



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

**Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos
Naturais**

**ECOFISIOLOGIA DE *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F.
Blake EM SOLOS DE CERRADO: DIFERENÇAS ENTRE
SOLOS PODEM MODULAR O DESENVOLVIMENTO DE
UMA ARBÓREA INVASORA?**

Wesley Costa Silva

2020

Wesley Costa Silva

ECOFISIOLOGIA DE *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake
EM SOLOS DE CERRADO: DIFERENÇAS ENTRE SOLOS
PODEM MODULAR O DESENVOLVIMENTO DE UMA
ARBÓREA INVASORA?

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Ecologia e
Conservação de Recursos Naturais.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Ana Sílvia Franco Pinheiro Moreira

Uberlândia – Minas Gerais

Fevereiro – 2020

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

S586e
2020 Silva, Wesley Costa, 1990-
Ecofisiologia de *Schizolobium Parahyba* (Vell.) S. F. Blake em solos de cerrado [recurso eletrônico]: diferenças entre solos podem modular o desenvolvimento de uma arbórea invasora? / Wesley Costa Silva. - 2020.

Orientadora: Ana Sílvia Franco Pinheiro Moreira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.3049>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ecologia. I. Moreira, Ana Sílvia Franco Pinheiro, 1980-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. III. Título.

CDU: 574

Wesley Costa Silva

ECOFISIOLOGIA DE *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake
EM SOLOS DE CERRADO: DIFERENÇAS ENTRE SOLOS
PODEM MODULAR O DESENVOLVIMENTO DE UMA
ARBÓREA INVASORA?

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Ecologia e
Conservação de Recursos Naturais.

Aprovado em 19 de fevereiro de 2020

Prof.^a Dr.^a Denise Garcia de Santana
Instituto de Ciências Agrárias da UFU

Prof. Dr. Ademilson Coneglian
Departamento de Eng.^a Florestal da UEG

Prof.^a Dr.^a Ana Sílvia Franco Pinheiro Moreira
Instituto de Biologia da UFU (Orientadora)

Uberlândia – Minas Gerais

Fevereiro – 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de
 Recursos Naturais

Av. Pará, 1720, Bloco 2D, Sala 26 - Bairro Umuarama, Uberlândia-MG, CEP 38405-320
 Telefone: (34) 3225-8641 - www.ppgeco.ib.ufu.br - ecologia@umuarama.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ecologia e Conservação de Recursos Naturais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, número 290, PPGEARN				
Data:	dezenove de fevereiro de dois mil e vinte	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	11:58
Matrícula do Discente:	11812ECR016				
Nome do Discente:	Wesley Costa Silva				
Título do Trabalho:	Ecofisiologia de Schizolobium parahyba em solos de Cerrado: o solo das diferentes fitofisionomias modulam o desenvolvimento de uma espécie vegetal invasora?				
Área de concentração:	Ecologia				
Linha de pesquisa:	Ecologia vegetal				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Ecofisiologia de Plantas do Cerrado				

Reuniu-se na Sala 14A, Bloco 2D, Campus Umuarama, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, assim composta: Professores Doutores: Denise Garcia de Santana - ICIAG/UFU; Ademilson Coneglian - UEG; Ana Silvia Franco Pinheiro Moreira - INBIO/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Ana Silvia Franco Pinheiro Moreira, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Silvia Franco Pinheiro Moreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/02/2020, às 11:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denise Garcia de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/02/2020, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ademilson Coneglian, Usuário Externo**, em 02/03/2020, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1849144** e o código CRC **BB8729C1**.

Dedico todo o esforço e concentração aplicados neste trabalho às três mulheres fundamentais na minha vida, Maria José Costa (avó), Luceni Helena Costa Silva (mãe) e Lucielly Costa Silva (irmã).

A vocês, mulheres de garra e amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder saúde, entendimento e força para concluir mais uma etapa do caminho que trilho.

A mim mesmo, por persistir e perseverar, pelos questionamentos feitos e às buscas em compreendê-los, pelas vezes que ainda que cansado, insisti em prosseguir, aplicando a autocompreensão e aceitando o autoamor.

À minha mãe Luceni e aos meus avós Maria José e Orlando, pelo dom da vida, por todo apoio, amor e orações de vocês. Em especial à minha mãe, minha maior educadora na vida, e quem tanto vem me apoiado em minhas escolhas e decisões.

À minha orientadora Prof.^a Ana Sílvia, pelo acolhimento, paciência, e todas as orientações concedidas, as quais permitiram a condução e conclusão desse trabalho. Sou grato pela sua amizade e companheirismo, por suas palavras de apoio e histórias compartilhadas, por estender até mim um amor fraterno, fundamental para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À minha irmã, por ser minha melhor metade, o bem em mim. Sou grato por seu apoio, companheirismo e amor, grato por nossas concepções mútuas, as quais, tanto nos fortaleceu nesses últimos semestres.

Aos meus amigos irmãos Uiara e João, pelo apoio e suporte na elaboração e condução dos experimentos, nas análises realizadas e em resoluções de questionamentos. Questionamentos esses, que ultrapassaram a esfera acadêmica, se estendendo a nossas concepções de vida, de amor próprio, de espiritualidade, e de tudo que nos é bom, nos tornando em pessoas cada dia mais forte, mais leve e mais humanos.

Aos integrantes do complexo Lafive/Ladevi, pelo aprendizado e experiências compartilhadas, pelo apoio mútuo e conquistas de cada um, pelo não julgamento e pela compreensão. Em especial ao Rogério pelas ideias trocadas e incentivo e prosseguir.

À minha grande amiga Rosane (Rose), companheira de longa data e conterrânea acadêmica (UEG), sou grato por todo seu suporte, pelas longas conversas (de trabalho e da vida), pelo amor e carinho que tem me dado. Mais uma vez a vida nos aproximou, dando-nos a oportunidade de aprender tanto um com o outro.

Aos meus amigos da pós-graduação Larissa, Phabliny, José Afonso, Guilherme Viana, obrigado por ouvirem desabafos, por opinarem no trabalho e na vida, por vocês fiz o melhor ao meu alcance. Em especial a Thaynah, por me ouvir e apoiar nesses anos, se tornando alguém tão especial na minha vida. Estendo minha gratidão a todos meus colegas da turma 2018 pelos momentos de alegria compartilhados, pelo apoio, força e esperança nos momentos difíceis.

Aos meus amigos e colaboradores, Prof.º Jamir, pelo apoio na fundamentação dos experimentos, no delineamento estatístico, pela parceria e toda mentoria concedida, e ao Prof.º Ademilson Coneglian, pelo apoio, incentivo e pelos esclarecimentos sobre a espécie de estudo, grato a parceria de longa data e por ser um dos meus mestres na UEG.

Aos meus companheiros de pesquisa, Aldinéia, pelo apoio na condução do trabalho e pelas tantas conversas, podendo compartilhar histórias e experiências, e o Prof.º Denis por todas conversas e companheirismo, pelos cafés compartilhados e ao apoio, e por conceder o espaço e estrutura do Laboratório de Desenvolvimento Vegetal e Interações para algumas análises do projeto.

Ao Instituto de Ciências Agrárias – UFU, pelo espaço cedido na casa de vegetação para condução do experimento.

Aos funcionários e docentes do Instituto de Biologia, pelos conhecimentos compartilhados e apoio dado, em especial, ao coordenador do programa Prof.º Paulo Eugênio, pela inspiração e esforço para o melhor dos alunos e do Programa, e à Juliana por sua dedicação e esforço para com nós todos do PPGECO.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo, e ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração pelo suporte no deslocamento - PELD.

A todos, meus mais sinceros agradecimentos.

Gratidão!

“Presentemente eu posso me considerar um sujeito de sorte
Porque apesar de muito moço, me sinto são e salvo e forte
E tenho comigo pensado, Deus é brasileiro e anda do meu lado
E assim já não posso sofrer no ano passado.”

Sujeito de sorte, Belchior

ÍNDICE

	página
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAIS E MÉTODOS	4
2.1 Material de propágulo e área de estudo	4
2.2 Condução do experimento	6
2.3 Avaliação do desenvolvimento e crescimento inicial	6
2.4 Avaliação do metabolismo foliar	6
2.4.1 Determinação dos teores de carboidratos (amido, açúcares solúveis totais e polissacarídeos em água) e nitrogênio foliares	7
2.4.2 Avaliação do potencial fotossintético (conteúdo de pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila a)	8
2.5 Análises dos dados	8
3 RESULTADOS	10
3.1 Avaliação do desenvolvimento e crescimento inicial	11
3.2 Avaliação do potencial fotossintético	12
3.3 Determinação dos teores de carboidratos e nitrogênio foliares	13
4 DISCUSSÃO	16
4.1 Aspectos ecológicos	18
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
Material suplementar	30

RESUMO

Silva, Wesley C. 2020. Ecofisiologia de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake em solos de Cerrado: Diferenças entre solos podem modular o desenvolvimento de uma arbórea invasora? Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia – MG, 40p.

A presença de espécies invasoras em um ecossistema contribui ativamente para a perda de diversidade. Plantas invasoras possuem ampla plasticidade e fatores intrínsecos podem influenciar o estabelecimento de populações, como por exemplo a qualidade e os atributos do solo. Mediante isso, o estudo objetivou verificar se *Schizolobium parahyba* apresenta melhores taxas de desenvolvimento em solos de Cerrado com características similares ao seu de origem (formações florestais). Foram coletados e analisados solos de floresta estacional semidecidual (FES), cerrado *sensu stricto* (CER) e cerrado degradado (DEG), os quais diferiram em características físico-químicas como: pH, M.O., C.O, P, K, Al, Ca e granulometria. Os solos foram colocados em vasos de polietileno e dispostos sob bancada em casa de vegetação. Foram plantadas duas sementes por vasos e todo o experimento foi conduzido sob uma mesma condição ambiental, até o 45º dia, quando foram aferidos a emergência das plantas e parâmetros morfofisiológicos. Plantas de *S. parahyba* apresentaram melhor desenvolvimento quando crescidas no solo de FES em relação aos solos DEG e de CER. A análise de componentes principais mostra discernimento entre as plantas crescidas nos três tipos de solo, de forma mais distinta o grupo de FES em relação aos demais. A emergência de plântulas de *S. parahyba* foi menor no solo de CER. O desenvolvimento vegetal diferiu em vários parâmetros fisiológicos e morfológicos, afetando tanto a produção de biomassa quanto sua alocação nas diferentes partes da planta. A partir destes parâmetros, foi possível observar plantas maiores e com maior vigor crescidas FES, e plantas menores e menos robustas crescidas em CER e DEG. *Schizolobium parahyba* apresentou melhor desenvolvimento em solo de fitofisionomia florestal do que em solo de fitofisionomias típicas de Cerrado, o que colocaria as formações florestais como uma das mais ameaçadas pela sua invasão.

Palavras-chave: alumínio, filtro ambiental, guapuruvu, plantas invasoras, solos ácidos.

ABSTRACT

Silva, Wesley C. 2020. Ecophysiology of *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake in Cerrado soils: Difference between soils can modulate the development of invasive tree? Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia – MG, 40p.

The presence of invasive species in an ecosystem actively contributes to the loss of diversity. Invasive plants have large plasticity and intrinsic factors can influence the establishment of populations, such as the quality and the attributes of the soil. Therefore, the study aimed to verify whether *Schizolobium parahyba* shows better development rates in Cerrado soils with characteristics similar to its original (forest formations). Soil from semideciduous seasonal forest (FES), cerrado *sensu stricto* (CER) and degraded cerrado (DEG) were collected and analyzed, which differed in physical and chemical characteristics such as: pH, OM, CO, P, K, Al, Ca and granulometry. The soils were placed in polyethylene pots and placed on a bench in a greenhouse. Two seeds were planted per pot, and the whole experiment was conducted under the same environmental conditions, until the 45th day, when the emergence of plants and morphophysiological parameters were measured. Plants of *S. parahyba* showed better development when grown in the soil of FES in relation to the soils DEG and CER. The principal component analyzes showed discrimination among the plants grown in the three types of soil, in a more distinct way the FES group in relation to the others. The emergence of *S. parahyba* seedlings was lesser in the CER soil. The development of the specimens differed in several physiological and morphological parameters, affecting both the production of biomass and its allocation in different parts of the plant. From these parameters, it was possible to observe larger plants with greater vigor grown FES, and smaller and less robust plants grown in CER and DEG. *Schizolobium parahyba* showed better development in forest phytophysiology soil than in typical cerrado phytophysionomies, which would place forest formations as one of the most endanger by invasion.

