



Universidade Estadual de Goiás  
Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique  
Santillo  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do  
Cerrado

RAQUEL MENESTRINO RIBEIRO

**EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL EM ATRIBUTOS DA  
GERMINAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA  
POTENCIAL DE *DIPTERYX ALATA* VOG. (FABACEAE)**

Anápolis

2017

RAQUEL MENESTRINO RIBEIRO

**EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL EM ATRIBUTOS DA  
GERMINAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA  
POTENCIAL DE *DIPTERYX ALATA* VOG. (FABACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação  
*Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da  
Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de  
Mestre em Recursos Naturais do Cerrado. Orientador:  
Prof. Dr. João Carlos Nabout.

Anápolis  
2017

Ribeiro, Raquel Menestrino.

Efeito do aquecimento global em atributos da germinação e distribuição geográfica potencial de *Dipteryx alata* vog. (Fabaceae)/ Raquel Menestrino Ribeiro – 2017.

39 folhas.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Nabout

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2017.

Bibliografia

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais que sempre apoiaram meus estudos e sempre me lembram da importância do saber.

À minha avó Adalgiza, aonde quer que esteja, a sua fé em mim não me deixa fraquejar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente preciso agradecer a Deus, meu guia, que me segura e me dá forças pra continuar adiante.

Aos meus pais e minha irmã, que sempre ouvem meus lamentos e me lembram que tudo tem porquê e que o suor sempre tem uma recompensa abençoada.

A todos os professores que me acompanharam nessa jornada, em especial a professora Héliida Cunha, professor Victor Hugo Mendonça e professor Fabrício Barreto Teresa, sempre solícitos e prestativos em sanar minhas dúvidas.

Professor Itamar, meu muito obrigada. Sem o seu auxílio as dificuldades seriam dobradas.

Aos meus colegas de laboratório, que caminharam junto comigo e foram parte essencial tanto nos momentos de desespero quanto nas horas de diversão.

Aos meus colegas de sala que, mesmo com pouco tempo de convívio, pude formar um vínculo de respeito e reconhecimento.

Aos meus amigos mais próximos, que me ampararam e foram responsáveis pelos momentos de distração em especial Larissa, Nayara, Júlio, Bahia, Gabriel, Arthur, Gustavo e Elton que estiveram sempre comigo, prontos para me ouvir e dispostos a tudo para me ver sempre disposta.

À CAPES, por conceder minha bolsa, possibilitando que eu me dedicasse exclusivamente a minha pesquisa.

A UEG e todos os seus funcionários, que mesmo com algumas limitações estão sempre a disposição na busca por solucionar nossos problemas e tornar nossa “estadia” mais tranquila.

À equipe da Fanut e Agronomia da Universidade Federal de Goiás, tão prestativa em me receber e ceder os seus laboratórios sempre que necessário.

E com um carinho enorme, agradeço especialmente ao meu orientador João Nabout, que caminhou comigo e não mediu esforços para que este trabalho fosse possível.

O meu sincero e muito emocionado muito obrigada.

“Nós temos que ir para ver com nossos próprios olhos”

Jacques Cousteau

## RESUMO

Os impactos das alterações climáticas irão afetar desde os sistemas ecológicos naturais até os sistemas socioeconômicos. Para o bioma Cerrado, o aumento de temperatura irá implicar em uma redistribuição das espécies florestais, implicando em diminuição e perdas de espécies. As características fenológicas das plantas são bastante afetadas pelas alterações climáticas, pois fatores como temperatura e disponibilidade hídrica são responsáveis por atividades enzimáticas que irão alterar o ciclo de germinação da planta. O substrato também interfere na germinação, uma vez que a estrutura física do solo é responsável pela retenção de água, essencial na fase de embebição da semente. Devido à ampla distribuição no bioma, assim como a importância social para a região, *Dipteryx alata* (conhecida popularmente como baru) foi escolhida como objeto de estudo, podendo ser um modelo para as demais espécies do Cerrado. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do aquecimento global associado a diferentes tipos de solo sobre atributos de germinação de *D. alata* assim como o efeito do aquecimento em modelos de nicho e as relações diretas e indiretas da germinação no modelo conceitual para a espécie. 240 sementes foram submetidas a 3 diferentes temperaturas e 4 tipos de solo. Analisaram-se variáveis de tamanho e peso das plântulas como métricas da germinação. A construção do modelo de nicho se deu através da compilação de mapas climático obtidos no banco de dados EcoClimate e variáveis climáticas extraídas do sítio WORLCLIM. Através de um modelo conceitual observou-se a relação entre o aumento de temperatura, a probabilidade de ocorrência da espécie e os atributos de germinação analisando o nível de interferência de cada um dos níveis. O aumento da temperatura mais extrema reduziu os atributos da germinação, portanto, impactando na viabilidade de germinação do Baru. Conforme o modelo de nicho a região Centro-Sul e Oeste do bioma poderão apresentar maior adequabilidade para o *D. alata*. O modelo conceitual indicou que a temperatura afeta diretamente e indiretamente a probabilidade de ocorrência da espécie. Assim, algumas regiões poderão contabilizar um aumento na presença da espécie devido o aumento de temperatura enquanto em outras, poderá haver um declínio na presença de indivíduos de *D. alata* devido à relação entre a germinação e a temperatura.

Palavras-chave: Baru. Modelo de Nicho. Mudanças climáticas.

## ABSTRACT

The impacts of climate changes will affect since natural ecological systems until socioeconomic systems. The increase of temperature in Cerrado will imply on a redistribution of forest species, implying in decrease and loss of species. The phenological characteristics of plants are highly affected by climate changes because factors as temperature and water availability are responsible for enzymatic activity that will change the germination cycle of the plant. The substrate will also interfere in germination, once the physical structure of the soil is responsible for water retention which is crucial in the seed soaking phase. Due to the wide distribution on the biome just as the social significance to the region, a *Dipteryx alata* (popularly known as baru) was chosen as study object and it can be a model to other Cerrado species. The aim of this work was to evaluate the effect of global warming related to different kinds of soil atop germination attributes of *D. alata* just as global warming effects in niche models and direct and indirect connections of germination in conceptual model to the species. 240 seeds were exposed to 3 different temperatures and 4 types of soil. Were analysed variations of size and weight of seedlings as germination metric. The construction of niche model was done by compiling climate maps gathered on EcoClimate databases and climatic variations exploited of WORLCLIM. Through a conceptual model we can see the relation between the increasing of temperature, the probability of occurrence of the species and the characteristics of germination analyzing the interference in each level. The increasing of the highest temperature reduced the characteristics of germination impacting the feasibility of Baru's germination. As the model of niche, the Centro-Sul and West region of the biome can show more adequability to *D. alata*. The conceptual model showed temperature affects directly and indirectly the probability of occurrence of the species. So, some regions can show more adequacy to *D. alata*. The conceptual model indicated that temperature affects directly and indirectly the probability of species occurrence. Therefore, some regions will have benefits with the increasing temperature while others will decline in the presence of *D. alata* individuals due to the relation between germination and temperature.

Key words: Baru. Climate changes. Niche Model.

## SUMÁRIO

Resumo	.....	6
Abstract	.....	7
Introdução	.....	9
Metodologia	.....	13
Resultados	.....	20
Discussão	.....	25
Conclusão	.....	28
Referências	.....	30
Material	.....	36
Suplementar		



## INTRODUÇÃO

As previsões para o futuro apontam um aumento drástico na temperatura do planeta (IPCC, 2014). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em seu quinto relatório de avaliação (IPCC – AR5) publicado em 2014 entre os anos de 2005 e 2100 as temperaturas aumentarão entre 1,5 a 4,5°C. O aquecimento global não é mais algo abstrato e seus impactos podem ser sentidos na agricultura, especificamente na produtividade, devido a um aumento dos problemas fitossanitários que podem significar uma ameaça para a segurança alimentar (CHAKRABORTY & NEWTON, 2011; GHINI & HAMADA, 2012; NABOUT et al. 2016), para as comunidades florestais (WOLKOVICH et al., 2012); nos recursos hídricos e áreas costeiras (AGUIAR & AMARO, 2016); para as espécies biológicas e nas áreas naturais (RIBEIRO et al., 2016). Além disso, a saúde e qualidade de vida poderão ser afetadas com o aumento de doenças respiratórias devido a má qualidade do ar e incidência de doenças infecciosas e taxa de mortalidade associada a altas temperaturas (BARCELOS et al., 2009; SOUSA et al., 2015).

O aquecimento global tem sido apontado como causa da mudança de distribuição e extinção local de espécies vegetais e animais (CORLETT; WESTECOTT, 2013). As alterações climáticas podem afetar diferentes níveis hierárquicos, como traços morfológicos/funcionais, demográficos e populacional (MCLEAN et al. 2016). Esses níveis hierárquicos podem estar associados, de tal forma que uma alteração em um nível, por exemplo, traço (e.g. alteração na germinação ou floração) pode afetar aspectos demográficos (como sucesso reprodutivo, taxas de crescimento) e consequentemente aspectos populacionais (tamanho populacional, extinção local entre outros).

Devido a capacidade adaptativa, as espécies podem ser afetadas de diferentes formas, de acordo com o local de ocorrência e com a disponibilidade de recursos (RIBEIRO, 2016). Estudos que tentam relacionar as características de adaptação das árvores ao aquecimento global afirmam que espécies em estágios iniciais de sucessão poderão tolerar melhor as mudanças climáticas já que se movem mais rápido e são menos exigentes em nutrientes do que àquelas em estágios avançados (MEIER et al., 2012; ZHU et al., 2014). Quanto ao tipo de semente, acredita-se que espécies que possuem sementes recalcitrantes

apresentarão maiores prejuízos do que as que produzem sementes ortodoxas, pois as primeiras não suportam armazenamento por longos períodos de tempo e em altas temperaturas, ao contrário das ortodoxas (WEN et al., 2016). Dessa forma, espera-se que as populações se adaptem às mudanças climáticas, o que pode significar uma mudança no seu regime de sobrevivência ou até uma reorganização das espécies no Bioma.

