

ALVARO DE JESÚS MIRANDA GUEVARA

**RELAÇÕES ENTRE OS GRUPOS FUNCIONAIS DE LEGUMINOSAS E DE  
ACUMULADORAS DE ALUMÍNIO NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M672r  
2015  
Miranda Guevara, Alvaro de Jesus, 1983-  
Relações entre os grupos funcionais de leguminosas e de acumuladoras  
de alumínio no Cerrado / Alvaro de Jesus Miranda Guevara. - Viçosa, MG,  
2015.  
x, 38f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Aristéa Alves Azevedo.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.30-38.

1. Plantas e solo. 2. Solos - Acidez. 3. Alumínio - Efeito sobre as  
plantas. 4. Leguminosas. 5. *Leguminosae*. 6. Nitrogênio. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Programa de Pós-  
graduação em Botânica. II. Título.

CDD 22. ed. 580

ALVARO DE JESÚS MIRANDA GUEVARA

**RELAÇÕES ENTRE OS GRUPOS FUNCIONAIS DE LEGUMINOSAS E DE  
ACUMULADORAS DE ALUMÍNIO NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2015.



---

João Augusto Alves Meira Neto



---

Luiz Fernando Silva Magnago



---

Aristéa Alves Azevedo  
(Orientadora)

*A minha família, à memória do meu pai, a meu amor Grethel*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de viver esta experiência maravilhosa e bastante produtiva, me ajudando a crescer como pessoa e como profissional.

À minha família pelo apoio nesta etapa vivida, minhas duas mães Amparo e Mireya, pelo carinho incondicional sempre, aos meus irmãos e minhas tias pela motivação diária para continuar no caminho.

À minha namorada Grethel pelo amor e carinho, pela paciência e pela companhia, fazendo assim a minha estadia e os dias aqui no Brasil muito mais acolhedores.

À Organização dos Estados Americanos (OEA), ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal de Viçosa, e à CAPES pela contribuição com os meus estudos de mestrado aqui no Brasil.

A todos os professores do programa da Pós graduação em Botânica em especial à professora Aristéa, por aceitarme orientar e pelos ensinamentos transmitidos, nunca eu vou esquecer aquelas palavras que você falou na primeira reunião do grupo de alumínio para definir o meu trabalho de dissertação “O que a gente vai fazer para que você se sinta como em casa?”...Hoje depois de todas as vivências: as suas aulas, as saídas de campo, as reuniões para corrigir o meu trabalho, eu posso falar para você ...que eu me senti em casa.....Muito obrigado, Prof<sup>a</sup>!

Ao professor João, pelos aportes ao meu trabalho como coorientador e pelos seus ensinamentos naquela produtiva e interessante disciplina de Ecologia de Cerrado.

À Glaucia por me proporcionar boa parte dos dados para eu fazer a minha dissertação e pelas ajudas sempre.

Ao Luiz Magnago e o Juan Carvajal pelos seus aportes ao trabalho e ensinamentos na parte estatística.

Aos meus amigos da Republica internacional: Guidoal (Daniel), Recife (Ivanilson), Mucurí (Carlos), Guiricema (Ronaldo), pela paciência e apoio, pelos ensinamentos de português e o mais importante pela amizade, como diz o recife..... “A gente é quase que da família”.....Muito obrigado gente....A Colômbia aguarda a vocês!

Ao Gilmar, pela dedicação e boa vontade em me ajudar na fase de campo; as piadinhas e as histórias contadas, fizeram o trabalho em campo mais agradável.

Ao Ângelo por estar sempre disponível a ajudar e solucionar qualquer requerimento no departamento de botânica.

A Samara companheira de grupo de pesquisa obrigado por sua amizade e por seus aportes no meu trabalho.

À Patrícia e Aurora por suas orientações no trabalho de laboratório, a todas as pessoas do laboratório de anatomia vegetal em especial aquelas pessoas com as que consegui construir uma valiosa amizade: Priscila, Luana, Thamires, Dya, Ivan, Valéria, Carla, Marinalva e Isabel.

Aos meus amigos da Colômbia Maria C, Javier, Oscar, Yeni, Harold, por estar sempre me esperando e mesmo assim, estando longe nunca faltaram as palavras de impulso e de apoio que me ajudaram a persistir e chegar ao final.

Aos meus conterrâneos pelos momentos de estresse compartilhados aqui em Viçosa(kkkkkkk) e pelos momentos juntos ajudando-nos a matar um pouco a saudade da terra. Em especial a minha amiga Natalia, pela valiosa amizade que a gente construiu neste tempo e que tenho certeza que perdurara para sempre.

A todas aquelas pessoas que nesta etapa me brindaram apoio e contribuíram para conseguir minhas metas.....

**MUITO OBRIGADO!**

## **BIOGRAFIA**

Alvaro de Jesús Miranda Guevara, filho de Amparo Guevara e Miguel Miranda, nasceu em Montería-Colombia, em 08 de novembro de 1983. Coursou o ensino médio no Centro Educativo Comfacor, em Montería, concluindo em 1999. Ingressou na Universidade de Córdoba-Colômbia em fevereiro de 2000 e concluiu o curso de Biologia em dezembro de 2005. Em abril de 2013, iniciou o Mestrado em Botânica, pelo Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa, concluindo o curso com a defesa da dissertação intitulada “Relação entre leguminosas e espécies acumuladoras de alumínio no Cerrado da FLONA de Paraopeba, Minas Gerais, Brasil” em fevereiro de 2015.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	5
2.1 Áreas de estudo .....	5
2.2 Levantamentos florísticos .....	6
2.3 Teor de Nutrientes no solo .....	8
2.4 Regime de luz.....	8
2.5 Análises estatísticas .....	8
3. RESULTADOS .....	10
3.1. Estrutura e composição florística de espécies de leguminosas e de acumuladoras de alumino e sua relação com as variáveis ambientais. ....	10
3.2. Análises de relação entre os dois grupos funcionais leguminosas e acumuladoras de alumínio. ....	19
3.3. Histolocalização de alumínio .....	24
4. DISCUSSÃO .....	25
4.1 Estrutura e composição florística de espécies de leguminosas e de acumuladoras de alumino e sua relação com as variáveis ambientais. ....	25
4.2 Histolocalização de alumínio .....	26
4.3 Relação entre os dois grupos funcionais leguminosas e acumuladoras de alumínio.....	27
5. CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

## RESUMO

MIRANDA GUEVARA, Alvaro de Jesus, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Relações entre os grupos funcionais de leguminosas e de acumuladoras de alumínio no cerrado** Orientadora: Aristéa Alves Azevedo.

