do Jequitinhonha (MG) e análise de similaridade florística de algumas áreas de cerrado em Minas Gerais. *Revista Árvore*, v.31, n.16, p. 1109-1119.

NOBRE, C.A. *et al.* (2007). Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Relatório nº 6 – Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. CPTEC/INPE, São Paulo, Brasil. 29 p.

NOVAES, R.M.L. *et al.* (2010). Phylogeography of *Plathymenia reticulata* (Leguminosae) reveals patterns of recent range expansion towards northeastern Brazil and southern Cerrados in Eastern Tropical South America. *Molecular Ecology*. v. 19, p. 985-998.

NOVAES, R.M.L. *et al.* (2013). Concordance between phylogeographical and biogeographical patterns in the Brazilian Cerrado: diversification of the endemic tree *Dalbergia miscolobium* (Fabaceae). *Plos One*. v. 8, p. 1-13.

PALMA, A. C.; LAURANCE, S.G.W. (2015). A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go?. *Applied Vegetation Science*. V. 18, p. 561-568.

PILLAR, V.D. (2004). Tipos funcionais e percepção de padrões em comunidades e ecossistemas. In: COELHO, A.S.; LOYOLA, R.D.; SOUZA, M.B.G. (Ed.). *Ecologia Teórica: desafios para o aperfeiçoamento no Brasil*. O Lutador-Belo Horizonte. p.73-90.

POSCHLOD, P. *et al.* (2013). Seed ecology and assembly rules in plant communities. In: MAARAEL, E.; FRANKLIN, J. (Ed.). *Vegetation Ecology*. John Wiley & Son. Cap.6. p. 164-202.

PRADO, I. P. *et al.* (2018). Sads: Maximum Likelihood for Species Abundance Distributions.

RAMALHO, C. E. *et al.* (2017). A climate-oriented approach to support decision – making for seed provenance in ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v.5, p.1-10.

RAMALHO, C.E. *et al.* (2017). A climate-oriented approach to support decision-making for seed provenance in ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution*. v. 5, p. 1-10.

RAMOS, A.C.S. *et al.* (2007). Phylogeography of the tree *Hymenaea stigonocarpa* (Fabaceae:Caesalpinioideae) and the influence of Quaternary Climate Change in the Brazilian Cerrado. *Annals of Botany*. v. 100, p. 1219-1228.

RATTER, J.A. *et al.* (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, v.60, n.1, p. 57-109.

RIBEIRO, L.C. (2014). Fatores ambientais e a germinação de espécies arbóreas do Brasil Central e de áreas disjuntas da Amazônia no bioma Cerrado. Tese(doutorado). Universidade de Brasília. 91p

RODRIGUES, P.M.S.(2015). Geoambientes e relação solo-vegetação no Parque Estadual Caminho dos Gerais, Serra Geral, Norte de MG. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 93 p.

RODRIGUES, R.R. & GANDOLFI, S. (2001). Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: EDUSP. Cap.15.1, p.235-247.

SAATKAMP, A. *et al.* (2019). A research agenda for seed-trait functional ecology. *New Phytologist*. v. 221, p. 1764-1775.

SANTANA, D.G. *et al.* (2017). How to analyze germination of species with empty seeds using contemporary statistical methods?. *Acta Botanica Brasilica*. v.32(2), p.271-278.

SANTANA, D.G.; RANAL, M.A. (2004). Análise da Germinação-um enfoque estatístico. Editora Universidade de Brasília. 248 p.

SEGLIAS, A. *et al.* (2018). Phylogeny and source climate impact seed dormancy and germination or restoration-relevant forb species. *Plos One*. v.13, p. 1-18.

SILVA, F.A.M. *et al.* (2008). Caracterização climática do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados – Brasília,DF. Cap. 3, p. 71-88.

SILVA, P.L.A. (2018). Biodiversidade e mudanças climáticas no Brasil: levantamento e sistematização de referências. WWF-Brasil (Relatório), Brasília.

SIQUEIRA, M.F.; PETERSON, A.T. (2013). Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. *Biota Neotropica*. v. 3, p. 1-14.

STRASSBURG, B.B.N. *et al.* (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature, Ecology and Evolution*, v.1, p. 1-3.

TERMPERTON, V.M.; HOBBS, R.J. (2004). The search for ecological assembly rules and its relevance to restoration ecology. In: TEMPERTON, V.M. *et al.* (Ed.). *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*. New York: Island Press. Cap.3, p.34-53.

VELAZCO, S.J.E. *et al.* (2018). A dark scenario for Cerrado plant species: effects of future climate, land use and protected áreas ineffectiveness. *Diversity and Distributions*. v. 25, p. 660-673.

VIEIRA, S. (2008). Introdução a bioestatística. Rio de Janeiro: Elsevier. 4 ed.

VILLELA, F.A. *et al.* (1991). Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e de temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, p. 1957-1968.

WICKHAM, H. *et al.* (2019). Ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics.

YOUNG, T.P. (2000). Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*, Barking, v.92, n.1, p.73-83.

ZHANG, D. (2018). Rsq: R-Squared and Related Measures.

ZINSMEISTER, J. *et al.* (2016). ABI5 is a regulator of seed maturation and longevity in legumes. *The Plant Cell*, v.28, p.2735-2754.

Anexo A1: Valores dos parâmetros químicos e físicos dos solos amostrados neste estudo nas áreas de cerrado seco (Norte de Minas Gerais) e cerrado úmido (Nordeste de Mato Grosso).

	<b>unidade</b>	<b>cerrado seco</b>	<b>cerrado úmido</b>
<b>Parâmetros químicos</b>			
pH em água		5.1	5.3
pH em CaCl <sub>2</sub>		4.4	4.3
M.O	dag/Kg	2.3	1.6
C.org	%	1.3	0.9
P	mg/dm <sup>3</sup>	1.8	2.3
K	mg/dm <sup>3</sup>	37.8	29.9
S	mg/dm <sup>3</sup>	3	7.4
Ca <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0.2	0.2
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0.1	0.2
Al <sup>3+</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0.8	0.6
H+Al	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	4.5	3.6
N total	%	0.1	0.1
CTC	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	4.9	4.1
V	%	8	12
m	%	67	56
<b>Relações</b>			
Ca/Mg		2	1
Ca/K		2.1	2.6
Mg/K		1	2.6
<b>Saturação do complexo de troca</b>			
K	%	2	2
Ca	%	4	5
Mg	%	2	5
Na	%	0	0
H+Al	%	92	88
<b>Micronutrientes</b>			
B	mg/dm <sup>3</sup>	0.2	0.1
Zn	mg/dm <sup>3</sup>	0.8	0.3
Fe	mg/dm <sup>3</sup>	96.2	107.3
Mn	mg/dm <sup>3</sup>	1.3	32.3
Cu	mg/dm <sup>3</sup>	<0.1	0.2
<b>Parâmetros físicos</b>			
Silte	%	3.7	20
Argila	%	13.0	8
Areia	%	83.3	72
<b>Classificação</b>		<b>Areia Fraca</b>	<b>Franco-Arenoso</b>
<b>Tipo do solo</b>		<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 1</b>

## CAPÍTULO 2

### 2. ATRIBUTOS DE SEMENTES ARBÓREAS DE CERRADO *SENSU STRICTO* EM REGIÕES COM DIFERENTES INTENSIDADES DE PLUVIOSIDADE

#### 2.1 INTRODUÇÃO

Para estruturar ou montar uma comunidade vegetal as espécies precisam dispersar e, para isso, superar filtros abióticos e bióticos nas fases de germinação e estabelecimento (DIAMOND, 1975; CHAMBERS & MACMAHON, 1994; SHUPP *et al.*, 2010). Para cada fase, as espécies desenvolvem diferentes estratégias que ficam expressas em suas características também denominados como traços ou atributos (DÍAZ & CABIDO, 2001; VIOLLE *et al.*, 2007). A seleção e permanência de traços em uma comunidade e sua estruturação envolve as relações filogenéticas e fenotípicas do grupo de espécies regionais e da comunidade e a sua distribuição ao longo do ambiente. Se a evolução dos traços filogenéticos do grupo de espécies regionais for monofiléticos (conservados) e o processo de montagem da comunidade feito pela atuação de filtros ambientais (co-ocorrência) a comunidade em formação irá selecionar traços filogenéticos e fenotípicos agrupados (origens próximas). Entretanto, se o processo de montagem é resultante de competição (similaridade limitante) a nova comunidade irá selecionar traços filogenéticos e fenotípicos divergentes (origens distantes; *ver* PAUSAS & VERDÚ *et al.*, 2010).

Por outro lado, se os traços do grupo de espécies regionais forem parafiléticos (divergentes) e o processo de montagem da comunidade feito através de filtros ambientais (co-ocorrência) a comunidade em formação irá selecionar traços de fenótipos semelhantes, mas com relação filogenética distantes. Porém, se o processo de montagem é resultado de competição (similaridade limitante) a comunidade irá selecionar traços de fenótipos distantes e relações filogenéticas aleatórias (*ver* PAUSAS & VERDÚ *et al.*, 2010).

A comunidade de espécies arbóreas do cerrado *sensu stricto* foi formada com a contribuição de espécies de Domínios com o qual o Cerrado faz contato: Mata Atlântica, Amazônia e Caatinga. Essa contribuição pode variar entre regiões e chegar a 58.9% da composição das espécies arbóreas do cerrado *sensu stricto* (MÉIO *et al.*, 2003; FRANÇOSO *et al.*, 2015). Isso é resultado do processo histórico da formação do cerrado, que pode ser explicada por diversas hipóteses e teorias que envolvem os diferentes

eventos de retração e expansão entre as florestas e o cerrado, a modificação de florestas úmidas por floresta glacial mista mais seca ou a formação *in situ* por meio de mudanças adaptativas recentes para resistir ao fogo (COUTINHO, 2002; RIBEIRO & WALTER, 2008; SILVA, 2011; WERNECK, 2011; BUENO *et al.*, 2016).

O cerrado *sensu stricto* também compartilha uma alta similaridade na composição de espécies arbóreas com uma das fisionomias florestais do Cerrado: o cerradão (PINHEIRO & DURIGAN, 2012). Por isso, ele é considerado uma fitofisionomia transicional, que na ausência prolongada do fogo e em solos com baixa fertilidade transforma-se em cerradão distrófico. Já quando isso acontece em solos com alta fertilidade leva a formação de cerradão mesotrófico, que pode levar a formação de floresta estacional decidual ou floresta sazonalmente seca (RIBEIRO & WALTER, 2008; DANTAS *et al.*, 2016; BUENO *et al.*, 2018).

Neste contexto, o fogo, a disponibilidade de água e a temperatura foram os filtros abióticos que selecionaram as espécies arbóreas de floresta para permanecerem ou colonizarem o cerrado (WERNECK, 2011; PAUSAS & DANTAS, 2016; BUENO *et al.*, 2018). O surgimento de gramíneas C4 permitiu o aproveitamento da alta intensidade luminosa do ambiente em verões quentes e úmidos e o acúmulo de biomassa. O acúmulo de biomassa, nos longos invernos secos, provocaria incêndios naturais, por raios ou faíscas em épocas de calor muito intenso, ou antrópicos (SCHOLES & ARCHER, 1997). Essa dinâmica, filtrou espécies com as várias adaptações encontradas hoje na flora do cerrado como, por exemplo, adaptações subterrâneas e caules espessos, para superar esse filtro abiótico (SIMON *et al.*, 2009).

Outras adaptações para a superação desses filtros e a construção das comunidades vegetais do cerrado podem ser observadas nas sementes e nos seus atributos germinativos, biofísicos e morfológicos (JIMÉNEZ-ALFARO *et al.* 2016). A superação do fogo através de atributos relacionados as sementes e seus impactos na germinação pode ter contribuído, durante a história de formação do cerrado, para o surgimento de espécies com linhagens de pares cogenéricos vicariantes originados de espécies florestais com sementes maiores (DAIBES *et al.*, 2019) e na resistência das sementes a altas temperaturas (FIDELIS *et al.*, 2016). Já para superar filtros relacionados a disponibilidade de água e temperatura uma das estratégias utilizadas foi combinar a presença ou não de dormência na semente, com a época de disseminação e síndrome de dispersão (ESCOBAR *et al.*, 2018).

As altas temperatura e a disponibilidade de água estão entre os fatores que mais promovem a mortalidade de sementes e controlam sua dormência. Existe uma faixa de temperatura entre 25 a 30°C em que grande parte das espécies germinam (BRANCALION *et al.*, 2010; FICHINO *et al.*, 2016; DAIBES *et al.*, 2017). Entretanto, as temperaturas extremas altas podem ser letais e as baixas limitar a germinação comprometendo a capacidade reprodutiva das espécies (LABOURIAU, 1983). A temperatura limitante é considerada como característica espécie-específica e pode variar entre populações e indivíduos (RIBEIRO, 2014; BASKIN & BASKIN, 2015; COCHRANE *et al.*, 2016) e, como estão correlacionadas com as características climáticas ambientais podem determinar a distribuição da espécie (LABOURIAU, 1983; BORGHETTI, 2005; FUNEZ *et al.*, 2009).

Além de temperatura adequada, as sementes necessitam também de uma quantidade de água mínima para reativar a germinação que se inicia com a embebição e finaliza com o alongamento embrionário e protrusão da radícula (CASTRO *et al.*, 2004). A disponibilidade de água para a germinação está relacionada com o tipo de solo, a pluviosidade e o ciclo de chuvas regionais. As espécies apresentam grande variação na quantidade mínima de água para a germinação que vai de - 0.5 à - 1.6 MPa (potencial hídrico), sendo esse último valor correspondente às condições de solo muito seca (DÜR *et al.*, 2014). Para árvores tropicais que crescem em regiões úmidas foram encontrados valores menos negativos (< -0.5 MPa; DÜR *et al.*, 2014), o que significa que as sementes dessas regiões precisam de uma quantidade de água maior para germinarem. Já para espécies que crescem em ambientes mais secos como as arbóreas (RIBEIRO, 2014) e gramíneas (SOUZA, 2019) de cerrado e cactáceas (LIMA & MEIADO, 2018; GURVICH *et al.*, 2017) foram encontrados valores mais negativos (> -0.6 MPa).

Neste contexto, a tolerância do embrião ao dessecação torna-se também uma característica essencial para a germinação da semente após a liberação do propágulo e é essencial para a sobrevivência da semente no solo. A percentagem adequada de umidade da semente é que permitirá a sobrevivência do embrião e para ambientes sazonais, como o cerrado, a maioria das espécies apresentam sementes tolerantes à dessecação (TWEEDLE *et al.*, 2003). A classificação das sementes mais utilizada no que se refere à tolerância à dessecação e armazenamento é: i) ortodoxas, que são aquelas tolerantes, ii) intermediárias e iii) recalcitrantes, que são as intolerantes (HONG & ELLIS, 1996). Entretanto, para Barbedo (2018) essa característica está relacionada às diferenças nos processos de maturação das sementes e as influências ambientais e, assim, o



comportamento ortodoxo seria considerado o máximo de desenvolvimento e maturação a ser atingido pela semente, com todas suas propriedades antes da dispersão como, por exemplo, teor de matéria seca, tolerância à dessecação, capacidade germinativa, vigor. O comportamento recalcitrante seria o que estaria mais longe da maturidade, e algumas propriedades não seriam atingidas como, por exemplo, se uma semente encontra condições ambientais vantajosas para essa semente não necessita de alto vigor ou tolerância à dessecação. Para essas sementes, seria melhor retardar o início do desenvolvimento a tolerância à dessecação (BARBEDO, 2018).

Além de selecionar espécies tolerantes ao dessecação, a disponibilidade de água pode selecionar a morfologia das sementes. Sementes tolerantes (ortodoxas) e menores são mais presentes em ambientes sazonais, enquanto que sementes não tolerantes ao dessecação (recalcitrantes) e maiores, são mais frequentes em fisionomias florestais (HONG; ELLIS, 2002; MOLES *et al.*, 2007; TWEDDLE *et al.*, 2003).

O peso das sementes ou biomassa é o atributo mais estudado nas sementes (JIMÉNEZ-ALFARO *et al.* 2016), pois está relacionado à taxa de crescimento das plântulas (QUERO *et al.*, 2007), à herbivoria (BONFIN, 1998), ao estabelecimento (KIDSON & WESTOBY, 2000), e à tolerância ao dessecação e o comportamento de armazenamento das sementes (HONG & ELLIS, 2002). Em geral, as sementes grandes apresentam maior resistência aos choques térmicos, são mais tolerantes aos ambientes inóspitos e geram plântulas maiores (ver RIBEIRO *et al.*, 2015; QUERO *et al.*, 2007; MELO *et al.*, 2004). Já sementes menores germinam mais rápido e, para isso, precisam de menos água (NORDEN *et al.*, 2009; KIKUZAWA; KOYAMA, 1999) e são menos atacadas por predadores (GÓMEZ, 2004).