A germinação, por ser uma das primeiras etapas do desenvolvimento da planta, tem grande importância para o seu estabelecimento e desenvolvimento (FARIA et al., 2015). A maioria das espécies arbóreas do Cerrado emitem suas sementes durante os períodos de seca (BOUCHARDET et al., 2015), as quais permanecem nos bancos de sementes até a estação chuvosa, encontrando boas condições de germinação (GOTTSBERGER & SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 2006; SALAZAR, 2010). Durante o período que compreende a dispersão até a germinação, a semente precisa tolerar condições de déficit hídrico, baixa umidade relativa e altas temperaturas, o que pode diminuir a chance de germinação. A temperatura afeta a absorção de água pela semente, o vigor da planta e as reações bioquímicas que determinam todo o processo germinativo (BEWLEY & BLACK, 1994; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988), já que o calor é um dos principais fatores na indução do processo germinativo. Em temperaturas ótimas, a planta atinge o seu potencial máximo de germinação (MAYER & POLJAKOFF MAYBER, 1989). Entretanto quando submetidas a temperaturas extremas o índice de sobrevivência da muda cai, pois a velocidade das reações tende a aumentar fazendo com que a semente germine precocemente (FLORES et al., 2014).

A estrutura física do solo irá definir a sua capacidade de reter água. Substratos altamente porosos e com partículas de grande diâmetro possuem menor capacidade de adsorção da molécula de água quando comparados com solos argilosos (REIS et al., 2002). Solos com presença de argila na matéria orgânica costumam apresentar uma maior retenção de água já que suas partículas apresentam uma maior área superficial (BOCCHESI et al., 2008). Dessa forma, sob altas temperaturas em solos arenosos, a drenagem da água acontece rapidamente, diminuindo a embebição da semente e prejudicando a germinação da mesma.

A maioria dos estudos vem avaliando o impacto das mudanças climáticas sobre as características biológicas e de distribuição geográfica das espécies (VAZ & NABOUT, 2016), porém poucos trabalhos integram informações experimentais aos modelos de nicho ecológico já criados, principalmente para espécies de uso sustentável (NABOUT et al., 2011; JONES et al., 2012) Para esse fim, uma das ferramentas mais exploradas é a modelagem de distribuição

geográfica potencial das espécies (HIJMANS & GRAHAM, 2006; BOTKIN et al., 2007).

Tais modelos são baseados no conceito de nicho ecológico que pode ser definido como o conjunto de condições e recursos nos quais os indivíduos de uma determinada espécie são capazes de sobreviver, crescer e reproduzir (DE MARCO & SIQUEIRA, 2009). Sendo assim, o modelo de nicho ecológico é capaz de definir regiões geográficas onde espécies apresentam alta probabilidade de ocorrência (SOBERON & PETERSON, 2005) uma vez que definem as condições ambientais ideais para que essa ocorrência aconteça.

A estimativa das áreas de distribuição potencial de espécies arbóreas através de modelos são ferramentas valiosas na elaboração de estratégias conservacionistas (AUSTIN, 2002; SOBERON, 2010). A distribuição espacial de uma espécie depende da sua capacidade em tolerar os fatores ambientais (ex. altitude, precipitação, umidade e posição topográfica) (FINCH et al., 2006). A partir da compilação desses dados é possível estimar a probabilidade de presença de uma espécie em uma determinada área geográfica (ROMERO et al., 2016).

A incidência do baru no Cerrado é alta (NABOUT et al., 2010). Em um levantamento de espécies lenhosas no bioma, a ocorrência de *D. alata* foi registrada em 86 das 316 regiões amostradas (RIBEIRO et al., 2004). A ampla ocorrência pode ser atribuída à fertilidade do solo, sendo a região Centro-Oeste e Centro-Sul as mais adequadas para a ocorrência da espécie (NABOUT et al., 2010), possivelmente devido às condições edafoclimáticas.

*D. alata* é uma leguminosa arbórea (*Fabaceae*) popularmente conhecida como baru. É uma planta caducifólia e em estágio de sucessão secundário tardio o que significa que a planta se desenvolve bem sob sombreamento (QUIROZ; FIRMINO, 2014). Ocorre em solos bem drenados do Bioma Cerrado. A espécie é abundante em Cerradão, Mata Semidecídua e áreas de solo areno-argiloso (FILGUEIRAS & SILVA, 1975). Devido a sua ampla distribuição pode ser encontrada nos Estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (LORENZI, 1992). Por sua capacidade de fixar nitrogênio no solo, geralmente é encontrada em solos mais férteis (BOTEZELLI et al., 2000).

A germinação da semente de baru é alta, principalmente se a semeadura acontecer fora do fruto. Em condições de laboratório, a taxa de germinação pode ultrapassar 95% e se feita a semeadura no campo, essa taxa pode ser cerca de 66% (SANO et al., 2004; SIQUEIRA et al., 1993). Luminosidade e profundidades adequadas são essenciais para o sucesso na germinação da espécie, que também apresenta diferentes taxas de sobrevivência quando semeada em diferentes tipos de solo (SIQUEIRA et al., 1993).

*D. alata* apresenta usos múltiplos que vão desde a alimentação humana e animal até o paisagismo e a recuperação de áreas degradadas devido a sua baixa exigência de adubação e manutenção (HERINGUER, 1978). Por possuir uma castanha com sabor agradável, o baru substitui a castanha de caju, amendoim ou nozes em receitas culinárias, sendo bastante explorado devido ao seu alto teor nutritivo (EMBRAPA, 2006). O alto valor nutricional e energético do baru é de extrema importância para povos tradicionais do Cerrado (QUEIROZ; FIRMINO, 2014).

Além de fazerem parte da alimentação local, também auxiliam no financeiro, pois são comercializados em feiras e mercados. 200 g de amêndoa de baru são suficientes para suprir a necessidade diária de ferro de uma criança (TOGASHI & SCARBIERI, 1994).. O teor protéico da amêndoa é superior ao coco-da-bahía, leguminosas como a ervilha, castanhas de caju e do Pará e alguns tipos de feijão, podendo ser utilizada para substituir os mesmos

Recentes estudos têm evidenciado que as espécies do Cerrado e de outros biomas podem reduzir ou deslocar sua distribuição geográfica em cenários futuros de mudanças climáticas (COLLEVATTI et al., 2013). Diferenças entre a capacidade de migração foram encontradas entre espécies de sucessão inicial e espécies de sucessão avançada, apontando que as espécies de sucessão inicial apresentam maior capacidade de migrarem e se adaptarem ao novo clima (BENAVIDES et al., 2015). Para a ocorrência do *D. alata*, modelos de nicho ecológico demonstraram que a região centro oeste do bioma atualmente apresenta elevada adequabilidade de habitat (NABOUT et al., 2010). Segundo alguns modelos o *D. alata* também pode ocorrer na região nordeste do Bioma, podendo incidir também no Bioma Caatinga (CAVALCANTI, 2010). Sendo assim, é possível que o aquecimento global signifique um possível rearranjo nas áreas de adequabilidade para o baru, assim como para as demais espécies do Cerrado, visto que com o aumento na temperatura, as demais condições climáticas possivelmente irão se alterar (BENAVIDES et al., 2015).

O modelo conceitual explica e testa quando os impactos causados pelas mudanças climáticas (ex. germinação) afetam as taxas demográficas ou distribuição geográfica, visando entender a dinâmica populacional (MC LEAN et al., 2016; MEROW et al., 2014).

Conforme o modelo conceitual proposto por MC LEAN et al. (2016), o aumento da temperatura afeta diretamente a probabilidade de ocorrência da espécie em um determinado local. Enquanto isso, os atributos de germinação são afetados indiretamente pelo aumento na temperatura, mas afetam diretamente a probabilidade de ocorrência. Ao agregar duas informações (atributos da germinação e probabilidade de ocorrência), que antes eram

analisadas separadamente, é possível prever qual das vias possui o efeito mais forte na probabilidade de ocorrência.

Assim, o objetivo desse trabalho pode ser dividido em três principais: i) Avaliar experimentalmente o efeito de diferentes temperatura associados a diferentes tipos de solo, em atributos da germinação da *Dipteryx alata* Vog. ii) Estimar o impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica potencial do *D. alata*, utilizando técnicas de modelagem de nicho; iii) Determinar a importância dos efeitos diretos e indiretos do aumento da temperatura (figura 1), integrando as informações geradas pela abordagem experimental (objetivo i) e de modelagem de nicho (objetivo ii).

É importante considerar que a probabilidade de ocorrência da espécie corresponde a adequabilidade ambiental gerada pelo modelo de nicho (foi utilizado o modelo MaxEnt). Estudos recentes têm sugerido que adequabilidade ambiental é bom indicador da densidade populacional e até mesmo da produtividade (p.ex. número de frutos) (TORRES et al. 2012; NABOUT et al. 2011; 2012; 2016; VAZ et al. 2016; WEBER et al. 2016)

As hipóteses para o presente trabalho são: i) A temperatura afeta a germinação de sementes, reduzindo o peso das plantas germinadas em altas temperaturas; solos mais aerados tem menores taxas de germinação devido a maior evaporação de água atribuída ao tamanho das partículas enquanto solos compactados apresentam menores taxas de germinação devido a dificuldade na emergência da plântula e desenvolvimento da raiz e temperaturas elevadas apresentam menores taxas de germinação devido a capacidade da planta em germinar apenas dentro das faixas de temperaturas máxima e mínima. ii) Baseado em trabalhos recentes que tem mostrado o impacto das alterações climáticas na distribuição potencial de plantas arbóreas do Cerrado (NABOUT et al., 2012), espera-se que em cenários futuros o Barú reduza sua distribuição geográfica e também se desloque para novas regiões ao Sul-Sudeste do Bioma. iii) A temperatura vai afetar todos os níveis, tendo efeito direto e/ou indireto entre eles.

## **METODOLOGIA**

O delineamento utilizado no teste de germinação foi 4x3 (quatro tipos de solo submetidos á 3 temperaturas). O número de sementes totalizou 120, sendo distribuídas em grupos de 20 nas bandejas de polietileno. Após a germinação foram contabilizadas apenas as mudas saudias.

Para a distribuição geográfica potencial foram utilizados dados do WorldClim,

compilando as variáveis não colineares: Temperatura média anual (BIO1), Amplitude da temperatura média anual (BIO7), Precipitação média do mês mais úmido (BIO13), Precipitação média do mês mais seco (BIO14) e Precipitação média do trimestre mais quente (BIO18). Para o desenvolvimento dos modelos de nicho foi utilizado o logaritmo MAXENT.

## EXPERIMENTO

### i) COLETA, BENEFICIAMENTO E ARMAZENAMENTO

Os frutos de *D. alata* foram colhidos nos meses de agosto e setembro de 2015 na coleção de germoplasma da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. A coleção de germoplasma está localizada a 16° 35.956' S de latitude e 49° 16.717' O de longitude.