Key-words: acid soils, aluminum, environmental filter, guapuruvu, invasive plants.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem sido observada uma grande perda na biodiversidade (Hughes *et al.* 2008), sendo a disseminação de espécies invasoras uma de suas principais causas (IUCN 2016). Em muitos dos casos, a introdução accidental ou deliberada de espécies tem contribuído para mudanças globais e substituição gradual das biotas nativas, reduzindo a presença de espécies raras e resultando em homogeneização taxonômica, genética e funcional (Olden *et al.* 2004; Powell *et al.* 2011; Powell 2013).

Plantas invasoras tem ampla plasticidade e no geral apresentam maior competitividade, gerando aptidão superior a de indivíduos nativos (Hulme 2008; Davidson *et al.* 2011). A facilidade de se adaptar a novos ambientes e a eficiência no uso de recursos que mediam seu desenvolvimento, são fatores que influenciam no sucesso da invasão (Colautti *et al.* 2006). Por definição, uma espécie exótica é aquela que está em ambiente diferente de seu local de origem, por ação do homem (intencional ou accidental) (Richardson *et al.* 2000). Essa, por variáveis decorrências, pode vir a se tornar uma invasora, que nada mais é que a espécie exótica que em ecossistema natural ou antrópico desenvolve altas taxas de crescimento, reprodução e dispersão (Richardson *et al.* 2000). Ou seja, uma espécie vegetal exótica se torna invasiva quando supera as nativas em seu *fitness*, geralmente devido a traços específicos como acúmulo de biomassa e eficiência no uso de nitrogênio e água (Davidson *et al.* 2011). Assim, os recursos solo, água e nutrientes, se tornam limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento de populações de plantas invasoras.

O impacto global das espécies invasoras nos ecossistemas ocorre associado a outros impactos antropogênicos (Gutiérrez *et al.* 2014). Impactos como a mudança no uso da terra, geralmente atuam de forma severa sobre a biodiversidade em ecossistemas terrestres (Sala *et al.* 2000; Lanz *et al.* 2012). Assim como a perda e modificação de habitat, facilitam invasões de espécies vegetais (Brook *et al.* 2008), podendo essas mudanças agir sinergicamente e potencializar os processos invasivos. No Cerrado, estudos sobre o potencial invasivo de gramíneas e herbáceas são bastante difundidos (Pivello *et al.* 1999; Almeida-Neto *et al.* 2010; Rossi *et al.* 2014; Lannes *et al.* 2016), já variedades arbóreas os trabalhos se tornam mais restritos (de Abreu & Duringan 2011; Zenni & Ziller 2011). O Cerrado brasileiro é a maior formação savânica da América do Sul, formado por diferentes fitofisionomias que incluem desde áreas abertas até formações florestais (Terra *et al.* 2017). Esta diversidade de formações vegetais envolve ricas comunidades altamente diversas, com presença de inúmeras espécies endêmicas.

Entretanto, as áreas naturais vêm sendo rapidamente substituídas por pastagens, áreas agriculturáveis ou urbanas (Strassburg *et al.* 2017), e juntamente com a disseminação de inúmeras espécies invasoras, colocou o Cerrado em posição de um *hotspot* de extinção da biodiversidade (Hughes 2017; Lapola *et al.* 2013).

A alta diversidade de plantas no Cerrado, juntamente com o alto grau de endemismos, tem sido atribuída à heterogeneidade ambiental deste bioma. A ocorrência de incêndios naturais, propriedades do relevo e edáficas são considerados preditores importantes de distribuição de sua vegetação (Maracahipes-Santos *et al.* 2016), podendo ser considerados como moduladores das diferentes fitofisionomias (Haridasan 2007). Os solos de Cerrado, em geral apresentam características típicas e exclusivas. Os latossolos predominam e ocupam aproximadamente 46% do Bioma, seguidos de espodosolos e solos arenosos (Areias Quartzosas) com 15% cada (Santos *et al.* 2018). Geralmente são solos profundos, azonados, de cor vermelha ou vermelha amarelada, porosos, permeáveis, bem drenados e intensamente lixiviados (Santos *et al.* 2018). O teor de matéria orgânica é pequeno, ficando geralmente entre 3 e 5%, tendo então uma capacidade de retenção de água relativamente baixa (Wilcke & Lilienfein 2005). Os latossolos são bastante ácidos, com pH que pode variar de menos de 4 a pouco mais de 5. Essa forte acidez é devida em boa parte aos altos níveis de Al^{3+} , muitas das vezes acrescidos de níveis elevados de íons Fe e Mn, o que os tornam tóxicos para diversas espécies de plantas (Santos *et al.* 2018). Uma baixa capacidade de troca catiônica, baixa soma de bases e alta saturação por Al^{3+} , caracterizam estes solos como distróficos, ou seja, com baixa fertilidade (Batlle-Bayer *et al.* 2010). Cremon *et al.* (2009) aponta que solos de cerrados savânicos, diferem dos solos de cerrados de formação florestal. Apesar de poderem apresentar valores médios de pH similares, possuem por exemplo, 40% menos matéria orgânica, 67% menos teor de cálcio e conseqüentemente CTC 75% menor em formações savânicas quando comparadas as florestais.

Dentro das características edáficas, a disponibilidade de nutrientes associada à acidez do solo e à toxidez do alumínio não seriam os únicos fatores a modularem as fitofisionomias do Cerrado (Haridasan 2008). Sabe-se que espécies tolerantes ou que apresentam mecanismos de escape estão presentes nas diferentes fitofisionomias e muitas vezes de forma compartilhada, o que derrubaria esta hipótese. Na verdade, espécies nativas apresentam adaptações que as habilitam sobreviver sob condições de deficiência nutricional e acidez (Watanabe & Osaki 2002), promovendo resiliência necessária para crescimento em um mosaico extremamente diverso de fisionomias. Vários mecanismos

adaptativos, como dimorfismo radicular, transpiração noturna, reabsorção de nutrientes antes da abscisão foliar, ciclagem de nutrientes a partir da serrapilheira e associações com micorrizas podem ser responsáveis por fazer comunidades de plantas nativas do Cerrado eficientes em solos pobres, mas dificilmente são determinantes para se estabelecer as diferentes fitofisionomias (Samac & Tesfaye 2003; Haridasan 2008; Brunner & Sperisen 2013). Entretanto, conceitos que envolvem a acidez e a toxicidade por alumínio, juntamente com diferenças na disponibilidade de nutrientes, são bem estabelecidos para espécies cultivadas (Haridasan 2008) e poderiam, então, ser determinantes no processo de invasão das diferentes fitofisionomias.

Considerando-se que o Cerrado tem sido fragmentado, e muitas vezes sua paisagem substituída por novas culturas com alto poder de invasão, o presente estudo teve como objetivo verificar qual tipo de solo (formações savânicas ou florestais) do Cerrado atuaria como limitante ao desenvolvimento de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blaker. O *S. parahyba* é uma árvore leguminosa da subfamília Caesalpinioideae, nativa de Mata Atlântica e popularmente conhecida como “guapuruvu”. É uma espécie pioneira de crescimento rápido, utilizada em sistemas silviagrícolas como componente florestal (Carvalho 2005) por possuir lenho leve de baixa densidade (Athánázio-Heliodoro *et al.* 2018), atendendo ao mercado de caixotaria e produção de celulose (Nisgoski *et al.* 2012). A espécie já tem sido apontada como invasora de áreas de Cerrado em alguns estudos (Horowitz *et al.* 2013; Ziller e de Sá-Dechoum 2014; Horowitz *et al.* 2014; I3N Brasil 2019). Desta forma, considerando as condições de solo em áreas savânicas (cerrado *sensu stricto* e área de cerrado degradado) e florestais (floresta estacional semidecidual), seria possível supor qual fitofisionomia estaria mais propícia à invasão por esta espécie? Especificamente, i: Em qual destes solos, *S. parahyba* consegue estabelecer melhores taxas de crescimento inicial? ii: Quais parâmetros morfofisiológicos são potencializados ou reduzidos, conforme a característica de cada solo? iii: Os propágulos da espécie, se desenvolverem menos em solos de formações savânicas em relação à florestal, podendo assim atuar como filtro ambiental no estabelecimento de uma nova população? Posto isso, o estudo objetivou investigar se *S. parahyba* apresenta melhores taxas de desenvolvimento em solos de Cerrado com características similares ao seu de origem (formações florestais), ou se em solos de áreas de Cerrado, seja degradado ou preservado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Material de propágulo e área de estudo*

As sementes utilizadas no estudo foram coletadas de cinco matrizes de uma população de *S. parahyba* localizada em região de Mata Atlântica ao sul do estado de São Paulo no município de Jundiaí (-23.26°, -46.80°), em área de floresta ombrófila semi-densa. Os indivíduos tiveram materiais botânicos comparados com o de exsicatas depositadas no herbário HUFU, e outros disponíveis no site *speciesLink*, para confirmar a identificação da espécie.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando solos de três fitofisionomias de Cerrado (Figura 1); floresta estacional semidecidual (FES), cerrado degradado (DEG) e cerrado *sensu stricto* (CER), cada solo daqui em diante no decorrer do trabalho será representado por suas respectivas siglas. O solo de FES foi coletado em uma área de preservação permanente da Fazenda São José (-18.85°, -48.23°). Apresenta estrato médio de ~15 m de altura, cobertura arbórea de ~75%, latossolo vermelho com média fertilidade e espessa camada de serapilheira (Ribeiro & Walter 1998). No Cerrado, a FES corresponde ao tipo de fitofisionomia que mais se aproxima das áreas de ocorrência natural (Mata Atlântica) de *S. parahyba*. O solo DEG foi coletado em uma área de pastagem degradada abandonada, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (-18.97°, -48.20°). É oriunda de uma antiga supressão de cerrado para plantio de pastagem, encontra-se isolada e em estágio sucessional de regeneração, conforme a Resolução CONAMA nº 01, de 31 de janeiro de 1994. Apresenta estrato herbáceo e poucas árvores de pequeno porte, prevalecendo ainda a ocorrência de gramíneas. Possui latossolo vermelho-amarelo, ácido e de fertilidade mais baixa. A área de CER pertence à Estação Ecológica do Panga também da Universidade Federal de Uberlândia (-19.18°, -48.39°). Apresenta estrato arbórea de ~5 m, e cobertura arbórea de ~50%, latossolo amarelo, com acidez elevada e traços aluminotóxicos, apresentando baixa fertilidade (Ribeiro & Walter 1998). Sementes de *Schizolobium parahyba* foram plantadas em cada solo, afim de avaliar o desenvolvimento e metabolismo foliar da espécie em solos do Bioma Cerrado.