Atributos cinéticos da germinação como o tempo médio e a velocidade média de germinação podem ser influenciados pela temperatura e disponibilidade de água (BORGHETTI, 2005; BATLLA & BENECH-ARNOLD, 2015). O tempo e a velocidade de germinação podem determinar as condições ambientais em que a espécie se encontra e caracterizar a estratégia de estabelecimento de uma espécie. Uma germinação rápida pode caracterizar uma oportunidade através de uma condição ambiental favorável para o desenvolvimento de um novo indivíduo (BORGHETTI & FERREIRA, 2004). Já uma germinação mais lenta pode ser caracterizada como uma estratégia para distribuir a germinação por um período mais longo em locais com maior estresse ambiental (JURADO & FLORES, 2005; ESCOBAR *et al.*, 2018). O aumento na temperatura pode

levar ao aumento da velocidade de germinação e torná-la mais espaçada e irregular (BORGHETTI, 2005). Já uma menor disponibilidade de água leva à redução na velocidade de germinação (BORGHETTI & FERREIRA, 2004).

Os filtros ambientais podem interagir com os efeitos históricos (filogenéticos) da comunidade e expressar essa interação nos atributos das sementes e, conseqüentemente, interferir na plasticidade da germinação. A maioria das espécies arbóreas do cerrado *sensu stricto* vieram de outros Domínios morfoclimáticos predominantemente florestais e, essa história genética pode ficar impressa na “memória” térmica ou hídrica das sementes (FERNÁNDEZ-PASCUAL *et al.*, 2019). Essa memória pode explicar algumas das características das sementes do cerrado como a não tolerância ao dessecamento para algumas espécies (RIBEIRO & BORGHETTI, 2014) e a maior resistência à altas temperaturas de sementes mais pesadas (DAIBES *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2015).

Os filtros abióticos que influenciam a composição e as fitofisionomias do Cerrado e determinam as suas faixas de transição ao norte com a Amazônia, ao nordeste com a Caatinga e ao leste e sudeste com a Mata Atlântica podem gerar variabilidade nos atributos das sementes. Identificar como os atributos das sementes interferem na germinação, e, conseqüentemente no recrutamento, com a variação de filtros abióticos em escala regional pode esclarecer como as comunidades se construíram nesses locais e quais traços fenotípicos das sementes foram selecionados, ou seja, como os filtros abióticos influenciam nas estratégias de germinação das sementes (PAUSAS & VERDÚ *et al.*, 2010; MENEZES *et al.*, 2016). Além disso, os filtros abióticos que são relacionados com a germinação das sementes podem ser bons indicadores para prever os deslocamentos de biomas num cenário de mudanças climáticas. O aumento de temperatura, as mudanças dos ciclos de chuvas, os diferentes tipos de solos e a concentração de CO<sub>2</sub> são fatores utilizados para prever a distribuição das formações florestais e savânicas (MURPHY & BROWMAN, 2012; STAVER *et al.*, 2011).

Moles *et al.* (2014) propõem que, em ambientes tropicais, a temperatura é o filtro abiótico que mais explica a seleção dos atributos, entre eles o tamanho das sementes, pois a variação da temperatura é bem menor do que da precipitação em locais com latitudes baixa. Entretanto, para corroborar essa afirmação os autores indicam que seria importante quantificar a sazonalidade da precipitação e da temperatura na seleção dos atributos.

Além disso, os filtros podem atuar em diferentes intensidades e escalas. Segundo Jiménez-Alfaro *et al.* (2016), filtros climáticos atuam em escalas maiores e

selecionariam atributos de sementes relacionados a tolerância a dessecação, temperatura de germinação, dormência e maturação. Já o fotoblastismo, a quantidade de água necessária para germinação e a necessidade de choque térmico para quebra de dormência seriam atributos relacionados à filtros de habitats ou locais.

Neste contexto, levantamos as seguintes perguntas: 1) as sementes de espécies arbóreas provenientes de um cerrado *sensu stricto* localizado em uma região com condições ambientais mais restritivas são mais resistentes à condições ambientais extremas?; 2) os atributos germinativos são afetados pelos atributos biofísicos e morfológicos das sementes? e 3) esses atributos são influenciados pelas diferenças das condições climáticas das regiões de origem?

A partir dessas perguntas levantamos as seguintes hipóteses:

1) Sementes arbóreas de cerrado *sensu stricto* de locais mais secos estão mais adaptadas às condições ambientais extremas. Sendo assim, sementes de comunidades provenientes de locais com menor médias pluviométrica anual (mais secos) e sujeitas a mais veranicos serão mais tolerantes ao dessecação, temperaturas extremas e precisarão de menos água para germinar.

2) Sementes com maior biomassa irão apresentar maior germinabilidade e velocidade de germinação quando expostas às condições de estresse de temperatura quando comparadas às sementes com menor biomassa. Em condições de temperaturas externas sementes maiores apresentarão outros atributos que estão associados à proteção e sobrevivência do embrião.

3) Sementes com maior biomassa necessitam de mais água para germinar. Desse modo, essas sementes irão apresentar germinabilidade menor quando expostas a condições de stress hídrico, ou seja, menor disponibilidade de água, quando comparadas com sementes com menor biomassa.

## **2.2 OBJETIVO GERAL**

Correlacionar e identificar as interações dos atributos de sementes à condições ambientais da sua região de origem, contribuindo assim com subsídios para prever como as comunidades se comportarão mediante ao aumento de temperatura e estresses hídricos previstos pelos modelos climáticos.

## **Objetivos Específicos**

- Estabelecer os limites da capacidade de absorção de água e tolerância de dessecação de comunidades arbóreas de cerrado *sensu stricto* provenientes de diferentes regiões.
- Estabelecer os limites de temperatura para a germinação de comunidades arbóreas de cerrado *sensu stricto* provenientes de diferentes regiões.
- Avaliar como o comportamento germinativo de sementes provenientes de diferentes locais e seus atributos são afetados pelo aumento da temperatura, dessecação e disponibilidade de água.
- Contribuir para a previsão das mudanças que podem ocorrer na comunidade arbórea do cerrado *sensu stricto* através dos atributos das sementes, a partir dos cenários previstos com as mudanças climáticas.

## **2.3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A seguir apresentaremos como coletamos os dados para avaliar a relação entre filtros abióticos regionais, germinabilidade e atributos morfológicos e biofísicos de sementes arbóreas de cerrado *sensu stricto* e como são afetadas pelo aumento de temperatura, redução de umidade e quantidade de água disponível para germinação.

### **Áreas de coleta e dados climáticos**

Selecionamos áreas de cerrado *sensu stricto* localizadas em regiões do Domínio Cerrado (COUTINHO, 2002) que apresentassem diferenças quanto a pluviosidade, temperatura e frequência de veranicos anuais (SILVA *et al.*, 2008). Selecionamos áreas para coleta na região Norte de Minas Gerais e nordeste de Mato Grosso (Figura 2.1).

Os dados da amplitude térmica e da distribuição temporal da precipitação das regiões onde as sementes foram coletadas foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

A região do Norte de Minas Gerais apresenta temperatura média anual entre 22 a 23 °C e, frequência média de veranicos entre 2 a 4 por ano. Considerando seus índices pluviométricos, ela é sub-dividida em três regiões: semiárida, subúmida seca e de entono. A região semiárida e subúmida seca possuem pluviosidade média anual entre 500 a 750 mm e 750 a 1000 mm, respectivamente e estão sujeitas ao processo de desertificação

(VIEIRA *et al.*,2015). As precipitações concentram-se nos meses de novembro, dezembro e janeiro.

Na região semiárida coletamos no Parque Estadual Caminhos das Gerais localizado nos municípios de Monte Azul, Espinosa, Gameleiras e Mamonas ( $14^{\circ} 45'$  e  $15^{\circ} 30'$  S e  $43^{\circ} 15'$  e  $42^{\circ} 45'$  W). O período com menores ou nenhuma precipitação inicia-se em abril e estende-se até outubro (Figura 2.2). O parque possui 56,3 mil hectares e seus geoambientes predominantes são: arbustal ou carrasco (30%), cerrado rupestre (28,7%) e cerrado *sensu stricto* (18%) que estão localizados em tabuleiros elevados sobre Neossolos Quartzênicos (RODRIGUES, 2015).

Já na região subúmida seca, onde o período de menor precipitação inicia-se em maio e estende-se até setembro (Figura 2.3), realizamos coletas na área de reserva do Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas (CAA/NM) localizado no município de Montes Claros ( $16^{\circ} 25.575'$  S e  $44^{\circ} 02.118'$  W).

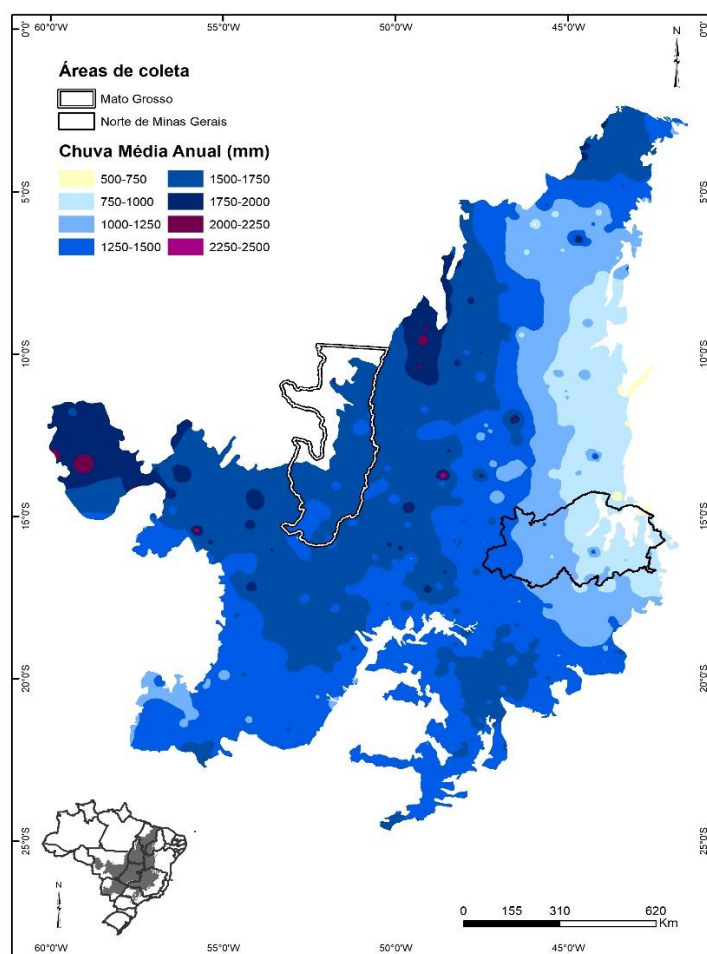


Figura 2.1: Mapa da pluviosidade média anual dos últimos 40 anos no Domínio do Cerrado e localização das regiões das áreas de coleta (Fonte: EMBRAPA-Cerrados, 2016).

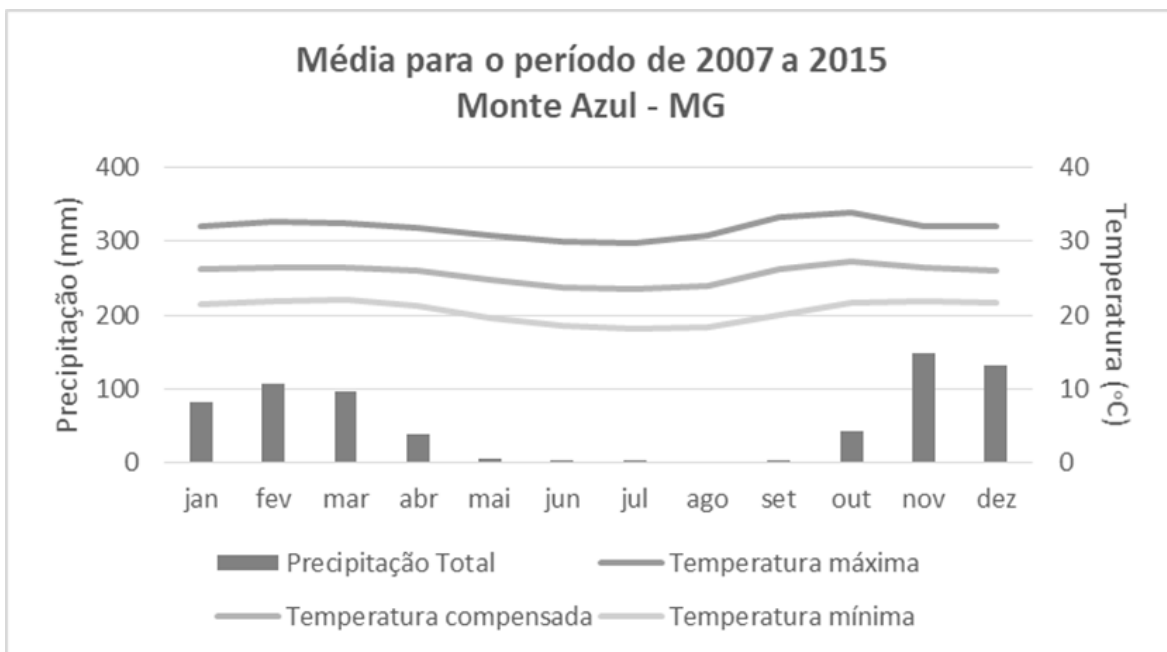


Figura 2.2: Climatograma do município de Monte Azul – MG. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

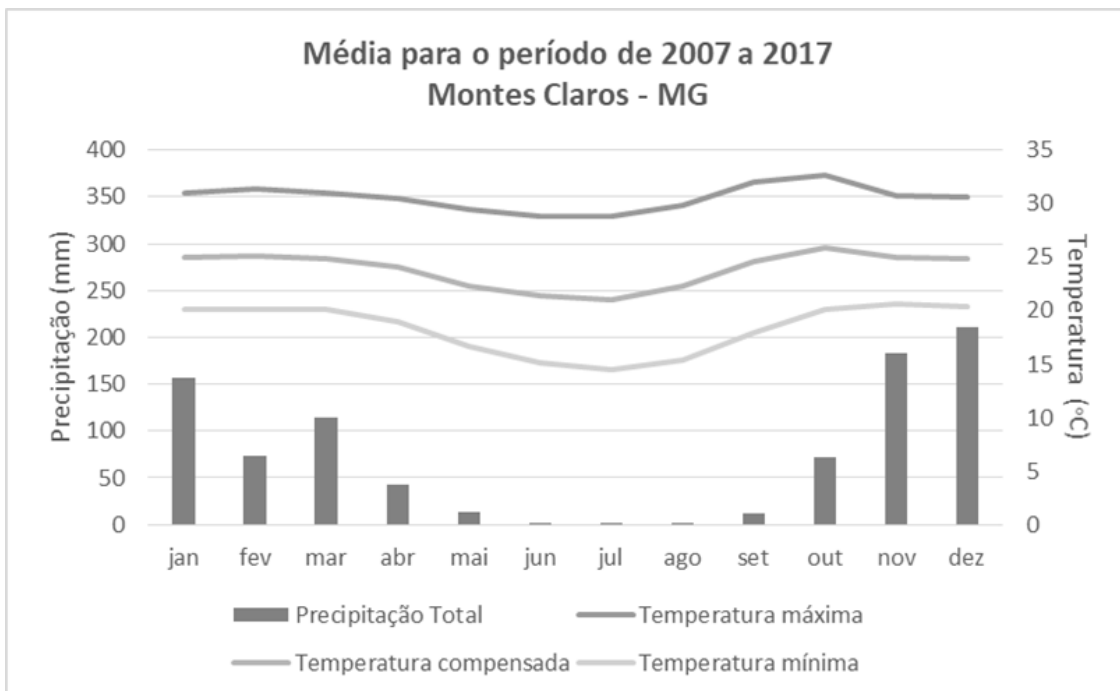


Figura 2.3: Climatograma do município de Montes Claros – MG. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br))

Na região nordeste de Mato Grosso (MT) coletamos no Parque Municipal do Bacaba na cidade de Nova Xavantina (14° 42.932' S e 52° 21.146' W). O parque possui 500 ha sendo o cerrado *sensu stricto* a fitofisionomia predominante além de áreas de cerradão e floresta (MARIMON JR. & HARIDASAN, 2005). A outra área de coleta no MT foi em um cerrado preservado da Associação de Terra Viva de Agricultura Alternativa e Educação Ambiental em Porto Alegre do Norte (10° 52.333'S e 51° 52.271'W).

