

VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE DUAS ESPÉCIES DE CERRADO EM RELAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS DO SOLO EM DUAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Dhyana Costa (IC) e Leandro Tavares Azevedo Vieira (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

Duas espécies de cerrado, a *Dalbergia miscolobium* Benth. (Fabaceae) e *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. (Calophyllaceae), foram analisadas em relação aos atributos funcionais área foliar, área foliar específica (AEF), espessura, conteúdo de massa seca foliar (CMS), densidade específica do súber e concentração de clorofila em fitofisionomias de campo sujo e cerrado *stricto sensu* de dois locais diferentes do estado de São Paulo. De cada um dos oito pontos amostrados foi coletado uma amostra de solo para determinação da quantidade de matéria orgânica, pH e coeficiente de curvatura. O teste ANOVA e Análises de Redundância Canônica foram aplicadas às variáveis dos atributos funcionais e do solo. A AEF, teor de Clorofila A e o conteúdo de massa seca foliar foram os atributos funcionais mais variaram significativamente entre os locais. E os atributos do solo que mais explicaram essa variação foram o pH e quantidade de matéria orgânica. Apesar de ambas espécies apresentarem variação semelhantes seus em atributos funcionais, a estratégia e intensidade de resposta foi diferente, principalmente em relação a AEF, em que a *D. miscolobium* apresentou ampla variação enquanto que a *K. coriacea* variou menos em comparação.

Palavras-chave: Área específica foliar, Conteúdo de massa seca foliar, Clorofila A

ABSTRACT

Two species of cerrado, *Dalbergia miscolobium* Benth. (Fabaceae) and *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. (Calophyllaceae), were analyzed in campo sujo and cerrado *stricto sensu* phytophysionomies from two different locations in the state of São Paulo. The functional traits measured were leaf area, specific leaf area (AEF), leaf thickness, leaf dry matter (CMS), specific suber density and chlorophyll concentration. A soil sample was collected from each of the eight sampled points to determine the amount of organic matter, pH and curvature coefficient. The ANOVA test and Canonical Redundancy Analysis were applied to the variables of the functional traits and the soil. The functional traits that most varied between location were AEF, Chlorophyll A content and leaf dry matter content. And the soil variables that explained most of functional traits variation were pH and the amount of organic matter. Although both species showed similar variation among functional traits, the response strategy and intensity was different, especially to AEF, in which *D. miscolobium* showed wide variation while *K. coriacea* varied less when compared.

Keywords: Leaf Specific Area, Leaf dry matter, Chlorophyll A

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e ações antrópicas de degradação do ambiente vem se tornando cada vez mais intensas e a sobrevivência das plantas nesse contexto depende da sua capacidade de responder às novas condições. Entender as variações fenotípicas é entender os limites adaptativos das espécies e as diferentes estratégias que as plantas podem apresentar como resposta rápida à variação ambiental, garantindo seu sucesso na perpetuação da espécie. Esse conhecimento é fundamental para se fazer planos de manejo, restauração e modelagens de nicho ecológico visando a conservação da biodiversidade (CHEVIN; LANDE; MACE, 2010).

O objetivo do presente estudo foi investigar a hipótese de que as espécies vegetais de formações savânicas de cerrado respondem em seus atributos funcionais às variações ambientais, em especial às características de solo de cada fitofisionomia. Foram comparados os atributos do solo (quantidade de matéria orgânica, pH, coeficiente de curvatura) com os atributos funcionais (área foliar, área foliar específica (AEF), espessura, conteúdo de massa seca foliar (CMS), densidade específica do súber e concentração de clorofila) das espécies *Dalbergia miscolobium* Benth. (Fabaceae) e *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. (Calophyllaceae). Amostrados em diferentes fitofisionomias de diferentes localidades.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul ocupando 22% do território brasileiro (BRASIL, 2019). Localizado no Planalto Central, é considerado um “hotspot” para conservação, termo se relaciona a quantidade de espécies endêmicas e ao alto nível de degradação de um bioma (MYERS et al. 2000). São 12.669 espécies de plantas vasculares distribuídas pelas diferentes fitofisionomias de cerrado e 33,3% são endêmicas do bioma (FORZZA et al. 2012). As diversas nascentes presentes no território e as fisionomias savânicas e campestres são responsáveis pela recarga hídrica de grandes bacias hidrográficas como a Amazônica, Atlântico Norte/Nordeste, São Francisco, Atlântico Leste e Rios Paraná/Paraguai. (SCARIOT; SOUSA-SILVA; FELFILI, 2005 e DURIGAN G. et al, 2018). Segundo Machado et al (2011) há uma perda de 2,2 milhões de hectares por ano de áreas nativas, por conta de ações antrópicas. Consequentemente, mudanças no ambiente resultam em mudanças no ecossistema e na ciclagem da água e nutrientes.

De maneira geral, o tipo climático que predomina no Cerrado, segundo a classificação de KÖPPEN, é o Aw (Tropical úmido com clima de savana), a estação seca é bem definida, de setembro a outubro (inverno), e a chuvosa, de dezembro a fevereiro (verão), com as médias das temperaturas entre 24°C e 33°C (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008). Os solos do Cerrado são em sua maioria de caráter álico, isto é, apresentam 50% ou mais de

saturação por alumínio, e cerca de 47% é classificado como Latossolo (Vermelho-Amarelo ou Vermelho), profundo, de composição predominantemente mineral, proveniente do intemperismo da rocha mãe, e varia sua capacidade de drenagem de acordo com a textura (REATTO et al. 2008).. As fisionomias do cerrado são delimitadas pela interação de fatores bióticos como densidade, tipo e dinâmica das populações com fatores abióticos, como relevo, microclimas, frequência de queimadas, disponibilidade de água, composição e profundidade do solo (RIBEIRO et al, 2008)