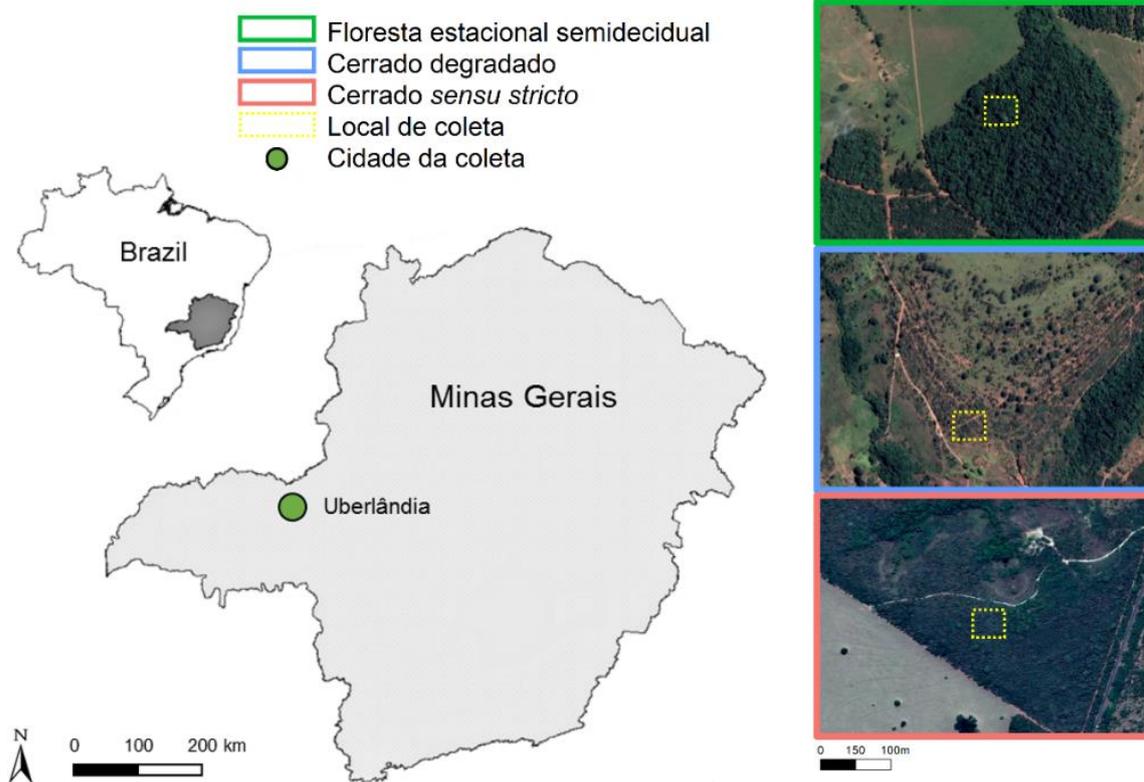


Figura 1: Áreas de coletas de solo para condução do experimento com o desenvolvimento de *S. paratyba* em diferentes solos de Cerrado.

Para confirmação da qualidade do solo, foi retirada uma amostra prévia de cada área e realizadas análises físico-químicas conforme Donagema *et al.* (2011). A caracterização físico-química dos três solos mostra que as propriedades de cada solo divergem. Foram quantificados: pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), CTC efetiva, soma (SB) e saturação de bases (V%), além de teores de silte, areia e argila. Cada solo apresentou parâmetros típicos de sua fitofisionomia; Cerrado com pH mais ácido (4,7 em degradado e cerrado) e traços aluminotóxicos (10%, 39% e 38% de saturação por Al⁺ em floresta, degradado e cerrado, respectivamente), e solo de floresta menos ácido e calcário (5,4 pH). Houve maior acúmulo de nutrientes em solo de floresta em relação a solos de Cerrado (44, 14 e 20 mg dm⁻¹ de potássio em floresta, degradado e cerrado, respectivamente), acompanhando maior teor de matéria orgânica (4,2 dag Kg⁻¹ em floresta e ~1,35 dag Kg⁻¹ nos demais) (Tabela 1).

Tabela 1: Análise da composição química do solo das três áreas de Cerrado, 1: Floresta estacional semidecidual, 2: Cerrado degradado e 3: Cerrado *stricto sensu*.

Solo	pH	P	K	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ⁺	SB
		mg dm ⁻¹			cmolc dm ⁻³			
1	5.4	3.0	44.0	3.6	1.7	1.0	0.3	2.8
2	4.7	1.6	14.0	2.8	0.4	0.2	0.4	0.63
3	4.7	2.4	20	2.7	0.4	0.2	0.4	0.64
Solo	T	V	m	M.O.	C.O.	Areia	Silte	Argila
	cmolc dm ⁻³	%	dag Kg ⁻¹	g Kg ⁻¹				
1	3.13	44	10	4.2	4.4	625	50	325
2	1.03	18	39	1.5	0.85	812	26	165
3	1,04	19	38	1.2	0.69	800	25	1.75

SB = Soma de Bases, t = CTC Efetiva, V = Saturação por Bases, m = Saturação de Alumínio, M.O. = Matéria orgânica, C.O. = Carbono orgânico.

2.2 Condução do experimento

O solo de cada fitofisionomia foi coletado através do método de trincheira. Em cada área, cerca de 3 m² de solo foram retirados na profundidade de 0-20 cm, sendo transportados até o local do experimento, homogeneizados em peneira de crivo de 0.5 cm² e condicionados em vasos de 14 L. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil. Noventa vasos foram distribuídos de forma aleatorizada e dispostos em duas fileiras sob bancada de concreto dentro da casa de vegetação.

A quebra da dormência das sementes foi realizada pelo método de infusão. As sementes permaneceram em água a 100°C por 8 min e posteriormente foram embebidas em água a temperatura ambiente por 24 h (Matheus & Lopes 2007). Foram semeadas duas sementes por vasos (a 2 cm de profundidade), os quais receberam regas semanais com 30% da capacidade de campo do solo (Teixeira *et al.* 2017) (1.75L/vaso) durante toda a condução do experimento. Passados 15 dias após o plantio, o número de sementes germinadas foi contabilizado em cada vaso para análise da germinação. Em seguida, 10 vasos por tratamento (o indivíduo de menor vigor foi removido permanecendo uma planta por vaso) foram realeatorizados na bancada, seguindo um delineamento inteiramente casualizado, onde permaneceram por mais 45 dias a fim de analisar o desenvolvimento das plantas de *S. parahyba* em cada tipo de solo.

2.3 Avaliação do desenvolvimento e crescimento inicial

A proporção de emergência de plântulas foi determinada considerando-se o número total de sementes germinadas por tratamento (n=90). Foram consideradas plântulas emergidas as sementes que abriram o cotilédone acima do solo.

Passados 45 dias após emergência das plântulas, foram medidos a altura e o diâmetro do caule. Dois folíolos do terço mediano da primeira folha composta de cada planta foram coletados para estimar o conteúdo relativo de água (Turner 1981). Dois outros folíolos foram separados para dosagem do conteúdo de pigmentos cloroplastídicos. Posteriormente todas as plantas foram coletadas e as partes foliar, caulinar e radicular separadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, até que atingissem peso constante (~3 dias). Durante a coleta do material, a primeira folha composta de cada planta, foi escaneada e colocada para secar separadamente das demais, afim de obter a área foliar específica (Cornelissen et al. 2003). Posteriormente foram utilizadas para dosagem de parâmetros metabólicos. A área foliar total da planta foi estimada através da massa seca e da área da primeira folha composta, mensurada ainda quando fresca, através do software Image J (Schneider *et al.* 2012), sendo a área foliar da planta igual à relação entre o peso total das folhas da planta e o peso da primeira folha composta multiplicados pela área da primeira folha (adaptado de Rocha *et al.* 2014). Utilizando-se as massas, foram calculados a razão da área foliar (RAF), a relação parte aérea/radicular (RPAR), a razão da massa foliar (RMF = massa foliar/biomassa total), a razão da massa caulinar (RMC = massa caulinar/biomassa total), a razão da massa radicular (RMC = massa radicular/biomassa radicular), a relação altura/diâmetro (H/D) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (estimativa da qualidade e do vigor das plantas ao final dos tratamentos), seguindo a fórmula (Dickson *et al.* 1960):

$$IQD = MST / ((ALT / DIAM) + (MSPA / MSR))$$

onde, MST = massa seca total, ALT = altura, DIAM = diâmetro do caule, MSPA = massa seca da parte aérea e MSR = massa seca radicular.

2.4 Avaliação do metabolismo foliar

2.4.1 Determinação dos teores de carboidratos (amido, açúcares solúveis totais e polissacarídeos em água) e nitrogênio foliares

As dosagens de carboidratos e nitrogênio foram realizadas em amostras secas e maceradas, utilizando-se a primeira folha totalmente expandida de cada planta (n = 10 para cada tratamento). A dosagem de carboidratos foi realizada utilizando o método

colorimétrico fenol-ácido sulfúrico (Dubois *et al.* 1956; Chow & Landhäusser 2004), utilizando glicose como padrão. Amostras (20 mg) foram submetidas a 3 extrações consecutivas em 5 ml de metanol:clorofórmio:água (12:5:3), sendo os teores de açúcares solúveis totais obtidos do extrato combinado. Após secagem *overnight*, o *pelet* residual foi ressuspensionado em 5 ml de etanol 10% para extração dos polissacarídeos solúveis em água. Nova ressuspensão do resíduo foi realizada em 5 ml de ácido perclórico 30% possibilitando a dosagem de amido.

A avaliação do teor de nitrogênio foi realizada através do processo de destilação por arraste a vapor seguida de titulação, conforme Tedesco *et al.* (1995). As amostras (200 mg) foram digeridas em ácido sulfúrico. Uma alíquota de 10 ml do material digerido foi destilada e titulada com ácido clorídrico a 0,02 N.

2.4.2 Avaliação do potencial fotossintético (conteúdo de pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila a)

Para a análise do teor de pigmentos fotossintéticos, discos de 7 mm dos dois foliólulos do terço médio da primeira folha composta de cada planta foram colocados em 5 ml de dimetilsulfóxido P.A. por 24 h. O extrato foi submetido à leitura espectrofotométrica (665, 649 e 480 nm, espectrofotômetro BioSpectro SP-220, Brasil) e os teores de clorofilas *a* e *b*, e carotenoides calculados de acordo com Wellburn (1994).

Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* foram obtidos utilizando-se um medidor de fluorescência modulada por imagens (Handy FluorCam PSI, República Tcheca). As folhas foram mantidas no escuro por 30 min, sendo utilizado protocolo *Quenching* do equipamento. Foram utilizados como parâmetros de fluorescência da clorofila *a* o rendimento quântico potencial (F_v/F_m), a fluorescência mínima (F_0) e máxima (F_M) da folha adaptada ao escuro, o pico de fluorescência durante a fase inicial do efeito Kautsky (FP), o *quenching* não-fotoquímico (NPQ) (Horton & Ruban 1992) e a relação de declínio da fluorescência (R_{FD}) (Lichtenthaler & Miede 1997).

2.5 Análise dos dados

A variação dos parâmetros morfofisiológicos de *S. parahyba* foi avaliada adaptando-se o Índice de plasticidade com base nas distâncias relativas (RDPI) proposto por Valladares *et al.* (2006). As distâncias relativas (DR) foram calculadas com base em uma matriz retangular (X_{ij}) onde j (coluna) refere-se aos indivíduos (j e $j' = 1$ a 10

indivíduos) utilizados em cada tratamento (i e $i' = 1$ a 3 tipos de solo). O RDPI pode variar de 0 (considerado sem variação) a 1 (variação máxima), e foi obtido através da fórmula:

$$RDPI = \Sigma (d_{ij} \rightarrow i'j' / (x_{i'j'} + x_{ij})) / n$$

onde; n corresponde ao número total de distâncias relativas (DR) de cada variável, $d_{ij} \rightarrow i'j'$ a DR entre os pares de indivíduos pertencentes aos diferentes tratamentos e $x_{i'j'} + x_{ij}$ o valor obtido a partir da razão entre a soma e a diferença de todos os pares de indivíduos crescidos sob os diferentes tipos de solo.