Essa região tem frequência média anual de veranicos entre 0 a 2, temperatura média anual entre 24 a 26 °C e precipitação média anual variando entre 1250-1500 mm e 1500-1750 mm para áreas do município de Nova Xavantina e Porto Alegre do Norte, respectivamente (Figura 2.4 e 2.5).

Devido às diferenças de pluviosidade média anual e veranicos entre as regiões e para comparações dos atributos das sementes entre as sementes, denominamos o cerrado da região Norte de Minas Gerais como “cerrado seco” e nordeste de Mato Grosso de “cerrado úmido”.

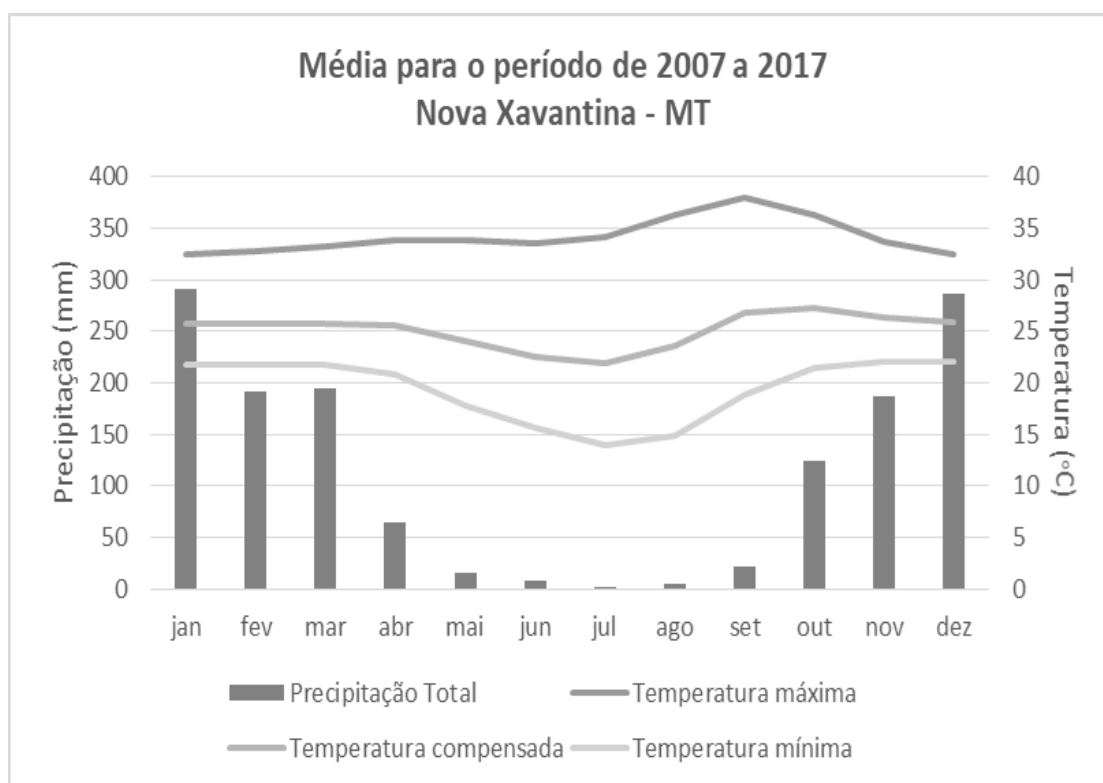


Figura 2.4: Climatograma do município de Nova Xavantina – MT. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

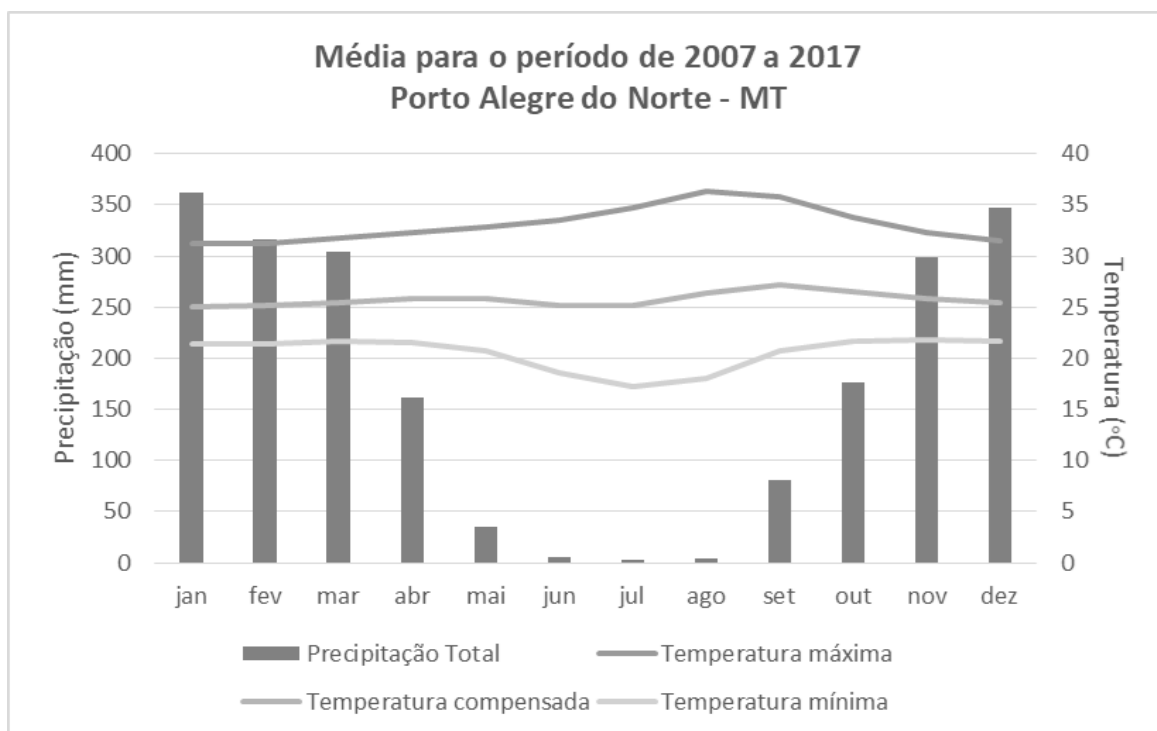


Figura 2.5: Climatograma do município de Porto Alegre do Norte – MT. (Fonte: INMET, disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br))

### Escolha das espécies e coleta de sementes

A partir de dados de literatura (RATTER, *et al.*, 2003; MARIMON *et al.*, 2006; NERI, *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2010; ARANHA, 2013; FRANÇOSO, 2014; RODRIGUES, 2015) selecionamos para este estudo espécies arbóreas com ampla distribuição no Cerrado e que estivessem presentes nas regiões definidas para coleta.

Coletamos diásporos entre junho a outubro de 2016 e 2017 de vinte espécies arbóreas, pertencentes a sete famílias, totalizando 28 populações (Tabela 2.1). Os lotes foram compostos de sementes coletadas de no mínimo dez matrizes, que estavam espaçadas com entre si por no mínimo 100 m. Os diásporos coletados foram beneficiados, homogêneos e armazenados em geladeiras modificadas ou câmaras de armazenamento de sementes.



Tabela 2.1: Lista das espécies coletadas para realização do estudo, sigla que será utilizada nos resultados, síndrome e época de dispersão e tipo de dormência (Sd – sem dormência, Fi – dormência física).

Família	Espécies	Síndrome de dispersão	Época de dispersão	Dormência	Locais de coleta	
					cerrado seco	cerrado úmido
Anacardiaceae	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Anemocoria	Setembro a outubro	Sd	X	
Apocyanaceae	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. & Zucc.	Anemocoria	Agosto a setembro	Sd	X	
	<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Anemocoria	Agosto a outubro	Sd	X	
	<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson	Anemocoria	Junho a setembro	Sd	X	X
Bignoniaceae	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Anemocoria	Setembro a outubro	Sd		X
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Anemocoria	Junho a setembro	Sd	X	X
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Autocoria	Setembro a novembro	Sd		X
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Anemocoria	Julho a outubro	Fi	X	X
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Zoocoria	Maio a outubro	Sd	X	X
	<i>Copaifera malmei</i> Harms	Zoocoria	Setembro a novembro	Sd		X

Família	Espécies	Síndrome de dispersão	Época de dispersão	Dormência	Locais de coleta	
					cerrado seco	cerrado úmido
	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Zoocoria	Junho a outubro	Fi	X	
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Zoocoria	Setembro a novembro	Sd		X
	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Zoocoria	Agosto a novembro	Fi	X	
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Zoocoria	Julho a outubro	Fi	X	X
	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Anemocoria	Julho a outubro	Fi	X	X
	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Autocoria	Junho a agosto	Fi		X
	<i>Tachigali aurea</i> Tul.	Anemocoria	Setembro a outubro	Fi	X	
	<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Anemocoria	Junho a agosto	Fi		X
Sapindaceae	<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	Anemocoria	Setembro a novembro	Sd	X	X
Vochysiaceae	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Anemocoria	Agosto a fevereiro	Sd	X	X

## **Atributos e comportamento germinativo**

### ***Biometria***

Pesamos 100 sementes de cada população para saber a biomassa úmida de cada semente e medimos o comprimento, largura e espessura para estabelecer sua forma - *shape* (PÉREZ-HARGUINDEUY *et al.*, 2013; THOMPSON *et al.*, 1993). Depois colocamos as sementes em estufa e pensamos em ciclos de 24 h até a estabilização do peso para determinarmos a biomassa seca de cada semente.

### ***Teor de água inicial de sementes (TAS)***

Determinamos o teor de água inicial das sementes de cada população pela diferença entre o peso inicial (biomassa úmida) e o peso final (biomassa seca) após ciclos de 24 horas em estufa (LIMA JR., 2010). Repetimos o ciclo até a estabilização do peso final. Para isso, utilizamos 100 sementes divididas em quatro replicas (25 sementes por replica).

### **Sobrevivência das sementes ao dessecamento**

Reduzimos o conteúdo de água a 5% em dessecador hermeticamente fechado e contendo sílica gel. As sementes foram pesadas em intervalos regulares até atingir a quantidade de água desejada. Para isso, utilizamos a formula proposta por Cromarty *et al.*, (1985).

$$Md = [(100 - Ci) \cdot (100 - Cd)^{-1}] \cdot Mi$$

na qual Md é a massa (g) no conteúdo de água desejado, Mi é a massa (g) no conteúdo de água inicial, Ci é o conteúdo de água inicial e Cd é o conteúdo de água desejado.

Após o tratamento de dessecação colocamos 100 sementes de cada população para germinar em germinadores a 30°C e fotoperíodo de 12h. As sementes pequenas foram colocadas em gerbox e as grandes em bandejas plásticas, com papel germitest úmido. Para sementes com dormência física (tegumentar), testamos a germinação com e sem

quebra de dormência. Realizamos contagens diárias anotando o número de sementes germinadas a partir da data da primeira semente germinada por um período de dois meses.

### ***Capacidade de absorção de água das sementes – Potencial osmótico***

Para determinar a quantidade mínima de água necessária para a germinação e simular as condições de estresse hídrico, tal qual as sementes podem experimentar no solo (HARDEGREE & EMMERICH, 1994), colocamos 100 sementes de cada população para germinar em solução de polietilenoglicol (PEG 6000) com potenciais osmóticos ( $\psi\pi$ ) entre -0,2 e -1,0 MPa (VILLELA *et al.*, 1991; NARDOTO *et al.*, 1998). Para sementes com dormência física (tegumentar), montamos os tratamentos com quebra de dormência. Realizamos contagens diárias anotando o número de sementes germinadas por um período de dois meses.

Para garantir que o gerbox com as sementes mantivesse o mesmo potencial osmótico, substituímos a solução de 4 em 4 dias e, conseqüentemente, remontávamos o gerbox.

### ***Germinação das sementes em diferentes temperaturas***

Colocamos 100 de sementes de cada população em câmaras de germinação reguladas para temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C. Temperaturas entre 25 e 30°C são consideradas adequadas para a germinação de uma grande quantidade de espécies do Cerrado (BRANCALION *et al.*, 2010). Para sementes com dormência física (tegumentar), realizamos o experimento com e sem quebra de dormência.

### ***Medidas de Germinação***

Após as contagens do número de sementes germinadas em cada experimento calculamos a percentagem de germinação, a velocidade, o tempo médio e a variância para cada tratamento (SANTANA & RANAL, 2004). Utilizamos a distribuição binomial para calcular a probabilidade de germinação das sementes em cada tratamento e utilizar nos modelos de regressão como variável respostas (SANTANA *et al.*, 2017).

## **Análise dos dados**

Para selecionamos as variáveis que melhor explicavam a germinabilidade em cada um dos filtros ambientais para a germinação (temperatura e disponibilidade de água - potencial osmótico) e o dessecamento, utilizamos regressões lineares múltiplas na qual as espécies foram consideradas fatores randomicos ou aleatórios. Fizemos as regressões apenas para as condições mais restritivas dos filtros abióticos, que foram encontradas no capítulo 1: temperaturas de 40 e 45 ° C e - 0,4, -0,6 e -0,8 MPa. Os modelos foram comparados com base no Critério de Informação de Akaike (AIC; AKAIKE, 1974), através de seleção “stepwise”. Selecionamos, para cada filtro ambiental e dessecação, o modelo com menor valor de AIC e delta AIC menor que 2. Consideramos como variáveis preditoras a biomassa seca média, a forma, a umidade inicial e a velocidade média de germinação à 30° C de cada população e testamos suas normalidades de distribuição e correlações. As que não apresentaram distribuição normal foram transformadas por log. O modelo inicial utilizado para a análise da germinação considerou as seguintes variáveis preditoras: Germinação ~ local + peso + forma + velocidade + umidade inicial + local \* peso \* forma \* velocidade \* umidade inicial.

Fizemos todas as análises e gráficos utilizando o ambiente computacional Rstudio versão 1.1.447(R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AT) e os pacotes car (FOX *et al.*, 2018), lsmeans (LENTH, 2018), ggplot2 (WICKHAM *et al.*, 2019), vegan (OKSANEN *et al.*, 2016), languageR (BAAYEN & SAFAEI-BAJESTAN, 2019), effects (FOX *et al.*, 2019) e visreg (BHEHRENY & BURCHETT, 2019).

## **2.4 RESULTADOS**

As variáveis velocidade de germinação e forma (*shape*) apresentaram alta correlação (0.78) e, por isso, decidimos usar apenas a velocidade de germinação nos modelos.

### ***Germinação das sementes em diferentes temperaturas***

Para a maioria das populações (58%) a temperatura máxima de germinação foi de 40° C e a temperatura ótima ficou entre 25 a 35° C, ou seja, a amplitude de germinação das populações foi alta. Esse padrão, se repete quando consideramos a origem dos

propágulos. Apenas sete populações germinaram a 45° C, das quais, apenas duas populações apresentaram germinação igual ou superior a 50%. As populações apresentaram temperatura limitante superiores entre 40 e 45°C (Figura, 2.6; Anexo-A2).