No Brasil o Cerrado é considerado como o segundo maior bioma, abrangendo cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup>, com uma diversidade de paisagens as quais podem estar constituídas por diferentes fisionomias de vegetação vinculadas a fatores físicos e fisiográficos, ou por um mesmo tipo de vegetação com distintos padrões de composição florística. Esta diversidade de paisagens determina uma grande diversidade florística no Cerrado possuindo aproximadamente 12.000 espécies vegetais, das quais 4000 tem sido consideradas como endêmicas. A família Leguminosae aparece como uma das mais importantes em número e riqueza de espécies, reunindo quase o 25 % dos táxons para a flora vascular do Cerrado. Muitas espécies desta família possuem importante papel ecológico, pois através de uma simbiose com microrganismos são capazes de adicionar nitrogênio reativo ao sistema mediante a fixação biológica do nitrogênio (FBN), promovendo a acidificação do solo durante este processo. Em condições de solos ácidos como no Cerrado o alumínio que geralmente é insolúvel e não se encontra disponível para participar em reações biogeoquímicas se solubiliza e tem a entrada nas raízes das plantas favorecida. Várias espécies de Cerrado apresentam o conteúdo de alumínio igual ou maior de 1 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca, sendo designadas como acumuladoras de alumínio. Em virtude do efeito de acidificação do solo causado pelas leguminosas no processo de FBN, foi testada neste trabalho a hipótese de que existe uma correlação positiva entre estes dois grupos funcionais: leguminosas e acumuladoras de alumínio (Al) no Cerrado. O trabalho foi desenvolvido na Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba (MG), onde existem diferentes fitofisionomias com distintas classes de solo. Em cada classe de solo foram instaladas 3 parcelas de 20 x 100 m, que foram divididas em 5 transectos de 20 x 20 m, registrando-se todos os indivíduos do estrato arbustivo-arbóreo com circunferência à altura do solo (CAS) maior que 10 cm, além disso foram avaliados dados de teor de nutrientes no solo e luz em cada parcela. Foi realizada uma análise de

associação entre as variáveis ambientais (solo e luz) com a distribuição dos dois grupos funcionais nas diferentes fitofisionomias. Também foram feitas análises de correlação entre a abundância de leguminosas e abundância de acumuladoras de Al. Foram aplicados modelos lineares generalizados entre variáveis ambientais e abundância de espécies das leguminosas e acumuladoras de Al e feitos testes histoquímicos para verificar o acúmulo de alumínio nos tecidos das leguminosas. Os testes histoquímicos não evidenciaram acúmulo de alumínio nos órgãos vegetativos das leguminosas. Segundo as análises de associação, a luz e o alumínio foram as variáveis mais relacionadas com a distribuição das leguminosas e espécies acumuladoras de Al no Cerrado da FLONA de Paraopeba. As leguminosas mostraram uma relação negativa com luz e a maioria das acumuladoras de Al evidenciaram uma relação positiva, no entanto duas espécies das acumuladoras de Al mostraram uma relação negativa com este fator. Assim o grupo funcional das acumuladoras de Al foi dividido em dois: acumuladoras de Al tolerantes ao sombreamento (Relação negativa com luz) e acumuladoras de Al não tolerantes ao sombreamento (Relação positiva com luz). As análises de correlação entre a abundância dos dois grupos evidenciaram uma correlação positiva entre leguminosas e acumuladoras de alumínio tolerantes ao sombreamento, no entanto uma correlação negativa com as não tolerantes ao sombreamento, com isso, a hipótese de correlação positiva com as acumuladoras de alumínio foi rejeitada. No entanto, é aceita, se considerarmos a relação das leguminosas com o grupo de acumuladoras de Al tolerantes ao sombreamento.

## ABSTRACT

MIRANDA GUEVARA, Alvaro de Jesus, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2015. **Relations between the functional groups of legumes and aluminum accumulating in the Cerrado** Advisor: Aristéa Alves Azevedo.

In Brazil, Cerrado is considered as the second largest biome with 2 million km<sup>2</sup>, being dominant in the central highlands with a diversity of landscapes which may be constituted of different types of vegetation linked to physical and physiographic factors, or the same type of vegetation with distinct patterns of floristic composition, also related to environmental conditions. This diversity of landscapes determines a great floristic diversity in the Cerrado which has approximately 12,000 plant species, among these, the species of Leguminosae family appear as one of the most important in number and richness species, get together 25% of the taxa to the vascular flora of the Cerrado. Many species of this family have important ecological role because through a symbiosis with microorganisms are able to add reactive nitrogen to the system by biological nitrogen fixation (BNF), promoting soil acidification during this process. Aluminum is insoluble, generally is not available to participate in biogeochemical reactions, but under conditions of acidic soils as in Cerrado its entry into plant roots is favored. Various species of Cerrado present equal or greater content of aluminum of 1 g kg<sup>-1</sup> of dry matter and are designated as aluminum accumulating, due to the effect of acidification of the soil caused for the Leguminosae in the process BNF. In this work was tested the hypothesis if there is a positive correlation between Leguminosae and aluminum (Al) accumulators species in the Cerrado of the National Forest of Paraobeaba, Minas Gerais. The study was conducted in the FLONA of Paraopeba (MG), in different types of soil of each vegetation type of the Cerrado, were installed 3 plots of 20 x 100 m, which were divided into five transects of 20 x 20 m. We recording all individuals of the shrub-tree stratum with circumference to height from the ground (CAS) greater than 10 cm. Were also recorded nutrient content data and light in each plot. Analysis of association between environmental variables was done (soil and light) with the distribution of species of legumes and aluminum accumulators, correlation analysis between the abundance of legumes and Al accumulators and generalized linear models were used between environmental variables and abundance of species of legumes and Al

accumulators, and were made histochemical tests to confirm the aluminum accumulation in the legume tissues. The histochemical tests showed no aluminum accumulation in vegetative organs of legumes, according to the association analyzes the light and aluminum are the variables that are more related to the distribution of legumes and Al accumulators species in the Cerrado of the FLONA of Paraopeba. Legumes showed a negative relation with light and Al accumulators showed a positive relation, however two species of Al accumulators showed a negative relation with this factor. Thus the functional group of Al accumulators was divided into two: Al accumulators tolerant to shading (negative relation with light) and Al accumulators not tolerant to shading (positive relation with light). The analysis of correlation between the abundance of the two groups showed a positive relation between legumes and aluminum accumulators tolerant to shading, however a negative relation with the not tolerant to shading. Thus, the positive correlation hypothesis with aluminum accumulators was rejected. However, it is accepted, if we consider the relation of legumes with Al accumulators group tolerant to shading.

## 1. INTRODUÇÃO

Relacionar a distribuição e a variação das espécies em diferentes ambientes tem sido um desafio (Tuomisto, 2010), e várias teorias tem sido propostas para explicar a variação na composição de espécies. Entre estas, a teoria do nicho sustenta que a maior parte desta variação está relacionada com adaptações especiais das espécies a diferentes condições ambientais (Leibold, 2008). Nesse sentido, os atributos funcionais, seriam importantes para compreender os mecanismos de estabelecimento das plantas em diferentes comunidades, porque eles representam diferentes estratégias de partilhar recursos (Grubb, 1977).