Foi realizada inicialmente uma análise exploratória de componentes principais (PCA) com os parâmetros morfofisiológicos visando reduzir a dimensionalidade e revelar as variáveis mais contribuintes. Para identificar suas associações com outras variáveis, foi utilizado o pacote FactoMineR versão 1.41 (Husson *et al.* 2018), e especificou-se uma matriz de correlação para ajustar variáveis que estavam em escalas diferentes (Abdi & Williams 2010). Em seguida, o tipo de solo foi tratado como uma variável suplementar para plotagem, e uma análise multivariada de variância permutacional foi realizada a posteriori (Anderson 2001).

O efeito do fator solo em cada uma dessas variáveis usadas na PCA foi testado através de modelos lineares de análise de variância, sendo testados também os valores das razões de biomassa e os parâmetros de fluorescência da clorofila. A exploração preliminar dos dados foi realizada seguindo o protocolo introduzido por Zuur *et al.* (2010) e os modelos validados pelo teste de Shapiro-wilk (Razalli & Wah 2011). Depois que um modelo foi considerado significativo, realizou-se comparações múltiplas para distinguir os tratamentos. A germinação dos propágulos foi analisada utilizando um modelo linear generalizado binomial, com auxílio do pacote *Lme4* e *multicomp* (Bates *et al.* 2015; Hothorn *et al.* 2016). Para analisar RDPI, usamos um modelo não paramétrico de Kruskal-Wallis e a posteriori o teste de Dunn utilizando-se o pacote *dunn.test* (Dinno 2015). Todas as análises foram realizadas em ambiente estatístico R v. 3.5.1 (R Core Team 2018).

3 RESULTADOS

Os três solos aqui em evidência, apresentaram características físico-químicas típicas de cerrado de formação florestal e cerrado de formação savânica. Em média o solo de floresta estacional semidecidual apresentou pH mais elevado, maior teor de macronutrientes, soma de bases (SB), matéria orgânica (MO) e menor teor de Al. Estas características geram um status nutricional superior ao dos solos de cerrado *stricto sensu* e cerrado degradado. Acrescidos a isso, temos que os solos savânicos apresentaram um teor maior de areia e silte, e menor teor de argila que, atrelados à baixa MO, os caracterizam com uma menor capacidade de manter um bom status hídrico. Tais características são fundamentais no estabelecimento de espécies vegetais e, para espécies invasoras, atuam como um tipo de filtro ambiental no progresso de populações de uma espécie arbórea.

Neste estudo constatamos que plantas de *S. parahyba* apresentam melhor desenvolvimento quando crescidas no solo de floresta estacional semidecidual (FES) em relação aos solos cerrado *stricto sensu* (CER) e cerrado degradado em estado sucessional de regeneração (DEG). A análise de componentes principais mostra discernimento entre as plantas crescidas nos três tipos de solo, de forma mais distinta o grupo de FES em relação aos demais. Os três primeiros eixos explicaram 69,9% da variância (Figura 2). As variáveis que mais contribuíram para o PC1 (39,1%) foram biomassa da planta, massa foliar, massa caulinar e IQD, para o PC2 (20,9%) foram os teores de clorofila *b*, clorofilas totais e clorofila *a* e para o PC3 os teores de PSA e de amido. Parâmetros morfológicos como biomassa e suas partes, área foliar, IQD e altura estão relacionados com solo de FES. Já parâmetros fotossintéticos como pigmentos cloroplátídicos, carotenoides e a relação clorofilas totais/carotenoides estão mais relacionados com plantas desenvolvidas em solo de CER. Os parâmetros área foliar específica e teor de nitrogênio foram relacionados principalmente ao solo DEG (Figura 2).

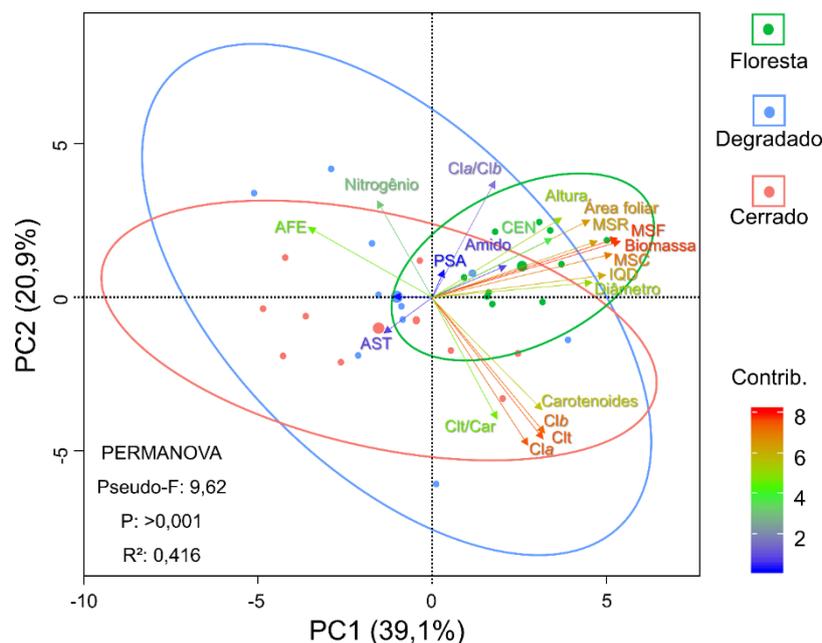


Figura 2: Análise de componentes principais e análise de variância permutacional dos principais parâmetros morfofisiológicos de *S. parahyba* desenvolvidos em solos de floresta estacional semidecidual, cerrado degradado e cerrado *sensu stricto*.

3.1 Avaliação do desenvolvimento e crescimento inicial

A emergência de plântulas de *S. parahyba* foi maior nos solos de FES e DEG (42% e 33%, respectivamente), e menor no solo de CER (20%) (Figura 3). Em relação ao efeito dos solos no desenvolvimento de *S. parahyba*, observamos que a massa foliar, caulinar e radicular foram de 30% a 40% maiores em plantas crescidas no solo de FES quando comparadas com as plantas crescidas no CER ou DEG (Figura 4).

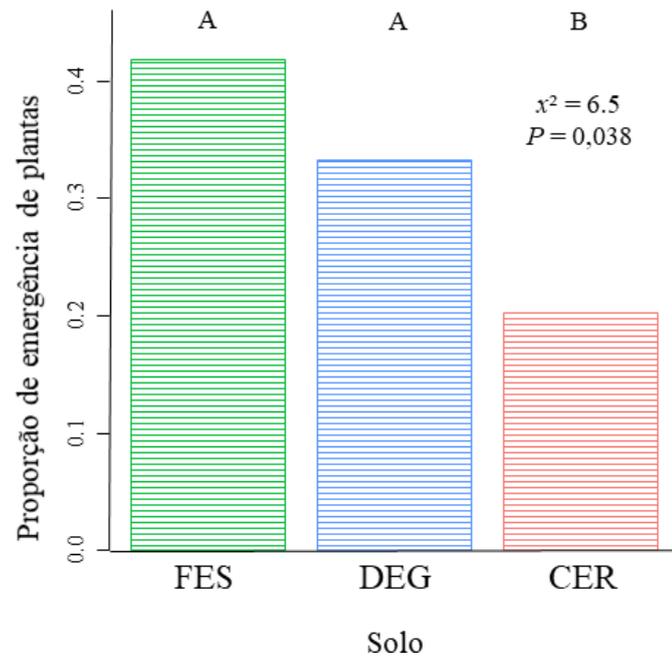


Figura 3: Taxa de germinação de sementes de *S. parahyba* estabelecidas em solos de floresta estacional semidecidual (FES), cerrado degradado (DEG) e cerrado *sensu stricto* (CER) 15 dias após o plantio. Letras diferentes na horizontal os tratamentos diferem pelo teste de comparação planejada ($p \leq 0.05$).

A área foliar foi 20% maior em plantas de floresta quando comparada com as plantas de solo degradado, e 40% quando comparadas com o solo de cerrado, porém não houve diferenças entre os valores de área foliar específica. A razão da massa foliar foi 6% maior em plantas de solo degradado em relação às plantas de solo de cerrado. A razão da massa caulinar foi 18 % menor em solo degradado com relação ao cerrado. Já a razão da massa radicular, relação parte aérea/parte radicular e relação altura/diâmetro e o diâmetro não diferiram entre os tratamentos. A altura foi ~20 % maior nas plantas crescidas em solo de floresta. Posto isso, o Índice de Qualidade de Dickson foi mais alto em plantas que cresceram em solo de FES, sendo menores em solo DEG (25%) e solo de CER (33%) (Figura 4, tabela suplementar 1). O teor relativo de água na folha foi similar para todos os tratamentos (Figura 5, tabela suplementar 1).



Figura 4: Parte aérea e Sistema radicular de *S. parahyba* desenvolvido em solos de floresta estacional semidecidual, cerrado degradado e cerrado *sensu stricto*.

3.2 Avaliação do potencial fotossintético

Considerando a quantificação dos pigmentos fotossintéticos, observamos que os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofilas totais e carotenoides apresentaram valores similares entre os tratamentos. Porém a relação clorofila *a/b* foi maior em plantas crescidas em DEG, e 10% e 25% menores em plantas crescidas em solo de FES e de CER, respectivamente. Já a relação clorofilas totais e carotenoides foi maior nas plantas crescidas no solo de CER, um pouco menor no solo de FES e muito menor no solo de DEG (6% e 81%, respectivamente) (Figura 6, tabela suplementar 2). Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* não diferiram entre os tratamentos, obtendo fluorescência mínima, fluorescência máxima, o pico de fluorescência durante a fase inicial do efeito Kautsky, o máximo rendimento quântico de PSII, os valores de estado não-fotoquímico e de relação de declínio da fluorescência similares entre os tratamentos (Tabela suplementar 1).