O solo é um sistema dinâmico que sofre constante adição, remoção e translocação de minerais, gases, água com íons dissolvidos, radiação solar e matéria orgânica. Intemperismo e atividade biológica promovem transformações na composição e estrutura do sistema (SANTOS, 2018). A qualidade do solo é determinada pela sua capacidade e de sustentar e promover aumento da qualidade ou manutenção dos componentes do ecossistema em que está presente (KARLEN et al, 1997). As características do solo são fundamentais para o desenvolvimento da planta e determinam a penetração das raízes e disponibilidade de água e nutrientes (SANTOS, 2018). A disponibilidade de nutrientes vai variar também de acordo com o pH do solo e com os microrganismos presentes, capazes de mineralizar os compostos orgânicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As fitofisionomias do cerrado são descritas como um gradiente que vai do campo limpo passando pelas formações savânicas ecotonais e chegando a floresta xeromórfica conhecida como Cerradão. O campo sujo (cs) e cerrado *stricito sensu* (ss) são os ecótonos que fazem encontro com o campo limpo e o cerradão respectivamente. A variação da vegetação ao longo das fisionomias está diretamente relacionado com a disponibilidade de recursos hídricos, nutricionais e da frequência de incêndios no solo. (COUTINHO, 1978). Em regiões de pouca limitação, o ambiente favorece o crescimento de mais indivíduos de espécies arbóreo arbustivas, formando o ss. Já quando o fogo se torna um fator limitante as espécies que tendem a sobreviver são herbáceas e alguns indivíduos arbóreos arbustivos, como é o caso da *Dalbergia miscolobium* Benth. (Fabaceae) e *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. (Calophyllaceae). Ambas são decíduas e apresentam mecanismos de resistência ao fogo, como estratégias armazenamento de fotoassimilados e nutrientes nas raízes, que muitas vezes permite o rebrotamento após a perda total ou parcial da parte aérea. (BARROS et al., 2011 e SCARLOT; SOUSA-SILVA; FELFILLI, 2005 e COUTINHO, 1978)

As plantas são capazes responder fenotipicamente às mudanças ambientais garantindo sucesso no seu desenvolvimento e reprodução em ambientes heterogêneos. A plasticidade fenotípica possibilita adaptações relativamente rápidas, uma vez que indivíduos da mesma espécie podem expressar o mesmo genótipo de diversas formas em resposta ao seu ambiente (SULTAN, 1995), permitindo às espécies diferentes estratégias como a

alocação de biomassa, mudanças na estrutura, quantidade e tamanho dos órgãos (SULTAN, 2002). O solo é um dos fatores que influencia diretamente no desenvolvimento da planta, determinando sua estabilidade no substrato e obtenção de água e nutrientes. Diversos estudos já relataram variação nos atributos funcionais de algumas espécies em resposta a gradientes de disponibilidade hídrica, nutricional e luminosa, e até entre diferentes biomas e fitofisionomias (BELL; SULTAN, 1999 e BARROS et al., 2011 Cássia-Silva et al (2017) e AMORIM; JÚNIOR, 2016)

Apesar do alto investimento em estruturas subterrâneas ser uma característica comum as espécies lenhosas do cerrado (SCARLOT; SOUSA-SILVA; FELFILLI, 2005), esse não é um atributo fácil de se medir em ambiente naturais. Já os atributos foliares são relativamente fáceis de se medir e permitem entender melhor a estratégia que a planta está utilizando para obter recursos em seu ambiente. Esse conhecimento é fundamental entender os processos evolutivos e como realizar planos de manejo e restauração em ambientes degradados, além de modelagens de nicho ecológico visando a conservação da biodiversidade.

3. METODOLOGIA

Foram selecionadas duas áreas de estudo. O Parque Estadual do Juquery (PEJy), criado em 1993, ocupa 2058,96 hectares do estado de São Paulo nas coordenadas 23°19' - 23°25'S e 46°45' - 46°35'W. O clima é Cf pela classificação de Koppen, temperado úmido sem estação seca, com temperaturas médias variando entre 18-21 dependendo da altitude. A pluviosidade média anual de 1.200 a 2.000 mm, sendo os meses de abril a agosto os que menos chove (BAITELLO et al, 2013 e MOROZ; CANIL; ROSS, 2011). A altitude varia em média entre 730 e 930 m e o ponto mais alto se encontra a 1.170 m no Morro do Juquery (AB'SABER, 1978 apud BAITELLO, 2013 e ROSS; MOROZ, 1997). O solo dessa região é predominantemente argissolo vermelhos e vermelho-amarelos de textura arenosa/média de profundidade variada (OLIVEIRA et al, 1999 e BAITELLO et al, 2013).

A Estação Ecológica e Experimental de Itirapina, instaurada em 1957 com 3212,81 hectares, está localizada no estado de São Paulo nas coordenadas 22°10'-22'S e 47°45'-48°00'W e com altitudes variando de 700 a 827 metros. Apesar de uma parte da propriedade ser destinada ao reflorestamento de *Pinus* spp, é um dos poucos locais ainda preservados da região, que teve o solo compactado pela intensa pastagem. (BAITELLO, 2006) O clima da região é Cwa na classificação de Koppen, mesotérmico com inverno seco, temperatura média de 18C° - 22C° e precipitação média anual de 1.457,9 mm (SILVA, 2005). O solo é predominantemente arenoso e bem drenado, com a alta capacidade de retenção de água. Essa propriedade do solo faz com que a região seja de extrema importância para o abastecimento do aquífero Guarani. (BAITELLO, 2006)

Com base em levantamentos florísticos nas áreas de estudo (SANTOS; SERAFIM; SANO, 2011 e BAITELLO et al, 2013 e SANTANA et al, 2011), foram selecionadas duas espécies que ocorrem nas duas localidades, e são elas: *Dalbergia miscolobium* Benth. (Fabaceae) e *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. (Calophyllaceae). As espécies foram selecionadas por serem bastante representativas na vegetação, ocorrerem em diversas fitofisionomias de cerrado.

Foram analisados atributos funcionais de cinco indivíduos adultos de cada espécie, em duas fitofisionomias, cerrado *stricto sensu* (s.s.) e campo sujo (c.s.), e em cada uma das áreas de estudo. Portanto, foram coletados dados de 40 indivíduos em oito áreas amostrais. Os atributos funcionais avaliados foram altura, diâmetro à altura do solo, área foliar, área foliar específica, espessura foliar, conteúdo de massa seca foliar, densidade específica de caule e do súber e concentração de clorofila. Para a mensuração de alguns dos atributos funcionais, foram coletados de cada indivíduo, cinco ramos com folhagem relativamente nova, mas totalmente expandida, evitando ramos com folhagens que apresentem sinais de patógenos, ataques de herbívoros ou danos físicos, dando preferência para as folhagens mais externas da planta (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al, 2013). Seguindo as orientações do guia de Garnier et al. (2001), as coletas foram feitas entre as 9h30 e 16h30 e entre os meses de outubro e março, em que a precipitação média é mais elevada,. As amostras foram armazenadas no escuro, mas diferente do protocolo, foram organizadas em prensas, visando a conservação da estrutura foliar durante o transporte. As análises dos atributos foliares foram feitas assim que chegaram ao laboratório (GARNIER et al., 2001). O critério de seleção dos indivíduos foi a altura similar entre os indivíduos da mesma área amostrada. As medições dos atributos funcionais selecionados seguiram Pérez-Harguindeguy et al (2013).