No Brasil, o Cerrado é considerado como o segundo maior bioma, abrangendo cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup>, sendo dominante no planalto central (Ratter *et al.* 1997). Este bioma está caracterizado por uma diversidade de paisagens constituídas por diferentes fisionomias de vegetação, vinculadas a fatores físicos e fisiográficos, ou por um mesmo tipo de vegetação com distintos padrões de composição florística, também relacionadas às condições do meio (Felfili *et al.* 2002). Esta diversidade de paisagens determina uma grande diversidade florística, com grupos funcionais não bem limitados, que coloca a flora do bioma Cerrado como a mais rica entre as savanas do mundo (Mendonça *et al.*, 1998), possuindo aproximadamente 12.000 espécies vegetais (Mendonça *et al.*, 2008), das quais 4.000 são consideradas endêmicas (Myers *et al.*, 2000).

O mosaico de fitofisionomias do Cerrado é denominado como Floresta – Ecótono – Campo, devido ao fato de que a vegetação do Cerrado *sensu lato*, não possui uma fisionomia única em toda a sua extensão, pelo contrário, ela é bastante diversificada, apresentando: formas campestres bem abertas, como o campo limpo, dominadas por espécies herbáceas-subarbustivas; formações intermediárias (savanas); e formações florestais, como o cerradão composto por uma flora arbustivo-arbórea (Coutinho, 2002). Desta forma, são caracterizadas cinco fitofisionomias, que recebem a seguinte denominação: campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão (Figura 1) (Coutinho, 2006) que diferem quanto à estrutura e composição florística (Coutinho, 2002). No campo limpo a presença de arbustos e subarbustos é insignificante, é uma fitofisionomia predominantemente

herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores já no campo sujo ocorre presença marcante de arbustos e subarbustos entre o estrato herbáceo, e, no campo cerrado a vegetação apresenta predomínio de gramíneas, pequenas árvores e arbustos bastante esparsos entre si (MMA, 2007). O Cerrado *sensu stricto* é a forma mais extensa ocupando aproximadamente 65 % da área geográfica do Bioma. Esta região é muito peculiar e diversificada fisionomicamente, caracterizada por ter menor cobertura de gramíneas, e uma maior cobertura arbustivo-arbórea (MMA, 2007). O Cerradão é uma formação florestal de espécies que ocorrem no *sensu stricto* e também por espécies de mata, com dossel, predominantemente, contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50 a 90%, proporcionando assim condições de luminosidade que favorecem à formação de estratos arbustivo e herbáceo diferenciados (MMA, 2007).



Figura 1. Fitofisionomias do cerrado (Coutinho 2006)

Os motivos para a variação no adensamento da vegetação, entretanto, não são claros. Apesar de fatores ambientais abióticos, como variações no solo, disponibilidade de água no lençol freático e influência do fogo (Furley & Ratter, 1988), apresentarem papel neste padrão em escala fina, fatores biológicos associados às características dos indivíduos estabelecidos nas diferentes porções deste mosaico de adensamentos podem ter importância fundamental. Isto porque o aumento do adensamento da vegetação apresenta retroalimentação positiva causada pela modificação do ambiente pelas árvores estabelecidas (ex. sombreamento, alteração de propriedades do solo e microclima), favorecendo com isto o estabelecimento de novos indivíduos arbóreos (Wilson & Agnew 1992, Duarte *et al.*, 2007). Desta forma, as diferentes espécies arbóreas teriam simultaneamente a capacidade de alterar o ambiente e serem influenciadas por este. Assim uma das estratégias para analisar a interação das espécies de uma comunidade com o ambiente é o

agrupamento das espécies em tipos funcionais (Lavorel & Garnier 2002). Assumindo que espécies com atributos funcionais similares interagem com o ambiente de forma similar, é possível simplificar a interpretação dos dados ao considerar a ocorrência de redundância funcional dentro de grupos de espécies enfocando assim as diferenças fundamentais de estratégias (Diaz & Cabido 1997, Pausas 1999, Lavorel et al. 2007).

Estudos florísticos e fitossociológicos, desenvolvidos em vegetação de Cerrado em diferentes regiões do país (Goodland, 1969; Felfili *et al.*, 1992; Weiser & Godoy, 2001; Balduino *et al.*, 2005; Campos *et al.*, 2006; Marimon *et al.*, 2006; Ishara *et al.*, 2008; Neri *et al.*, 2012; Souza, 2010; Tolentino, 2011), apontam que a família Leguminosae é uma das mais importantes em número e riqueza de espécies, reunindo 25 % dos táxons para a flora vascular do Cerrado.

A família Leguminosae está distribuída amplamente nos trópicos, apresentando cerca de 730 gêneros e 19.500 espécies (Lewis et al. 2005) e tem sido considerada como uma das famílias mais importantes na flora tropical, incluindo numerosas espécies com grande variedade de porte, formas de vida e importância econômica (Stuva, 2003). Além da sua importância na alimentação, ornamentação, medicina, uso madeireiro, entre outras, muitas espécies desta família, possuem importante papel ecológico, pois em determinadas condições são capazes de adicionar nitrogênio reativo ao sistema mediante a fixação biológica do nitrogênio através de uma simbiose com microrganismos. (Jenny, 1950; Robertson e Rosswall, 1986; Vitousek e Howarth, 1991; Cleveland *et al.*, 1999; Crews, 1999; Galloway *et al.*, 2004). Assim, afetam diretamente a diversidade e a produtividade de outras espécies vegetais presentes na sua adjacências (Van de Heijden, 2008).

A disponibilidade de nitrogênio limita o crescimento dos indivíduos, altera a composição das comunidades e afeta a produtividade dos ecossistemas (Vitousek & Farrington, 1997). Apesar de quase 80% da atmosfera ser composta por nitrogênio (N<sub>2</sub>), esse elemento não pode ser utilizado diretamente pelas plantas, devendo ocorrer previamente a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Crews, 1999).

Nos ecossistemas tropicais, a forma mais importante de fixação do nitrogênio é a simbiose entre Leguminosas e rizóbios, (Vitousek *et al.*, 2002), segundo Meira-Neto et al. (dados não publicados), durante o processo de

fixação de nitrogênio as leguminosas promovem a acidificação do solo incrementando conteúdo de  $\text{Al}^{3+}$  no solo. Esta acidificação pode ser explicada pela lixiviação do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) produzido durante a fixação do nitrogênio, assim, bactérias fixadoras de nitrogênio, que se associam às raízes das leguminosas obtém nitrogênio em forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) a partir de moléculas de  $\text{N}_2$ , posteriormente o  $\text{NH}_4^+$  é oxidado a  $\text{NO}_3^-$ , neste processo de oxidação são gerados íons  $\text{H}^+$  os quais só podem ser neutralizados se o  $\text{NO}_3^-$  entra novamente na ciclagem do N, se o  $\text{NO}_3^-$  é lixiviado os íons  $\text{H}^+$  permanecem no sistema, causando acidificação nas raízes e na superfície do solo (Bolan *et al.*, 1991).