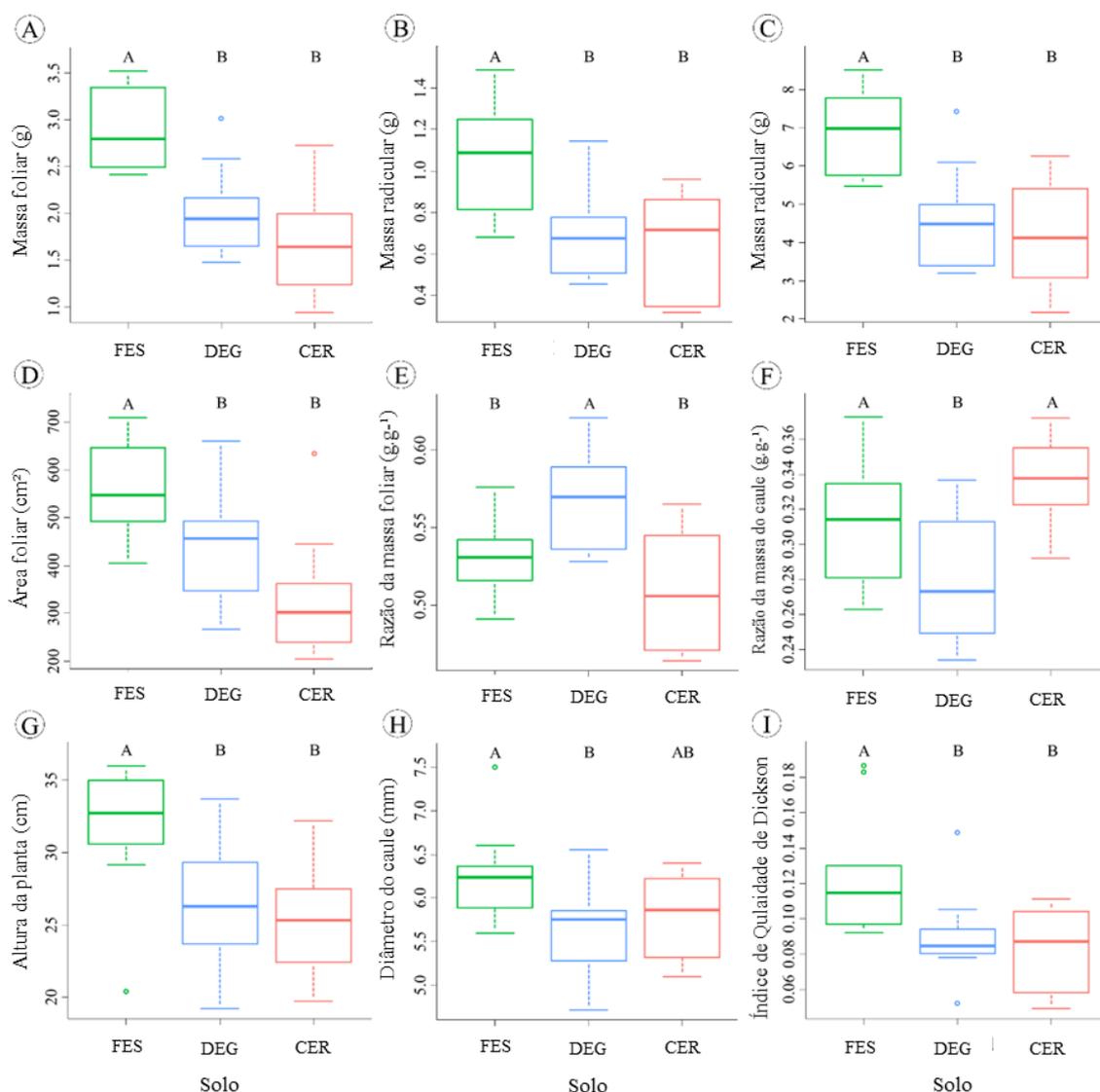


Figura 5: A: Massa foliar (g), B: Massa radicular (g), C: Biomassa (g), D: Área foliar (cm²), E: Razão da massa foliar (g.g⁻¹), F: Razão da massa caulinar (g.g⁻¹), G: Altura da planta (cm), H: Diâmetro do caule e I: Índice de qualidade de Dickson de *S. parahyba* desenvolvido em solos de floresta estacional semidecidual, cerrado degradado e cerrado *sensu stricto*. Letras diferentes na horizontal os tratamentos diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

3.3 Determinação dos teores de carboidratos e nitrogênio foliares

Verificamos que o teor de nitrogênio nas folhas foi maior nas plantas crescidas no solo de DEG, intermediário no solo de FES e menor nas plantas crescidas no solo de CER ($4,23 \pm 0,9 \%$; $3,76 \pm 0,4 \%$ e $3,15 \pm 0,65 \%$, respectivamente). Os valores de polissacarídeos solúveis em água foi similar para as plantas crescidas nos três tipos de solos, já os de açúcares solúveis totais foram maiores nas plantas crescidas em solo DEG e solo de CER, e menor nas plantas crescidas no solo de FES ($0,015 \pm 0,003 \text{ mg g}^{-1}$; $0,014 \pm 0,003 \text{ mg g}^{-1}$ e $0,012 \pm 0,001 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente). O teor de amido foi mais alto

em plantas crescidas no solo de FES, intermediário nas de solo DEG e menor em plantas crescidas no solo de CER ($0,026 \pm 0,003 \text{ mg g}^{-1}$, $0,021 \pm 0,005 \text{ mg g}^{-1}$ e $0,016 \pm 0,005 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente).

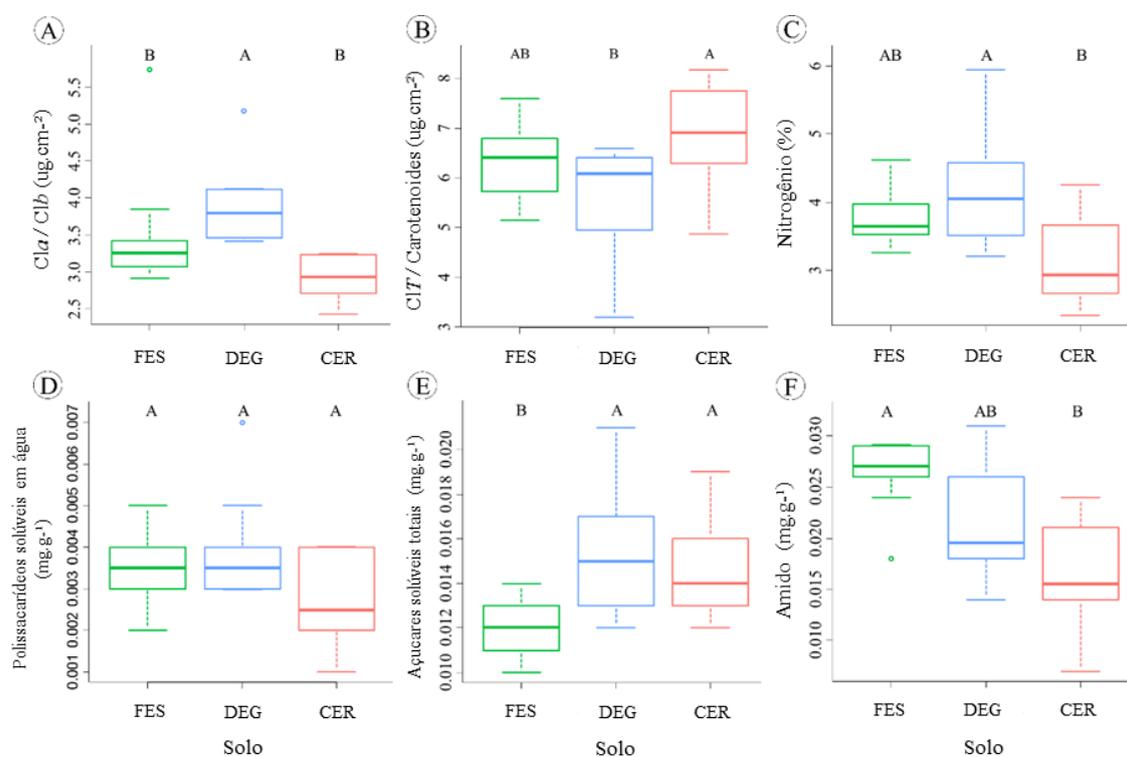


Figura 6: A: Relação clorofila *a*/clorofila *b* ($\mu\text{g.cm}^{-2}$), B: Relação clorofilas totais/carotenoides ($\mu\text{g.cm}^{-2}$), C: Teor de nitrogênio (%), D: Polissacarídeos solúveis em água (mg.g^{-1}), E: Açúcares solúveis totais (mg.g^{-1}) e F: Teor de amido (%) de *S. parahyba* desenvolvido em solos de floresta estacional semidecidual, cerrado degradado e cerrado *sensu stricto*. Letras diferentes na horizontal os tratamentos diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

O índice de plasticidade a partir da distância relativa diferiu em quase todas as variáveis morfofisiológicas analisadas, com exceção do diâmetro do caule, área foliar específica e teor relativo de água na folha. Os maiores valores de RDPI encontrados para dados estruturais ocorreram entre indivíduos pertencentes a classe FES x CER (Tabela 2), enquanto os valores de RDPI dos parâmetros fotossintéticos foram maiores na classe solo CER x DEG. Considerando-se o desenvolvimento inicial de *S. parahyba*, foi encontrada maior variação na massa seca foliar e área foliar (valores entre 0,18 e 0,3, e 0,15 e 0,3, respectivamente). O parâmetro fotossintético que mais variou foi o conteúdo de clorofila *b* (entre 0,19 e 0,29), e considerando-se os parâmetros de metabolismo foliar, a maior variação foi nos teores de nitrogênio (entre 0,09 e 0,16).

Tabela 2: Resumo da análise de variância da Distância do Índice de Plasticidade Fenotípica em *S. parahyba* desenvolvidos em solos de floresta estacional semidecidual, cerrado degradado e cerrado *sensu stricto*.

Variável	DIPF		
	Floresta x Degradado	Floresta x Cerrado	Degradado x Cerrado
BIOM	0,21 ± 0,12 ^B	0,28 ± 0,19 ^A	0,18 ± 0,13 ^B
MSF	0,19 ± 0,1 ^B	0,30 ± 0,17 ^A	0,18 ± 0,13 ^B
MSC	0,27 ± 0,16 ^A	0,26 ± 0,19 ^{AB}	0,22 ± 0,14 ^B
MSR	0,24 ± 0,14 ^B	0,30 ± 0,21 ^A	0,22 ± 0,14 ^B
ALT	0,13 ± 0,08 ^A	0,14 ± 0,08 ^A	0,10 ± 0,07 ^B
DIAM	0,06 ± 0,05 ^A	0,06 ± 0,07 ^A	0,05 ± 0,03 ^A
AF	0,15 ± 0,11 ^C	0,3 ± 0,16 ^A	0,21 ± 0,13 ^B
AFE	0,05 ± 0,04 ^A	0,06 ± 0,05 ^A	0,06 ± 0,05 ^A
TRA	0,08 ± 0,05 ^A	0,06 ± 0,05 ^A	0,02 ± 0,04 ^A
CLA	0,22 ± 0,19 ^{AB}	0,21 ± 0,14 ^B	0,28 ± 0,18 ^A
CLB	0,24 ± 0,21 ^{AB}	0,19 ± 0,14 ^B	0,29 ± 0,20 ^A
CLT	0,22 ± 0,2 ^{AB}	0,2 ± 0,14 ^B	0,27 ± 0,18 ^A
CAR	0,16 ± 0,12 ^B	0,18 ± 0,11 ^{AB}	0,2 ± 0,18 ^A
AMI	0,16 ± 0,12 ^B	0,18 ± 0,11 ^A	0,2 ± 0,14 ^B
N	0,09 ± 0,08 ^C	0,13 ± 0,08 ^B	0,16 ± 0,11 ^A
AST	0,12 ± 0,09 ^A	0,11 ± 0,1 ^{AB}	0,09 ± 0,07 ^B
PSA	0,15 ± 0,12 ^B	0,21 ± 0,16 ^A	0,21 ± 0,16 ^A

*significativo pelo teste t $p \leq 0,05$, **significativo pelo teste t $p \leq 0,01$, ^{ns}não significativo pelo teste t com nível de significância a 0,05 de probabilidade. Letras diferentes na mesma linha tratamentos se diferem pelo teste de Tukey. BIOM = Biomassa (g); MSF = Massa seca foliar (g); MSC = Massa seca caulinar (g); MSR = Massa seca radicular (g); ALT = Altura da planta (cm); DIAM = Diâmetro do caule (mm); AF = Área foliar (cm²); AFE = Área foliar específica (cm².g⁻¹); TRA = Teor relativo de água na folha (%); CLA = Clorofila *a* (µg.cm⁻²); CLB = Clorofila *b* (µg.cm⁻²); CAR = Carotenoides (µg.cm⁻²); CLT = Clorofilas totais (µg.cm⁻²); AMI = Amido (mg.g⁻¹); N= Nitrogênio (%); AST = Açúcares solúveis total (mg.g⁻¹); PSA = Polissacarídeos solúveis em água (mg.g⁻¹).

4 DISCUSSÃO

Os três tratamentos de solos estudados se enquadram como solos distróficos no sistema de classificação de solos do Brasil, que considera a saturação de bases (*v*) maior que 50% para definição de solos eutróficos (Santos *et al.* 2018). Entretanto, os valores de *v* para a o solo de floresta estacional semidecidual foram muito próximos (44%) e características como menor acidez e valores de Ca⁺ de 1,7 cmol_c dm⁻³ parecem ser determinantes para suportar uma vegetação florestal (Araújo & Haridasan 1988, Haridasan 2008). Além disso o alumínio pode ser considerado tóxico em pHs abaixo de 5, quando o Al³⁺ e (AlOH)²⁺ se solubilizam (Haridasan 2008). Tais características físico-química afetaram diferentemente o desenvolvimento das plântulas de *S. parahyba*. A

proporção de emergência de plântulas foi maior quando crescidas no solo de FES com relação ao CER e DEG. O desenvolvimento dos espécimes se diferiu em vários parâmetros fisiológicos e morfológicos, afetando tanto a produção de biomassa quanto sua alocação nas diferentes partes da planta. A partir destes parâmetros, foi possível observar plantas maiores e com maior vigor crescidas FES, e plantas menores e menos robustas crescidas em CER e DEG. *Schizolobium parahyba* apresentou melhor desenvolvimento em solo de fitofisionomia florestal do que em solo de fitofisionomias típicas de Cerrado, o que colocaria as formações florestais como uma das mais ameaçadas pela sua invasão.