A altura, expressa em metros, foi medida a partir da superfície do solo até os limites superiores do principal tecido fotossintetizante, sem contar inflorescências. A altura foi coletada com auxílio de uma fita métrica para os indivíduos de até 2 metros e uma estimativa visual foi feita para os indivíduos maiores. O diâmetro à altura do solo foi calculado a partir do perímetro a altura do solo medido com uma fita métrica.

Já a espessura, em milímetros, para uma boa comparação interespecífica, se estabeleceu um padrão na posição do micrômetro digital para todas as amostras. Uma posição intermediária entre a borda e a nervura primária. Nas folhas dos indivíduos da espécie *Dalbergia miscolobium* Benth. três medidas foram realizadas utilizando um folíolo da base, ápice e um intermediário. Já para os indivíduos da espécie *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. as três medidas foram realizadas na folha, sendo uma no ápice, base e intermediário.

Para medir a contratação de clorofila “A” e clorofila “B”, foi utilizado um clorofilômetro portátil (Falker ClorofiloG) um medidor eletrônico do teor de clorofila, diretamente na folha da planta. A posição em que foi feita a leitura foi a mesma da espessura foliar, uma posição intermediária entre a borda e a nervura primária e três medidas entre a base e ápice foliar.

A densidade específica de caule e do súber foi calculada pela massa seca de uma secção de 6 cm do súber dividida pelo volume da mesma secção ainda fresca (expressa em mg mm^{-3} ou kg dm^{-3}). Para medir o volume da amostra fresca, em um recipiente grande o suficiente para caber a amostra, colocou-se água destilada. Depois de determinado o peso, tarou-se a balança e com o auxílio de uma pinça, a amostra foi submergida, tomando cuidado para que não tocasse nas laterais ou fundo do recipiente e o valor do peso foi registrado. Para a massa seca, a amostra foi colocada na estufa a 50°C por 72h e depois pesada direto na balança.

O conteúdo de massa seca foliar (CMS), expresso em mg g^{-1} , foi calculado dividindo a massa seca pela massa fresca da folha. Para medição da massa fresca e seca foliar a folha foi cortada do ramo e o mesmo procedimento usado na medição da densidade do súber foi adotado. Para o cálculo da área foliar, os ramos coletados foram digitalizados com auxílio de uma câmera fotográfica. Cada ramo foi fotografado ao lado de uma guia de separação de cores e régua de alta precisão, que serviu para criar a escala adequada para o cálculo da área foliar utilizando o software ImageJ (ABRAMOFF; MAGALHÃES; RAM, 2004). A área específica foliar (AEF) foi calculada a partir da área foliar dividida pelo conteúdo de massa seca foliar.

A coleta de amostras do solo foi feita a partir da escavação de pequenas áreas, com auxílio de uma pá de mão, retirando 100 gramas de solo à uma profundidade de 15 cm (SANTOS, 2005). Uma amostra de solo de cada uma das oito áreas amostrais foi coletada e avaliada em relação ao coeficiente de curvatura, quantidade de matéria orgânica e pH. O coeficiente de curvatura foi determinado através da análise granulométrica por peneiramento série Tyler. Para o pré-preparo, o destorroamento da amostra foi feito, manualmente com o uso de pistilos, para que não comprometa as partículas minerais (EMBRAPA, 2012). O agitador com as peneiras da série Tyler ficou ligado por 15 minutos e as frações obtidas em cada uma das aberturas das peneiras (1 mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,063) foram utilizadas na curva granulométrica para determinar o coeficiente de curvatura, que irá apresentar valores entre 1 e 3 se o solo for bem graduado, indicando que há uma distribuição proporcional entre o tamanho das partículas. Esse tipo de solo apresenta alta resistência quando compactado. (VIANA, 2016). O pH do solo foi determinado usando 10 cm^3 de amostra e 25 ml de água destilada. Os componentes foram colocados em um recipiente cilíndrico de plástico com tampa e agitou-se por 15 minutos. Após calibrar o eletrodo de vidro com soluções

tampão para pH 4,0 e 7,0, submergiu-se o medidor no sobrenadante da solução amostral sem agitar e esperou-se 30 minutos para fazer a leitura (CAMARGO et al, 2009).

O procedimento para avaliação do teor de matéria orgânica seguiu a norma NBR 13600. Transferiu-se 30 gramas de amostra para um cadinho que foi colocado na estufa à 105°C-110°C. Após 24h, colocou-se no dessecador até atingir temperatura ambiente e então o peso do cadinho foi registrado. Os cadinhos foram então colocados na mufla com aumento de temperatura gradual até 440°C por 12h. Dado o tempo, retirou-se da mufla e o cadinho foi colocado no dessecador até atingir temperatura ambiente e então foi pesado. O cadinho foi lavado secado na estufa e pesado novamente para obter seu peso sem amostra e subtrair esse valor das pesagens pós-estufa e pós-mufla. O cálculo do teor de matéria orgânica do solo foi feito através da expressão: $MOS = ([B/A] - 1) \cdot 100$, sendo “A” o peso da amostra pós-estufa e “B” o peso da amostra pós-mufla. (ABNT, 1996)

Para todos os atributos funcionais das plantas foram calculadas suas respectivas médias e desvio-padrões por espécie em cada área amostral. Foram considerados a média quando o atributo funcional foi realizado em mais de uma medição por indivíduo, por exemplo, a média da área foliar nos cinco ramos por indivíduo. Os atributos funcionais das espécies em cada fitofisionomia e cada localidade foram mostrados por meio de diagramas de caixa, a fim de caracterizar as estratégias fenotípicas utilizadas pelas duas espécies de cerrado. Para testar a hipótese de que o atributo funcional, para cada espécie, varia em função da fitofisionomia e em função da área de estudo, foi realizado o teste de Análise de Variância de dois fatores ao nível de significância de 5% e os resultados apresentados junto aos gráficos de diagramas de caixa. A correlação entre os atributos funcionais e as variáveis de solo foi avaliada através vários testes de correlação de Pearson realizados ao nível de significância de 5% e foram apresentados juntamente com a interpretação da análise de redundância canônica (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