As matrizes são oriundas de 25 cidades dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Minas Gerais e São Paulo. A localização das sementes que originaram as matrizes também diferiram quanto ao tipo de ambiente em que se encontravam, podendo ser pastagem, cerradão, beira de estrada, beira de estrada de terra, mata seca ou a combinação entre dois ambientes. A utilização de uma coleção de germoplasma permite que se tenha acesso a uma maior diversidade genética, garantindo o maior número de genótipos agrupados no mesmo local (LARSON, 2014).

Foram coletados frutos de 10 árvores fenotipicamente superiores. A coleta foi realizada respeitando o período de maturação fisiológica dos frutos, correspondente ao ponto que eles se desprendem facilmente dos ramos ou aqueles que já se encontram no solo sob a copa das árvores. As sementes foram submetidas a um período de pós-maturação de 60 dias, necessário para garantir a boa germinação das sementes (CORREA et al., 2000; ZAIDAN & CARREIRA, 2008), acondicionadas em saco de papel no laboratório de Biogeografia e Ecologia aquática da Universidade Estadual de Goiás.

O corte no fruto para a extração da semente foi feita com auxílio de um podão. As sementes foram acondicionadas em estufa, a 12 °C constantes a fim de conservar o vigor. O beneficiamento das sementes consistiu na seleção conforme suas características fisiológicas, sendo descartadas as chochas, atacadas por insetos e as que sofreram danos físicos.

As sementes de todas as matrizes foram misturadas e homogeneizadas de forma a constituírem um lote que represente toda a população. As sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 2% por cinco minutos e em seguida lavadas com água destilada para eliminação de patógenos. A quebra de dormência foi realizada com água quente a 90 °C, com imersão por 5 minutos (PIANA et al., 2011).

## ii) DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizados 3 tratamentos de temperaturas sendo 32°C, 36°C e 40°C que representaram temperaturas amena, moderada e quente, respectivamente. Para selecionar as temperaturas primeiramente obteve-se dados de temperatura para o cenários climático atual e futuro (Community Climate System Model - CCSM projeto para 2100) obtidas na plataforma EcoClimate (LIMA-RIBEIRO et al., 2015). Dentre as variáveis de temperatura disponíveis (11 variáveis bioclimáticas), foi selecionada a Temperatura no mês mais quente (BIO05) por corresponder a temperatura no período de germinação do Baru no bioma Cerrado. Por fim, para contemplar a variabilidade espacial da temperatura (no cenário futuro) foram selecionadas três faixas de temperatura para a germinação experimental (32°C, 36°C e 40°C). Os mapas de temperatura atual e futura (BIO05) para o bioma Cerrado estão disponíveis no material suplementar (figura 1).

Para cada tratamento de temperatura se aplicou 4 tratamentos de substrato, sendo 100% latossolo vermelho (1); 50% latossolo vermelho + 50% areia (2); 75% latossolo vermelho + 25% areia (3) e 25% latossolo vermelho + 75% areia (4), peneirados, autoclavados por 20 minutos e posteriormente homogeneizados. Tais proporções foram utilizadas a fim de simular os diferentes tipos de solo encontrados no bioma Cerrado. Cada tratamento de solo recebeu 20 sementes, acondicionadas em bandejas de polietileno, totalizando 240 sementes para um total de 12 bandejas.

Cada badeira recebeu 4,5 kg de substrato. O processo de irrigação consistiu de uma rega a cada três dias até o solo atingir 60% da sua capacidade de retenção de água, conforme proposto por Brasil (1992). As bandejas foram distribuídas em três germinadores do tipo câmara BOD, sendo sempre aleatorizadas no momento da rega a fim de eliminar um possível efeito de local. O fotoperíodo foi de 12-12h (escuro-luz). O experimento foi realizado entre os meses de maio e junho de 2016, tendo 35 dias de duração.

### iii) CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS MUDAS

Foram consideradas germinadas na análise as sementes que apresentarem protófilos normais e sistema radicular com raiz principal e raiz secundária sem necrose. As características avaliadas foram: índice de velocidade de germinação (IVG), obtido através do somatório do número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação, de acordo com a fórmula de Maguire (1962); comprimento da plântula, dos protófilos e da raiz primária, medidos com régua graduada e peso da matéria seca das raízes, hipocótilo e parte aérea, obtidos através de secagem em estufa de circulação de ar a 80°C durante 24 h.

### iv) ANÁLISE DE SOLO

A análise de textura do solo (ver material suplementar) foi realizada através do método do Densímetro proposto por Bouyoucos em 1926. O método consiste em medir a densidade da suspensão de argila e silte em uma mistura aquosa (KLEIN et al., 2013).

Dilui-se 25 g de TFSA em dois béquers de 250 ml. Na primeira mistura acrescenta-se 12,5 mL de NaOH 1 N e 50 mL de água destilada. Na outra, adiciona-se apenas água destilada. Ambas as misturas devem permanecer em repouso por 15 minutos. As suspensões são transferidas para dois copos metálicos do agitador Hamilton Beach, que devem ser completados com água destilada até 2/3 da capacidade do copo do agitador, sendo agitados por 10 minutos a 12.000 r.p.m.

Com o densímetro dentro da suspensão, cada uma das misturas deve ser transferida para uma proveta de 500 ml, completando com água destilada. Posteriormente retira-se o densímetro e homogeneiza-se a mistura com um agitador manual durante um minuto. A mistura deve permanecer em repouso e o tempo de início da sedimentação deve ser anotado.

O densímetro irá fazer a leitura do silte+ argila aos quatro minutos após o início da sedimentação. Após duas horas do início da sedimentação faz-se a leitura da argila. Na amostra dispersa apenas em água destilada, realiza-se uma única leitura.

### DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL

Foi utilizada a modelagem de nicho ecológico correlativo para obter a adequabilidade ambiental do Baru nos cenários atual e futuro. Os dados necessários foram agrupados em três conjuntos: (a) dados básicos de distribuição geográfica atual das espécies; (b) dados climáticos atuais e futuros e, (c) desenvolvimento dos modelos de nicho para o cenário atual e futuro.

- a) Dados básicos de distribuição geográfica atual das espécies: Os dados de ocorrência do baru foram compilados por meio de pesquisa em coleções científicas disponíveis no site do CRIA, na rede specieslink (<http://splink.cria.org.br>). Foram utilizadas um total de 816 coordenadas geográficas para a elaboração do modelo.
- b) Dados climáticos atuais e futuros: através do banco de dados EcoClimate foram obtidos os mapas de variáveis climáticas. As variáveis climáticas utilizadas na construção do gráfico foram obtidas no sítio do WorldClim da base WORLCLIM (HIJMASNS et al., 2005). A seleção seguiu o sugerido por Terribile et al. (2012), que compilou variáveis não colineares para plantas do Cerrado, sendo elas: Temperatura média anual (BIO1), Amplitude da temperatura média anual (BIO7), Precipitação média do mês mais úmido (BIO13), Precipitação média do mês mais seco (BIO14) e Precipitação média do trimestre mais quente (BIO18).
- c) Desenvolvimento dos modelos de nicho para o cenário atual e futuro: A modelagem foi gerada para o Continente Americano todo. Para a distribuição potencial foi utilizado o algoritmo MAXENT, que se baseia no princípio da máxima entropia, que afirma que a melhor aproximação para uma distribuição de probabilidades desconhecida é aquela que satisfaça qualquer restrição à distribuição. É um método usado para realizar previsões ou inferências a partir de informações incompletas (PHILLIPS et al., 2006) pelo programa MAXENT 3.3.3 (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>). Foram utilizados os parâmetros padrões para a geração do modelo do Maxent através da opção de recursos de funções automáticas. A eficiência do modelo foi testada pelo método da Área sobre a Curva ROC (AUC), utilizando a classificação de acurácia descrita por Swets (1988), sendo: excelente para  $AUC > 0,90$  e bom para  $0,80 < AUC < 0,90$ . Os valores do AUC variam de 0 a 1, onde 1 indica o modelo perfeito na capacidade de

distinguir locais com presença daqueles com ausência da espécie. Os valores abaixo de 0,5 significam que essa capacidade de distinção não é diferente do aleatório (LOBO et al., 2008; PETERSON et al., 2008). O modelo foi gerado para a região neotropical e posteriormente foi recortado para o Cerrado, com 180 células de uma malha (figura 2).