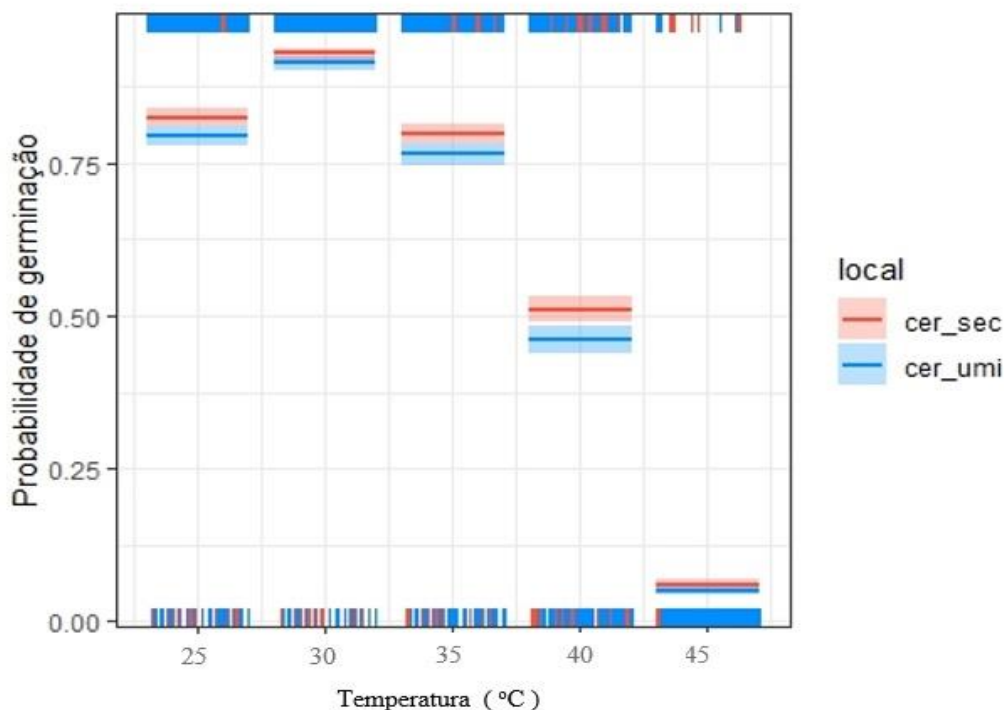


Figura 2.6: Gráfico da probabilidade de germinação, utilizando distribuição binomial, em diferentes temperaturas e locais de origem. As linhas azul e vermelha indicam a probabilidade de germinação, as cores no entorno da linha central é o intervalo de confiança e os pontos na parte inferior e superior são os resíduos parciais. local – cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido.

O melhor modelo ajustado para germinação à 40°C considerou as variáveis: local, umidade inicial e velocidade média de germinação (Tabela 2.2). Para 45 °C o melhor modelo foi o nulo, ou seja, nenhuma das variáveis explicou a germinação nessa temperatura.

Tabela 2.2: Coeficientes do modelo linear misto generalizado para a germinação de sementes a 40°C. s.e – desvio padrão, n.s – não significativo.

	estimate	s.e.	p
intercepto	0.2903	0.4942	-
cerrado úmido	<b>-1.5227</b>	<b>0.2879</b>	<b>&lt; 0.001</b>
umidade inicial	<b>0.6117</b>	<b>0.236</b>	<b>0.009</b>
cerrado seco x velocidade média de germinação	0.7028	0.3795	n.s
cerrado úmido x velocidade média de germinação	-0.884	0.5949	n.s
velocidade média de germinação x peso	<b>-1.1188</b>	<b>0.3155</b>	<b>&lt; 0.001</b>
cerrado úmido x umidade inicial	<b>-0.6359</b>	<b>0.2121</b>	<b>0.002</b>
umidade inicial x velocidade média de germinação	<b>0.7023</b>	<b>0.3019</b>	<b>0.019</b>

A velocidade média de germinação e a umidade inicial foram as variáveis que melhor explicaram a germinação à 40°C. A umidade inicial das sementes foi a responsável pela diminuição da germinação no cerrado úmido (Figura 2.7) e pelo favorecimento da germinação de sementes com velocidade de germinação maiores (entre 0,01 – 0,02 horas<sup>-1</sup>; Figura 2.8). Sementes com baixa velocidade aumentaram sua probabilidade de germinação quando o peso era maior que 1,0 g (Figura 2.8).

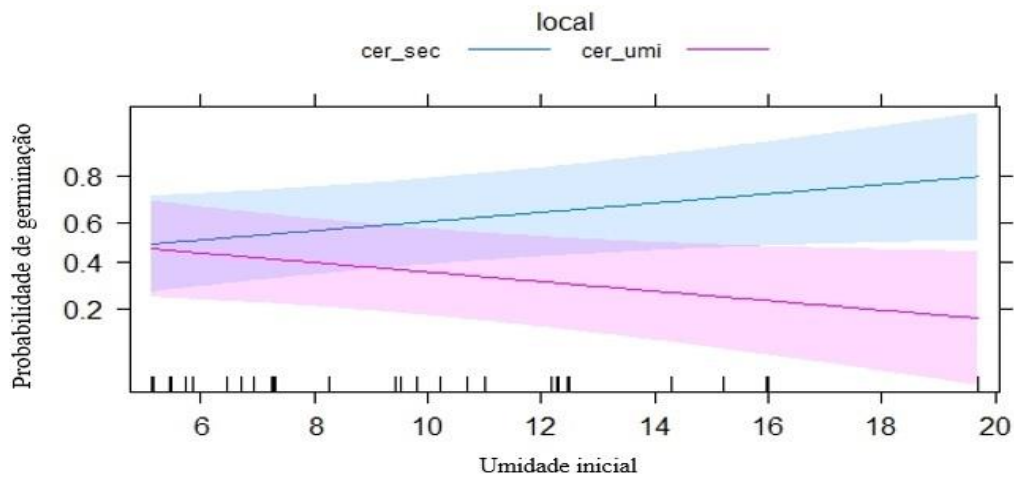


Figura 2.7: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a 40°C em relação às interações do modelo ajustado entre a umidade inicial e local. local: cer\_sec – cerrado seco. cer\_umi – cerrado úmido.

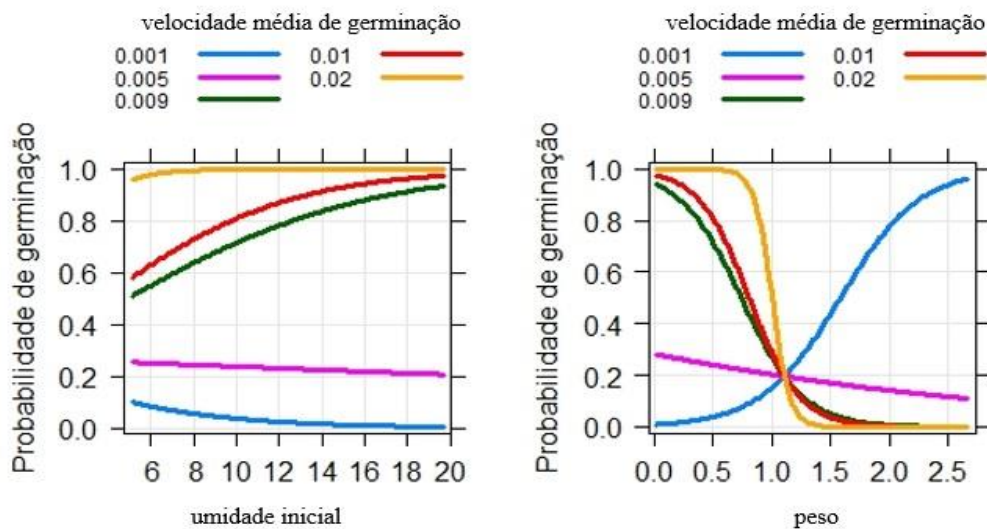


Figura 2.8: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a 40°C em relação às interações entre velocidade média de germinação com a umidade inicial e o peso da semente.

### Capacidade de absorção de água das sementes – Potencial osmótico

Nenhuma população germinou no potencial osmótico mais negativo (- 1,0 MPa) e encontramos dois t base, ou quantidade mínima de água necessária para a germinação, no qual se enquadraram a maioria das populações analisadas. Entre - 0,6 e -0,8 MPa germinaram entre 50 e 32%, respectivamente, das populações (Anexo B2). A probabilidade de germinação decresce quanto mais negativo o potencial osmótico, independentemente do local, e chega a 50 % a -0,6 MPa e a menos de 25 % a - 0,8 MPa (Figura 2.9).

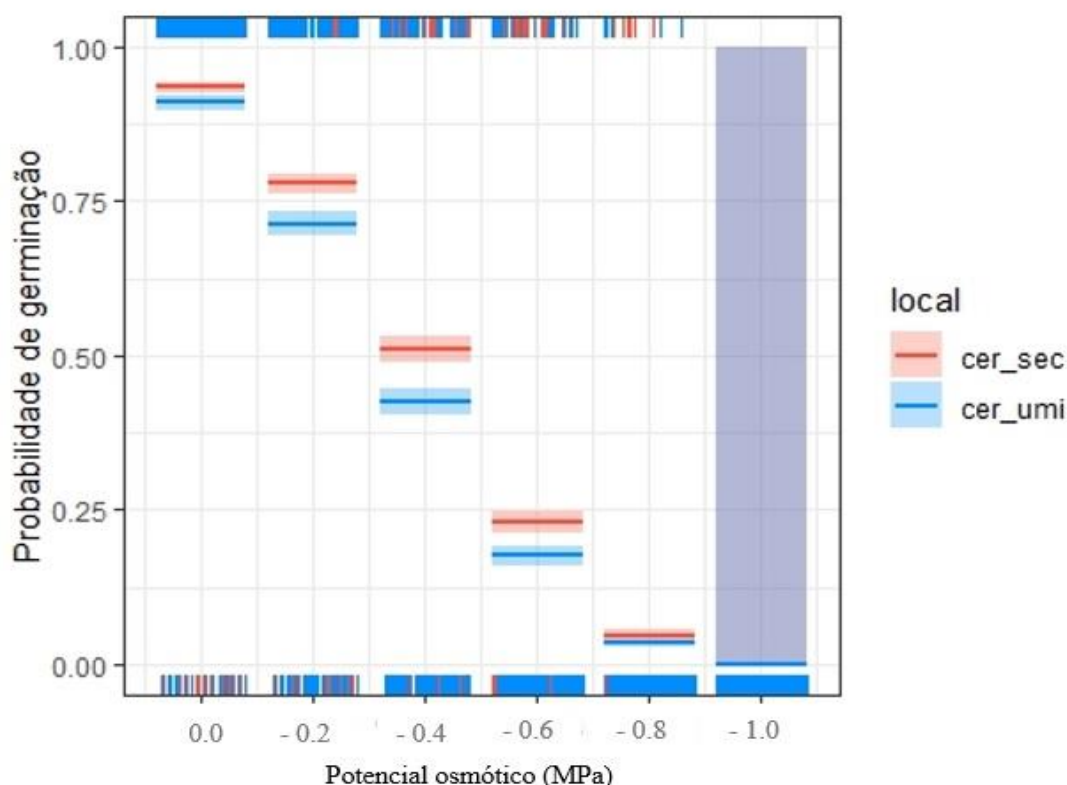


Figura 2.9: Gráfico da probabilidade de germinação, utilizando distribuição binomial, em diferentes potenciais osmóticos e locais de origem. As linhas azul e vermelha indicam a probabilidade de germinação, a cor no entorno da linha central é o intervalo de confiança e os pontos na parte inferior e superior são os resíduos parciais. local – cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido.

O melhor modelo ajustado para a germinação a -0,4 MPa e -0,6 MPa consideraram as variáveis: local, velocidade média de germinação, peso e umidade inicial (Tabela 2.3). Não foi possível ajustar um modelo para germinação a -0,8 MPa.



Tabela 2.3: Coeficientes do modelo linear misto generalizado para a germinação de sementes a -0,4 e -0,6 MPa. s.e – desvio padrão, n.s – não significativo.

		estimate	s.e.	p
- 0,4 MPa	intercepto	-0.7038	0.6265	-
	cerrado úmido	0.5723	0.3284	n.s
	velocidade de germinação	-0.0959	0.3934	n.s
	peso	0.1733	0.2429	n.s
	cerrado úmido x velocidade média de germinação	<b>1.5758</b>	<b>0.4686</b>	<b>0.0007</b>
	velocidade média de germinação x peso	<b>-0.9522</b>	<b>0.3418</b>	<b>0.005</b>
	cerrado seco x umidade inicial	0.0493	0.3728	n.s
	cerrado úmido x umidade inicial	<b>-0.7264</b>	<b>0.3232</b>	<b>0.02</b>
- 0,6 MPa	intercepto	-2.9864	0.7343	-
	umidade inicial	<b>-2.2313</b>	<b>0.3815</b>	<b>&lt; 0.001</b>
	peso x velocidade média de germinação	<b>-1.9145</b>	<b>0.4083</b>	<b>&lt; 0.001</b>
	umidade inicial x velocidade média de germinação	<b>-1.4876</b>	<b>0.4429</b>	<b>&lt; 0.001</b>
	umidade inicial x velocidade média de germinação x cerrado úmido	<b>3.5462</b>	<b>0.473</b>	<b>&lt; 0.001</b>

As variáveis local de origem, umidade inicial, peso e velocidade média de germinação e suas interações explicaram a probabilidade de germinação das sementes em relação à disponibilidade de água. À -0,4 MPa, sementes provenientes do cerrado úmido tiveram a probabilidade de germinação diminuídas quanto maior a umidade inicial. Já sementes do cerrado seco, aumentaram a probabilidade de germinação conforme o aumento da umidade inicial da semente. À -0,6 MPa não houve diferença entre os locais, e a probabilidade diminuiu conforme aumentou a umidade inicial da semente (Figura 2.10). Sendo assim, a redução da probabilidade de germinação no cerrado seco iniciou-se em uma condição mais restritiva (-0,6 MPa). Sementes do cerrado úmido apresentaram maior probabilidade de germinação conforme aumentou a umidade inicial e a velocidade média de germinação (entre 0.009 a 0.02; Figura 2.11).

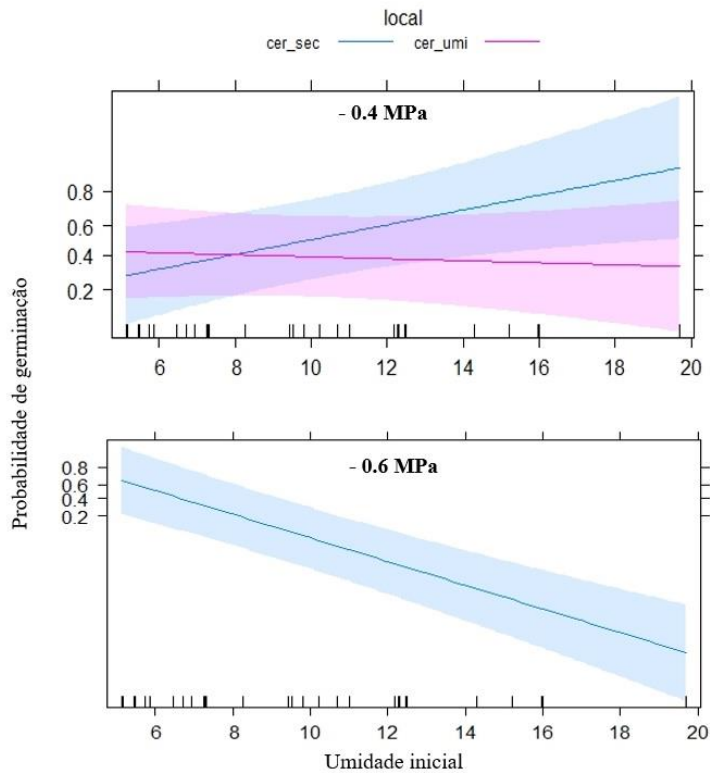


Figura 2.10: Gráficos da probabilidade de germinação em relação a umidade inicial das sementes nos potenciais osmótico de -0,4 e 0,6 MPa. local: cer\_sec – cerrado seco. cer\_umi – cerrado úmido.

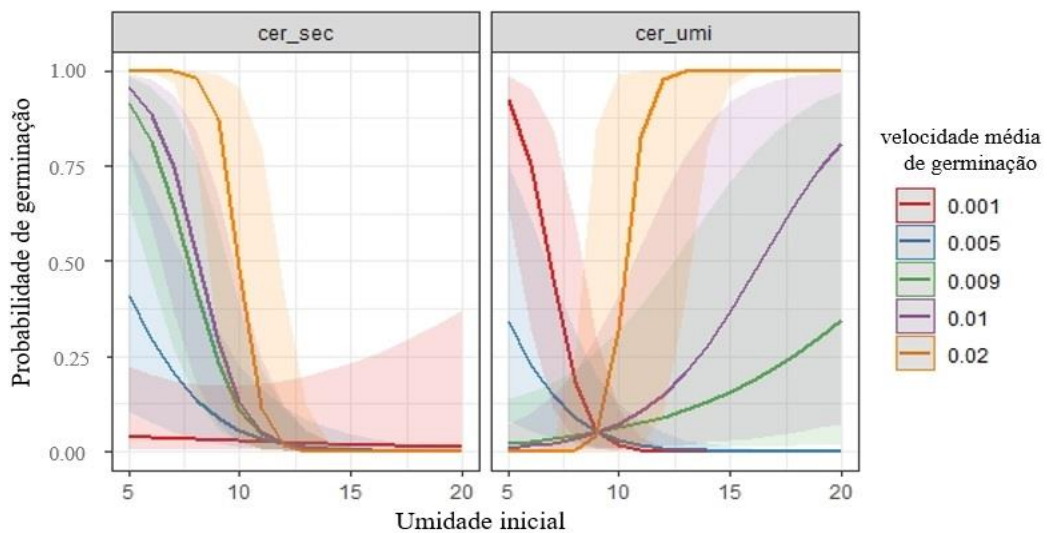


Figura 2.11: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a -0,6 MPa em relação as interações entre velocidade média de germinação e umidade inicial da semente com os locais de origem. local: cer\_sec – cerrado seco. cer\_umi – cerrado úmido.