A fim de identificar padrões na relação entre os atributos funcionais das duas espécies com as localidades e atributos do solo, foram empregadas técnicas de análises multivariadas. Como os atributos funcionais e do solo apresentam diferentes unidades de medida, os dados dos atributos do solo e funcionais foram previamente padronizados pela subtração da média de todos os indivíduos e divisão pelo desvio padrão (LEGENDRE, 2012). A análise dos componentes principais (PCA) foi usada para determinar a relação entre os atributos funcionais e apontar qual contribuiu mais para a variação do seu grupo. As análises de PCA foram rodadas no R (R Core Team, 2019) com o pacote “FactoMineR” e “shiny” que calcularam o valor de correlação e significância para a distribuição dos atributos ao longo dos eixos. Já as análises de redundância canônica (RDA) foram aplicadas para determinar a contribuição que cada atributo do solo teve para explicar a variação dos atributos funcionais

do seu ponto amostral. As análises foram feitas considerando as duas espécies juntas e separadas para se ter uma melhor comparação intra e interespecífica. As análises de correlação e de RDA foram realizadas no R usando o pacote “vegan”. (Lê; JOSSE; HUSSON, 2008 e OKSANEN, 2019 e CHANG et al., 2020)

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A média da concentração de clorofila A (Figura 1A) variou significativamente em ambas espécies em relação aos locais, mas não em relação a fitofisionomia, sendo a *K. coriacea* do Parque Estadual do Juquery maior que a da Estação Ecológica de Itirapina ($p=0,022$ $F=6,364$). Já para a *D. miscolobium* a clorofila A foi maior na EEEI que no PEJy ($p=0,000$ $F=142,6$). Em relação a Clorofila B (Figura 1B) ($p=0,000$ $F=47,79$) e a espessura (Figura 1C) ($p=0,001$ $F=14,07$), apenas a *D. miscolobium* apresentou diferença quanto aos locais, em que os valores da EEEI foram maiores do que no PEJy. Além disso, a espessura foliar de *D. miscolobium* na EEEI foi o único atributo que variou em relação a fitofisionomia, sendo a do cerrado *stricto sensu* maior que do campo sujo. Já a área foliar não apresentou diferenças significativas em ambas espécies, tanto em relação à localização quanto a fitofisionomia. O conteúdo de massa seca foliar (MSF) (Figura 1D) de *K. coriacea* ($p=0,000$ $F=44,75$) e *D. miscolobium* ($p=0,001$ $F=14,08$) apresentaram valores maiores na EEEI. A mesma diferença foi encontrada na densidade específica do súber (Figura 1E), em que tanto a *K. coriacea* ($p= 0,001$, $F= 14,08$) quanto a *D. miscolobium* ($p= 0,000$, $F= 45,32$) de EEEI foram maiores. O contrário aconteceu em relação a Área foliar específica (AEF) (Figura 1F), em que *D. miscolobium* ($p= 0,000$, $F= 51,14$) e *K. coriacea* ($p= 0,000$, $F= 26,7$) apresentaram valores maiores no PEJy que na EEEI.

Em relação aos atributos de solo amostrados, para o PEJy e EEEI respectivamente, a média do pH foi de 4,76 (desvio padrão=0,66) e 4,13 (dp= 0,038). A média do Coeficiente de Curvatura (CC) foi de 1,42 (dp= 0,12) e 1,26 (dp= 0,08). Já a média do índice de quantidade de matéria orgânica do solo (MO) foi de 0,089 (dp= 0,031) e 0,011 (dp= 0,002). Os dados de cada amostra estão Tabela 1.

Na análise de componente principal dos atributos funcionais, o eixo X explicou a maior parte da variação (52,86%), sendo possível identificar a separação entre as espécies, *D. miscolobium* à esquerda na ordenação e *K. coriacea* à direita (FIGURA 2A). Os atributos que mais contribuíram nesse eixo foram a espessura ($p<0.000^{***}$), área foliar ($p<0.000^{***}$) e AEF ($p<0.000^{***}$) (FIGURA 2B). Já o segundo componente principal, que explicou 20,10% da variação, foi mais influenciado pelo local ($p<0.000^{***}$) sendo as espécies do PEJy ordenadas na parte inferior e da EEEI na parte superior do plano cartesiano.

A análise de redundância canônica com a *D. miscolobium* e a *K. coriacea* (Figura 3A) reafirmou a separação entre as espécies ao longo do eixo X, e entre os locais ao longo do eixo Y. Os atributos do solo apresentaram correlação positiva, sendo o pH o atributo que mais contribuiu para explicar o primeiro eixo. O pH do solo se correlacionou positivamente com a AEF ($p < 0.05$, $r = 0,96$) e negativamente com a clorofila A ($p < 0,05$, $r = -0,86$). Já o conteúdo de massa seca foliar (CMS) e a espessura mostram uma relação negativa com a quantidade de matéria orgânica do solo no RDA, mas nos testes de correlação só foram significativos para o CMS ($p < 0.05$, $r = -0,84$). A análise de redundância canônica aplicada apenas para *D. miscolobium* (Figura 3B) permitiu visualizar a separação dos locais ao longo do eixo X e das fitofisionomias ao longo do eixo Y, no qual os indivíduos do cerrado *stricto sensu* ficaram localizados nos quadrantes inferiores e os indivíduos de campo sujo nos quadrantes superiores. Houve correlação entre os atributos do solo, pH e MO, positivamente com o atributo foliar AEF ($p < 0.05$, respectivamente $r = -0,99$, $r = -0,97$) e negativamente com clorofila A ($p < 0.05$, $r = -0,97$, $r = -0,99$). Já o CMS se correlacionou negativamente com o MO ($p < 0,05$, $r = -0,98$). Já na análise RDA feita apenas para *K. coriacea* (Figura 3C), apresentou separação dos locais ao longo do eixo X e das fitofisionomias ao longo do eixo Y, assim como aconteceu com *D. miscolobium*, com concentração do campo sujo nos quadrantes superiores. A concentração de clorofila A se relacionou negativamente com pH ($p = 0,83$) e o CMS com quantidade de matéria orgânica do solo ($p = 0,29$) no RDA, mas nos testes de correlação de Pearson não foram significativos. O coeficiente de curvatura (CC) foi o atributo do solo que mais explicou a variação do eixo Y, e ao longo desse eixo houve a separação das fitofisionomias quando as espécies foram analisadas separadamente (Figura 3B e 3C), mas não quando analisadas juntas (Figura 1A). Além disso, os atributos funcionais não variaram de forma significativa entre as fitofisionomias para se estabelecer uma relação consistente.