A fase de embebição é fundamental para início do metabolismo germinativo, porém neste estudo, essa fase foi superada no processo de quebra de dormência. No caso do *S. parahyba*, após a fase de embebição, uma grande quantidade de carboidratos é hidratada para o processo germinativo, formando uma mucilagem translúcida oriunda do tégmen (Braga *et al.* 2013) e fundamental para que o embrião saia do endocarpo, mas que pode também ser utilizada por fungos do solo de forma oportunista. Um dos fatores que pode ter afetado a menor emergência de plântulas crescidas nos solos de Cerrado pode ser, possivelmente, a alta infestação por fungos fitopatogênicos, que afetaram drasticamente a abertura do cotilédone após protrusão radicular e, conseqüentemente, sua emergência. De fato, durante o processo de germinação, *S. parahyba* está suscetível a ação de uma variedade de fungos como *Trichoderma* sp., *Alternaria* sp. e *Aspergillus* sp. (Cherobini *et al.* 2010). Geralmente, o ataque por fungos reduz o índice de velocidade de germinação em sementes, e conforme a colonização e intensidade, chegam a inibir o final do processo germinativo (Dalling 2011).

Dentre os fatores mais importantes para uma germinação bem-sucedida, estão as condições ambientais adequadas para iniciar esse processo. Estudos apontam que fatores como o estado nutricional do solo, tão quão com o seu status hídrico, são essenciais para que ocorra a emergência das plântulas (Vereecken *et al.* 2016). Solos de formações savânicas como o cerrado *sensu stricto*, ou até mesmo o cerrado degradado em regeneração, apresentaram um menor índice de emergência de plântulas quando comparados ao solo de floresta. Do mesmo modo, estudos com *Hovenia dulcis*, uma invasora nos estágios sucessionais de floresta secundária (vegetação aberta, semi-aberta e fechada), também obtiveram emergência de plantas em vegetação florestal três vezes maior com relação às vegetações savânicas (Dechoum *et al.* 2015). Os solos dessas fitofisionomias diferem um do outro em diversas propriedades físico-químicas (ver

Tabela 1). Solos de formações florestais do Cerrado além de possuírem um pH menos ácido com menores quantidade de alumínio, possuem maior disponibilidade de fósforo e potássio além, de alto valor de matéria orgânica e elevada quantidade de íons de cálcio e de magnésio (Pinheiro *et al.* 2010; Maracahipes-Santos *et al.* 2017). Roy *et al.* (1988) demonstrou que o Al pode interferir no processo germinativo através das modificações causadas no metabolismo celular, relacionadas com a síntese protéica, permeabilidade à água, mobilização de lipídeos, divisão celular mitótica e síntese de parede celular.

A matéria orgânica no solo é uma importante fonte de nutrientes para a planta e desempenha outros papéis indiretos. É o fator mais importante na formação da estrutura edáfica, tem efeito fundamental sobre a capacidade de retenção de água do solo e determina fortemente as propriedades físico-químicas como capacidade de troca e propriedades tampão (Senn & Kingman 1973; Jones 1998). Estas propriedades são de grande importância na absorção de nutrientes (Senn & Kingman 1973), mas também para suprimir o efeito deletério da acidez do solo (Köhler *et al.* 2014), e reduzir a potencial adsorção de fósforo (Asher & Ozanne 1961; Guppy *et al.* 2005), um dos principais fatores nutricionais limitantes que a acidez do solo proporciona às plantas do Cerrado.

Como exposto inicialmente, o desenvolvimento de *S. parahyba* foi menor em solos de CER e de DEG, e maior em solo de FES. Em *H. dulcis*, Dechoum *et al.* (2015) obteve plantas 41% mais altas em florestas do que em savanas, resultado inverso ao da germinação da espécie no mesmo experimento que propiciou maior germinação de plantas em floresta do que em savanas. A altura de *H. dulcis* se contrapõem à de *S. parahyba*, possivelmente pelo fato do experimento de Dechoum *et al.* (2015) ter sido desenvolvido em campo, englobando demais fatores biótico e abióticos que as fitofisionomias podem proporcionar. Coneglian *et al.* (2016) avaliou o desenvolvimento de *S. parahyba* em solo de Cerrado com e sem fertilizantes, onde notou-se que plantas que cresceram em solo não fertilizado foram 39% mais baixa em relação a plantas que cresceram em solos fertilizados. Em um outro estudo utilizando diferentes disponibilidade fósforo em solo de Cerrado, Araújo *et al.* (2018) encontrou que o acréscimo de fósforo ao solo trouxe um incremento de 15% na altura das plantas.

Do mesmo modo que a altura, as plântulas de *S. parahyba* demonstraram o mesmo efeito sobre o acúmulo de biomassa. Coneglian *et al.* (2016) e Araújo *et al.* (2018) demonstraram que a disponibilização de nutrientes em solo de Cerrado elevaram o aporte de biomassa total nas plantas em 24% e 48%, respectivamente, tanto na massa seca aérea (MSA) (25% e 51%, respectivamente) quanto na massa seca radicular (27% e 33%,

respectivamente). A diferença na MSA demonstra a importância do fósforo para o melhor aporte de massa aérea na espécie, sendo esse o nutriente mais indisponível em solos de formações savânicas. A invasora exótica *Leucaena leucocephala* também apresentou maior acúmulo de biomassa em situação similar, sendo 34% maior em solo de Cerrado quando adicionado NPK se comparados a solo sem adição de NPK (Perez & Fanti 1999). A área foliar (AF) apresentou grande diferença entre FES e os dois demais, chegando a diferenças de até 40%. Corroborando com Perez & Fanti (1999) que também notaram, que *L. leucocephala* obteve maior AF em solo de Cerrado com NPK, 31% maior que em solos de Cerrado sem fertilizante. Mediante isso, pode-se ver que o estado nutricional do solo interfere diretamente no crescimento de *S. parahyba*. Neste estudo solos de FES apresentaram valores de fósforo e potássio superiores aos de CER e DEG, que quando acrescidos aos valores maiores de matéria orgânica deixam a fertilidade do solo de FES maior que ao solo de formações menos densa.

Solos de fitofisionomias florestais são mais férteis que solos de formações savânicas. Isso se deve ao elevado número de serviços ecossistêmicos que o gradiente florestal das fitofisionomias proporciona. Silva *et al.* (2007) mostraram que formações florestais acumulam ao ano até dez vezes mais serapilheira do que cerrado típico, e até 8 vezes mais que em cerrado denso. Serviços como esses potencializam a fertilidade dos solos de Cerrado, quanto mais denso o gradiente florestal, mais intenso os processos biogeoquímicos da fitofisionomia. Cremon *et al.* (2009), estudando os atributos de solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado, notaram que os solos de formações florestais têm em média 45% mais matéria orgânica, capacidade de troca catiônica 69% mais elevada e 67% mais cálcio, quando comparadas aos atributos do solo de formações savânicas. Aponta, ainda, que a emissão e o acúmulo de carbono nessas fitofisionomias florestais são cerca de 3 vezes maiores que em solos de Cerrados savânicos. Tais atributos potencializam o estabelecimento de plantas por influência direta no desenvolvimento, na fisiologia e até modulando a aptidão dos indivíduos, não só das populações nativas, mas de espécies invasoras, podendo assim com o tempo estabelecer populações que afetem a comunidade local (Dechoum *et al.* 2015).

Sabe-se que o excesso de Al inibe a absorção de outros nutrientes como Mg e Ca (Huang *et al.* 1992), prejudica funcionalmente a membrana plasmática alterando fosfolípidos e proteínas (Ishikawa *et al.* 1998; Watanabe & Osaki 2006) e inibe a atividade da fosfolipase C, que pode levar a um distúrbio na transdução de sinal e/ou dinâmica do citoesqueleto (Jones *et al.* 1995). Para prevenir ou evitar a toxicidade pelo

Al, espécies crescendo em solos ácidos desenvolvem mecanismos de exclusão ou tolerância às altas concentrações no tecido vegetal (Watanabe & Osaki 2006). A exclusão ocorre, na maior parte das vezes, pela exsudação de ácidos orgânicos (como citrato) pela raiz na rizosfera, neutralizando o Al antes de sua absorção (Matsumoto 2000). Já a tolerância, pode ocorrer pela ligação com substâncias orgânicas (como citrato) e consequente formação de complexos que Al-neutralizantes (Watanabe & Osaki 2006), pela compartimentalização em tecidos específicos como nas células epidérmicas que não participam diretamente das reações de fotossíntese (Haridasan 1986), ou no vacúolo das células do mesofilo (Watanabe *et al.* 1998; Cuenca *et al.* 1991). O fato é que, seja através da exsudação do Al pelas raízes (apesar da redução na biomassa total, foi observada uma manutenção no investimento no sistema radicular – RMR), seja pela formação de ligantes nos tecidos internos, as plantas crescidas nos solos de Cerrado parecem sofrer com o alto custo energético para neutralização do Al, apresentando altas taxas metabólicas (indicadas pelos maiores valores de AST, ver fig. 5).

4.1 Aspectos ecológicos

Alguns estudos têm mostrado que a natureza do uso da terra compromete em diferentes níveis a qualidade do solo, aumentando os níveis de escoamento e erosão (Anache *et al.* 2018). O uso e o manejo da terra afetam sua porosidade e densidade, o diâmetro médio das partículas e o conteúdo de carbono orgânico (Valim *et al.* 2016). Entretanto, solos provenientes de pastagens (como o solo da área de cerrado degradado em estágio sucessional de regeneração) apresentam taxas de escoamento e erosão menores que áreas provenientes de fins agrícola (Anache *et al.* 2018). Essa maior resistência tem sido atribuída às raízes fasciculadas, que promovem maior agregação do solo (Nacinovic *et al.* 2014) e justifica a similaridade dos resultados encontrados para a germinação e o desenvolvimento nos solos de CER e DEG.

A conversão das diferentes fitofisionomias de Cerrado a pastagens (ou outro uso da terra) pode ser prejudicial de diferentes formas. Por exemplo, áreas abertas podem ter comunidades de espécies afetadas devido ao manejo (aração), aplicação de fertilizantes, adição de calcário (Martha-Jr & Vilela 2002) ou mesmo compactação do solo pelo pisoteio de gado. Por outro lado, as formações arbóreas, como o Cerrado *sensu stricto*, quando cercados por pastagens, são ambientes que sofrem mais com a simplificação, pela supressão parcial ou total que prejudica muitas das associações entre animais e plantas

(Leite *et al.* 2016). Do mesmo modo, a homogeneização de formações florestais mais densas decorrentes da presença de plantas invasoras, além do prejuízo direto à vegetação nativa, pode causar alto impacto também às comunidades de animais (Queiroz *et al.* 2017).