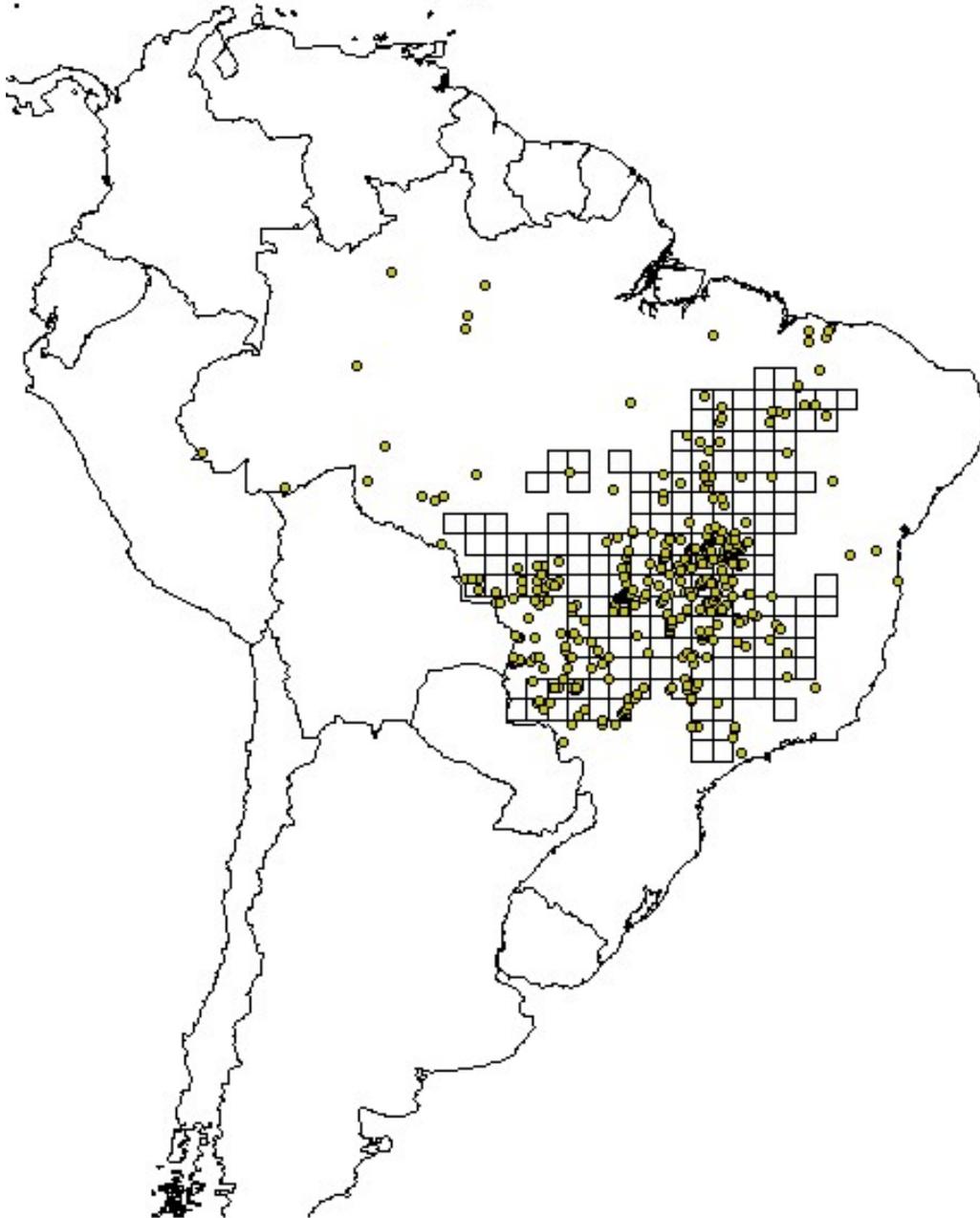


Figura 2. Pontos utilizados no modelo MaxEnt, e malha com 180 células (1grau) correspondendo ao bioma Cerrado.

## ANÁLISE DE DADOS

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em arranjo fatorial 3 x 4 (3 temperaturas e 4 substratos), com 20 réplicas em cada substrato.

A colinearidade entre os atributos de germinação foi analisada por meio do teste de correlação de Pearson considerando um valor crítico  $R = 0,8$  (ver material suplementar) para as variáveis fortemente correlacionadas, através do pacote *Asbio* (AHO, 2014) no programa R 3.3.2 (R CORE TEAM, 2016).

A Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) foi utilizada para testar a interferência da temperatura e do tipo de substrato na germinação de *D. alata* por meio das variáveis prs, phs e pfs e no tempo. O nível de significância utilizado foi  $P < 0,05$ . A Análise discriminante do pacote *Mass* (BRIAN et al., 2015) foi utilizada para quantificar a contribuição relativa do conjunto de variáveis na explicação dos agrupamentos.

Para analisar a relação entre o tempo de germinação e a quantidade de plantas germinadas foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA). O nível de significância utilizado foi  $P < 0,05$ , utilizando como teste a posteriori o Teste de Tukey, onde se aferiu a diferença entre as médias. A PERMANOVA, ANOVA e Tukey foram realizados no pacote *Vegan* (OKSANEN et al., 2016) no programa R. Para verificar os efeitos diretos e indiretos do aumento da temperatura nos diferentes níveis hierárquicos populacional (modelo conceitual, figura 1) realizou-se uma análise de caminhos, que é uma extensão da regressão (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998; MOREIRA et al. 2009). O pacote utilizado na análise foi o *agricolae* (MENDIBURU, 2014). No modelo proposto as variáveis preditoras foram a temperatura no cenário futuro (BIO05), e as variáveis de germinação (phs, prs, pfs), enquanto que a variável resposta foi o delta adequabilidade (diferença entre a adequabilidade futura e atual) gerado pelo modelo MaxEnt (indicando a probabilidade de ocorrência da espécie). As réplicas para essa análises foram as 180 células da grid do Cerrado. Portanto para cada célula havia informações das variáveis preditoras e variável resposta. Os atributos de germinação foram adicionados nas células de acordo com os valores encontrados nos experimentos. Assim, células cuja temperatura variava entre 30 e 34°C foram atribuídos os valores médios da germinação registrados no experimento de 32°C; as células cuja a temperatura variava entre 35 e 37°C foram atribuídos os valores médios de germinação registrados no experimento de 36°C e; células cuja a temperatura foi superior a 38° foram atribuídos os valores de germinação médios registrados no experimento de 40°C. Com isso foi possível espacializar os atributos de germinação no Bioma Cerrado. Os mapas da germinação estão disponíveis no

material suplementar (figura 2).

## RESULTADOS

### IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM ATRIBUTOS DA GERMINAÇÃO

A taxa de germinação foi contabilizada após a formação completa da plântula que, após 35 dias já apresentava raiz primária e secundária desenvolvidas assim como a emissão da plúmula. O teste de correlação de Pearson apontou 3 variáveis com fraca correlação dentre as 8 analisadas, restando para análise as variáveis peso seco da raiz (prs), peso seco do hipocótilo (phs) e peso seco das folhas (pfs). Também foi contabilizado o período da germinação em dias e a porcentagem de plantas germinadas.

O índice de velocidade de germinação (IVG) aponta que, para a temperatura moderada a velocidade de germinação é maior em todos os tratamentos (Tabela 1). Para o tratamento 4 (25% solo de Cerrado + 75% areia) a germinação apresentou a maior média quando comparada com os demais tratamentos. O índice aponta que o maior número de plantas que germinou em menor tempo estava na temperatura moderada no tratamento de substrato 4, sendo que o menor número de plantas germinadas se encontra no mesmo substrato mas na temperatura quente.

Tabela 1. Índice de velocidade de germinação de *D. alata* sob as temperaturas amena, moderada e quente.

Substrato	32° C (amena)	36° C (moderada)	40°C (quente)
1 (100% solo Cerrado)	0,05	0,86	0
2 (75% solo Cerrado + 25% areia)	0,49	0,90	0,24
3 (50% solo Cerrado + 50% areia)	0,48	1,13	0,45
4 (25% solo Cerrado + 75% areia)	0,44	1,29	0,23

A taxa de germinação apresentou a porcentagem de plantas germinadas ao final dos 35 dias (Tabela 2) para as 3 temperaturas. As melhores taxas de germinação foram encontradas na temperatura moderada sendo que a maior taxa de germinação foi obtida no substrato 3. As piores taxas de germinação foram atribuídas ao substrato 1, composto apenas por latossolo vermelho, o mais denso dos substratos.

Tabela 2. Taxa de germinação de *D. alata* sob as temperaturas amena, moderada e aquecida.

Substrato	32°C (amena)	36°C (moderada)	40°C (aquecida)
1 (100% solo Cerrado)	10 %	70 %	0 %
2 (75% solo Cerrado + 25% areia)	55 %	75 %	35 %
3 (50% solo Cerrado + 50% areia)	55 %	85 %	55 %
4 (25% solo Cerrado + 75% areia)	50 %	65 %	30 %

A análise dos dados indicou que o peso seco da raiz, peso seco do hipocótilo e peso seco das folhas variaram quando submetidos às diferentes temperaturas. Por outro lado, não foi encontrada diferença nos atributos de germinação entre os diferentes tipos de solo e na interação solo e temperatura (tabela 3). Em seguida a análise função discriminante indicou principal diferença entre os tratamentos moderado e quente (Figura 3). Pode-se observar que os maiores valores de peso ocorreram nas sementes submetidas às temperaturas amena e moderado. O primeiro eixo demonstra uma maior dispersão nos atributos da germinação para as temperaturas amena e moderada. Observando a dispersão dos pontos no gráfico, é possível notar que as plântulas germinadas em temperaturas quentes apresentam resultados semelhantes, o que significa que as suas medidas de germinação são menores que os demais (Tabela 4).

Tabela 3. Análise de Variância Permutacional da influencia do solo e da temperatura na germinação de *D. alata*.

	GL	Médias	F	R <sup>2</sup>	Pr(>F)
Solo	1	0,07171	23,012	0,00796	0,111
Temperatura	2	0,75121	241,058	0,16678	0,001
Solo:temperatura	2	0,07099	22,780	0,01576	0,084
Resíduo	234	0,03116		0,80950	

Total	239	100,000
-------	-----	---------

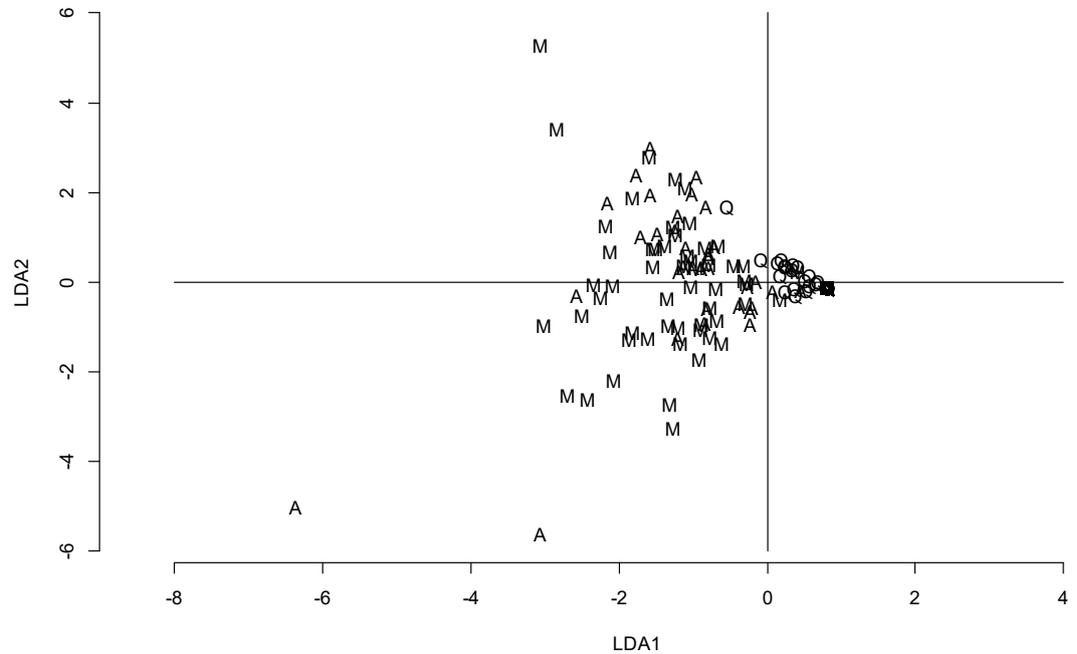


Figura 3. Análise de função discriminante, indicando dispersão das unidades experimentais em duas dimensões (LD1 e LD2). Esses dois componentes explicaram 99,67% da variação total dos dados.