Os valores da Área Específica Foliar (AEF) maiores e do Conteúdo de Massa Seca foliar (CMS) menores do PEJy em relação a EEEI foram os padrões encontrados nos resultados das duas espécies. Como mostram as análises ANOVA e RDA, houve correlação positiva da quantidade de matéria orgânica do solo com a AEF e correlação negativa com o CMS. Estudos apontam que o CMS tende a ser maior em indivíduos que se desenvolvem em

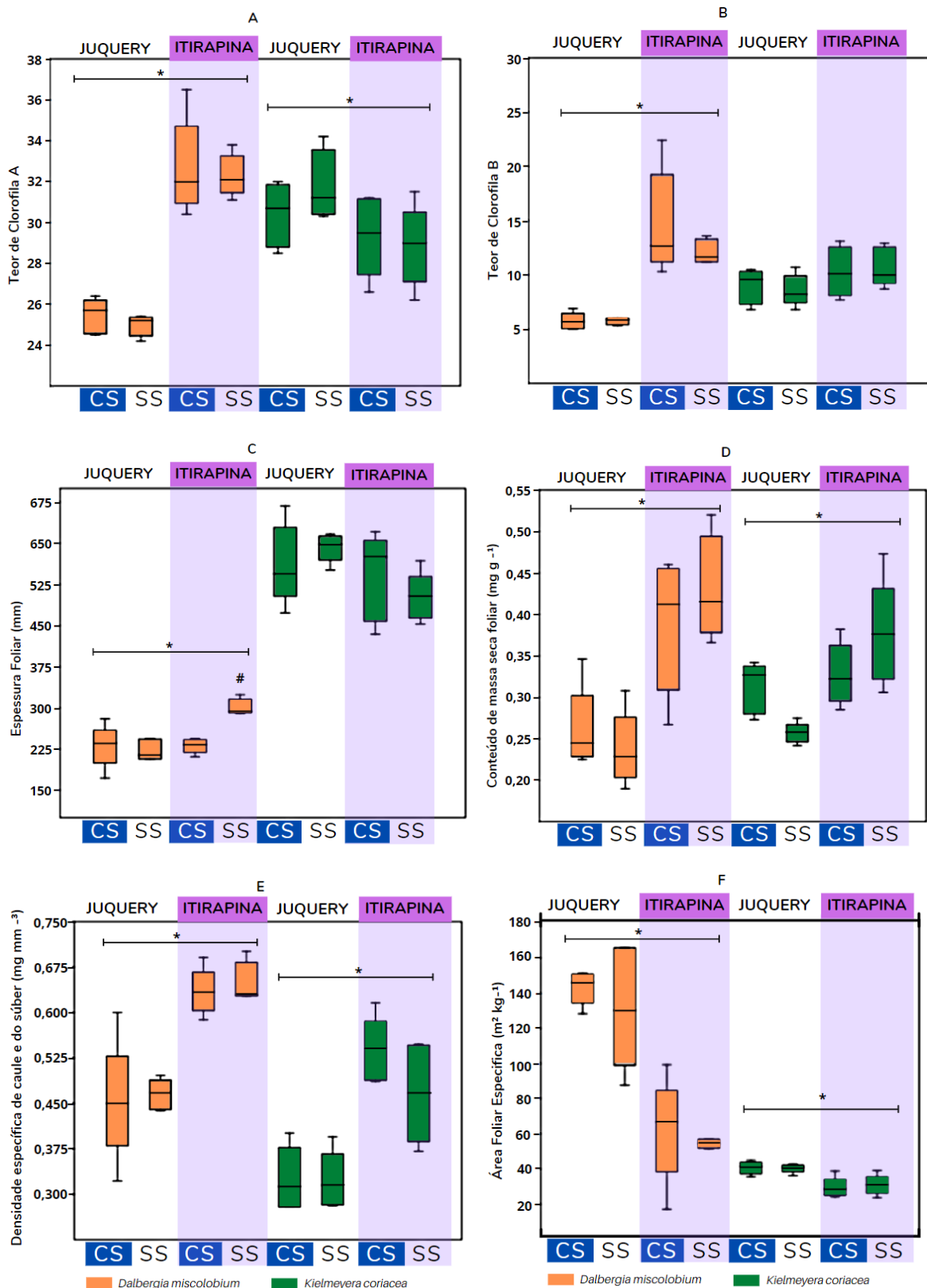


Figura 1 - Box Plot dos atributos funcionais das comunidades de *D. miscolobium* e *K. coriacea* amostradas em fitofionomia de cerrado *stricto sensu* (SS) e campo sujo (CS) no Parque Estadual do Juquery e Estação Ecológica e na Experimental de Itirapina. * Locais $p < 0,05$. # Fitofisionomias $p < 0,05$.

Tabela 1 - Valores dos atributos do solo das populações de *D. miscolobium* e *K. coriacea*. SS, *stricto sensu*. CS, Campo Sujo. PEJy, Parque Estadual do Juquery. EEEl, Estação Ecológica e Experimental de Itirapina.

Local	Espécie/ Fitofisionomia	Coefficiente de Curvatura (CC)	pH	Quantidade de matéria orgânica (MO)
PEJy	K CS	1,289	4,07	0,103
	K SS	1,565	4,12	0,028
	D CS	1,514	5,59	0,114
	D SS	1,312	5,25	0,111
EEEl	K CS	1,186	4,13	0,010
	K SS	1,313	4,20	0,010
	D CS	1,369	4,10	0,015
	D SS	1,176	4,08	0,010