A interação da velocidade média de germinação com o peso e a umidade da semente influenciou a probabilidade de germinação na condição mais restritiva (-0,6 MPa). Independentemente da velocidade de germinação, sementes mais úmidas

apresentaram menor probabilidade de germinação. Sementes com velocidade de germinação menor aumentaram probabilidade conforme o aumento do peso (Figura 2.12). À -0,4 MPa, a probabilidade de germinação aumentou conforme o aumento de peso e velocidade média de germinação mais lenta (Figura 2.13).

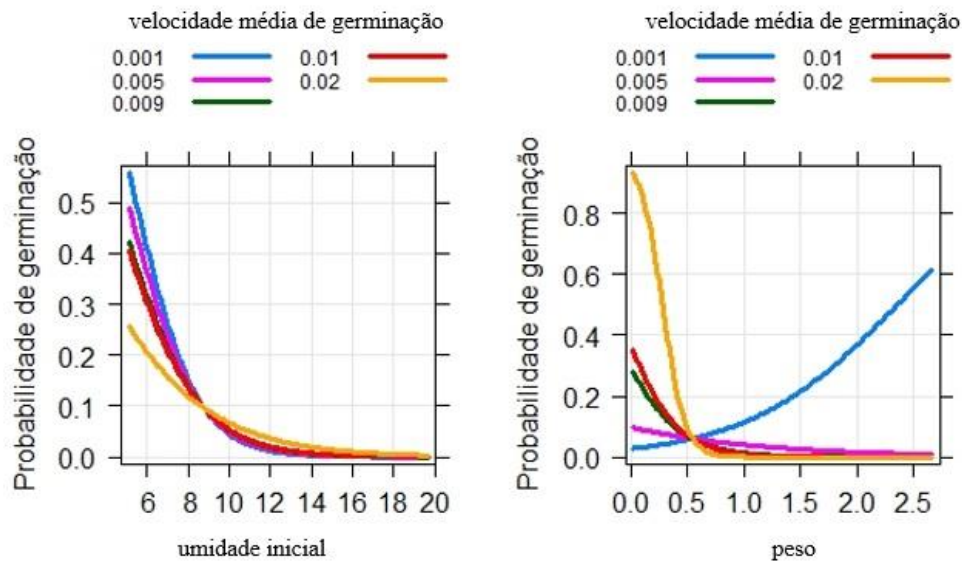


Figura 2.12: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a -0,6 MPa em relação as interações entre velocidade média de germinação com a umidade inicial e o peso da semente.

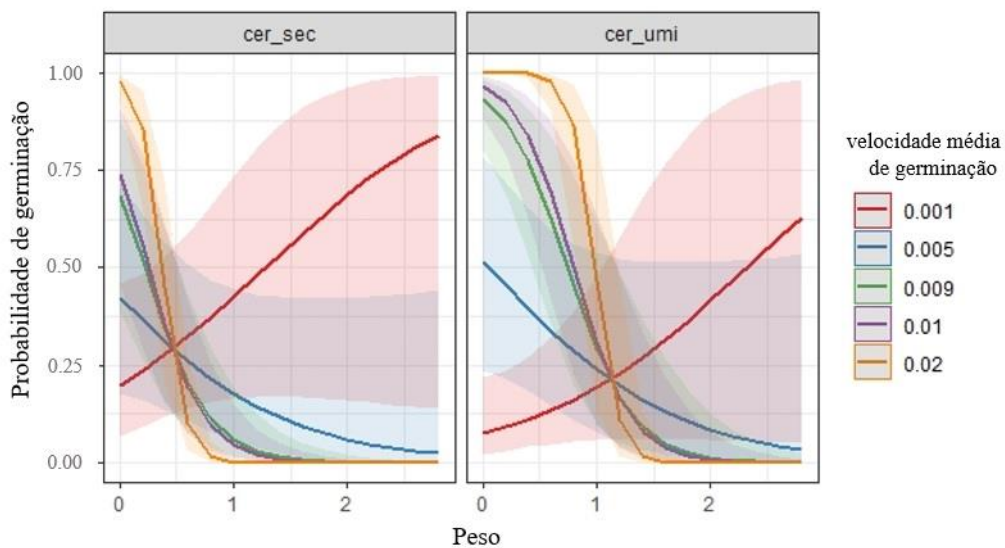


Figura 2.13: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes a -0,4 MPa em relação as interações entre velocidade média de germinação e peso da semente com os locais de origem. local: cer\_sec – cerrado seco. cer\_umi – cerrado úmido.

### Germinação das sementes após dessecação

Apenas as populações de *Qualea grandiflora* não germinaram depois do dessecação a 5%. Algumas populações com sementes com tegumento espesso apresentaram aumento na probabilidade de germinação após a dessecação, pois o dessecação levou a ruptura do tegumento causando uma quebra de dormência. Sementes que apresentaram umidade inicial menor que 9% não foram afetadas pelo dessecação, exceto em cinco populações específicas (Anexo C2). De forma geral as sementes apresentaram resistência ao dessecação, e após o tratamento a probabilidade de germinação foi alta e maior para o cerrado seco (Figura 2.14).

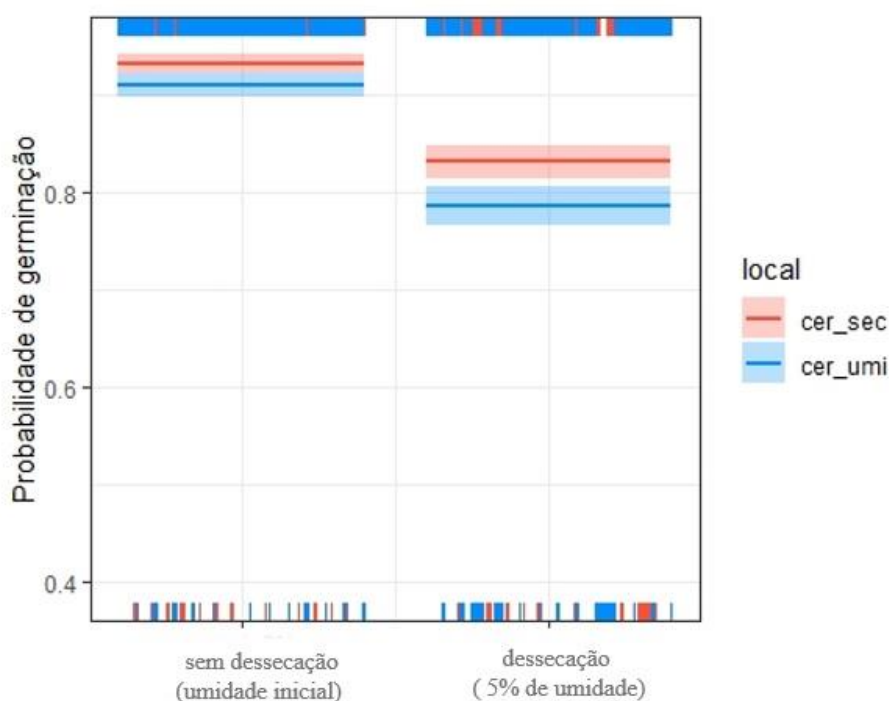


Figura 2.14: Gráfico da probabilidade de germinação, utilizando distribuição binomial, de sementes que sofreram ou não dessecação e locais de origem. As linhas azul e vermelha indicam a probabilidade de germinação, a cor no entorno da linha central é o intervalo de confiança e os pontos na parte inferior e superior são os resíduos parciais. local – cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido.

O melhor modelo ajustado para a germinação após a dessecação considerou as variáveis: local, peso e umidade inicial (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Coeficientes do modelo linear misto generalizado para a germinação de sementes que sofreram dessecação, passando a ficar com 5% de umidade. s.e – desvio padrão, n.s – não significativo.

	estimate	s.e.	p
intercepto	-0.6244	0.7009	-
cerrado úmido	<b>3.0615</b>	<b>0.5453</b>	<b>&lt; 0.001</b>
peso	<b>4.6819</b>	<b>0.7586</b>	<b>&lt; 0.001</b>
umidade inicial	<b>-3.4619</b>	<b>0.7925</b>	<b>&lt; 0.001</b>
cerrado úmido x peso	<b>-4.9614</b>	<b>0.7405</b>	<b>&lt; 0.001</b>
cerrado úmido x umidade inicial	<b>3.7848</b>	<b>0.6039</b>	<b>&lt; 0.001</b>
peso x umidade inicial	<b>4.8281</b>	<b>0.7779</b>	<b>&lt; 0.001</b>
cerrado úmido x peso x umidade inicial	<b>-5.0793</b>	<b>0.7547</b>	<b>&lt; 0.001</b>

Sementes com alta umidade inicial tiveram a probabilidade de germinação reduzidas. Já sementes maiores aumentaram a germinação após a dessecação. As interações dessas variáveis mostraram que as respostas variaram em relação ao local. No cerrado úmido independentemente do peso, a probabilidade de germinação reduz com o aumento da umidade inicial da semente. Já no cerrado seco, apenas sementes com peso menor que 0.4 g terão sua probabilidade de germinação reduzida com o aumento da umidade inicial da semente e para sementes maiores ou mais pesadas a probabilidade de germinação se mantém alta quando a umidade inicial é superior a 5% (Figura 2.15). Sendo assim, sementes menores ou mais leves apresentaram menor probabilidade de germinação quando apresentaram umidade inicial alta.

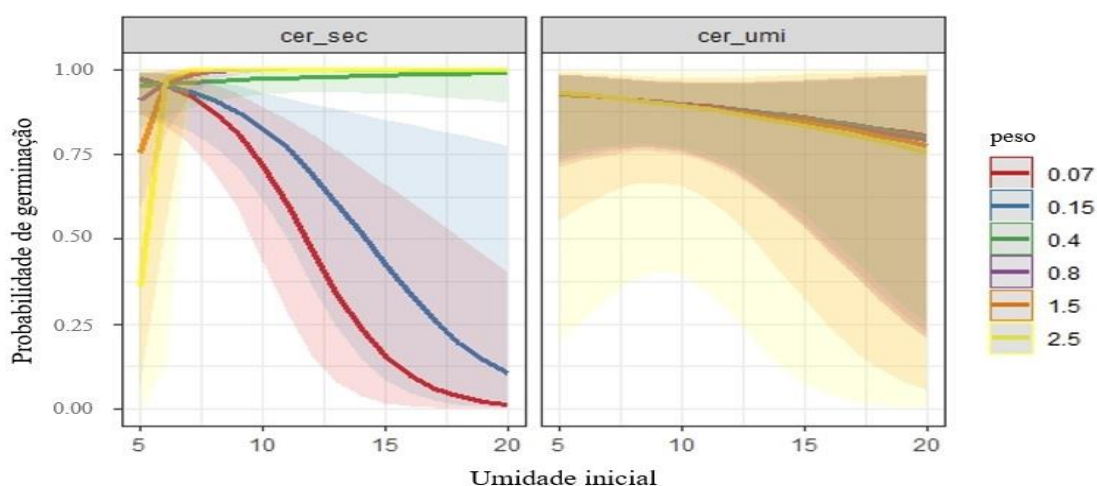


Figura 2.15: Gráfico da probabilidade de germinação de sementes após dessecação até 5% de umidade em relação as interações entre umidade inicial e peso da semente com os locais de origem. local: cer\_sec – cerrado seco. cer\_umi – cerrado úmido.

## 2.5 DISCUSSÃO

Neste capítulo avaliamos se sementes arbóreas de cerrado *sensu stricto* provenientes de regiões mais secas do Cerrado estão mais adaptadas a condições ambientais extremas, quando comparadas com sementes de regiões mais úmidas. Ao analisarmos gradientes de temperatura e potencial osmótico, e o efeito da dessecação na germinação das sementes, identificamos maior germinabilidade nos extremos dos gradientes para as espécies provenientes da comunidade localizada na região mais seca. Esse resultado indica que as sementes dessas comunidades estariam mais adaptadas ao aumento de temperatura, a menor disponibilidade de água e dessecação. Por outro lado, diferentes atributos explicaram a germinação frente às condições abióticas extremas que foram simuladas. Isso indica que para cada filtro ambiental avaliado foram selecionadas características distintas nas sementes das espécies selecionadas para o estudo e que compõem a comunidade arbórea atual.

No que se refere às altas temperaturas, nossa hipótese inicial que sementes com maiores biomassa e velocidade média de germinação iriam apresentar maior germinabilidade foi corroborada, mas não esperávamos a influência da umidade inicial. A importância da biomassa da semente como atributo para a resistência de sementes a altas temperaturas foi verificada também por Ribeiro *et al.* (2015) e Daibes *et al.* (2019) para espécies arbóreas de cerrado e florestas. Sementes com menor velocidade de germinação ficam mais tempo expostas à altas temperaturas, e isso pode levar à desnaturação de enzimas e proteínas e, conseqüentemente, à morte do embrião (BORGHETTI & FERREIRA, 2004). Para superar isso, sementes maiores e com velocidade de germinação mais lenta tendem a investir recursos para defesa físicas e proteção do embrião, que também são usados para permanecer mais tempo no banco de sementes (MOLES *et al.*, 2003). Essa estratégia pode levar a dormência física nas sementes, como, por exemplo, o aumento da espessura de tegumento. Além disso, por possuírem maior biomassa apresentam também maior quantidade de endosperma, que pode servir de isolante térmico para o embrião e prover mais nutrientes.

A maior biomassa pode ser favorável para a germinação em altas temperaturas, mas pode apresentar desvantagem quanto a germinação em um ambiente com menor disponibilidade de água como prevemos em nossa hipótese. Entretanto, essa hipótese não foi corroborada, já que a probabilidade de germinação aumentou conforme o aumento da biomassa em sementes que germinam mais lentamente. Porém, essa relação só ocorre

para sementes mais úmidas. A mesma característica que torna as sementes com maior biomassa mais resistentes a altas temperaturas, como a espessura do tegumento, pode evitar a perda de água para o ambiente (PEREZ, 2004).

A relação entre tamanho de semente e velocidade de germinação ainda é um assunto muito discutido e sem conclusões definitivas. Apesar de não podermos classificar as espécies arbóreas do cerrado como pioneiras e não pioneiras, como foi já feito para as espécies florestais, podemos inferir que elas podem apresentar atributos similares ao das espécies arbóreas florestais pioneiras, pois ocorrem em ambientes semelhantes, com alta luminosidade, alta temperatura e com mais distúrbios, ou seja, estão condicionadas aos mesmos filtros. Nesse sentido, nossos resultados são semelhantes aos encontrados por Daws *et al.* (2008) para espécies pioneiras de florestas, que verificou que sementes maiores germinavam em locais mais secos. Porém, os resultados de Daws *et al.*, (2008), diferem dos nossos na relação com a velocidade de germinação, já que em seu estudo, a germinação ocorreu mais rápido (T50 – tempo médio) em sementes com maior biomassa. De acordo com esses autores, essa seria uma estratégia de espécies com sementes maiores, para antecipar a colonização de microssítios de espécies com germinação mais lenta, que seriam as espécies com sementes pequenas. Essas germinariam mais lentamente em microsítios mais úmidos, como pequenas aberturas de dossel, ou mesmo em grandes intervalos para reduzir a mortalidade de suas plântulas por dessecação. Porém, Norden *et al.* (2009), ao avaliar maior número de espécies florestais e não categorizá-las em pioneiras e não pioneiras encontraram espécies com sementes menores germinando mais rápido. Os autores atribuíram o resultado encontrado à relação entre velocidade de germinação e absorção de água, já que sementes menores que possuem maior superfície de área em relação a sua massa e assim absorvem água mais rápido do que sementes grandes.