Espécies de leguminosas podem facilitar a presença de outras espécies, aumentando a concentração de nitrogênio disponível no solo (Stuart, 2010). Entende-se como facilitação, qualquer interação positiva entre plantas, na qual a presença de um ou mais indivíduos favorece, direta ou indiretamente, o crescimento, sobrevivência ou reprodução de outros indivíduos da mesma espécie ou não (Calaway, 2007).

As plantas nativas do Cerrado, segundo Arens (1963), apresentam características escleromórficas, tais como esclerênquima e cutícula bem desenvolvidos, hipoderme, paredes celulares e periderme espessa, que seriam determinadas pelos altos teores de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (Goodland, 1971). Varias espécies de Cerrado que apresentam o conteúdo de alumínio igual ou maior de  $1 \text{ g kg}^{-1}$  na matéria seca são consideradas como acumuladoras de alumínio (Chenery, 1948; Hutchinson, 1945; Haridasan, 2008).

O alumínio é insolúvel e geralmente não se encontra disponível para participar em reações biogeoquímicas, mas em condições de solos ácidos a sua entrada nas raízes das plantas é favorecida (Driscoll e Schecher, 1990). Em virtude do efeito de acidificação do solo causado pelas leguminosas no processo de FBN, poderia se supor que as leguminosas podem também apresentar um efeito facilitador sobre as espécies acumuladoras de alumínio. Nesse sentido, foi testada neste trabalho a hipótese de que existe uma correlação positiva entre os dois grupos funcionais, as leguminosas e as acumuladoras de alumínio (Al) no Cerrado da FLONA de Paraopeba, Minas Gerais. Para tanto foi avaliada a composição de espécies dos dois grupos (leguminosas e acumuladoras), relacionada a distribuição das espécies com as variáveis ambientais (solo e luz) e verificada a ocorrência de mecanismos de

acúmulo do Al nas leguminosas através de testes de histolocalização deste elemento.

E importante destacar que, a delimitação de tipos funcionais é uma ferramenta que facilita a compreensão de respostas e/ou efeitos contrastantes das espécies a um conjunto pré estabelecido de caracteres ambientais (Pillar 2003.). Tal simplificação da comunidade biológica se mostra essencial para estudos empregando modelos de previsão de resposta da vegetação a mudanças climáticas ou de uso da terra (Diaz e Cabido 1997, Pausas 1999, Lavorel *et al.*, 2007). Existe também, a possibilidade de extrapolação das conclusões obtidas para outras regiões com condições ambientais equivalentes, mesmo que estas se encontrem fora da área de distribuição biogeográfica das espécies originalmente estudadas (Pillar 1999.).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Áreas de estudo**

O trabalho foi desenvolvido na Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba (MG), uma área alvo de muitos estudos sobre Cerrado, principalmente por apresentar as diferentes fitofisionomias do Cerrado associadas a diferentes classes de solos; Cerradão distrófico e mesotrófico sobre latossolo vermelho, Cerrado *sensu stricto* (s.s) sobre cambissolo, Cerrado s.s sobre latossolo amarelo e Cerrado s.s. denso sobre latossolo vermelho amarelo (Neri, *et al.*, 2012). A FLONA situa-se entre as coordenadas geográficas de 19°20'S e 44°20'W, possui altitude variável de 734 m ao sul e 750 m ao norte (Figura 2). O clima é caracterizado como tropical úmido, Aw pelo sistema de Köppen (IBGE, 2007), com verão chuvoso e inverno seco.

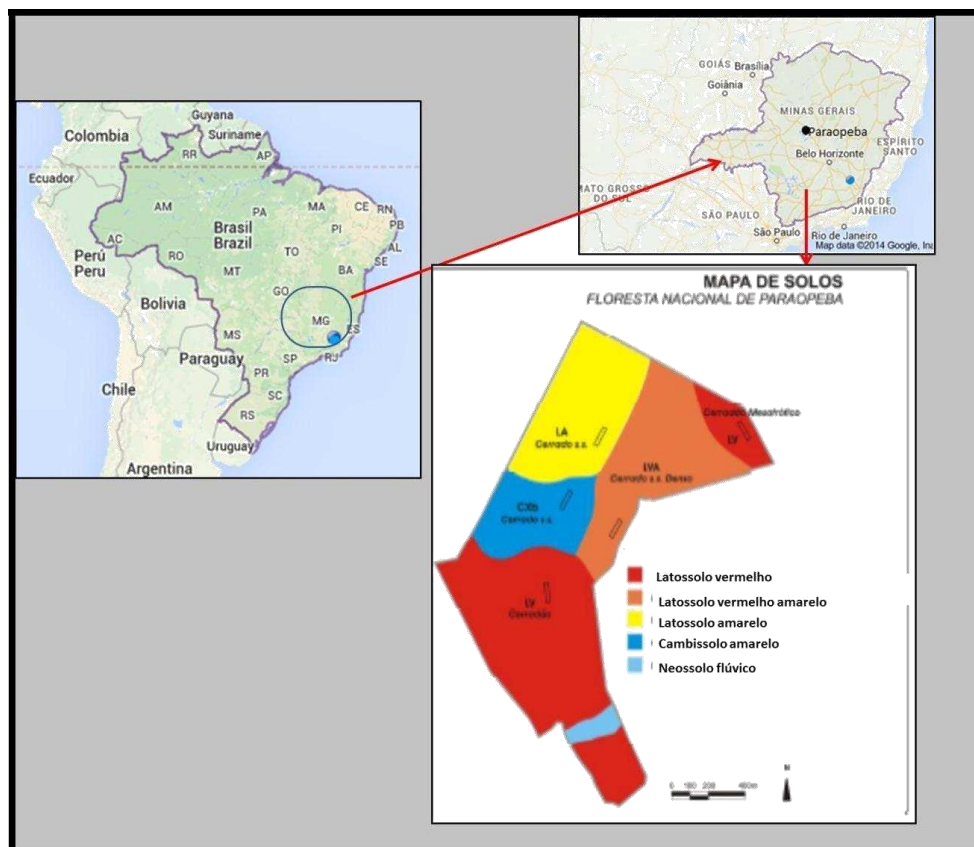


Figura 2. Localização geográfica da Floresta Nacional de Paraopeba, Minas Gerais, Brasil e classes de solos. Adaptado de Néri et al (2012). **LV**: Latossolo vermelho. **LA**: Latosso Amarelo. **Cxb**:Cambissolo. **LVA**: Latossolo vermelho amarelo.