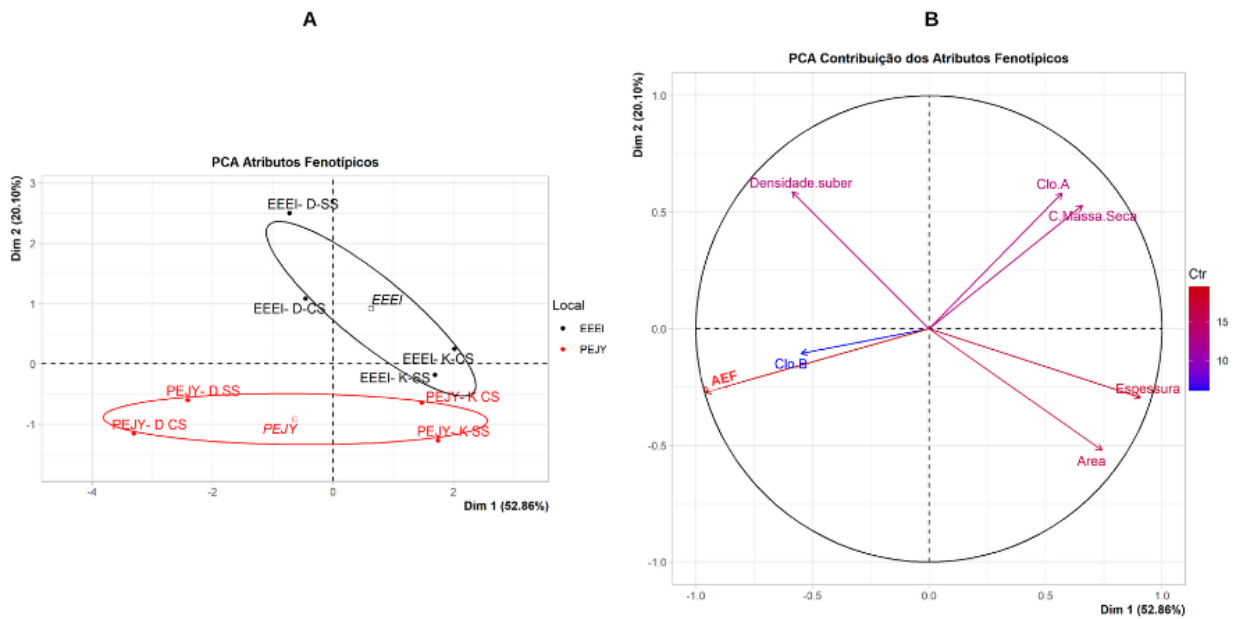


Figura 2 - PCA dos atributos funcionais das populações de *D. miscolobium* e *K. coriacea*. AEF, Área Específica Foliar. Clo A e Clo B, Clorofila A e B. SS, cerrado *stricto sensu*. CS, Campo Sujo. PEJy, Parque Estadual do Juquery. EEEl, Estação Ecológica e Experimental de Itirapina.

ambientes menos férteis, com menos disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes, por conta do investimento na captura e retenção de recursos afim de proteger a integridade estrutural foliar contra possíveis danos, e isso resulta em um valor menor da AEF (CUNNINGHAM et al, 1999 e YULIN et al, 2005 e POORTER, 1999 e WILSON et al, 1999). A AEF indica a superfície foliar disponível para captura de luz por grama foliar investida e seus valores baixos estão relacionados a menor velocidade de reposição foliar e aumento da longevidade, estratégia essa favorecida por ambientes menos férteis (CUNNINGHAM et al, 1999 e POORTER, 1999 e WILSON et al, 1999). Apesar dos valores baixos de AEF para a *K. coriacea*, que parecem ser inerentes da espécie (ARASAKI, 1993), o CMS das populações apresentou variação fenotípica mais ampla. Já a *D. miscolobium* apresentou ampla variação

em ambos atributos, indicando que a espécie apresenta grande plasticidade fenotípica em resposta ao seu ambiente.

Levando em consideração que ambas espécies são tolerantes a toxicidade do alumínio e se utilizando no mecanismo de exclusão para evitar que o mineral entre no seu sistema radicular e que cada espécie apresenta uma resposta diferente a disponibilidade de nutrientes no solo (MIGUEL et al, 2010 e RAMPIM; LANA, 2013), houve um padrão observado nas três análises de redundância de correlação da clorofila A negativamente ao pH do solo nas duas espécies.

As populações de *D. miscolobium* do PEJy apresentaram teores de clorofila A baixos, mas com valores mais altos de pH e matéria orgânica para o solo da região. Comparando com o estudo de (SASSAKI, 1995), que acompanhou o crescimento de indivíduos *D. miscolobium* em solo de cerrado com diferentes gradientes nutricionais, aqueles que receberam pouca ou nenhuma solução nutritiva apresentaram taxa fotossintética mais alta que aqueles cultivados em solução nutritiva completa (SASSAKI, 1995). E levando em consideração a relação direta entre o teor de clorofila e a concentração de nitrogênio no solo (BARBOSA FILHO et al. 2007). O alto teor de clorofila A nas espécies da EEEl, com solo de pH ácido e pouca matéria orgânica, pode ser explicado pela formação de nódulos radiculares, associação com bactérias nitrificantes, que essa espécie apresenta em indivíduos que se desenvolve em ambientes de indisponibilidade nutricional (SASSAKI, 1995). Já as *K. coriacea* parecem responder melhor a nutrição do solo, aumentando sua taxa fotossintética com o aumento da disponibilidade nutricional (ARASAKI, 1993). Pode se sugerir que o mesmo foi observado nos nossos resultados, sendo as populações de *K. coriacea* do PEJy as com maiores em teor de clorofila em correlação positiva com a maior quantidade de matéria orgânica do solo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos funcionais analisados mostram em primeiro lugar uma diferenciação entre as espécies, sendo a área, área específica e a espessura os atributos que mais distinguem as espécies *K. coriacea* e *D. miscolobium*. A hipótese inicial foi parcialmente atendida pois a variação dos atributos funcionais das duas espécies foi mais relacionada à diferença entre as localidades, relacionadas ao pH e a quantidade de matéria orgânica no solo, do que entre as fitofisionomias. A variação na área específica foliar, conteúdo de matéria seca e a clorofila A foram os atributos funcionais que mais se relacionaram com a variação das características de solo, mostrando que as duas espécies são capazes de responder fenotipicamente às mudanças ambientais, mas com estratégias diferentes. A *D. miscolobium* respondeu à acidez do solo e à menor quantidade de matéria orgânica do solo, diminuindo a sua área específica

foliar e aumentando a conteúdo de matéria seca e o teor de clorofila A. Enquanto que a *K. coriacea* respondeu à menor quantidade de matéria orgânica do solo aumentando a conteúdo de matéria seca e ao pH mais ácido aumentando o teor de clorofila A, mas a sua área específica foliar apresentou menor variação.

Esse entendimento pode contribuir por exemplo para um melhor preparo do solo em projetos de restauração, e que a conservação de espécies vegetais do cerrado passa em primeira instância pela conservação do solo em suas características e funcionamento naturais.