Estudos de modelagem mostram que características como a saturação de bases e alumínio, acidez e textura nem sempre conseguem determinar categorias de solos entre as diferentes fitofisionomias do Cerrado (Maracahipes-Santos *et al.* 2017). Desta forma, utilizar apenas características edáficas como determinantes para explicar a variação da estrutura e composição da vegetação entre as fitofisionomias é insuficiente. Esta variação é explicada principalmente avaliando-se as características edáficas (tanto químicas como granulométricas) juntamente com o espaço em que ocorrem (Haridasan 2008). No estudo de ecologia experimental aqui desenvolvido, para intuir se o solo pode atuar como filtro ambiental no estabelecimento de plantas de *S. parahyba* em fitofisionomias de Cerrado, resolveu-se isolar o fator solo com uso de casa de vegetação, dispensando assim fatores ambientais como competição, luminosidade, temperatura e água. O tratamento sob o desenvolvimento de cada espécime do trabalho, foi composto exclusivamente das propriedades químicas e características físicas de cada solo. Apesar destas características não poderem ser utilizadas para definir as fitofisionomias, o presente estudo mostra que as características do solo podem inibir o crescimento de plântulas de *S. parahyba* em áreas savânicas, prejudicando tanto sua emergência, quanto as taxas de crescimento como um todo. Neste sentido, as formações florestais estariam muito mais propícias à invasão por *S. parahyba*.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdi H, Williams LJ. 2010. Principal component analysis. Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics 2: 433-459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Almeida-Neto M, Prado PI, Kubota U, Bariani JM, Aguirre GH, Lewinsohn TM. 2010. Invasive grasses and native Asteraceae in the Brazilian Cerrado. *Plant ecology* 209: 109-122. <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9727-8>
- Anache JAA, Flanagan DC, Srivastava A, Wendland EC. 2018. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. *Science of the Total Environment* 622-623: 140-151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.257>
- Anderson MJ. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>
- Araújo GM, Haridasan M. 1988. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in central Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19: 1075-1089. <https://doi.org/10.1080/00103628809367996>
- Araújo MS, Coneglian A, Hodecker BER, Pelá A, Nunes-Gonçalves R, Rocha EC. 2018. Initial growth of Brazilian Fire tree (*Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake) fertilized with phosphorus in Red-Yellow Latosol. *Australian Journal of Crop Science* 12: 1108-1113. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.07.PNE1035>
- Asher CJ, Ozanne PG. 1961. The cation exchange capacity of plant roots, and its relationship to the uptake of insoluble nutrients. *Australian Journal of Agricultural Research* 12: 755-766. <https://doi.org/10.1071/AR9610755>
- Athanázio-Heliodoro JC, Pacheco L, Gaiad N, Lara-Palma HA, Ballarin AW. 2018. Properties of young guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) wood from a forest recovery area. *Floresta e Ambiente* 25: 1-10. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.036616>
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Braga LF, da Costa-Oliveira AC, Marcílio SP. 2013. Morfometria de sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Schizolobium amazonicum* Huber (Ducke)-Fabaceae. *Científica* 41: 1-10. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2013v41n1p01-10>
- Brook BW, Sodhi NS, Bradshaw CJ. 2008. Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.011>
- Brunner I, Sperisen C. 2013. Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. *Frontiers in Plant Science* 4: 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00172>
- Carvalho PER. 2005. Guapuruvu: taxonomia e nomenclatura (Circular Técnica Embrapa Florestas, N.º 104, pp. 1-10). Colombo: Embrapa.
- Cherobini EAI, Lazarotto M, Muniz MFB, Girardi LB, Lippert DB, Maciel CG. 2010. Qualidade de sementes e mudas de *Schizolobium parahyba* procedentes do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. *Cerne* 16: 407-413. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000300017>
- Chow PS, Landhäuser SM. 2004. A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues. *Tree Physiology* 24: 1129-1136. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.10.1129>
- Colautti RI, Grigorovich IA, MacIsaac HJ. 2006. Propagule pressure: a null model for biological invasions. *Biological Invasions* 8: 1023-1037. <https://doi.org/10.1007/s10530-005-3735-y>
- Coneglian A, Ribeiro PH, Melo BS, Pereira RF, Dorneles-Junior J. 2016. Initial growth of *Schizolobium parahybae* in Brazilian Cerrado soil under liming and mineral fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20: 908-912. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p908-912>
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Pausas JG. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380. <https://doi.org/10.1071/BT02124>
- Cremon C, Mapeli NC, Franco PP, da Silva WM. 2009. Atributos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado Mato-grossense. *Agrarian* 2: 47-59. <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/930>

- Cuenca G, Herrera R, Mérida T. 1991. Distribution of Aluminium in Accumulator Plants by X-ray Microanalysis in *Richeria grandis* Vahl Leaves from a Cloud Forest in Venezuela. *Plant Cell Environmental* 14: 437-441. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb00954.x>
- Dalling JW, Davis AS, Schutte BJ, Elizabeth-Arnold A. 2011. Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community. *Journal of Ecology* 99: 89-95. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01739.x>
- Davidson AM, Jennions M, Nicotra AB. 2011. Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A meta-analysis. *Ecology Letters* 14: 419-431. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01596.x>
- de Abreu RC, Durigan G. 2011. Changes in the plant community of a Brazilian grassland savannah after 22 years of invasion by *Pinus elliottii* Engelm. *Plant Ecology & Diversity* 4: 269-278. <https://doi.org/10.1080/17550874.2011.594101>
- Dechoum MS, Zenni RD, Castellani TT, Zalba SM, Rejmánek M. 2015. Invasions across secondary forest successional stages: effects of local plant community, soil, litter, and herbivory on *Hovenia dulcis* seed germination and seedling establishment. *Plant Ecology* 216: 823-833. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0470-z>
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36:10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dinno A. 2015. Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *The Stata Journal* 15(1): 292-300. <https://doi.org/10.1177/1536867X1501500117>
- Donagema, GK, de Campos DB, Calderano SB, Teixeira WG, Viana JM. 2011. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E).
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PAT, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28:350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Guppy CN, Menzies NW, Moody PW, Blamey FPC. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Soil Research* 43: 189-202. <https://doi.org/10.1071/SR04049>
- Gutiérrez JL, Jones CG, Sousa R. 2014. Toward an integrated ecosystem perspective of invasive species impacts. *Acta Ecologica Sinica* 54: 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.10.003>
- Han C, Yang P. 2015. Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics* 15: 1671-1679. <https://doi.org/10.1002/pmic.201400375>
- Haridasan M. 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 20: 185-193. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>
- Haridasan M, Paviani TI, Schiavini I. 1986. Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species. *Plant and Soil* 94: 435-437. <https://doi.org/10.1007/BF02374336>
- Horowitz C, dos Santos-Oliveira A, da Silva V, Pacheco G, Sobrinho R.I. 2014. Manejo da flora exótica invasora no Parque Nacional de Brasília: contexto histórico e atual. *Biodiversidade Brasileira* 2: 217-236.
- Horowitz C, Martins CR, Walter BMT. 2014. Flora exótica no Parque Nacional de Brasília: levantamento e classificação das espécies. *Biodiversidade brasileira* 2: 50-73.
- Horton P, Ruban AV. 1992. Regulation of photosystem-II. *Photosynthesis Research* 34: 375-385. <https://doi.org/10.1007/BF00029812>
- Hothorn T, Bretz F, Westfall P, Heiberger RM, Schuetzenmeister A, Scheibe S, Hothorn MT. 2016. Package 'multcomp'. Simultaneous inference in general parametric models. Project for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://ftp5.gwdg.de/pub/misc/cran/web/packages/multcomp/multcomp.pdf>> Acessado em: 11 janeiro 2018
- Huang JW, Shaff JE, Grunes DL, Kochian LV. 1992. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminium-tolerant and aluminium-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology* 98: 230-237. <https://doi.org/10.1104/pp.98.1.230>

- Hughes CE. 2017. Are there many different routes to becoming a global biodiversity hotspot? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114: 4275-4277. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703798114>
- Hughes AR, Inouye BD, Johnson MTJ, Underwood N, Vellend M. 2008. Ecological consequences of genetic diversity. *Ecology Letters* 11: 609-623. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01179.x>
- Hulme PE. 2008. Phenotypic plasticity and plant invasions: is it all Jack? *Functional Ecology* 22:3-7. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01369.x>
- Husson F, Josse J, Le S, Mazet J. 2018. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. R Package Version 1.41. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>> Acessado em: 03 janeiro 2019
- IBN Brasil. 2019. Base de dados de espécies exóticas invasoras do Brasil, Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC. Disponível em: <<http://bd.institutohorus.org.br/www>> Acessado em: 08 março 2018
- Ishikawa S, Wagatsuma T. 1998. Plasma membrane permeability of root-tip cells following temporary exposure to Al ions is a rapid measure of Al tolerance among plant species. *Plant and Cell Physiology* 39: 516-525. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029399>
- IUCN, International Union for Conservation of Nature. 2016. Annual report 2016. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-001-v.1-En.pdf>> Acessado em: 18 abril 2018.
- Jones DL. 1998. Organic acids in the rhizosphere—a critical review. *Plant and Soil* 205: 25-44. <https://doi.org/10.1023/A:1004356007312>
- Jones DL, Kochian LV. 1995. Aluminum inhibition of the inositol 1,4,5-trisphosphate signal transduction pathway in wheat roots: a role in aluminum toxicity? *Plant Cell* 7: 1913-1922. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.11.1913>
- Köhler SJ, Lidman F, Laudon H. 2014. Landscape types and pH control organic matter mediated mobilization of Al, Fe, U and La in boreal catchments. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 135: 190-202. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.03.033>
- Lannes LS, Bustamante MM, Edwards PJ, Venterink HO. 2016. Native and alien herbaceous plants in the Brazilian Cerrado are (co-) limited by different nutrients. *Plant and Soil* 400: 231-243. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2725-9>
- Lapola DM, Martinelli LA, Peres CA, Ometto JPHB, Ferreira ME, Nobre CA, et al. 2013. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature Climate Change* 4: 27-35. <https://doi.org/10.1038/nclimate2056>
- Leite GL, Veloso RV, Zanuncio JC, Alonso J, Ferreira PS, Almeida CI, Fernandes GW, Serrão JE. 2016. Diversity of Hemiptera (Arthropoda: Insecta) and their natural enemies on *Caryocar brasiliense* (Malpighiales: Caryocaraceae) trees in the Brazilian Cerrado. *Florida Entomologist* 99: 239-247. <https://doi.org/10.1653/024.099.0213>
- Lichtenthaler HK, Miehe JA. 1997. Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. *Trends in Plant Science* 2: 316-320. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)89954-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)89954-2)
- Maracahipes-Santos L, Lenza E, Santos JO, Mews HA, Oliveira B. 2017. Effects of soil and space on the woody species composition and vegetation structure of three Cerrado phytophysiognomies in the Cerrado-Amazon transition. *Brazilian Journal of Biology* 77: 830-839. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02016>
- Martha-Jr G, Vilela L. 2002. Pastagens no Cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes. *Embrapa Cerrados*.
- Matheus MT, Lopes JC. 2007. Termoterapia em sementes de guapuruvú (*Schyzolobium parahyba* (Vell.) Blake). *Revista Brasileira de Biociências* 5: 330-332.
- Matsumoto H. 2000. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *International Review of Cytology* 200: 1-46. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(00\)00001-2](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(00)00001-2)
- Nacinovic MGG, Mahler CF, Avelar AS. 2014. Soil erosion as a function of different agricultural land use in Rio de Janeiro. *Soil & Tillage Research* 144: 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.002>