Tabela 4. Análise discriminante da relação entre a temperatura e peso seco da raiz (prs), peso seco do hipocótilo (phs) e peso seco das folhas (pfs).

	Coeficiente da linear discriminante	
	LD1	LD2
prs	-7,95	-12,88
phs	0,10	0,50
pfs	-6,63	14,10

Para o fator tempo a análise de dados apontou que solo e temperatura não afetam o tempo de germinação das sementes de *D. alata* (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de Variância Permutacional da influencia do solo e da temperatura no tempo de germinação de *D. alata*.

	GL	Médias	F	R2	Pr(>F)
Solo	1	0.50416	33.209	0.00789	0.072
Temperatura	2	0.21583	14.217	0.00676	0.235
Solo:temperatura	2	0.04349	0.2864	0.00136	0.743

Resíduo	414	0.15181	0.98399
Total	419	100.000	

## IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL

### MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL

A distribuição geografia do *D. alata* possivelmente passará por modificações. As áreas de maior adequabilidade poderão ser as localizadas na região Centro Sul do bioma (Figura 4), ou seja, locais onde a temperatura é mais próxima das temperaturas amena e moderada, apresentando também solos bem drenados e mais férteis. Comparando a distribuição atual e futura observa-se um mudança na distribuição geográfica. A região Central do bioma poderá não apresentar mais ocorrência da espécie, enquanto novas regiões como a região Centro-Sul e a região Oeste, regiões de temperaturas mais amenas e de maior umidade, irão apresentar adequabilidade para a presença da espécie (Figura 5).

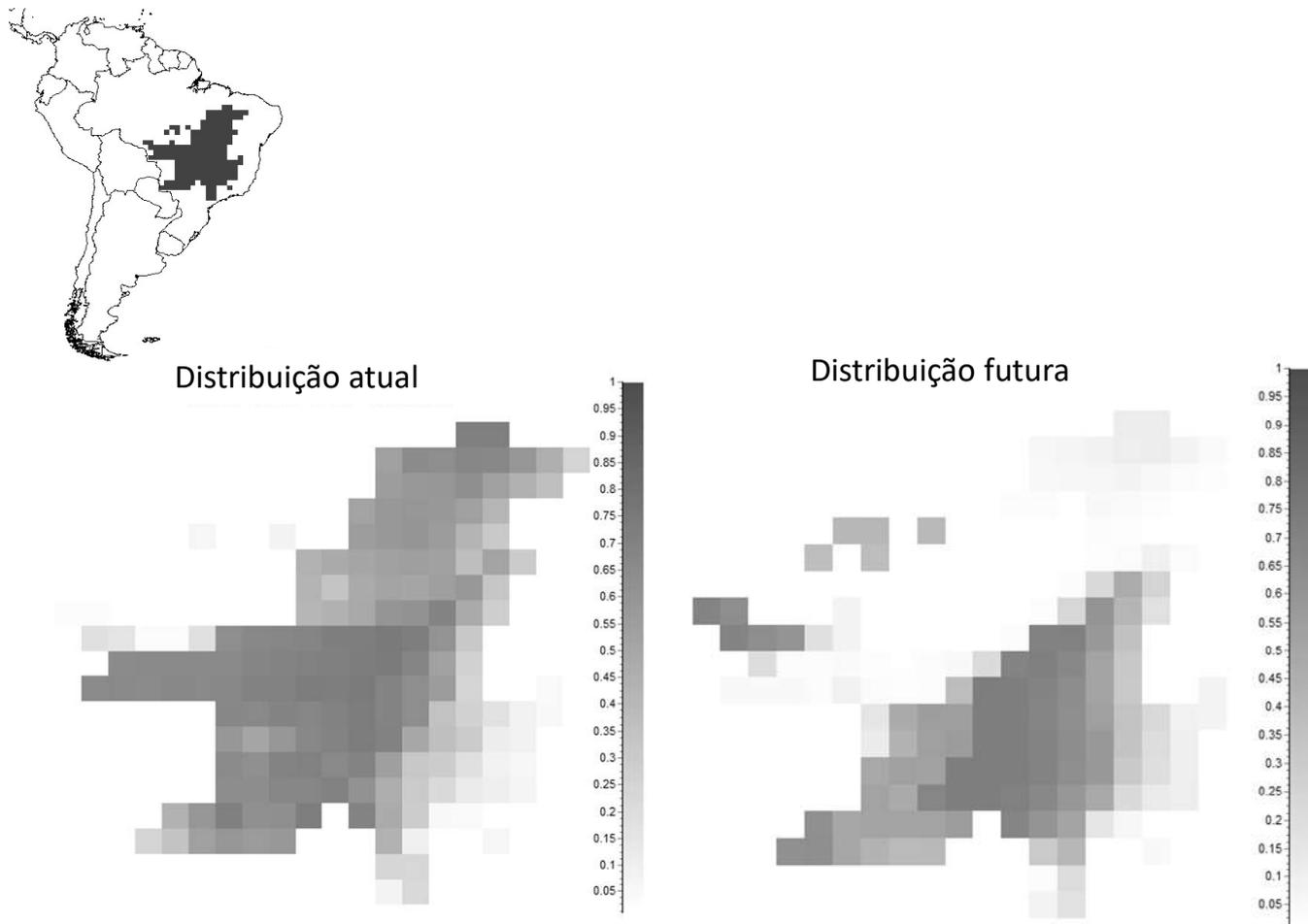


Figura 4. Modelo de distribuição geográfica atual e futura para a *Dipteryx alata* no Cerrado

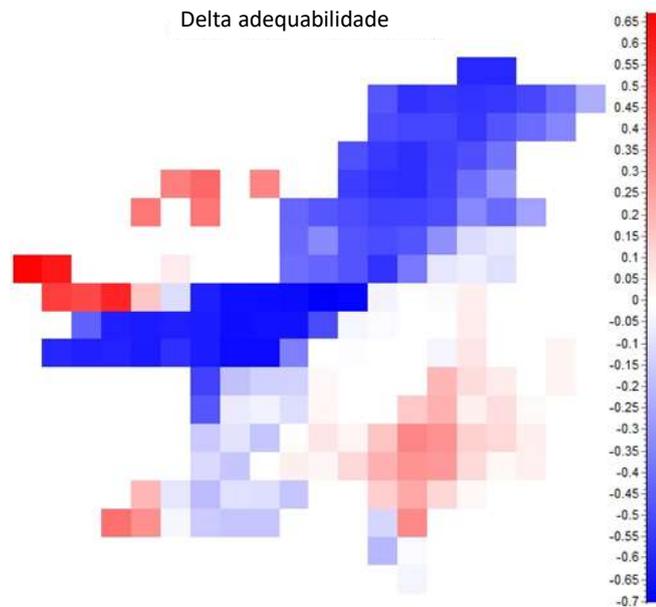


Figura 5. Delta da adequabilidade de presença para regiões de perda (valores negativos), ganho (valores positivos) e estabilidade (zero) da *D. alata* no Cerrado. O mapa corresponde a diferença entre a adequabilidade encontrada no cenário futuro e atual.

## IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS INTEGRANDO DOIS NÍVEIS HIERÁRQUICOS POPULACIONAIS

O modelo conceitual que investiga o efeito da temperatura em diferentes níveis hierárquicos populacional (germinação e adequabilidade ambiental) identificou que temperatura afeta direta e indiretamente a probabilidade de ocorrência da espécie. Maiores temperaturas tendem a promover redução na probabilidade de ocorrência da espécie (principalmente na região Norte do Bioma como indicado nas figuras 4 e 5, além de alterar atributos da germinação (p.ex. temperaturas moderadas podem aumentar características da germinação). Além disso, o aumento de atributos da germinação devem ocorrer em regiões de menor probabilidade de ocorrência da espécie em cenários futuros de mudanças climáticas (principalmente PrS e PfS de acordo com o modelo conceitual da (Figura 6)

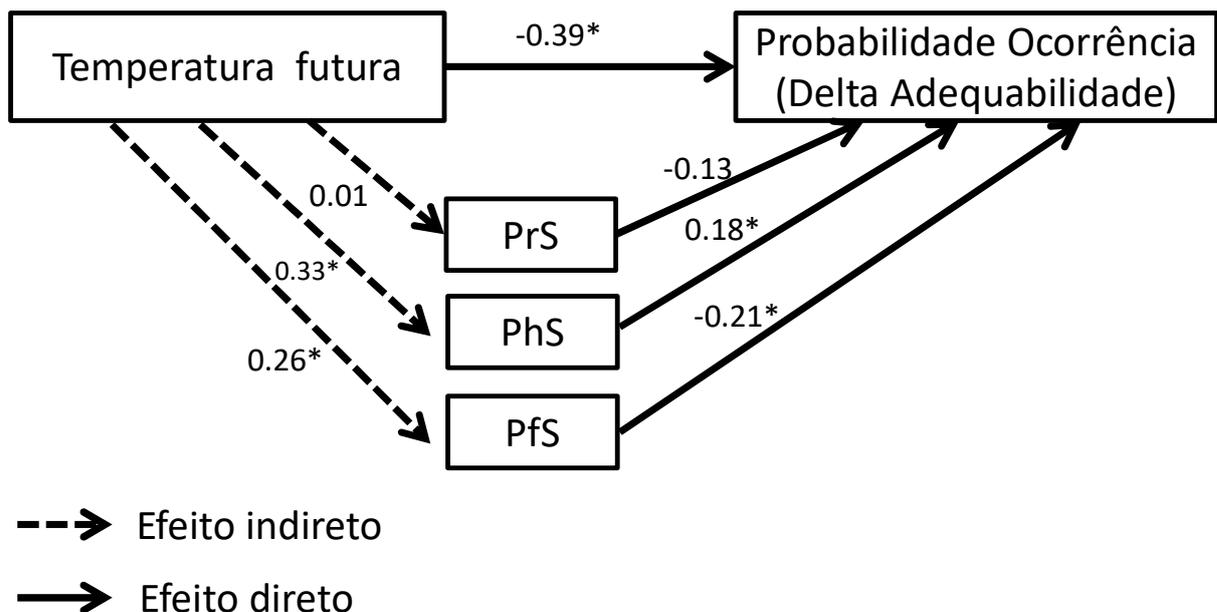


Figura 6. Modelo conceitual proposto no presente trabalho, indicando a relação entre as variáveis.  $*P < 0.05$ . Peso seco das folhas (PrS), peso seco do hipocótilo (PhS), peso seco das folhas (PsF).