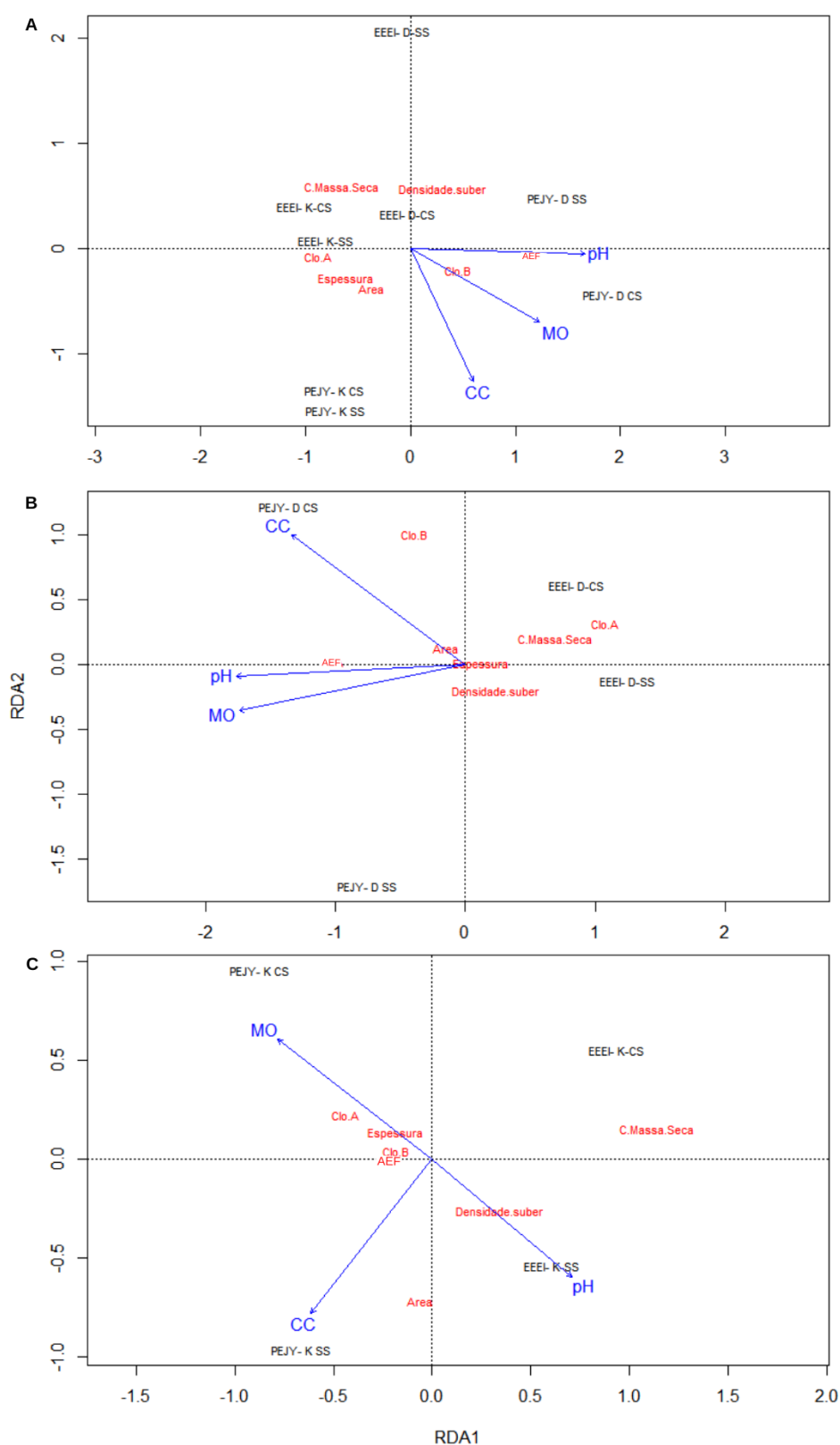


Figura 3 - A) RDA comparando as variáveis do solo aos atributos funcionais da *D. miscolobium* e *K. coriacea* B) RDA das apenas com as populações de *D. miscolobium* C) RDA apenas com as populações de *K. coriacea*. AEF, Área Específica Foliar. Clo A e Clo B, Clorofila A e B. SS, *stricto sensu*. CS, Campo Sujo. PEJy, Parque Estadual do Juquery. EEEI, Estação Ecológica e Experimental de Itirapina. MO, quantidade de Matéria Orgânica do solo. CC, Coeficiente de curvatura.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR **13600**. Solo-Determinação do Teor de Matéria Orgânica por Queima a 440°C. Rio de Janeiro, 1996
- ABRÀMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with ImageJ. **Biophotonics international**, v. 11, n. 7, p. 36-42, 2004. ISSN 1081-8693.
- AMORIM, Maick W.; JÚNIOR, João Carlos F. de M. Plasticidade morfológica de *Myrcia splendens* (S.w) CD. (Myrtaceae) ocorrente em Mata Atlântica e Cerrado. **Ilheringia: Série Botânica**, Porto Alegre, v. 71, n. 3, p. 261-268, 2016.
- ARASAKI, Felicio Tyoji. **Crescimento foliar em árvore e crescimento inicial em plântulas de *Kielmeyera coriacea* Mart.**. 1993. 220 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia, Ciências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.
- BAITELLO, João Batista. **PLANO DE MANEJO INTEGRADO DAS UNIDADES DE ITIRAPINA**. São Paulo: Diretoria da Divisão de Florestas e Estações Experimentais, 2006. 218 p.
- BAITELLO, João Batista; AGUIAR, Osny Tadeu de; PASTORE, João Aurélio; ARZOLLA, Frederico Alexandre Rocca Dal Pozzo. Parque Estadual do Juqueri: Refúgio de Cerrado no domínio atlântico. **IF Sér. Reg**, São Paulo, n. 50 p. 1-46, 2013.
- BARBOSA FILHO, M.; COBUCCI T.; FAGERIA N.; MENDES P. Utilização do medidor do teor de clorofila para recomendação da adubação nitrogenada de cobertura do feijoeiro irrigado. **Embrapa Arroz e Feijão**. Comunicado técnico, 2007.
- BARROS, F de V *et al.* Phenotypic plasticity to light of two congeneric trees from contrasting habitats: brazilian atlantic forest versus cerrado (savanna). **Plant Biology**, Países Baixos, v. 14, p. 208-215, maio 2011.
- BELL, Daniela L; SULTAN, Sonia E. Dynamic phenotypic plasticity for root growth in *Polygonum*: a comparative study. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 6, 1999.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. O Bioma Cerrado. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>> Acesso em: 14 março 2019.
- CAMARGO, O.A de; MONIZ, A.C; JORGE, J.A; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77p.
- CÁSSIA-SILVA, Cibele de *et al.* When the same is not the same: phenotypic variation reveals different plant ecological strategies within species occurring in distinct neotropical savanna habitats. **Plant Ecology**, v. 218, n. 10, p. 1221-1231, 4 set. 2017. Springer Science and Business Media LLC.
- CHANG, Winston *et al.* Shiny: package. **Cran Project**, R Studio, p. 2-238, 2020.
- CHEVIN, Luis-Miguel; LANDE, Russell; MACE, Georgina M.. Adaptation, Plasticity, and Extinction in a Changing Environment: towards a predictive theory. **Plos Biol**, Carolina do Norte, v. 8, n. 4, p. 17-28, 2010.
- COUTINHO, Leopoldo M. O conceito de cerrado. **Revista Brasil Botânica**, São Paulo, v. 1, p. 17-23, 1978.