## 2.2 Levantamentos florísticos

Foram utilizados dados dos levantamentos florísticos realizados por Neri (2007), Tolentino (2011) no projeto "Os gradientes de nitrogênio e da relação  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  como determinantes das funções ecossistêmicas e das distribuições de abundância no Cerrado", vinculado ao LEEP-UFV, que está em fase de conclusão. Estes dados foram obtidos em cada fitofisionomia do Cerrado, desde o *sensu stricto* até o cerradão, onde instalaram-se, 3 parcelas nas diferentes classes de solo da FLONA de Paraopeba de 20 x 100 m, que foram divididas em 5 transectos de 20 x 20 m (Mueller Dombois & ElleMBERG, 1974). Foram contados e registrados todos os indivíduos do estrato arbustivo-arbóreo com circunferência à altura do solo (CAS) maior que 10 cm presentes nas parcelas. Amostras das diferentes espécies incluídas nas parcelas foram coletadas tratadas segundo as normas usuais de herborização e incorporadas no acervo do Herbário VIC, da Universidade Federal de Viçosa. A identificação das espécies foi feita por comparação com literatura especializada (guias de identificação em campo), ajuda de especialistas e consulta ao Herbário (VIC).

Foram selecionadas para análise seis espécies de leguminosas com potencial de fixação de nitrogênio (Sprent, 2009; Cordeiro, 2000; Canosa *et al.*, 2012) com abundância maior ou igual a 30 indivíduos, assim distribuídas: duas espécies ocorrendo em todas as fitofisionomias, duas espécies que ocorrem só nos cerradões e duas que ocorrem só no Cerrado *sensu stricto*, na FLONA de Paraopeba. (Tabela 1). Amostras de folhas totalmente expandidas do terceiro nó e do caule das espécies selecionadas foram coletadas tendo como objetivo identificar a existência de acúmulo de alumínio nos tecidos. As amostras foram fixadas em FAA50 (Johansen, 1940) em campo e posteriormente desidratadas em série etanólica até 70 % (Kraus & Arduin, 1997), onde permaneceram em estoque para posterior processamento em laboratório.

Fragmentos da região mediana das folhas e amostras do entrenó do caule foram incluídas em metacrilato (Historesin Leica, Nussloch, Heidelberg, Germany) e posteriormente seccionados transversalmente, com 7 µm de espessura, utilizando micrótomo rotativo de avanço automático (modelo RM2155, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA). Para a detecção de alumínio foi utilizado o reagente Chrome Azurol'S 0,5 % que evidencia a presença de Al, pela coloração azulada a arroxeada dos tecidos, após uma hora de exposição ao reagente e lavagem em água destilada (Kukachka e Miller, 1980). Para a documentação, foram registradas imagens utilizando um fotomicroscópio (modelo AX-70 TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão), com câmera digital acoplada (Axion Cam HRc Zeiss), pertencente ao Laboratório de Anatomia Vegetal da UFV.

Tabela 1. Dados de abundância de espécies de leguminosas com potencial de fixação de nitrogênio selecionadas para estudo de alumínio nas diferentes fitofisionomias da FLONA de Paraopeba. **CD.Lv**: Cerradão distrófico sobre latossolo vermelho. **CM. Lv**: Cerradão mesotrófico sobre latossolo vermelho. **C.ss.Cxb**: Cerrado *sensu stricto* sobre cambissolo. **Css.LA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo amarelo. **Css. LVA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo vermelho amarelo

ESPECIE	FITOFISIONOMIA/CLASSES DE SOLOS				
	CD.Lv	CM.Lv	C.ss. Cxb	C.ss. LA	C.ss.LVA
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	95	23	10	24	11
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	5	20	28	59	85
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	89	30			
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	180	82			
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.			26	13	9
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart)			18	20	2

### **2.3 Teor de Nutrientes no solo**

Amostras de solo das cinco áreas estudadas do cerrado na FLONA de Paraopeba, foram coletadas em profundidades de 0-20cm. próximo às plantas coletadas. O material foi seco ao ar e peneirado em malha de dois mm para determinação das propriedades químicas do solo e determinação dos teores de Alumínio ( $Al^{3+}$ ), Cálcio ( $Ca^{2+}$ ), Ferro (Fe), Fósforo (P), Magnésio ( $Mg^{2+}$ ), Nitrogênio total (Nt), Potássio (K), e matéria orgânica (MO), seguindo métodos descritos pela EMBRAPA (1997). A análise foi executada no laboratório de Análise de solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV),

### **2.4 Regime de luz**

Os dados do regime de luz foram levantados por Tolentino (2011) por meio de fotografias hemisféricas (Anderson, 1964; Breshears e Ludwig, 2010), dividindo cada parcela de 20m x 20m em quatro parcelas de 10m x 10m. No centro de cada subparcela, as imagens foram obtidas por uma câmera digital Nikon coolpix 5700 com extensor Nikon UR- E12 e objetiva olho -de- peixe Nikon FC-E9, apoiada a 1.5m de altura do chão por um tripé. A câmera foi utilizada na função automática, com a parte superior sempre orientada para o norte magnético e com o zênite centralizado na imagem. As fotografias foram obtidas em condições de sol coberto por nuvens ou nas ultimas horas do dia, garantindo a ausência de luz direta (Jonckheer *et al.*, 2004). Cada sub parcela foi fotografada em três exposições diferentes (-1.3, 0.0, +1.3), o que permitiu a escolha da imagem de melhor contraste entre céu e dossel. As imagens foram analisadas pelo software Gap Light Analyzer® que fornece dados de cobertura das copas e de luz transmitida. (Frazer *et al.*, 1999).

### **2.5 Análises estatísticas**

Para testar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre a estrutura e composição florística dos dois grupos funcionais (leguminosas e acumuladoras de Al) presentes em cada uma das fitofisionomias e classes de solos foi feita uma análise multivariada da variância com permutações (PERMANOVA) no programa PRIMER v6.1.14 e PERMANOVA addon v1.0.4. O PERMANOVA detecta a variação na similaridade entre pares de sujeitos através de 9999 permutações aleatórias dos resíduos sob um modelo reduzido e a soma parcial de quadrados dos resíduos (Tipo III) (Clarke e Gorley, 2006; Anderson *et al.*, 2008). Este teste tem o melhor desempenho e poder

estatístico dentro dos ANOVA multifatoriais devido ao fato de que o PERMANOVA é uma análise de variância modificada para trabalhar a partir de permutações. Seus resultados não se comparam com os valores clássicos das tabelas de distribuição de F, mas sim, com os valores permutados 9999 vezes (Anderson & Ter Braak 2003).

Para testar a hipótese de existência de relação entre as leguminosas e as espécies acumuladoras de Al, utilizou-se o teste não-paramétrico de correlação de Spearman utilizando dados de abundância; também foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM) com a inclusão das variáveis: abundância e abertura do dossel, aplicando as famílias de erro Poisson e Quasipoisson. O melhor modelo foi indicado pelo menor valor do Akaike corrigido (AICc) (Burnham et al., 2011). O teste de significância foi aplicado a 5 % de probabilidade, também foi feito uma análise de variância ANOVA de Kruskal-Wallis para indicar diferenças estatísticas significativas em quanto a área basal das espécies dos dois grupos funcionais nas diferentes fitofisionomias. Estas análises foram realizadas utilizando o software R versão 2.15.1 (R Development Core Team, 2012).