As espécies arbóreas de outros domínios florestais que se adaptaram e evoluíram no cerrado *sensu stricto* (FRANÇOSO *et al.*, 2015; MÉIO *et al.*, 2003) possuem sementes com maior biomassa, que germinam em condições com menor disponibilidade de água, como já foi encontrado para a resistência ao fogo e choques térmicos (DAIBES *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2015). Mas como o cerrado é um ambiente mais restritivo e com filtros ambientais atuando em intensidades diferentes dos ambientes florestais, como as altas temperaturas e a sazonalidade de chuvas, as sementes se adaptaram e, assim, o tegumento ficou mais espesso causando redução da velocidade de germinação (PEREZ, 2004). O tegumento espesso e a menor velocidade de germinação são características de

sementes dormentes e que são dispersas no cerrado na estação seca, ou na transição entre chuva e seca (ESCOBAR *et al.*, 2018). Assim, elas podem ficar mais tempo viáveis em uma profundidade maior no banco de sementes, onde o solo seca mais lentamente (MOLES *et al.*, 2003). A maior biomassa na semente também permitiria maior alocação de biomassa para a raiz da plântula, que iria assim crescer mais rápido e será mais resistente à períodos de seca pós-germinação (SABOYA & BORGHETTI, 2012; LAHOREAU *et al.*, 2006). Essa também poderia ser uma estratégia para garantir o estabelecimento e superação do estrato herbáceo do cerrado *sensu stricto*. As gramíneas podem interferir no recrutamento das espécies arbóreas diretamente (competição por luz, água, nutrientes) ou indiretamente (intensidade e frequência do fogo; SCHOLES & ARCHER, 1997). Plântulas de espécies arbóreas com raízes maiores tendem a se estabelecer mais facilmente, já que a competição com o estrato herbáceo parece ocorrer principalmente abaixo do solo. Essa mesma característica pode levar a sobrevivência da plântula até mesmo depois da passagem do fogo (ver BOND, 2008).

A germinação variou entre os locais de origem (cerrado seco e úmido) quando as sementes foram dessecadas. No cerrado úmido a germinação diminuiu conforme o aumento da umidade inicial, independentemente da biomassa da semente. Já no cerrado seco, essa redução foi maior para as sementes menores. Ambientes mais secos, sazonais e com menores temperaturas tendem a possuir espécies com sementes mais resistentes à dessecação (TWEDDLE *et al.*, 2003) e com menor biomassa (MOLES *et al.*, 2007). Desse modo, em ambientes mais úmidos, a probabilidade de germinação de sementes aumenta conforme o aumento da biomassa. A tolerância à dessecação é definida como a capacidade de organismos lidarem com perdas extremas de água a níveis abaixo de 0,1 g de água por grama de peso seco, e subsequente reidratação sem acumulação de dano letal (ver DEKKERS *et al.*, 2015). Sendo assim, sementes com menor biomassa poderiam perder menos água do que sementes com maior biomassa. Ademais, sementes com menor biomassa absorvem água mais rápido do que sementes com maior biomassa (KIKUZAMA & KOYAMA, 1999) e, essa velocidade após o dessecamento pode aumentar e ocasionar danos às paredes e organelas da semente (HOEKSTRA *et al.*, 2004; MATHEUS, 2009).

Além disso, como o cerrado seco é um ambiente mais restritivo, a estratégia utilizada por sementes menores para germinar pode estar relacionada à redução na tolerância a dessecação. Nesse contexto, o embrião estaria pronto para a germinação, mas a semente seria intolerante a dessecação, já que a formação do embrião e resistência a



dessecação são fases independentes durante a formação da semente. Ademais, a resistência a dessecação é resultado das adaptações que previnem a destruição celular durante a perda de água (BARBEDO, 2018; BARBEDO & FILHO, 1998; HOEKSTRA *et al.*, 2004). Desse modo, para aumentar as chances de colonização e com uma quantidade máxima de sementes em condições de germinar, mas com menor tolerância à dessecação, as sementes menores no cerrado seco poderiam dispersar e germinar o mais próximo de uma época favorável, antecipar o acúmulo de reservas ou aumentar a taxa de germinabilidade em troca de uma dispersão precoce (BARBEDO, 2018; DONOHUE *et al.*, 2010; NATHAN & MULLER-LANDAU, 2000). Qualquer uma dessas soluções refletiriam uma estratégia altamente especializada e ligadas a períodos de maior disponibilidade de água, como ocorre em outras regiões sazonais ou secas, como a exemplo das savanas africanas que possuem muitas espécies com sementes não tolerantes ao dessecação e que dispersam suas sementes no início da estação chuvosa (TWEDDLE *et al.*, 2003).

Neste contexto, essa pode ser uma das estratégias da montagem ou estruturação da comunidade arbórea do cerrado *sensu stricto* de regiões mais secas, que estão voltadas para a manutenção da coexistência de espécies. Nesses locais, espécies com sementes de menor biomassa seriam menos tolerantes à dessecação, enquanto espécies com sementes de maior biomassa seriam mais tolerantes à dessecação. Entretanto, é preciso um acompanhamento anual para confirmar essa estratégia, já que o recrutamento relativo de espécies com sementes tolerantes e sensíveis à dessecação pode ser influenciado pelas variações climáticas entre os anos (TWEDDLE *et al.*, 2003).

Nesse sentido, fica evidente que a germinação é um processo complexo e influenciado pela interação de diversos filtros abióticos como umidade do solo, temperatura e luz, além dos atributos das sementes (LARSON & FUNK, 2016), que levam a adaptações locais (ver MARTINS *et al.*, 2019). Os modelos de construção de comunidades devem incorporar características, além do tamanho das sementes, que capturem e expliquem como a temperatura e umidade influenciam a germinabilidade e o tempo de germinação em locais com filtros abióticos com intensidades diferentes (PASCHLOAD *et al.*, 2013; LARSON & FUNK, 2016). Para isso, compreender a germinabilidade em relação ao menor nível de umidade (potencial osmótico - MPa) e temperatura (cardinais ou amplitudes) é essencial.

Nesse contexto, nossos resultados são semelhantes ao encontrados por ARÈNE *et al.* (2017) ao mostrar que sementes com maior biomassa estão pouco associadas a

temperaturas de germinação mais elevadas. Para encontrar essa associação seria preciso considerar outros fatores, como a velocidade média de germinação e umidade inicial da semente. Arène *et al.* (2017) também não encontram associação entre tamanho de sementes e quantidade mínima de água para germinação, que variou bastante entre biomas, mas estaria relacionado a maior capacidade de armazenamento de água das sementes com maior biomassa. Além disso, mostraram que sementes que necessitam de maior quantidade de água para germinar utilizam essa característica para reduzir risco da fase pós-germinação.

Nossos resultados são importantes para compreender as diferenças dos mecanismos de germinação na montagem de comunidades em ambientes sazonais, cujos filtros ambientais atuam em diferentes intensidades. Sobretudo, podem contribuir para a previsibilidade dos efeitos das mudanças climáticas numa escala regional. As previsões e modelos para a América do Sul indicam um aumento de temperatura entre 1 a 4°C (cenário mais otimista) e 2 a 6°C (cenário mais pessimista; IPCC, 2014). Além desse aumento de temperatura, estão projetados aumento na irregularidade da pluviosidade, com o aumento da extensão de dias sem chuvas (veranicos), que estarão concentradas em um período mais curto (IPCC, 2014), além do aumento da frequência de queimadas (HOFFMANN & JACKSON, 2000). Isso levaria a expansão das áreas de cerrado sobre as florestas tropicais nas áreas de contato entre os Domínios (VELAZCO *et al.*, 2018) a oeste e leste da floresta Amazônica (NOBRE *et al.*, 2007). E expansão do cerrado na área central do Domínio (MONCRIEFF *et al.*, 2016). Essas alterações, poderão alterar a distribuição das espécies, podendo causar extinções locais (VELAZCO *et al.*, 2018; SILVA, 2018; SIQUEIRA & PETERSON, 2013).

De forma geral as espécies apresentaram alta amplitude térmica e de necessidade de água para a germinação, com exceção de duas espécies (*Qualea grandiflora* e *Magonia pubescens*) que se mostraram mais sensíveis a extremos de temperaturas e disponibilidade de água. Se a intensidade de chuva for reduzida durante a estação chuvosa em regiões mais úmidas do cerrado, poderá haver uma seleção local por espécies com sementes menos úmidas e que germinam mais lentamente. Isso porque as condições prévias de alta pluviosidade, que possibilitava a germinação dessas espécies no passado, foi alterada.

Por fim, nossos resultados são importantes para direcionar decisões para conservação e novas pesquisas já que as regiões de transição entre Domínios merecem atenção redobrada por apresentarem espécies com alta plasticidade relacionada a

germinação. Nesse contexto, pesquisas relacionadas a genética dessas populações, a variações anuais dos atributos relacionados a germinação e estabelecimento, e possíveis alterações na época de dispersão e florescimento nessas regiões trariam mais dados para embasarem as previsões feitas por modelos para a distribuição de espécies e biomas.

## 2.6 CONCLUSÃO

Nosso estudo mostrou que sementes de espécies arbóreas de cerrado *sensu stricto* de regiões mais secas são mais adaptadas às condições ambientais extremas e mais tolerantes ao dessecamento, temperaturas extremas e necessitam de menos água para germinar. As adaptações envolveram atributos relacionados ao peso, umidade inicial e velocidade média de germinação e as diferentes interações entre estes atributos foram a estratégia utilizada pelas sementes para superar a intensidade dos filtros abióticos em cada região. Com as alterações climáticas previstas, sementes com biomassa menor de 1,0 g, menor velocidade média de germinação e alta umidade poderão ser negativamente impactadas pelo aumento de temperatura. A umidade inicial das sementes será o principal fator determinante para a probabilidade de germinação, em resposta aos maiores intervalos entre chuvas previstos pelos modelos e aos efeitos de dessecação. Sementes com umidade superior a 10% só germinarão se possuírem velocidade de germinação média alta e estiverem em regiões com alta umidade. Em ambientes mais secos, a dessecação selecionará sementes com maior biomassa e umidade inicial. Nesse contexto, nossos resultados mostraram que os atributos das sementes são bons preditores para a distribuição das espécies arbóreas de cerrado *sensu stricto*.

## 2.7 REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. v. 19 (6), p. 716-726.
- ARANHA, B.A.(2013). Padrões filogenéticos de comunidades do cerrado: evolução e biogeografia. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas.161 p.
- ARÈNE, F. *et al.* (2017). Temperature but not moisture response of germination shows phylogenetic constraints while both interact with seed mass and lifespan. *Seed Science Research*. v.27, p. 1-11.
- BAAYEN, R.H; SAFAEI-BAJESTAN, E. (2019). *LanguageR: Analyzing Linguistic Data: A Practical Introduction to Statistics*.
- BARBEDO, C.J. (2018). A new approach towards the so-called recalcitrant seeds. *Journal of Seed Science*, v.40, n.3, p. 221-236.
- BARBEDO, C.J.; FILHO, J.M. (1998). Tolerância à dessecação em sementes. *Acta Botânica Brasileira*.v.12, p. 145-164.
- BATLLA, D.; BENECH-ARNOLD, R.L. (2015). A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy. *Seed Science Research*. v.25, p. 147-158.
- BOND, W.J. (2008). What limits tree in C<sub>4</sub> grasslands and savannas? *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*.v 39., p. 641-659
- BONFIN, C. (1998). The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany*. v.85. p.79-87.
- BORGHETTI, F. (2005). Temperaturas extremas e a germinação das sementes. In: NOGUEIRA, R.J.M.C. et al. (eds). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. MXM Gráfica. Recife, p. 207-218.
- BORGHETTI, F.; FERREIRA, A.G. (2004). Interpretação de resultados de germinação. In: FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. (Orgs). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed. Porto Alegre. Cap. 13
- BRANCALION, P.H.S. *et al.* (2010). Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. *Rev. Bras. Sementes*. v.32, p.15-21.
- BRANCALION, P.H.S. *et al.* (2010). Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. *Rev. Bras. Sementes*. v.32, p.15-21.
- BUENO, M.L. *et al.* (2018). The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savanas. *Journal of Ecology*.v. 106, p. 2109-2120.

- BUENO, M.L. *et al.* (2016). Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography*, v. 39, p. 1-12.
- CASTRO, R.D. *et al.* (2004). Embebição e reativação do metabolismo. In: FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. (Orgs). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed. Porto Alegre. Cap. 9, p. 149-162.
- CHAMBERS, J.C.; MACMAHON, J.A. (1994). A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implication for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 25, p. 263-292
- COSTA, V.F. *et al.*, (2010). Florística e estrutura da comunidade arbórea de duas áreas de cerrado sentido restrito no norte de Minas Gerais. *Cernea*, v.16, n.3, p. 267-281.
- COUTINHO, M.L. (2002). O bioma do cerrado. In: KLEIN, A.L. (Org.). *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. São Paulo: Editora Unesp; Imprensa Oficial do Estado. p. 77 – 91.
- CROMARTY, A.S. *et al.* (1985). *Designing of seed storage facilities for genetic conservation*. IPGRI. Rome.
- DAIBES, F.L. *et al.* (2017). A field perspective on effects of fire and temperature fluctuation on Cerrado legume seeds. *Seed Science Research*, v. 27, p. 74-83.
- DAIBES, F.L. *et al.* (2019). Fire and legume germination in a tropical savanna: ecological and historical factors. *Annals of Botany*, v. 123, p. 1219-1229
- DANTAS, V.L. *et al.* (2015). Disturbance maintains alternative biome states. *Ecology Letters*. v. 19, p. 12-19.
- DAWS, M.I. *et al.* (2008). Germination responses of water potential in Neotropical Pioneers suggest large-seeded species take more risks. *Annals of Botany*, v.102, p. 945-951.
- DEKKERS, B.J.W. *et al.*, (2015). Acquisition and loss of desiccation tolerance in seeds: from experimental model to biological relevance. *Planta*. v. 241, p. 563-577.
- DIAMOND, J.M. (1975). Assembly of species communities. In: Diamond, J.M. & CODY, M.L. (eds). *Ecology and evolution of communities*. Harvard University press. Boston. Cap. 14.
- DÍAZ, S; CABIDO, M. (2001). Viva la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, v.16, p. 646-655.
- DONOHUE, K. *et al.*(2010). Germination, postgermination, adaptation and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v. 41, p. 293-319

- DÜRR, C. *et al.* (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: Contribution to seed trait database. *Agriculture and Forest Meteorology*, v.200, p. 222-232.
- ESCOBAR, D.F.E *et al.* (2018). Timing of seed dispersal and seed dormancy in Brazilian savanna: two solutions to face seasonality. *Annals of Botany*, v.121, p. 1197-1209
- FERNÁNDEZ-PASCUAL *et al.*, (2019). Seeds of future past: climate change and thermal memory of plant reproductive traits. *Biological Reviews*, v.94, p. 439-456.
- FICHINO, B.S. *et al.* (2016). Does fire trigger seed germination in the Neotropical savannas? experimental tests with six cerrado species. *Biotropica*, v. 48, p. 181-187.
- FIDELLIS, A.*et al.* (2016). To resist or to germinate? The effect of fire on legume seeds in Brazilian subtropical grasslands. *Acta Botanica Brasilica*, v. 30, p. 147-151.
- FOX, J. *et al.* (2018). Car: Companion to Applied Regression.
- FOX, J. *et al.* (2019). Effects Displays for Linear, Generalized, and Other Models.
- FRANÇOSO, R.D. (2014). Padrões biogeográficos e composição das comunidades arbóreas do cerrado brasileiro. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. 158 p.
- FRANÇOSO, R.D. *et al.* (2015). Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. *Acta Botânica Brasilica*. v. 30, p. 78-86.
- FUNEZ, G. *et al.* (2009). La temperatura como principal determinante de la germinación em especies del Chaco seco de Argentina. *Ecologia Austral*. v. 19, p. 129-138.
- GÓMEZ, J.M. (2004). Bigger is not always better: conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, v. 58, p. 71-80.
- GRUVICH, D. *et al.* (2017). Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem. *Flora: Morphology, Distribution, Funcional Ecology of Plants*. v. 227, p. 18-24.
- HARDEGREE, S.P; EMMERICH, W.E. (1994). Seed germination in response to polyethylene glycol solution. *Seed Science and Technology*, v.22, p. 1-7.
- HOEKSTRA *et al.* (2004). What do we really know about desiccation tolerance mechanisms? In: NICOLÁS *et al.* (Eds). *The biology of seeds: recente research advances*. CABI. Cambridge. Cap. 29
- HOFFMANN, W.A.; JACKSON, R.B. (2000). Vegetation-climate feedbacks in the conversion of Tropical savanna to grassland. *Journal of Climate*. v. 13, p. 1593-1601.
- HONG, T.D. & ELLIS, R.T (2002). Storage. In: VOZZO, J.A. *Tropical tree seed manual*. USDA-Forest Service. Cap.5.p. 125-136.