## DISCUSSÃO

A temperatura afeta a germinação e a distribuição geográfica sendo que, em

temperaturas amenas e aquecidas os atributos de germinação são menores do que em temperaturas moderadas. Maiores temperaturas tendem a reduzir a distribuição potencial do baru devido a temperatura ótima que essa espécie exige para a germinação. O aumento na porcentagem de germinação na faixa dos 36 °C pode ser justificado como uma reação comum a sistemas biológicos onde a elevação da temperatura resulta no aumento da velocidade das reações (FLORES et al., 2014). Por outro lado, a exposição a temperaturas acima da temperatura máxima de germinação por longos períodos de tempo podem comprometer os processos metabólicos devido ao risco de desnaturação de proteínas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Os efeitos da temperatura podem ser avaliados a partir das mudanças na porcentagem, velocidade e capacidade germinativa (LABORIAU, 1983). As sementes tem capacidade de germinarem em determinadas faixas de temperatura, sendo que cada espécie apresenta suas próprias temperaturas cardiais. Entretanto o tempo necessário para se obter a porcentagem máxima de germinação depende da temperatura (BEWLEY, 2012). A temperatura ideal é aquela em que a germinação ocorre no potencial máximo no menor período de tempo (OLIVEIRA et al., 2014a). Embora as maiorias das espécies do Cerrado germinem bem dentro da faixa dos 25°C, as espécies apresentam comportamento variado de acordo com a sua adaptação ao clima da região de origem (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012), podendo germinar no seu potencial máximo em maiores ou menores temperaturas. Temperaturas maiores aumentam a velocidade de germinação, porém podem reduzir a porcentagem de plantas germinadas visto que apenas as sementes mais vigorosas irão germinar (OLIVEIRA et al., 2014a).

A interferência da temperatura nos pesos da biomassa seca da plântula pode ser atribuída a influencia do calor no desenvolvimento das estruturas iniciais, como por exemplo a raiz primária (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012), a primeira estrutura a se desenvolver e essencial ao estabelecimento da plântula no ambiente. Assim, em temperaturas inadequadas, o processo de divisão celular é afetado, podendo levar a uma diminuição na capacidade de desenvolvimento, resultando em plântulas com menor teor de matéria seca (OLIVEIRA et al., 2014a).

O incremento de peso na biomassa das estruturas da plântula pode ser explicado como resultado no aumento na atividade metabólica, que propicia uma maior absorção de água e hidratação, o que acelera o processo germinativo (BEWLEY, 2012). Oliveira et al (2014b) encontrou resultados semelhantes ao testar a germinação de *Guibourtia*

*hymenaefolia* (Moric.) J. Léonard em diferentes temperaturas onde, em temperaturas entre 30 e 35 °C o peso da matéria seca e o comprimento das radículas foram maiores, indicando um benefício ao crescimento da plântula.

A temperatura pode ser apontada como fator de influencia para a alteração em eventos fenológicos e conseqüentemente na determinação da estrutura populacional (JAY et al., 2012). Para evitar a extinção devido ao aquecimento global, populações de plantas podem responder por meio de plasticidade fenotípica, com a adaptação às novas condições através da seleção de variações genéticas e mutações ou migrando para locais onde as condições locais são favoráveis á sua ocorrência (AITKEN et al., 2008). Sendo assim, as alterações bioquímicas influenciadas pela temperatura apontam para a possibilidade em um rearranjo na distribuição das plantas, que conforme se mudam as zonas de temperatura, poderão ocorrer em maior ou menor escala em determinados locais.

A distribuição geográfica de uma espécie depende da relação entre os fatores biótico, abióticos e históricos, tendo o clima um papel fundamental nessa distribuição (MAIORANO et al., 2012). Conforme o mapa de distribuição geográfica potencial atual, a presença da espécie se dá de maneira ampla por todo o bioma. As previsões para a mesma região no futuro mostram a possibilidade de rearranjo na distribuição geográfica das espécies vegetais, que tendem a migrar para a região sul, deixando de ocorrer na região central. A maior parte dos trabalhos com plantas tem demonstrado uma redução na distribuição geográfica potencial para cenários futuros (COLLEVATTI et al., 2011; MENDONZA-GONZALES et al., 2013; VAZ & NABOUT, 2016). Entretanto determinadas espécies apresentam resultados contrários, como é o caso do açaí, que apresentou aumento na distribuição, mesmo que relativamente baixo (VAZ& NABOUT, 2016), podendo tal fato ser atribuído ás variáveis ambientais e fisiológicas da planta.

Conforme o clima muda, as populações de plantas podem não se adaptar as novas condições. A migração poderá permitir que algumas populações encontrem condições adequadas de forma a manter seu desenvolvimento (ANDERSON et al., 2012). Apesar da migração permitir que a população permaneça dentro da sua faixa ótima de temperatura, é difícil que ela se mantenha em sincronia com os demais fatores ambientais como fotoperíodo e umidade (SHAW& ETERSON, 2012) ou importantes mutualistas como os polinizadores, sendo necessário que a planta se valha da plasticidade fenotípica para sobreviver a essas novas condições. Outro fator preocupante é o estado de degradação em que já se encontra as áreas potencialmente viáveis para a ocorrência da espécie no futuro, que já se encontram em

estágio avançado de degradação devido á práticas agropecuárias. Espécies secundárias tendem a ser mais vulneráveis nos estágios iniciais de crescimento, necessitando de certo equilíbrio ecológico para se estabelecerem, sendo assim, é possível que a *D. alata* encontre outros fatores como pluviosidade, solos com diferentes estruturas ou muito degradados, podendo dificultar a sua ocorrência nas novas áreas.

Além das características da espécie, as taxas de migração dependem da configuração espacial do habitat, fragmentação florestal, da concorrência e das condições climáticas (MEIER et al., 2012). Assim, cada espécie irá responder de uma forma diferente e em velocidades variadas a migração como forma de adaptação, podendo suas populações diminuir ou aumentar conforme o nível de adaptação ás demais condições encontradas concomitantes ao clima (FRANKS et al., 2014).

Comparando os modelos de nicho e conceitual pode se observar que possuem resultados concordantes, ou seja, as regiões que apresentam perda de adequabilidade (norte e noroeste) do Cerrado devem ter menores atributos de germinação. Em contrapartida, nas regiões de ganho de adequabilidade (centro sul) a germinação será boa, entretanto tais regiões são as mais impactadas do bioma, o que pode ser um prejuízo para a adequabilidade da *D. alata*, exigente em um ambiente nível de sucessão avançado para se estabelecer.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *D. alata*, apesar de adaptado as temperaturas atuais, poderá ter a germinação beneficiada pelo aquecimento global em determinadas regiões, como por exemplo, em direção ao sul do bioma, onde as temperaturas serão mais próximas de 36 °C. Regiões onde a temperatura se aproxima dos 40° poderão apresentar menos índices germinativos além de menor incremento na matéria seca das plântulas. O incremento na biomassa tende a indicar plantas mais resistentes, portanto capazes de suportar melhorar as condições adversas de sobrevivência. A granulometria do solo em nada afeta a germinação, logo é possível que o *D. alata* germine com a mesma capacidade em diferentes tipos de solo, desde que a temperatura seja a adequada ao seu desenvolvimento.

O modelo de nicho indica que a espécie passará a ocorrer com maior frequência em locais onde a temperatura esteja acima de 32 °C e abaixo de 40 °C, o que acaba por modificar as regiões adequadas para o desenvolvimento do baru. Sendo assim, acredita-se que

espécies em estágio secundário de sucessão poderão apresentar deslocamento geográfico na busca por locais com condições climáticas adequadas á sua sobrevivência. Entretanto é provável que isso ocorra em um longo período de tempo e em menor escala já que essas espécies necessitam de condições adequadas á sua sobrevivência.

O modelo conceitual confirma a relação direta e indireta entre germinação e probabilidade de ocorrência. O aumento da temperatura afeta diretamente a probabilidade de ocorrência da espécie já que é a temperatura a maior responsável pela ativação da atividade metabólica o que não significa que o incremento de massa seca seja afetado diretamente pela mesma, podendo estar relacionado a outros fatores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L & AMARO, V. possíveis efeitos das mudanças climáticas no litoral oriental do RN. **Revista do CERES**, v. 1, n. 2, p. 108-114, 2016.

AITKEN, S. N. et al. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. **Evolutionary Applications**, v. 1, n. 1, p. 95-111, 2008.

AUSTIN, M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. **Ecological modelling**, v. 157, n. 2, p. 101-118, 2002.

BARCELLOS, C; MONTEIRO, A. M. V; CORVALÁN, C; GURGEL, H; CARVALHO, M. S; ARTOXO, P; RAGONI, V. Climatic and environmental changes and their effect on infectious diseases: scenarios and uncertainties for Brazil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285-304, 2009.

BENAVIDES, R. et al. Survival vs. growth trade-off in early recruitment challenges global warming impacts on Mediterranean mountain trees. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 17, n. 5, p. 369-378, 2015.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. Seeds: physiology of development and germination. 2nd ed. New York: **Plenum**, 445 p. 1994.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. H. W. M.; NONOGAKI. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy. 392 pp. **Seed Science Research**, v. 23, n. 04, p. 289-289, 2012

BOCCHESE, R.A.; OLIVEIRA, A. K. M.; MELOTTO, A. M.; FERNANDES, V.; LAURA, V. A. Efeito de diferentes tipos de solo na germinação de sementes de *Tabebuia heptaphylla*, em casa telada. **Cerne**, Lavras. v. 14, n. 1, p. 62-67. 2008.

BOTEZELLI, L.; DAVIDE, A. C.; MALAVASI, M. M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dipteryxalata* Vogel (baru). **Cerne**, v. 6, n.1, p. 009-018, 2000.