As espécies acumuladoras de alumínio presentes no Cerrado da FLONA de Paraopeba foram determinadas com base na literatura (Haridasam *et al.*, 1986; Cotta *et al.*, 2008; Araujo *et al.*, 2008; Carvalho, 2012; Andrade *et al.*, 2011; Haridasan, 1982).

Para determinar a relação (variáveis não correlacionadas) com as variáveis ambientais (solo, luz) foi aplicado o coeficiente de correlação de Spearman, fazendo uma avaliação das diferenças entre as variáveis de cada ambiente usando um teste de independência de t. Posteriormente identificaram-se os melhores modelos que relacionam as variáveis ambientais com a estrutura e composição de leguminosas e acumuladoras. Os modelos foram gerados através de um modelo linear baseado na distância (sub-rotina DistLM) com a aplicação do critério de informação corrigido do AICc, os modelos foram ordenados e visualizados com uma análises de redundância baseada na distância, usando a sub rotina dbRDA, estas análises foram feitas no programa PRIMER v6.1.14 add Permanova v1.0.4 (Clarke & Gorley 2006, Anderson *et al.*, 2008). As variáveis correlacionadas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis correlacionadas com estrutura e composição florística de espécies dos dois grupos funcionais (leguminosas e acumuladoras de Al)

N°	Variável
1	Potencial de hidrogenionico (pH)
2	Fosforo (P)
3	Potássio (k)
4	Cálcio (Ca)
5	Magnésio (Mg)
6	Alumínio (Al)
7	Hidrogênio + alumínio (H+Al)
8	Soma de bases trocáveis (SB)
9	Capacidade de troca catiônica (t)
10	Capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (T)
11	Índice de saturação por bases (v)
12	Índice de saturação por alumínio (m)
13	Matéria orgânica (MO)
14	Ferro (Fe)
15	Nitrogênio total (Nt)
16	Abertura de dossel (Ad)
17	Luz total

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estrutura e composição florística de espécies de leguminosas e de acumuladoras de alumínio e sua relação com as variáveis ambientais.

Foram registradas 26 espécies de leguminosas das quais 15 pertencem à subfamília Papilionoideae, seis à subfamília Mimosoideae, e cinco à subfamília Caesalpinioideae, distribuídas nas diferentes fitofisionomias do Cerrado. Foram encontrados 1460 indivíduos distribuídos assim: Papilionoideae apresentou 79% (1151) dos indivíduos, tendo maior representatividade no cerrado distrófico. A subfamília Mimosoideae apresentou 12% (179) dos indivíduos com a maior distribuição no cerrado *sensu stricto*, e a subfamília Caesalpinioideae correspondeu a 9% (130) dos indivíduos também com o maior número de indivíduos no cerrado *sensu stricto* (Tabela 3).

Dentro das espécies que foram registradas como acumuladoras de Al encontram-se 11 espécies distribuídas nas famílias Vochysiaceae (7 sp.) Rubiaceae, (2 sp.), Melastomataceae e Symplocaceae (1 sp.), presentes também nas diferentes fitofisionomias. Foram registrados 2397 indivíduos de espécies acumuladoras de alumínio distribuídos em quatro famílias, apresentando-se a maior porcentagem (45%; 1081 indivíduos) na família Vochysiaceae, seguida de família Melastomataceae (39.5%; 948 indivíduos), de Rubiaceae (12%; 282 indivíduos ) e de Symplocaceae (3.5%; 86

indivíduos), todos distribuídos nas diferentes fitofisionomias presentes na FLONA (Tabela 4).

Tabela 3. Espécies de leguminosas no Cerrado da FLONA de Paraopeba com dados de abundância nas diferentes fitofisionomias. **Sub**: Subfamília. **C**: Caesalpinoideae. **M**: Mimosoideae. **P**: Papilionidae. **CD.Lv**: Cerradão distrofico sobre latossolo vermelho. **CM.Lv**: Cerradão mesotrófico sobre latossolo vermelho. **C.ss.Cxb**: Cerrado *sensu stricto* sobre cambissolo. **C.ss.LA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo amarelo. **C.ss. LVA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo vermelho amarelo. **T**: Total de indivíduos

ESPECIE	FITOFISIONOMIA						
	SubF	CD. Lv	CM. Lv	Css. Cxb	Css.LA	Css. LVA	T
<i>Chamaecrista apoucouita</i> (Aubl.) H.S.Irwin & Barneby	C	5	0	0	0	0	5
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Hayne	C	13	11	6	13	25	68
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	C	0	1	0	0	0	1
<i>Senna macranthera</i> (Collad.) H.S.Irwin & Barneby	C	2	0	0	0	0	2
<i>Tachigali vulgaris</i> L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima	C	1	3	3	29	18	54
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth	M	0	2	26	13	9	50
Mimosoideae	M	1	0	0	0	0	1
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	M	3	6	0	0	0	9
<i>Plathyminia reticulata</i> Benth	M	27	7	9	18	6	67
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton	M	7	1	0	0	3	11
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	M	1	0	18	20	2	41
<i>Bauhinia</i> sp.	P	3	1	6	1	23	34
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	P	95	23	10	24	11	163
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	P	89	30	0	0	9	128
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth	P	18	3	0	0	1	22
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	P	5	20	28	59	85	197
<i>Machaerium aculeatum</i> Raddi	P	0	4	0	0	3	7
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	P	8	5	0	0	0	13
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	P	24	15	24	8	38	109
<i>Machaerium scleroxylon</i> Tul	P	0	2	0	0	0	2
<i>Machaerium</i> sp.	P	0	2	0	0	0	2
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	P	0	2	0	0	0	2
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	P	0	5	0	0	0	5
<i>Platymiscium praecox</i> Benth	P	0	1	0	0	0	1
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	P	180	82	0	0	190	452
<i>Swartzia myrtifolia</i> Sm.	P	14	0	0	0	0	14
<b>Total de indivíduos</b>		<b>496</b>	<b>226</b>	<b>130</b>	<b>185</b>	<b>423</b>	<b>1460</b>

Tabela 4. Espécies Acumuladoras de alumínio no Cerrado da FLONA de Paraopeba com dados de abundância nas diferentes fitofisionomias. **CD.Lv**: Cerradão distrófico sobre latossolo vermelho. **CM.Lv**: Cerradão mesotrófico sobre latossolo vermelho. **C.ss.Cxb**: Cerrado *sensu stricto* sobre cambissolo. **Css.LA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo amarelo. **Css. LVA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo vermelho amarelo. **T**: Total de indivíduos