HONG, T.D.; ELLIS, R.H. (1996). A protocol to determinate seed storage behavior. IPGRI, Rome.

HONG, T.D.; ELLIS, R.T (2002). Storage. In: VOZZO, J.A. *Tropical tree seed manual*. USDA-Forest Service. Cap.5.p. 125-136.

IPCC (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Field, C.B.V.R.; Barros, D.J.; Dokken, K.J.; Mach, M.D.; Mastrandrea, T.E.; Bilir, M.; Chatterjee, K.L.; Ebi, Y.O.; Estrada, R.C.; Genova, B.; Girma, E.S.; Kissel, A.N.; Levy, S.; MacCracken, P.R.; Mastrandrea, L.L.W. (eds.). New York: Cambridge University Press.1132p.

JIMÉNEZ-ALFARO, B. *et al.* (2016). Seed germination traits can contribute better to plant community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 27, p. 637-645.

JURADO, J.; FLORES, J. (2005). Is seed dormancy under environmental control or boud to plant traits?. *Journal of VegetationScience*. v.16, p. 559-564.

KIKUZAMA, K.; KOYAMA, H. (1999). Scaling of soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues. *Seed Science Research*, v.9, p. 171-178.

KINDSON, R.; WESTOBY, M. (2000). Seed mass and seedling dimensions in relation to seedling establishment. *Oecologia*. v.125. p.11-17.

LABOURIAU, L.G. (1983). *A germinação das sementes*. Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, Washington

LAHOREAU, G. *et al.* (2006). Positive effect os seed size on seedling survival in fire-prone savannas of Australia, Brazil and West Africa. *Journal of Tropical Ecology*. v. 22, p. 719-722.

LARSON, J.E.; FUNK, J.L. (2016). Regeneration: an overlooked aspect of trait-based plant community assembly models. *Journal of Ecology*. v.104, p.1284-1298.

LENTH, R. (2018). Lsmeans: Least-Squares Means.

LIMA JR., M.J. ed. (2010). Manual de procedimentos para análise de sementes florestais. 146 p. UFAM – Manaus – Amazonas – Brasil.

LIMA, A.T.; MEIADO, M.V. (2018). Effects of seed hydration memory on initial growth under water deficit of cactus from two populations that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. *Plant Species Biology*, v. 33, p. 268-275.

MARIMON Jr., B.H.; HARIDASAN, M. (2005). Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta. Bot. Bras.* v.19, p. 913-926

- MARIMON, B.S. *et al.* (2006). Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the cerrado-amazonian forest ecotone. *Edinburgh Journal of Botany*, v.63, p. 323-341.
- MARTINS, A.A. *et al.* (2019). Rainfall seasonality predicts the germination behavior of tropical dry-forest vine. *Ecology and Evolution*. v. 9, p. 1-10.
- MATHEUS, M.T. *et al.*(2009). Tolerância à dessecação em sementes de sucupira (*Bowdichia virgilioides* Kunth.) – Fabaceae. *Revista Caatinga*, v.22, p. 89-92.
- MÉIO, B.B. *et al.* (2002). Influência da flora das florestas Amazônica e Atlântica na vegetação do cerrado *sensu stricto*. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 26, p. 437-444.
- MELO, F.L.P. *et al.* (2004). Recrutamento e estabelecimento de plântulas. In: FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. (Orgs). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed. Porto Alegre. Cap. 15
- MENEZES *et al.*, (2016). Montagem de comunidades: conceitos, domínio e estrutura teórica. *Oecologia Australis*, v. 20, p. 1-17.
- MOLES, A. T. *et al.* (2007). Global patterns in seed size. *Global ecology and biogeography*, v. 16, p. 109-116.
- MOLES, A.T. (2014). Which is a better predictor of plant traits: temperature or precipitation?. *Journal of Vegetation Science*, v. 25, n.5, p. 1167-1180.
- MOLES, A.T. *et al.* (2003). Seed size and survival in the soil in arid Australia. *Austral Ecology*, v.28, p. 575-585.
- MOLES, A.T. *et al.* (2007). Global patterns in seed size. *Global Ecology and Biogeography*, v.16, p. 109-116.
- MONCRIEFF, G.R. *et al.* (2016). The future distribution of the savannah biome: model-based and biogeographic contingency. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.v.371.(doi:10.1098/rstb.2015.0311)
- MURPHY, P.B; BROWNAM, D.M.J.J (2012). What controls the distribution of tropical forest and savana?. *Ecology Letters*. V.15.p.748-758.
- NARDOTO, G.B. *et al.* (1998). Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriacea* (Spr) Mart. nos cerrados do Planalto Central: efeitos do estresse hídrico e sombreamento. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 98, p. 313-319.
- NATHAN, R.; MULLER-LANDAU, H.C. (2000). Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Tree*. v. 15, p. 278-285.
- NERI, A.V. *et al.* (2007). Composição florística de uma área de cerrado *sensu stricto* no município de Senador Modestino Gonçalves, Vale do Jequitinhonha (MG) e análise de similaridade florística de algumas áreas de cerrado em Minas Gerais. *Revista Árvore*, v.31, n.16, p. 1109-1119.



NOBRE, C.A. *et al.* (2007). Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Relatório nº 6 – Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. CPTEC/INPE, São Paulo, Brasil. 29 p.

NORDEN, N. *et al.* (2009). The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. *Functional Ecology*, v.23, p. 203-210.

OKSANEN, J.F. *et al.* (2016). Vegan: Community Ecology Package.

PAUSAS, J. G.; VERDÚ, M. (2010). The jungle of methods for evaluating phenotypic and phylogenetic structure of communities. *BioScience*, v. 60, n. 8, p. 614 – 625.

PAUSAS, J.G.; DANTAS, V.L. (2016). Scale matters: fire-vegetation feedbacks are needed to explain tropical tree cover at the local scale. *Global Ecology and Biogeography*. v. 26, p. 395-399.

PEREZ, S.C.J.G.A. (2004). Envoltórios. In: FERREIRA, A. G; BORGHETTI, F. (Orgs). *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed. Porto Alegre. Cap. 7.

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

PINHEIRO, E.S.; DURIGAN, G. (2012). Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do Cerrado em Assis, SP, Brasil. *Revista Árvore*, v.36, -. 181-193.

POSCHLOD, P. *et al.* (2013). Seed ecology and assembly rules in plant communities. In: MAARAEL, E.; FRANKLIN, J. (Ed.). *Vegetation Ecology*. John Wiley & Son. Cap.6. p. 164-202.

QUERO, J. L. *et al.* (2007). Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany*. v.94. p. 1795-1803.

RATTER, J.A. *et al.* (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, v.60, n.1, p. 57-109.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO.. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Cap. 6, p. 151-199.

RIBEIRO, L. C.; BORGHETTI, F. (2014). Comparative effects of desiccation, heat shock and high temperatures on seed germination of savanna and forest tree species. *Austral Ecology*, v.39, n.3.

RIBEIRO, L. *et al.* (2015). The importance of seed biomass for the tolerance to heat shock of savannas and forest tree species. *Journal of Vegetation Science*, v.26, n.6, p. 1102-1111.

- RIBEIRO, L.C. (2014). Fatores ambientais e a germinação de espécies arbóreas do Brasil Central e de áreas disjuntas da Amazônia no bioma Cerrado. Tese(doutorado). Universidade de Brasília. 91p.
- RODRIGUES, P.M.S.(2015). Geoambientes e relação solo-vegetação no Parque Estadual Caminho dos Gerais, Serra Geral, Norte de MG. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 93 p.
- SABOYA, P.; BORGHETTI, F. (2012). Germination, initial growth, and biomass allocation in three native Cerrado species. *Brazilian Journal of Botany*. v.35, p. 129-135.
- SANTANA, D.G. et al. (2017). How to analyze germination of species with empty seeds using contemporary statistical methods?. *Acta Botanica Brasilica*. v.32(2), p.271-278.
- SANTANA, D.G.; RANAL, M.A. (2004). Análise da Germinação-um enfoque estatístico. Editora Universidade de Brasília. 248 p.
- SCHOLES,R.J.; ARCHER, S.R. (1997). Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*. v. 28, p. 517-544.
- SHUPP, W.E. *et al.* (2010). Seed dispersal effectiveness revisited a conceptual review. *The New Phytologist*, v. 188, p. 333-353
- SILVA, F.A.M. *et al.* (2008). Caracterização climática do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados – Brasília,DF. Cap. 3, p. 71-88.
- SILVA, M.L. (2011). A dinâmica de expansão e retração de Cerrados e Caatingas no período Quaternário: uma análise segundo a perspectiva da teoria dos refúgios e redutos florestais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.1, p. 57-73.
- SILVA, P.L.A. (2018). Biodiversidade e mudanças climáticas no Brasil: levantamento e sistematização de referências. WWF-Brasil (Relatório), Brasília.
- SIMON, M.F. *et al.* (2009). 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. 20359-20364.
- SIQUEIRA, M.F.; PETERSON, A.T. (2013). Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. *Biota Neotropica*. v. 3, p. 1-14.
- SOUZA, S.S. (2019). O microclima de campos secos e campos úmidos e seus impactos na capacidade germinativa de sementes de gramíneas nativas do cerrado. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília. 72p.
- STAVER *et al.* (2011). The global extent and determinantes of savana and forest as alternative biome states. *Science*.v.334. p. 230-232.

THOMPSON, K. *et al.* (1993). Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology*, v. 7, p. 236-241.

TWEDDLE, J.C. *et al.* (2003). Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. *Journal of Ecology*, v. 91, n.2, p. 294-304.

VELAZCO, S.J.E. *et al.* (2018). A dark scenario for Cerrado plant species: effects of future climate, land use and protected áreas ineffectiveness. *Diversity and Distributions*. v. 25, p. 660-673.

VIEIRA, R.M.S.P. *et al.* (2015). Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*. v.6, p. 347-360.

VILLELA, F.A. *et al.* (1991). Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e de temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, p. 1957-1968.

VIOLLE, C. *et al.* (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, v. 16, p. 882-892.

WERNECK, F.(2011). The diversification of eastern South American open vegetation biomes: Historial biogeography and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, v.30, p. 1630-1648.

WICKHAM, H. *et al.* (2019). Ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics.

Anexo B2: Germinabilidade (%), velocidade média de germinação em horas (h<sup>-1</sup>) ± desvio padrão e T50 em diferentes temperaturas. Espécie: *Ana\_colu* - *Anadenanthera colubrina*, *Asp\_macr* - *Aspidosperma macrocarpon*, *Asp\_tome* - *Aspidosperma tomentosum*, *Ast\_frax* - *Astronium fraxinifolium*, *Bow\_virg* - *Bowdichia virgilioide*, *Cop\_lang* - *Copaifera langsdorffii*, *Cop\_malm* - *Copaifera malmei*, *Dim\_moll* - *Dimorphandra mollis*, *Dip\_ala* - *Dipteryx alata*, *Him\_obov* - *Himatanthus obovatus*, *Hym\_stig* - *Hymenaea stigonocarpa*, *Kie\_cori* - *Kielmeyera coriacea*, *Mag\_pube* - *Magonia pubescens*, *Pla\_reti* - *Plathymenia reticulata* e *Qua\_gran* - *Qualea grandiflora*, *Str\_adst* - *Stryphnodendron adstringens*, *Tab\_aure* - *Tabebuia aurea*, *Tac\_aure* - *Tachigali aurea*, *Tac\_vulg* - *Tachigali vulgaris*. local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido, vel. média - velocidade média de germinação O \* indica que as sementes foram escarificadas

Espécie	Local	Temperatura														
		25			30			35			40			45		
		G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50
<i>Ana_colu</i>	cer_umi	95	0.020 ± 0.125	48	97	0.011 ± 0.002	96	96	0.020 ± 0.011	48	94	0.020 ± 0.007	48	51	0.017 ± 0.005	48
<i>Asp_macr</i>	cer_sec	63	0.012 ± 0.003	72	94	0.012 ± 0.003	72	66	0.008 ± 0.004	96	29	0.008 ± 0.004	96	0		
<i>Asp_tome</i>	cer_sec	94	0.007 ± 0.002	120	97	0.006 ± 0.001	144	93	0.005 ± 0.002	168	0			0		
<i>Ast_frax</i>	cer_sec	92	0.011 ± 0.004	96	94	0.016 ± 0.008	48	99	0.020 ± 0.006	48	92	0.017 ± 0.004	48	50	0.010 ± 0.004	120
<i>Bow_virg</i>	cer_sec	83	0.002 ± 0.001	336	77	0.002 ± 0.001	360	66	0.003 ± 0.001	360	68	0.003 ± 0.001	348	0		
	cer_umi	72	0.002 ± 0.001	348	78	0.003 ± 0.001	264	57	0.002 ± 0.001	432	59	0.002 ± 0.001	384	0		
<i>Cop_lang</i>	cer_sec	76	0.003 ± 0.001	360	88	0.002 ± 0.001	456	94	0.003 ± 0.001	288	45	0.003 ± 0.0005	336	0		
	cer_umi	70	0.002 ± 0.001	480	80	0.002 ± 0.0005	600	88	0.002 ± 0.001	408	38	0.003 ± 0.001	372	0		
<i>Cop_malm</i>	cer_umi	93	0.002 ± 0.001	432	92	0.003 ± 0.002	264	96	0.004 ± 0.001	240	72	0.004 ± 0.001	240	3	0.005	192
<i>Dim_moll</i>	cer_sec	7	0.002 ± 0.001	960	5	0.001 ± 0.0001	744	18	0.003 ± 0.003	144	5	0.005 ± 0.005	120			
<i>Dim_moll*</i>	cer_sec	40	0.002 ± 0.0001	216	82	0.005 ± 0.001	168	75	0.005 ± 0.001	192	16	0.005 ± 0.001	168	2	0.009 ± 0.001	108
<i>Dip_alat</i>	cer_umi	93	0.004 ± 0.001	240	90	0.005 ± 0.001	192	95	0.006 ± 0.001	168	55	0.004 ± 0.001	216			
<i>Ent_gumm</i>	cer_sec	18	0.001 ± 0.001	636	16	0.002 ± 0.0001	564	28	0.001 ± 0.0005	828	18	0.0012 ± 0.001	864			
<i>Ent_gumm*</i>	cer_sec	95	0.006 ± 0.002	144	97	0.009 ± 0.002	96	83	0.004 ± 0.003	216	78	0.004 ± 0.001	240			
<i>Him_obov</i>	cer_sec	96	0.005 ± 0.001	168	95	0.006 ± 0.002	168	98	0.005 ± 0.001	216	56	0.003 ± 0.001	300	0		
	cer_umi	99	0.003 ± 0.0009	288	98	0.005 ± 0.001	216	78	0.003 ± 0.001	312	33	0.002 ± 0.0005	480	0		
<i>Hym_stig</i>	cer_sec	62	0.002 ± 0.001	492	91	0.002 ± 0.0001	312	92	0.002 ± 0.001	336	86	0.003 ± 0.001	288	0		
	cer_umi	80	0.002 ± 0.001	408	85	0.003 ± 0.001	312	69	0.003 ± 0.001	13	67	0.003 ± 0.001	312	0		
<i>Hym_stig *</i>	cer_sec	99	0.005 ± 0.001	192	100	0.006 ± 0.0004	168	96	0.005 ± 0.001	192	91	0.005 ± 0.001	216	0		
	cer_umi	85	0.004 ± 0.001	240	100	0.005 ± 0.001	192	87	0.004 ± 0.001	264	85	0.004 ± 0.001	240	0		
<i>Kie_cori</i>	cer_sec	74	0.005 ± 0.002	192	96	0.01 ± 0.004	96	77	0.004 ± 0.001	240	61	0.004 ± 0.001	216	0		