BOUCHARDET, D. D. A.; RIBEIRO, I. M.; SOUSA, N. D. A. D.; AIRES, S. S.; MIRANDA, H. S. EFEITO DE ALTAS TEMPERATURAS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Plathymeniareticulata* Benth. E *Dalbergiamiscolobium* Benth. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 697-705, Aug. 2015.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes – ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargil. 424p. 1988.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. JaboticabalSP:UNESP, 590p., 2012.

CAVALCANTI, F. A. G. S. **Modelagem de nicho em espécies de plantas do Cerrado e distribuição espacial da variabilidade genética**. 2010.

CHAKRABORTY, S.; NEWTON, A. C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. **Plant Pathology**, [Malden], v. 60, p. 2-14, 2011.

COLLEVATTI, R. G., LIMA-RIBEIRO, M. S., DINIZ-FILHO, J. A. F., OLIVEIRA, G., DOBROVOLSKI, R., & TERRIBILE, L. C. Stability of Brazilian seasonally dry forests under climate change: Inferences for long-term conservation. **American Journal of Plant Sciences**. vol.4, nº.4, 2013.

COLLEVATTI, R. G.; NABOUT, J. C.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Range shift and loss of genetic diversity under climate change in *Caryocarbrasiliense*, a Neotropical tree species. **Tree genetics & genomes**, v. 7, n. 6, p. 1237-1247, 2011.

CORLETT, Richard T.; WESTCOTT, David A. Will plant movements keep up with climate change?. **Trends in ecology & evolution**, v. 28, n. 8, p. 482-488, 2013.

CORRÊA, G. C; ROCHA, M. R. ; NAVES, R. V. Germinação de sementes e emergência de plântulas de baru (*Dipteryxalata* Vog.) Cerrados do Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.30, n.2, p.17-23, 2000.

DE MARCO JÚNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista. **Megadiversidade**, v. 5, p. 65-76, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Frutas nativas da região centro-oeste do Brasil. **Brasília: Embrapa**, 2006.

FARIA, A. P.; FERNANDES, G. W.; FRANÇA, M. G. C. Predicting the impact of increasing carbon dioxide concentration and temperature on seed germination and seedling establishment of African grasses in Brazilian Cerrado. **Austral Ecology**, 40: 962–973. 2015.

FIGLIOLIA, M. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Manejo de sementes de espécies arbóreas. **IF Série Registros**, São Paulo, 15:1-59. 1995.

FILGUEIRAS, T. S.; SILVA, E. Estudo preliminar do baru (Leg., *Fabiodeae*). **Brasil florestal**, v. 6, n. 22, p. 33-39. Brasília, DF, 1975.

FLORES, A. V.; BORGES, E. E. D. L.; GUIMARÃES, V. M.; GONÇALVES, J. F. D. C.; ATAÍDE, G. D.; BARROS, D. D. P. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylonbrauna* Schott sob diferentes temperaturas. **Cerne**. v. 20, n. 3. P. 401-408. 2014.

FRANKS, S. J.; WEBER, J. J.; AITKEN, S. N. Evolutionary and plastic responses to climate change in terrestrial plant populations. **Evolutionary Applications**, v. 7, n. 1, p. 123-139, 2014.

GHINI, R.; HAMADA, E. métodos para estudar os efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas/Methodsofstudyingeffectsofclimatechangeonplantdiseases. **Summa Phytopathologica**, v. 38, 2012.

GOTTSBERGER G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER I. Life in the Cerrado: a South American Tropical seasonal ecosystem, Vol 1: Origin, structure, dynamics and plant use. **RetaVerlag**, Ulm, Germany. 2006.

HERINGER, E. P. Comportamento de algumas espécies euxilóforas, quando cultivadas no Cerrado de Brasília, de sementes procedentes de outras regiões fitogeográficas brasileiras. Brasília. In: **CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE BOTÂNICA**. p. 56-57. 1978.

HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. **Global change biology**, v. 12, n. 12, p. 2272-2281, 2006.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. FifthAssessmentReport–AR5. Disponível em:<<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>>. Acesso em dezembro de 2016.

JAY, F. et al. Forecasting changes in population genetic structure of alpine plants in response to global warming. **Molecular Ecology**, v. 21, n. 10, p. 2354-2368, 2012.

JONES, P. D.; LISTER, D. H.; OSBORN, T. J.; HARPHAM, C.; SALMON, M.; MORICE, C. P. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D5, 2012.

KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; VEIGA, M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 850-853, 2013.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria da OEA. 173p. 1983.

LIMA-RIBEIRO, M. S.; VARELA, S.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, J.; OLIVEIRA, G.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; TERRIBILE, L. C. EcoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. **Biodiversity Informatics** 10, 1-21. 2015.

LOBO, J. M. Database records as a surrogate for sampling effort provide higher species richness estimations. **Biodiversity and Conservation**, v. 17, n. 4, p. 873-881, 2008.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Plantarum**, 352p. 1992.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177. 1962.

MAYER, A. C.; POLJAKOFF-MAYBER, A. The germination of seeds. **Pergamon Press**. 270 p. 1989.

MCLEAN, N. et al. Predicting when climate-driven phenotypic change affects population dynamics. **Ecology letters**, v. 19, n. 6, p. 595-608, 2016.

MEIER, E. S. et al. Climate, competition and connectivity affect future migration and ranges of European trees. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 2, p. 164-178, 2012.

MENDOZA-GONZÁLEZ, G.; MARTÍNEZ, M. L.; ROJAS-SOTO, O. R.; VÁZQUEZ, G.; GALLEGO-FERNÁNDEZ, J. B. Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. **Global Change Biology** 19: 2524-2535. 2013.

MEROW, C. et al. Advancing population ecology with integral projection models: a practical guide. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 2, p. 99-110, 2014.

Nabout, J. C et al. Using correlative, mechanistic and hybrid niche model to predict the productivity and impact of global climate change on maize crop in Brazil. **Natureza & Conservação** 10:177-183. 2012.

NABOUT, J. C. et al. Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree (*Dipteryx alata* Vogel) in the Brazilian Cerrado. **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 70, n. 4, p. 911-919, Nov. 2010.

NABOUT, J. C.; MAGALHÃES, M. R.; GOMES, M. A.A.; CUNHA, H. F. The impact of global climate change on the geographic distribution and sustainable harvest of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. **Environmental Management** 57: 814-821.

NABOUT, J. C.; OLIVEIRA, G.; MAGALHÃES, M. R.; TERRIBILE, L. C.; ALMEIDA, F. A. Z. Global Climate Change and the Production of "Pequi" Fruits (*Caryocar brasiliense*) in the Brazilian Cerrado. **Natureza & Conservação** 9:55-60. 2011.

NABOUT, J. C.; MAGALHÃES, MR ; GOMES, M. A. A. ; CUNHA, H. F. . The Impact of Global Climate Change on the Geographic Distribution and Sustainable Harvest of *Hancorniaspeciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. **Environmental Management** (New York), p. 814-821, 2016.

OLIVEIRA, A. K. M.; PEREIRA, K. C. L. Efeito de diferentes temperaturas na germinação e crescimento radicular de sementes de jatobá-mirim (*Guibourtiahymenaeifolia* (Moric.) J. Léonard). **Ciênc. Florest.**, Santa Maria , v. 24, n. 1, p. 111-116, Mar. 2014b.

OLIVEIRA, A. K. M. et al. Germinação de sementes de paineira-do-campo (*Eriothecagrampilipes* (K. Schum.) A. Robyns) em diferentes temperaturas. **Científica**, v. 42, n. 4, p. 316-324, 2014a.

Peterson, T. C.; Zhang, X.; Brunet-India, M.; Vázquez-Aguirre, J. L. Changes in North American extremes derived from daily weather data. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D7, 2008.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3, p. 231-259, 2006.

PIANA, B. M.; DOUTO, L. K. M.; LIMA, M. B. S. Guia básico para a produção de mudas. **ECOFLORE**. Universidade de Brasília. 2011.

QUEIROZ, S. E.; DE OLIVEIRA, F. T. Efeito do sombreamento na germinação e desenvolvimento de mudas de baru (*Dipteryxalata* Vog.). **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, 2014.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2016.

RIBEIRO, B. R. **Vulnerabilidade de espécies às mudanças climáticas e prioridades para conservação na Amazônia**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

ROMERO, A. P.; FLORES, M. D. L. L. H.; LAGUNA, R. R.; MUÑOZ, E. J.; TORRES, D. T. Distribución potencial de *Prosopislaevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) MC Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 7, n. 34, p. 35-46, 2016.

SALAZAR, A. **Seed dynamics and seedling establishment of woody species in the tropical savannas of Central Brazil (Cerrado)**. PhD Thesis, University of Miami, Florida, USA. 2010.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. Baru: Biologia e Uso. **Embrapa**. Distrito Federal, 2004.

SHAW, R. G.; ETTERTSON, J. R. Rapid climate change and the rate of adaptation: insight from experimental quantitative genetics. **New Phytologist**, v. 195, n. 4, p. 752-765, 2012.

SIQUEIRA, A. C. M. F.; NOGUEIRA, J. C. B.; KAGEYAMA, P. Y. Conservação dos

recursos genéticos ex situ do cumbaru (*Dipteryxalata* Vog.-Leguminosae). **Revista do Instituto Florestal, São Paulo**, v. 5, n. 2, p. 231-243, 1993.

SOBERÓN, J. M. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. **Ecography**, v. 33, n. 1, p. 159-167, 2010.

SOBERON, J.; PETERSON, A. Townsend. **Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas**. 2005.

SOUSA, M. I. F.; BARBOSA, J. J.; COSTA, C. T. F. Uma reflexão sobre mudanças climáticas, saúde e meio ambiente no semiárido nordestino. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, v. 4, n. 2, p. 61-77, 2015.

SWETS, J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, v. 240, n. 4857, p. 1285, 1988

TERRIBILE, L. C.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; ARAÚJO, M. B.; BIZÃO, N.; COLLEVATT, R. G.; DOBROVOLSKI, R.; NABOUT, J. C. **Areas of climate stability of species ranges in the Brazilian Cerrado: disentangling uncertainties through time**. 2012

TOGASHI, M.; SGARBIERI, V. C. Caracterização química parcial do fruto do baru (*Dipteryxalata*, Vog.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 14, n. 1, p. 85-95, 1994.

TÔRRES, N. M.; MARCO, P.; SANTOS, T.; SILVEIRA, L.; JACOMO, A. T. A.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Can species distribution modelling provide estimates of population densities? A case study with jaguars in the Neotropics. **Diversity and Distributions**, v. 18, n. 6, p. 615-627, 2012.