ESPECIE	FAMILIA	FITOFISIONOMIA					T
		CD. Lv	CM. Lv	Css. Cxb	Css.LA	Css. LVA	
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud	Melastomataceae	98	0	509	260	81	948
<i>Callisthene major</i> Mart.	Vochysiaceae	110	35	0	0	50	195
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	25	38	146	44	152	405
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	16	14	5	1	33	69
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	4	20	170	86	92	372
<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.	Vochysiaceae	0	0	9	24	4	37
<i>Vochysia rufa</i> Mart.	Vochysiaceae	0	0	1	0	0	1
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Vochysiaceae	0	0	1	1	0	2
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Rubiaceae	0	0	21	16	1	38
<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth	Rubiaceae	5	29	51	47	112	244
<i>Symplocos nintens</i> (Pohl) Benth.	Symplocaceae	0	1	4	62	19	86
<b>Total de indivíduos</b>		<b>258</b>	<b>137</b>	<b>917</b>	<b>541</b>	<b>544</b>	<b>2397</b>

A análise de variância (ANOVA de Kruskal-Wallis) evidenciou diferenças estatisticamente significativas da área basal de leguminosas e acumuladoras de Al com um valor de ( $p= 1.503e^{-06}$  e  $4.057e^{-05}$  respectivamente). A área basal de leguminosas foi maior se comparada com a área basal das acumuladoras de Al. As leguminosas apresentaram maior área basal nas áreas dos cerradões (distrófico e mesotrófico) e no Cerrado *sensu stricto* denso sobre latossolo vermelho, e as acumuladoras de alumínio apresentaram maior área basal no cerradão distrófico e no Cerrado *sensu stricto* sobre cambissolo e sobre latossolo amarelo (Figura 3).

De forma geral, houve diferenças estatisticamente significativas com um valor de P permutado ( $P_{perm} < 0.05$ ) nas diferentes fitofisionomias, Indicando que existem diferenças na estrutura e composição florística de leguminosas e acumuladoras de Al nas diferentes fitofisionomias. Observa-se na Tabela 5 que, de acordo com o valor de t, existe maior diferença quanto à estrutura e composição florística destes dois grupos funcionais, entre o cerradão distrófico e mesotrófico e que a maior similaridade existente foi entre o cerradão distrófico com áreas do cerrado *sensu stricto* sobre cambissolo e latossolo amarelo.

Tabela 5. Análises de variância multivariada com permutações (PERMANOVA) que evidencia diferenças estatísticas significativas  $P(<0.05)$  entre as diferentes fitofisionomias do Cerrado da FLONA de Paropeba. **CD**: Cerradão distrofico. **CM**: Cerradão mesotrófico **C.ss.Cxb**: Cerrado *sensu stricto* sobre cambissolo. **Css.LA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo amarelo. **Css. LVA**: Cerrado *sensu stricto* sobre latossolo vermelho amarelo.

<b>FITOFISIONOMIAS</b>	<b>t</b>	<b>P (perm)</b>	<b>perms</b>
<b>CD-Css .LA</b>	4.0833	0.0001	9944
<b>CD-Css .Cxb</b>	4.0146	0.0001	9929
<b>CM-Css .Cxb</b>	3.946	0.0001	9928
<b>CM-Css .LA</b>	3.8105	0.0001	9930
<b>Css .Cxb- Css .LVA</b>	3.6033	0.0001	9937
<b>Css .LA-Css .LVA</b>	3.4279	0.0001	9943
<b>CD-Css .LVA</b>	3.0243	0.0001	9933
<b>Css .Cxb- Css .LA</b>	2.2899	0.0001	9950
<b>CM-Css .LVA</b>	1.838	0.0009	9939
<b>CD-CM</b>	1.7128	0.0012	9926

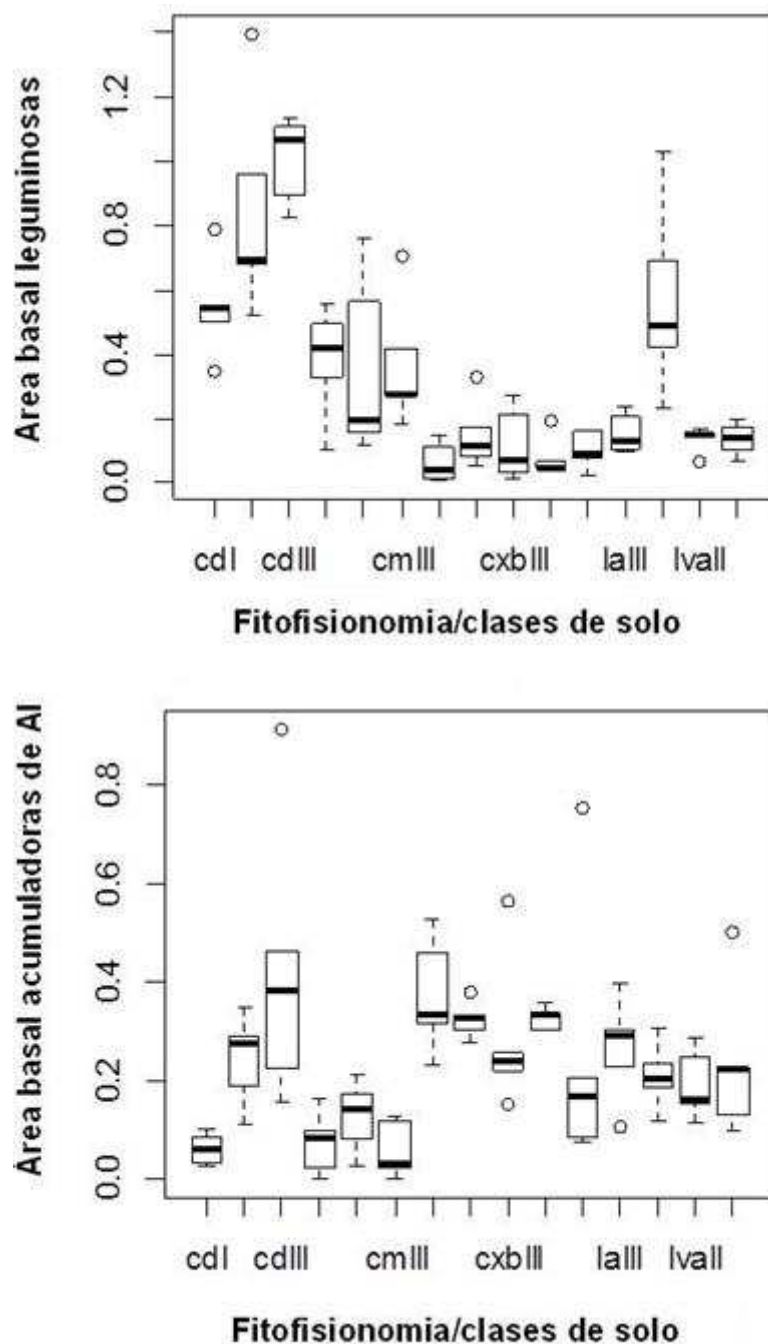


Figura 3. Análise de variância ANOVA com Kruskal-Wallis, evidenciando diferenças significativas quanto à área basal de leguminosas e acumuladoras de alumínio nas diferentes fitofisionomias e classes de solo do Cerrado da FLONA de Paraopeba. **cd**: Cerradão distrófico; **cm**: Cerradão mesotrófico; **cxb**: cambissolo; **la**: latossolo amarelo; **lva**: latossolo vermelho amarelo