Espécie	Local	Temperatura														
		25			30			35			40			45		
		G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50
<i>Mag_pube</i>	cer_umi	95	0.007 ± 0.001	144	94	0.006 ± 0.002	168	13	0.003 ± 0.001	312	0					
	cer_sec	82	0.008 ± 0.002	120	93	0.006 ± 0.003	144	84	0.006 ± 0.002	168	16	0.003 ± 0.002	204	0		
	cer_umi	88	0.006 ± 0.002	168	96	0.005 ± 0.002	192	81	0.004 ± 0.002	216	13	0.002 ± 0.0002	408	0		
<i>Pla_reti</i>	cer_sec	27	0.002 ± 0.002	192	47	0.003 ± 0.002	240	14	0.004 ± 0.001	240	13	0.005 ± 0.001	192	7	0.008 ± 0.002	120
	cer_umi	48	0.003 ± 0.002	240	53	0.003 ± 0.003	168	48	0.004 ± 0.003	144	25	0.005 ± 0.003	192	1	0.007	144
<i>Pla_reti</i> *	cer_sec	98	0.007 ± 0.002	144	99	0.01 ± 0.002	92	97	0.01 ± 0.001	96	80	0.006 ± 0.001	168	20	0.004 ± 0.001	216
	cer_umi	94	0.008 ± 0.002	120	99	0.013 ± 0.004	72	100	0.009 ± 0.001	96	79	0.005 ± 0.002	144	18	0.006 ± 0.001	144
<i>Qua_gran</i>	cer_sec	20	0.005 ± 0.001	204	97	0.005 ± 0.002	192	50	0.003 ± 0.001	264	24	0.003 ± 0.001	336	0		
	cer_umi	18	0.004 ± 0.001	240	85	0.003 ± 0.001	288	21	0.003 ± 0.001	288	3	0.003 ± 0.001	480	0		
<i>Str_adst</i>	cer_umi	43	0.004 ± 0.004	144	49	0.004 ± 0.002	168	56	0.004 ± 0.004	120	55	0.003 ± 0.003	192	24	0.005 ± 0.001	216
<i>Str_adst</i> *	cer_umi	93	0.005 ± 0.002	144	94	0.009 ± 0.001	96	83	0.006 ± 0.002	168	70	0.0064 ± 0.003	144	11	0.006 ± 0.001	144
<i>Tab_aure</i>	cer_umi	66	0.004 ± 0.003	144	89	0.010 ± 0.005	72	38	0.008 ± 0.003	120	18	0.007 ± 0.004	108	0		
<i>Tac_vulg</i>	cer_umi	8	0.009 ± 0.003	96	6	0.006 ± 0.002	168	9	0.003 ± 0.003	144	7	0.004 ± 0.003	384	0		
<i>Tac_vulg</i> *	cer_umi	98	0.009 ± 0.002	120	87	0.012 ± 0.002	72	90	0.012 ± 0.002	72	76	0.010 ± 0.003	96	0		
<i>Tac_aure</i>	cer_sec	10	0.001 ± 0.0005	1128	14	0.003 ± 0.003	216	21	0.001 ± 0.001	576	8	0.001 ± 0.0003	720	0		
<i>Tac_aure</i> *	cer_sec	100	0.007 ± 0.002	144	96	0.009 ± 0.003	96	93	0.005 ± 0.002	192	13	0.005 ± 0.0005	216	0		

Anexo C2: Germinabilidade (%), velocidade média de germinação em horas (h<sup>-1</sup>) ± desvio padrão e T50 em diferentes temperaturas. Espécie: *Ana\_colu* - *Anadenanthera colubrina*, *Asp\_macr* - *Aspidosperma macrocarpon*, *Asp\_tome*- *Aspidosperma tomentosum*, *Ast\_frax* - *Astronium fraxinifolium*, *Bow\_virg* - *Bowdichia virgilioide*, *Cop\_lang* - *Copaifera langsdorffii*, *Cop\_malm* - *Copaifera malmei*, *Dim\_moll* - *Dimorphandra mollis*, *Dip\_ala* - *Dipteryx alata*, *Him\_obov* - *Himatanthus obovatus*, *Hym\_stig* - *Hymenaea stigonocarpa*, *Kie\_cori* - *Kielmeyera coriacea*, *Mag\_pube* - *Magonia pubescens*, *Pla\_reti* - *Plathymenia reticulata* e *Qua\_gran* - *Qualea grandiflora*, *Str\_adst* - *Stryphnodendron adstringens*, *Tab\_aure* - *Tabebuia aurea*, *Tac\_aure* - *Tachigali aurea*, *Tac\_vulg* - *Tachigali vulgaris*. local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido, vel. média - velocidade média de germinação. O \* indica que as sementes foram esscarificadas

Espécie	Local	Potencial osmótico														
		0,0 MPa			- 0,2 MPa			- 0,4 MPa			- 0,6 MPa			- 0,8 MPa		
		G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50
<i>Ana_colu</i>	cer_umi	97	0.011 ± 0.003	96	96	0.017 ± 0.011	48	76	0.014 ± 0.007	72	60	0.006 ± 0.003	168	17	0.004 ± 0.001	216
<i>Asp_macr</i>	cer_sec	94	0.012 ± 0.004	72	88	0.006 ± 0.002	144	62	0.003 ± 0.001	300	13	0.001 ± 0.001	576	0		
<i>Asp_tome</i>	cer_sec	97	0.007 ± 0.001	144	91	0.005 ± 0.002	168	84	0.004 ± 0.001	288	87	0.003 ± 0.002	240	37	0.001 ± 0.0004	864
<i>Ast_frax</i>	cer_sec	94	0.017 ± 0.008	48	98	0.011 ± 0.002	72	92	0.006 ± 0.002	168	24	0.002 ± 0.001	588	0		
<i>Bow_virg</i>	cer_sec	77	0.002 ± 0.001	360	72	0.002 ± 0.001	480	44	0.001 ± 0.0003	840	30	0.001 ± 0.0002	768	18	0.001 ± 0.0002	840
	cer_umi	78	0.003 ± 0.001	264	57	0.002 ± 0.0005	528	33	0.001 ± 0.0003	792	15	0.001 ± 0.0002	936	5	0.001 ± 0.0001	864
<i>Cop_lang</i>	cer_sec	88	0.002 ± 0.001	456	87	0.002 ± 0.001	480	48	0.001 ± 0.0004	600	22	0.001 ± 0.0002	816	10	0.001 ± 0.00007	864
	cer_umi	80	0.002 ± 0.0005	600	80	0.002 ± 0.0006	624	19	0.001 ± 0.0003	624	9	0.001 ± 0.0003	744	0		
<i>Cop_malm</i>	cer_umi	92	0.003 ± 0.002	264	95	0.002 ± 0.001	408	94	0.002 ± 0.0008	456	77	0.001 ± 0.0006	576	10	0.001 ± 0.0004	1152
<i>Dim_moll</i>	cer_umi	82	0.005 ± 0.001	168	37	0.003 ± 0.0005	312	3	0.003 ± 0.0002	408	0		0			
<i>Dip_alat</i>	cer_umi	90	0.005 ± 0.001	192	64	0.003 ± 0.001	336	48	0.002 ± 0.0005	480	15	0.002 ± 0.0003	504	0		
<i>Ent_gumm*</i>	cer_sec	97	0.009 ± 0.002	96	58	0.005 ± 0.0003	216	57	0.004 ± 0.0002	240	14	0.003 ± 0.0001	336	0		
<i>Him_obov</i>	cer_sec	95	0.006 ± 0.002	168	95	0.003 ± 0.001	288	86	0.003 ± 0.001	324	39	0.001 ± 0.0006	552	2	444 ± 50.9	444
	cer_umi	98	0.005 ± 0.001	216	98	0.003 ± 0.001	264	93	0.002 ± 0.0006	480	10	0.001 ± 0.0003	1368	0		
<i>Hym_stig *</i>	cer_sec	100	0.006 ± 0.0004	168	57	0.002 ± 0.0004	456	54	0.0015 ± 0.0003	624	4	0.0013 ± 0.0002	780	0		
	cer_umi	100	0.005 ± 0.001	192	40	0.002 ± 0.0003	432	25	0.0017 ± 0.0003	528	0		0			
<i>Kie_cori</i>	cer_sec	96	0.01 ± 0.004	96	85	0.002 ± 0.0008	480	20	0.001 ± 0.00002	744	6	0.001 ± 0.00002	984	0		
	cer_umi	94	0.006 ± 0.002	168	58	0.004 ± 0.002	216	16	0.002 ± 0.0006	408	5	0.002 ± 0.0004	600	0		
<i>Mag_pube</i>	cer_sec	93	0.006 ± 0.003	144	85	0.003 ± 0.001	288	0		0			0			
	cer_umi	96	0.0056 ± 0.002	192	86	0.005 ± 0.003	168	0		0			0			
<i>Pla_reti *</i>	cer_sec	99	0.01 ± 0.002	92	100	0.008 ± 0.001	120	68	0.004 ± 0.001	216	10	0.002 ± 0.0006	648	0		

Espécie	Local	Potencial osmótico														
		0,0 MPa			- 0,2 MPa			- 0,4 MPa			- 0,6 MPa			- 0,8 MPa		
		G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50	G	vel. média	T50
<i>Qua_gran</i>	cer_umi	99	0.013 ± 0.004	72	99	0.008 ± 0.0005	120	80	0.005 ± 0.001	216	74	0.003 ± 0.001	288	10	0.0012 ± 0.0003	672
	cer_sec	97	0.005 ± 0.002	192	30	0.003 ± 0.001	252	0			0			0		
	cer_umi	85	318.8 ± 115.8	288	0			0			0			0		
<i>Str_adst*</i>	cer_umi	94	0.009 ± 0.001	96	76	0.003 ± 0.001	312	48	0.003 ± 0.0005	384	8	0.002 ± 0.0005	600			
<i>Tab_aure</i>	cer_umi	89	0.01 ± 0.005	72	84	0.007 ± 0.002	120	68	0.004 ± 0.001	264	45	0.002 ± 0.001	264	4	0.0015 ± 0.0002	696
<i>Tac_vul</i>	cer_umi	87	0.011 ± 0.002	72	88	0.011 ± 0.003	72	31	0.01 ± 0.003	96	5	0.005 ± 0.001	216	0		
<i>Tac_aur</i>	cer_sec	96	0.009 ± 0.003	96	91	0.006 ± 0.0022	144	66	0.004 ± 0.001	228	2	0.003 ± 0.0004	324	0		

Anexo D2: Germinabilidade (%), velocidade média de germinação em horas ( $h^{-1}$ )  $\pm$  desvio padrão e T50 das sementes que não dessecadas (controle) e dessecadas (5% de umidade). Espécie: *Ana\_colu* - *Anadenanthera colubrina*, *Asp\_macr* - *Aspidosperma macrocarpon*, *Asp\_tome* - *Aspidosperma tomentosum*, *Ast\_frax* - *Astronium fraxinifolium*, *Bow\_virg* - *Bowdichia virgilioide*, *Cop\_lang* - *Copaifera langsdorffii*, *Cop\_malm* - *Copaifera malmei*, *Dim\_moll* - *Dimorphandra mollis*, *Dip\_ala* - *Dipteryx alata*, *Him\_obov* - *Himatanthus obovatus*, *Hym\_stig* - *Hymenaea stigonocarpa*, *Kie\_cori* - *Kielmeyera coriacea*, *Mag\_pube* - *Magonia pubescens*, *Pla\_reti* - *Plathymenia reticulata* e *Qua\_gran* - *Qualea grandiflora*, *Str\_adst* - *Stryphnodendron adstringens*, *Tab\_aure* - *Tabebuia aurea*, *Tac\_aure* - *Tachigali aurea*, *Tac\_vulg* - *Tachigali vulgaris*. local: cer\_sec: cerrado seco, cer\_umi: cerrado úmido, vel. média - velocidade média de germinação. O \* indica que as sementes foram escarificadas

Espécie	Local	Umidade inicial (%)	Controle			5 % de umidade		
			G	vel.média	T50	G	vel. Média	T50
<i>Ana_colu</i>	cer_umi	19.68	97	0.011 $\pm$ 0.003	96	88	0.024 $\pm$ 0.019	24
<i>Asp_macr</i>	cer_sec	5.49	94	0.012 $\pm$ 0.004	72	98	0.0144 $\pm$ 0.004	48
<i>Asp_tome</i>	cer_sec	6.47	97	0.007 $\pm$ 0.001	144	93	0.0089 $\pm$ 0.004	96
<i>Ast_frax</i>	cer_sec	12.18	94	0.017 $\pm$ 0.008	48	94	0.0171 $\pm$ 0.006	48
<i>Bow_virg</i>	cer_sec	8.26	77	0.002 $\pm$ 0.001	360	71	0.0017 $\pm$ 0.001	432
	cer_umi	9.8	78	0.003 $\pm$ 0.001	264	78	0.0016 $\pm$ 0.0001	540
<i>Cop_lang</i>	cer_sec	12.27	88	0.002 $\pm$ 0.001	456	86	0.0019 $\pm$ 0.001	480
	cer_umi	10.15	80	0.002 $\pm$ 0.0005	600	36	0.0013 $\pm$ 0.001	600
<i>Cop_malm</i>	cer_sec	9.44	92	0.003 $\pm$ 0.002	264	95	0.0015 $\pm$ 0.00005	624
<i>Dim_moll</i>	cer_sec	10.23	5	0.001 $\pm$ 0.0001	744	8	0.0035 $\pm$ 0.003	168
<i>Dim_moll</i> *	cer_sec		82	0.005 $\pm$ 0.001	168	79	0.0078 $\pm$ 0.002	120
<i>Dip_alat</i>	cer_umi	15.98	90	0.005 $\pm$ 0.001	192	64	0.005 $\pm$ 0.001	168
<i>Ent_gumm</i>	cer_sec	9.52	16	0.002 $\pm$ 0.0001	564	50	0.0012 $\pm$ 0.0007	780
<i>Ent_gumm</i> *	cer_sec		97	0.009 $\pm$ 0.002	96	95	0.0083 $\pm$ 0.0021	120
<i>Him_obov</i>	cer_sec	5.47	95	0.006 $\pm$ 0.002	168	98	0.0062 $\pm$ 0.0018	144
	cer_umi	6.71	98	0.005 $\pm$ 0.001	216	96	0.0041 $\pm$ 0.001	228
<i>Hym_stig</i>	cer_sec	12.47	91	0.002 $\pm$ 0.0001	312	47	0.0014 $\pm$ 0.001	648
	cer_umi	12.29	85	0.003 $\pm$ 0.001	312	62	0.0018 $\pm$ 0.001	432
<i>Hym_stig</i> *	cer_sec		100	0.006 $\pm$ 0.0004	168	100	0.0066 $\pm$ 0.0014	144
	cer_umi		100	0.005 $\pm$ 0.001	192	95	0.0043 $\pm$ 0.001	216
<i>Kie_cori</i>	cer_sec	12.49	96	0.01 $\pm$ 0.004	96	53	0.0054 $\pm$ 0.001	168
	cer_umi	14.43	94	0.006 $\pm$ 0.002	168	87	0.0057 $\pm$ 0.0017	192
<i>Mag_pube</i>	cer_sec	5.87	93	0.006 $\pm$ 0.003	144	92	0.0057 $\pm$ 0.0032	144
	cer_umi	5.45	96	0.005 $\pm$ 0.002	192	88	0.0069 $\pm$ 0.0022	144
<i>Pla_reti</i>	cer_sec	7.14	47	0.003 $\pm$ 0.002	240	23	0.0032 $\pm$ 0.0042	144
	cer_umi	5.17	53	0.003 $\pm$ 0.003	168	49	0.0033 $\pm$ 0.003	168
<i>Pla_reti</i> *	cer_sec		99	0.01 $\pm$ 0.002	92	98	0.0084 $\pm$ 0.002	120
	cer_umi		99	0.013 $\pm$ 0.004	72	100	0.0132 $\pm$ 0.010	48



Espécie	Local	Umidade inicial (%)	Controle			5 % de umidade		
			G	vel.média	T50	G	vel. Média	T50
<i>Qua_gran</i>	cer_sec	15.2	97	0.005 ± 0.002	192	0		
	cer_umi	6.95	85	0.003 ± 0.001	288	0		
<i>Stry_adst</i>	cer_umi	11.01	49	0.004 ± 0.002	168	67	0.0042 ± 0.005	120
<i>Stry_adst*</i>	cer_umi		94	0.009 ± 0.001	96	96	0.0122 ± 0.004	72
<i>Tab_aure</i>	cer_umi	7.25	89	0.010 ± 0.005	72	90	0.0128 ± 0.005	72
<i>Tac_vulg</i>	cer_umi	5.13	6	0.006 ± 0.002	168	10	0.0024 ± 0.003	168
<i>Tac_vulg*</i>	cer_umi		87	0.012 ± 0.002	72	98	0.0134 ± 0.002	72
<i>Tac_aure</i>	cer_sec	5.74	14	0.003 ± 0.003	216	10	0.012 ± 0.001	456
<i>Tac_aure*</i>	cer_sec		96	0.009 ± 0.003	96	99	0.0112 ± 0.002	96