VAZ, Ú. L.; NABOUT, J. C. Using ecological niche models to predict the impact of global climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) in the Amazon. **Acta Bot. Bras.**, Belo Horizonte, v. 30, n. 2, p. 290-295, June 2016.

WEBER, M. M.; STEVENS, R. D.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; GRELLE, C. E. V. Is there a correlation between abundance and environmental suitability derived from ecological niche modelling? A meta-analysis. **Ecography**. 2016.

WEN, B. et al. Sensitivity to high temperature and water stress in recalcitrant *Baccaurea* miflora seeds. **Journal of plant research**, p. 1-9, 2016.

WOLKOVICH, E. M; COOK, B. I; ALLEN, J. M; CRIMMINS, T. M; BETANCOURT, J. L; TRAVERS, S. E; AULT, T. R. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. **Nature**, v. 485, n. 7399, p. 494-497, 2012.

ZAIDAN, L. B. P.; CARREIRA, R. Seed germination in Cerrado species. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Piracicaba, v. 20, n. 3, p. 167-181, 2008.

ZHU, Kai et al. Dual impacts of climate change: forest migration and turnover through life history. **Global Change Biology**, v. 20, n. 1, p. 251-264, 2014.

### MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 1. Análise de granulometria do substrato obtida através do método do densímetro

Tipos de substrato	Tipos de substrato			
	100% latossolo vermelho	75% latossolo vermelho + 25% areia	50% latossolo vermelho + 50% areia	25% latossolo vermelho + 75% areia
Argila	27%	25%	20%	8%
Silte	15%	15%	13%	3%
Areia	58%	61%	67%	89%

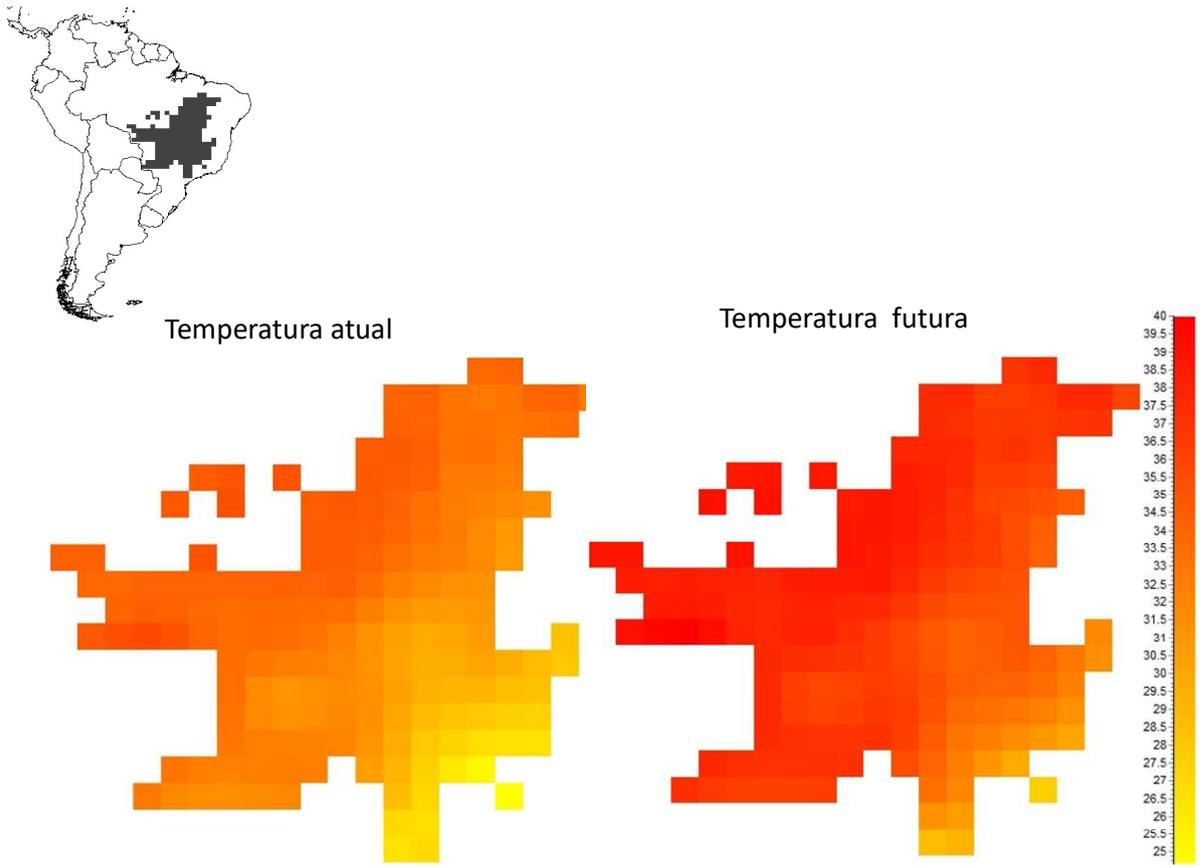


Figura 1. Temperatura (bio5) nos cenários climáticos atual e futuro.

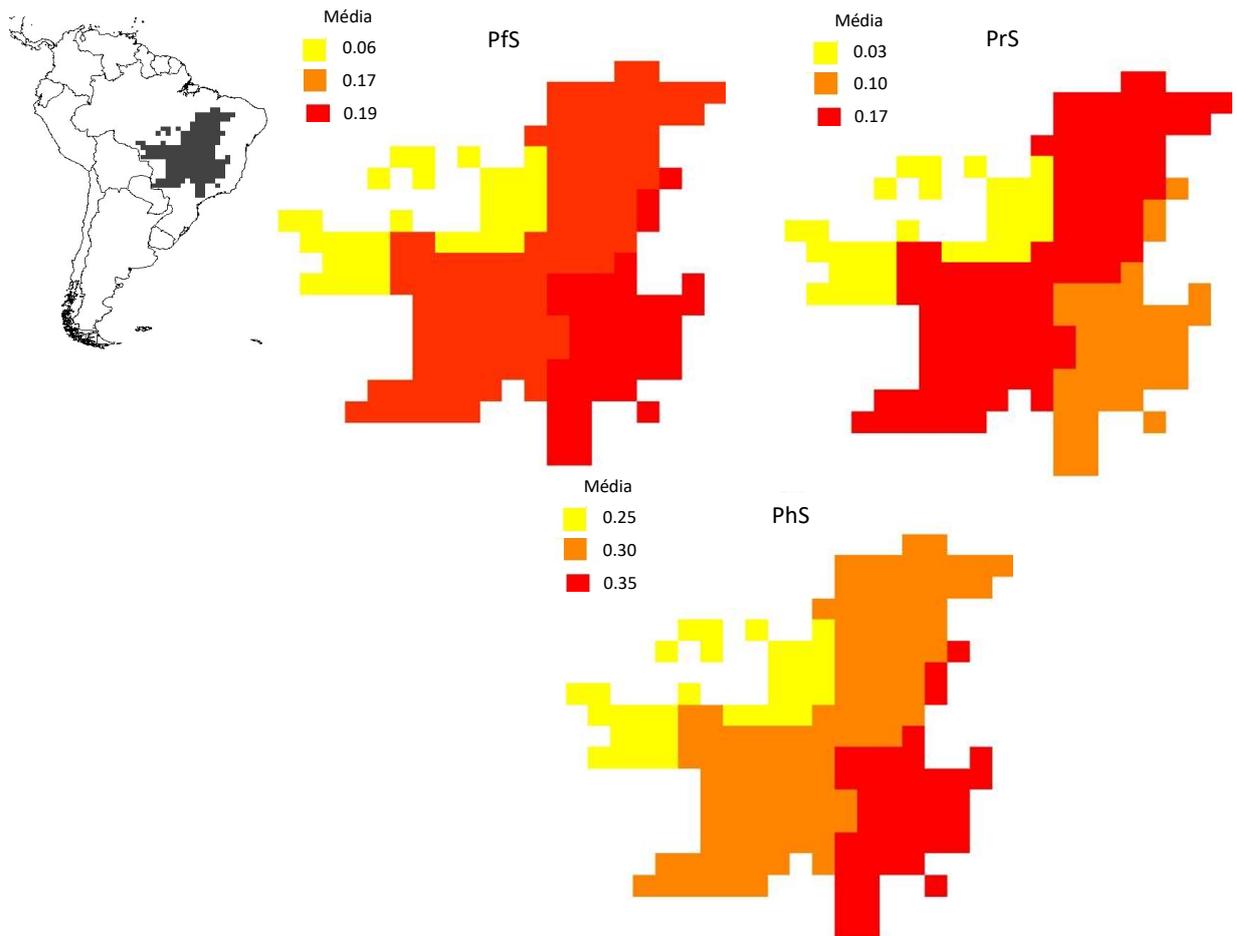


Figura 2. Delta da adequabilidade de temperatura para os atributos peso seco das folhas (PfS), peso seco das raízes (PrS) e peso seco do hipocótilo (PhS).

Tabela 2. Correlação de Pearson para a seleção de variáveis menos correlacionadas. As siglas indicam: peso total (pt); peso úmido da raiz (pru); peso seco da raiz (prs); peso úmido do hipocótilo (phu); peso seco do hipocótilo (phs); peso úmido das folhas (pfu); peso seco das folhas (pfs); diâmetro (d); comprimento total (ct); comprimento da raiz (cr); comprimento do hipocótilo (ch).

	pt	pru	prs	phu	Phs	pfu	pfs	d	Ct	cr	ch
pt											
pru	0.8455717										
prs	0.7597169	0.8163270									
phu	0.9337540	0.7071428	0.6645748								
phs	0.9376461	0.7208432	0.7065475	0.9115156							
pfu	0.7997005	0.6311709	0.5841220	0.7015375	0.7273563						
pfs	0.7886002	0.6754393	0.6409190	0.6678885	0.7572507	0.9175782					
d	0.9675841	0.7697546	0.6947187	0.9149801	0.9102054	0.7410554	0.7239442				
ct	0.9538141	0.8161181	0.7406673	0.8704404	0.9121538	0.7337746	0.7682107	0.9554131			
cr	0.9351466	0.8422660	0.7784258	0.8469927	0.8916885	0.7286879	0.7797051	0.9117480	0.9733790		
ch	0.9557524	0.7870106	0.7162734	0.8790081	0.9275777	0.7328853	0.7616462	0.9608728	0.9897571	0.9539190	