- Nisgoski S, de Muñiz GIB, Trianoski R, de Matos JLM, Venson I. 2012. Wood anatomical characteristics and paper resistance index of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake from experimental plant. *Scientia Forestalis* 40: 203-211.
- Olden JD, Poff NL, Douglas MR, Douglas ME, Fausch KD. 2004. Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends of Ecology and Evolution* 19: 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.09.010>
- Perez SCJGD, Fanti SC. 1999. Crescimento e resistência à seca de leucena em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 932-944. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000600003>
- Pinheiro MH, Azevedo TSD, Monteiro R. 2010. Spatial-temporal distribution of fire-protected savanna physiognomies in Southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 82: 379-395. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000200014>
- Pivello VR, Carvalho VMC, Lopes PF, Peccinini AA, Rosso S. 1999. Abundance and distribution of native and alien grasses in a “Cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve 1. *Biotropica* 31: 71-82. <https://doi.org/10.2307/2663960>
- Powell KI. 2013. The effects of invasive plants on biodiversity across spatial scales. P.h. Thesis, Washington University, St. Louis, USA. Disponível em: <<https://openscholarship.wustl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2200&context=etd>> Acessado em: 18 março 2018
- Powell KI, Chase JM, Knight TM. 2011. A synthesis of plant invasion effects on biodiversity across spatial scales. *American Journal of Botany* 98: 539-548. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000402>
- Queiroz ACM, Rabello AM, Braga DL, Santiago GS, Zurlo LF, Philpott SM, Ribas CR. 2017. Cerrado vegetation types determine how land use impacts ant biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 29: 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1379-8>
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. R version 3.5.1. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> Acessado em: 29 março 2018
- Razali NM, Wah YB. 2011. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics* 2: 21-33.
- Richardson DM, Pysek P, Rejmanek M, Barbour MG, Panetta D, West CJ. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6:93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Ribeiro JF, Walter BMT. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *Embrapa Cerrados*.
- Rocha SA, Garcia GO, Lougon MS, Cecílio RA, Caldeira MVW. 2014. Crescimento e nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. irrigadas com diferentes qualidades de água. *Revista de Ciências Agrárias* 37: 141-151.
- Rossi RD, Martins CR, Viana PL, Rodrigues EL, Figueira JEC. 2014. Impact of invasion by molasses grass (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) non native species and on fires in areas of campo-cerrado in Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 28: 631-637. <https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb3390>
- Roy AK, Sharma A, Talukder G. 1988. Some aspects of aluminum toxicity in plants. *The Botanical Review* 54(2): 145-178. <https://doi.org/10.1007/BF02858527>
- Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A, Leemans R. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Samac DA, Tesfaye M. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils—a review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 75: 189-207. <https://doi.org/10.1023/A:1025843829545>
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF. 2018. Sistema de Classificação de Solos, 5ª Edição. EMBRAPA, Brasília, Brasil: 251 pp.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9: 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Senn TL, Kingman AR. 1973. A review of humus and humic acids. *Research Series* 145: 1-5.

- Silva CJD, Sanches L, Bleich ME, Lobo FDA, Nogueira JDS. 2007. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de transição Amazônia-Cerrado do centro-oeste brasileiro. *Acta Amazonica* 37: 543-548. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400009>
- Strassburg BB, Brooks T, Feltran-Barbieri R, Iribarrem A, Crouzeilles R, Loyola R, Latawiec AE, Oliveira Filho FJB, Scaramuzza CAM, Scarano FR, Soares-Filho B, Balmford A. 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 1: 1-3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. 1995. Analysis of soil, plants and other materials. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre (Portuguese).
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. 2017. Manual de métodos de análise de solo. Brasília: Embrapa Solos.
- Terra MDCNS, Santos RM, Fontes MAL, de Mello JM, Scolforo JRS, Gomide LR, Prado-Junior JA, Schiavini I, ter Steege H. 2017. Tree dominance and diversity in Minas Gerais, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 26: 2133-2153. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1349-1>
- Turner NC. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and soil* 58: 339-366. <https://doi.org/10.1007/BF02180062>
- Valim WC, Panachuki E, Pavei DS, Alves Sobrinho T, Almeida WS. 2016. Effect of sugarcane waste in the control of interrill erosion. *Semina: Ciências Agrárias* 37: 1155. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p1155>
- Valladares F, Sanchez-Gomez D, Zavala MA. 2006. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology* 94: 1103–1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01176.x>
- Vereecken H, Schnepf A, Hopmans JW, Javaux M, Or D, Roose T, Allison SD. 2016. Modeling soil processes: Review, key challenges, and new perspectives. *Vadose Zone Journal* 15. <https://doi.org/10.2136/vzj2015.09.0131>
- Watanabe T, Osaki M, Yoshihara T, Tadano T. 1998. Distribution and Chemical Speciation of Aluminum in the Al Accumulator Plant, *Melastoma malabathricum* L. *Plant and Soil* 201: 165-173. <https://doi.org/10.1023/A:1004341415878>
- Wellburn AR. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* 144: 307-313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Wilcke W, Lilienfein J. 2005. Nutrient leaching in Oxisols under native and managed vegetation in Brazil. *Soil Science of Society American* 69: 1152-1161. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0350>
- Zenni RD, Ziller SR. 2011. An overview of invasive plants in Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 34: 431-446. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300016>
- Ziller SR, de Sá Dechoum M. 2014. Plantas e vertebrados exóticos invasores em unidades de conservação no Brasil. *Biodiversidade Brasileira* 2: 4-31.
- Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 3-14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>

Material suplementar

Tabela suplementar 1: Resumo da análise de variância dos parâmetros morfofisiológicos de *S. parahyba* crescidos em solos de floresta estacional semidecidual, cerrado degradado e cerrado *sensu stricto*.

Variável	Quadrado médio		Valor de F	Solos		
	Trat.	Res.		Floresta	Degradado	Cerrado
BIOM	20,60**	1,72	11,99	6,85 ± 1,06 ^A	4,65 ± 1,25 ^B	4,15 ± 1,39 ^B
MSF	3,79**	0,245	15,46	2,86 ± 0,4 ^A	2,02 ± 0,45 ^B	1,66 ± 0,54 ^B
MSC	2,04**	0,268	7,61	2,15 ± 0,46 ^A	1,33 ± 0,5 ^B	1,42 ± 0,51 ^B
MSR	0,55**	0,064	8,6	1,06 ± 0,26 ^A	0,68 ± 0,2 ^B	0,64 ± 0,26 ^B
ALT	125,63**	20,99	5,98	31,9 ± 4,3 ^A	26,2 ± 4,37 ^B	25,4 ± 4,14 ^B
DIAM	1,03 ^{ns}	0,363	2,85	6,3 ± 0,5 ^A	5,8 ± 0,47 ^A	5,7 ± 0,48 ^A
IQD	0,0048**	0,0008	5,915	0,124 ± 0,033 ^A	0,09 ± 0,024 ^B	0,083 ± 0,024 ^B
AF	128730,5**	12426,8	10,36	562,42 ± 88,66 ^A	444,73 ± 105,29 ^{AB}	335,55 ± 120,85 ^B
AFE	427,32 ^{ns}	803,21	0,53	270,54 ± 16,29 ^A	277,08 ± 30,72 ^A	283,62 ± 30,97 ^A
RAF	503,79 ^{ns}	395,27	1,27	144,25 ± 12,91 ^A	157,26 ± 18,29 ^A	145,83 ± 23,79 ^A
RMF	0,008**	0,001	7,63	0,533 ± 0,023 ^{AB}	0,568 ± 0,03 ^A	0,512 ± 0,037 ^B
RMC	0,0087**	0,0009	8,92	0,312 ± 0,032 ^{AB}	0,279 ± 0,034 ^B	0,338 ± 0,021 ^A
RMR	0,00006 ^{ns}	0,00092	0,068	0,155 ± 0,029 ^A	0,153 ± 0,031 ^A	0,150 ± 0,026 ^A
RAD	143,53 ^{ns}	54,803	2,62	51,18 ± 8,29 ^A	46,39 ± 7,22 ^A	43,7 ± 5,19 ^A
TRA	149,91 ^{ns}	60,051	2,49	68,03 ± 7,3 ^A	75,76 ± 7,87 ^A	71,49 ± 6,85 ^A
CLA	15,28 ^{ns}	50,07	0,305	18,48 ± 2,92 ^A	18,05 ± 9,29 ^A	16,16 ± 6,35 ^A
CLB	1,805 ^{ns}	4,52	0,399	5,38 ± 0,83 ^A	4,75 ± 2,58 ^A	5,57 ± 2,2 ^A
CLT	11,405 ^{ns}	82,65	0,138	23,86 ± 3,21 ^A	22,8 ± 11,84 ^A	21,72 ± 8,52 ^A
CAR	1,65 ^{ns}	1,34	1,23	3,81 ± 0,67 ^A	3,9 ± 1,52 ^A	3,16 ± 0,93 ^A
CLA/CLB	2,43*	0,35	7,0	3,5 ± 0,79 ^{AB}	3,6 ± 0,5 ^A	2,9 ± 0,26 ^B
CLT/CAR	3,89*	1,12	3,46	6,32 ± 0,69 ^{AB}	5,5 ± 1,19 ^B	6,73 ± 1,07 ^A
AMI	0,0002**	0,00002	11,53	0,026 ± 0,003 ^A	0,021 ± 0,005 ^A	0,016 ± 0,005 ^B
N	2,92**	0,47	6,197	3,76 ± 0,38 ^{AB}	4,23 ± 0,86 ^A	3,15 ± 0,62 ^B
AST	0,00002**	0,000005	5,57	0,0122 ± 0,001 ^B	0,0153 ± 0,003 ^A	0,0146 ± 0,002 ^{AB}
PSA	0,000003 ^{ns}	0,000001	2,501	0,0036 ± 0,001 ^A	0,0039 ± 0,001 ^A	0,0028 ± 0,001 ^A
F0	38,56 ^{ns}	42,79	0,901	61,65 ± 6,62 ^A	60,16 ± 7,74 ^A	56,66 ± 4,96 ^A
FM	2786,0 ^{ns}	1571,0	1,773	290,33 ± 40,45 ^A	247,0 ± 52,74 ^A	269,66 ± 17,21 ^A
FP	4447,0 ^{ns}	2913,0	1,526	303,16 ± 62,91 ^A	250,0 ± 67,52 ^A	266,83 ± 14,91 ^A
FV/FM	0,0022 ^{ns}	0,0008	2,561	0,783 ± 0,018 ^A	0,750 ± 0,048 ^A	0,784 ± 0,006 ^A
NPQ	0,1193 ^{ns}	0,2278 ^{ns}	0,524	1,24 ± 0,29 ^A	1,49 ± 0,61 ^A	1,48 ± 0,46 ^A
RFD	0,4208 ^{ns}	0,2056 ^{ns}	2,047	1,49 ± 0,23 ^A	2,02 ± 0,54 ^A	1,78 ± 0,52 ^A

*significativo pelo teste t $p \leq 0,05$, **significativo pelo teste t $p \leq 0,01$, ^{ns}não significativo pelo teste t com nível de significância a 0,05 de probabilidade. Letras diferentes na mesma linha tratamentos se diferem pelo teste de Tukey. BIOM = Biomassa (g); MSF = Massa seca foliar (g); MSC = Massa seca caulinar (g); MAS = Massa seca da parte aérea (g); MSR = Massa seca radicular (g); ALT = Altura da planta (cm); DIAM = Diâmetro do caule (mm); IQD = Índice de Qualidade de Dickson; AF = Área foliar (cm²); AFE = Área foliar específica (cm².g⁻¹); RAF = Razão da área foliar (cm².g⁻¹); RPAR = Relação parte aérea/radicular (g.g⁻¹); RMF = Razão da massa foliar (g.g⁻¹); RMC = Razão da massa caulinar (g.g⁻¹); RMR = Razão da massa radicular (g.g⁻¹); RAD = Relação altura/diâmetro (cm.cm⁻¹); TRA = Teor relativo de água na folha (%); CLA = Clorofila a (µg.cm⁻²); CLB = Clorofila b (µg.cm⁻²); CAR = Carotenoides (µg.cm⁻²); CLT = Clorofilas totais (µg.cm⁻²); AMI = Amido (mg.g⁻¹); N = Nitrogênio (%); AST = Açúcares solúveis total (mg.g⁻¹); PSA = Polissacarídeos solúveis em água; F0 = Fluorescência mínima (µm.m⁻².s⁻¹); FM = Fluorescência máxima (µm.m⁻².s⁻¹); FP = Fluorescência de pico (µm.m⁻².s⁻¹); FV/FM = Rendimento quântico de PSII (µm.m⁻².s⁻¹); NPQ = Estado não-fotoquímico; RFD = Relação de declínio da fluorescência.