CUNNINGHAM, Saul A.; SUMMERHAYES, Bryan; WESTOBY, Mark. EVOLUTIONARY DIVERGENCES IN LEAF STRUCTURE AND CHEMISTRY, COMPARING RAINFALL AND SOIL NUTRIENT GRADIENTS. **Ecological Monographs**, Australia, v. 69, n. 4, p. 569-588, 1999.

DURIGAN, Giselda. et al. **Plantas pequenas do cerrado: biodiversidade negligenciada**. 1 ed. São Paulo: Secretário do Meio Ambiente, 2018. 720 p.

EMBRAPA. **1517-5685**: Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa, 2012. 66 p.

FORZZA RC; Baumgratz JFA; Bicudo CEM; Canhos DAL; Carvalho AA; Coelho MAN; Costa AF; Costa DP; Hopkins MG; Leitman PM et al. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **BioScience**. v. 62, n. 1, p.39-45, 2012.

GARNIER, E. et al. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. **Functional Ecology**, v. 15, n. 5, p. 688-695, out. 2001.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

KARLEN, DI et al. Soil Quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society Of America Journal**, Cheyenne, v. 84, n. 3, p. 568-586, 1997.

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: an r package for multivariate analysis. **Journal Of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008. Foundation for Open Access Statistic. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.

LEGENDRE, Pierre; LEGENDRE, Louis. **Numerical Ecology**. 3. ed. Países Baixos: Elsevier, 2012. 990 p.

Machado, R.B., M.B. Ramos Neto, P.G.P. Pereira, E.F. Caldas, D.A. Gonçalves, N.S. Santos, K. Tabor e M. Steininger. 2004. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF.

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, Juíz de Fora, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010.

MOROZ, Isabel Cristina; CANIL, Kátia; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Problemas ambientais nas áreas de proteção aos mananciais da região metropolitana de São Paulo. **Revista Do Departamento De Geografia**, n.7, p. 35-48, 2011. Disponível em:

MYERS N; Mittermeier RA; MITTERMEIER CG; da FONSECA GAB; Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

OKSANEN, Jari. Vegan: community ecology package. **Cran Project**, R Package, p. 4-22, 2019.

OLIVEIRA, João Bertoldo de; CAMARGO, Marcelo Nunes; ROSSI, Marcio; FILHO, Braz Calderano. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: Legenda expandida. Campinas: Embrapa, 1999.

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

POORTER, Hendrik; JONG, Rob De. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of leld plants from 15 habitats difering inproductivity. **New Phytol**, Holanda, v. 143, n. 1, p. 153-176, abr/1999.

R Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAMPIM, Leandro; LANA, M. D. C. MECANISMO DE TOLERÂNCIA INTERNA DAS PLANTAS AO ALUMÍNIO. **Colloquium Agrariae** , Paraná, v. 9, n. 2, p. 72-89, dez/2013.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. (Ed). Fitofisionomias do bioma cerrado. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. p. 153- 212.

REATTO, Adriana; CORREIA, João Roberto; SPERA, Silvio Tulio; MARTINS, Éder de Sousa. (Ed). **Solos do Bioma Cerrado**: Aspectos pedológicos. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. (eds.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. p.107-149

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista Do Departamento De Geografia**, n.10, p. 41-58, 2011.

SANTANA, Octacílio Antunes; JÚNIOR, Osmar Abílio de Carvalho; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso et al. Inventário das espécies vegetais na serra da Canastra, Minas Gerais. **Espaço & Geografia**, v. 14, n. 1, p. 53-77, 2011.

SANTOS, Humberto Gonçalves Dos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. Ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, Matheus Fortes; SERAFIM, Herbert; SANO, Paulo Takeo. Fisionomia e composição da vegetação florestal na Serra do Cipó, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 793-814, 2011.

SASSAKI, Regina Miyuki. **Dalbergia Miscolobium Bent.**: aspectos da biologia reprodutiva e do estabelecimento de plântulas. 1995. 213 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Vegetal, Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

SCARLOT, Aldacir; SOUSA-SILVA, José Carlos; FELFILLI, Jeanine Maria (org.). **Cerrado**: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Diretoria de Conservação da Biodiversidade Brasileira, 2005. (428).

SILVA, Dimas Antônio da; LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO DAS ESTAÇÕES ECOLÓGICA E EXPERIMENTAL DE ITIRAPINA, SÃO PAULO, BRASIL. **Rev. Inst. Flor**, v. 17, n.1, p. 113-128, 2005.

SILVA, Fernando A M; ASSAD, Eduardo Delgado; EVANGELISTA, Balbino A.(Ed). Caracterização Climática do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 2008. p. 71-88.

SULTAN, Sonia E. Phenotypic plasticity and plant adaptation. **Acta Bot Neerl**, v. 44, n 4, p. 363-383, 1995

SULTAN, Sonia E. Phenotypic plasticity in plants: a case study in ecologinal development. **Evolution & Development**, v. 5, n. 1, 2002.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 719

VIANA, Helio Marcos Fernandes. **Notas de aula prática de Mecânica dos Solos I (parte 8):** considerações sobre a curva de distribuição granulométrica. São Paulo: Faculdade de Tecnologia e Ciências, 2016. 6 slides, color.

WILSON, Peter J.; THOMPSON, Ken; HODGSON, John G.. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. **New Phytol**, Reino Unido, v. 143, n. 1, p. 155-162, 1999.

YULIN, L. et al. Specific leaf area and leaf dry matter content of plants growing in sand dunes. **Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei**, Taipei, v. 46, n. 2, p. 127-133, 2005.

Contatos: dhyana.c.p.m@hotmail.com; leandro.vieira@mackenzie.br