Na tabela 6 estão apresentados os resultados dos coeficientes de correlação interna da análise de associação entre as variáveis ambientais de solo e luz com a estrutura e composição florística de leguminosas e acumuladoras de Al. Segundo o menor valor do Akaike corrigido (AICc) e depois de retirar variáveis que apresentaram alta colinearidade, escolheram-se

os melhores modelos que conseguem explicar a relação da estrutura e composição florística de leguminosas e acumuladoras de Al no Cerrado da FLONA de Paraopeba. Na tabela 7 observa-se os valores do AICc ordenados ascendentemente considerando-se o menor valor, as variáveis que melhor explicam a distribuição das leguminosas e acumuladoras de alumínio no Cerrado são: magnésio, alumínio, capacidade de troca catiônica, índice de saturação de alumínio, ferro, nitrogênio total e abertura do dossel.

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Spearman para os eixos 1 y 2 e matriz de correlação para a relação das variáveis de leguminosas e acumuladoras de alumínio, nas diferentes fitofisionomias do Cerrado da FLONA de Paraopeba. Potencial de hidrogenionico (pH); Fosforo (P); Potássio (k); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Alumínio (Al); Hidrogênio + alumínio (H+Al); Soma de bases trocáveis (SB); Capacidade de troca catiônica (t); Capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (T); Índice de saturação por bases (v); Índice de saturação por alumínio (m); Matéria orgânica (MO); Ferro (Fe); Nitrogênio total (Nt); Abertura de dossel (Ad). Com valor de  $p < 0.01$  (\* indica Ausência de relação significativa, a  $p < 0.01$ )

	pH	P	k	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Al + H	SB	T	t	v	m	mo	fe	Nt	Ad
<b>pH</b>																
<b>P</b>	0.68															
<b>K</b>	0.68	0.50														
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0.87	0.84	0.57													
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0.70	0.76	0.65	0.71												
<b>Al<sup>3+</sup></b>	-0.84	-0.74	-0.54	-0.83	-0.77											
<b>Al + H</b>	-0.89	-0.47	-0.58	-0.70	-0.50	0.71										
<b>SB</b>	0.88	0.85	0.61	1.00	0.76	-0.85	-0.70									
<b>T</b>	0.83	0.83	0.59	0.98	0.70	-0.72	-0.64	0.98								
<b>t</b>	0.02*	0.53	0.07*	0.42	0.37	-0.22	0.35	0.42	0.47							
<b>v</b>	0.91	0.85	0.63	0.99	0.78	-0.88	-0.74	0.99	0.96	0.37						
<b>m</b>	-0.83	-0.78	-0.58	-0.85	-0.82	0.97	0.63	-0.87	-0.76	-0.35	-0.89					
<b>mo</b>	0.21	0.65	0.22	0.56	0.51	-0.36	0.16*	0.57	0.60	0.95	0.53	-0.48				
<b>fe</b>	0.01*	-0.13*	0.36	-0.14	0.17	-0.08*	0.03*	-0.10	-0.16*	-0.09*	-0.07*	-0.12	-0.04*			
<b>Nt</b>	-0.07*	-0.25	-0.08*	-0.18	-0.15	0.08*	-0.04*	-0.18	-0.21	-0.28	-0.15	0.10*	-0.26	0.09*		
<b>Ad</b>	-0.21	-0.54	0.03*	-0.46	-0.48	0.49	-0.02*	-0.46	-0.41	-0.63	-0.44	0.49	-0.68	0.05*	0.07*	
<b>Luz total</b>	-0.24	-0.57	0.00*	-0.50	-0.50	0.52	0.01*	-0.50	-0.45	-0.64	-0.48	0.52	-0.69	0.05*	0.08*	0.99

Tabela 7. Valores do AICc, ressaltando\* pelo menor valor as variáveis mais correlacionadas com a distribuição de leguminosas e acumuladoras de alumínio na FLONA de Paraopeba. **1:** Potencial de hidrogeniônico (pH); **2:** Fósforo (P); **3:** Potássio (K); **4:** Cálcio (Ca); **5:** Magnésio (Mg); **6:** Alumínio (Al); **7:** Hidrogênio + alumínio (H+Al); **8:** Soma de bases trocáveis (SB); **9:** Capacidade de troca catiônica (t); **10:** Capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (T); **11:** Índice de saturação por bases (v); **12:** Índice de saturação por alumínio (m); **13:** Matéria orgânica (MO); **14:** Ferro (Fe); **15:** Nitrogênio total (Nt); **16:** Abertura de dossel (Ad); **17:** Luz total

AICc	RSS	Nº da variável	Seleção dos modelos
<b>1060.8</b>	<b>2.9754E5</b>	<b>6</b>	<b>5,6,10,12,14,16*</b>
<b>1060.8</b>	<b>2.9256E5</b>	<b>7</b>	<b>5,6,10,12,14-16*</b>
1061.0	3.0287E5	5	5,6,10,12,16
1061.3	2.8888E5	8	1,5,6,10,12,15-17
1061.5	3.0897E5	4	1,4,8,16
1061.7	2.8474E5	9	1,2,5,6,10,12,14-16
1062.6	2.8175E5	10	1,2,5,6,10,12,14-17
1062.6	3.1649E5	3	5,10,16
1063.5	2.8347E5	11	1,5-10,12,14-16
1063.9	3.2459E5	2	5,16
1064.2	2.8004E5	12	1,2,5-10,12,14-16
1065.3	2.7733E5	13	1,2,5-10,12-16
1066.4	3.3553E5	1	16

Os valores das análises de associação para os eixos 1 e 2 foram 58.5% e 17.9% respectivamente. Então 76.4% da variância na distribuição das espécies de leguminosas e acumuladoras de Al nas diferentes fitofisionomias se devem as seguintes variáveis: abertura do dossel (Ad), seguida por, índice de saturação de alumínio(m), capacidade de troca catiônica (T), alumínio (Al<sup>3+</sup>), ferro (Fe), Mg (Mg<sup>2+</sup>) e nitrogênio total (Nt) (Figura 4).

De igual forma na figura 5 são apresentadas as diferentes espécies correlacionadas com estas variáveis selecionadas, observando-se que a distribuição da maioria das espécies acumuladoras de Al e de leguminosas está relacionada à abertura do dossel e à concentração de alumínio como foi o caso de *Miconia albicans*, *Qualea grandiflora*, *Qualea parviflora*, *Salvertia convallariodora*, *Vochysia rufa*, *Vochysia thyrsoides*, *Palicourea rígida* e *Symplocos nintens*, enquanto, as espécies *Callisthene major* e *Qualea multiflora* mostraram uma relação negativa com respeito a abertura do dossel, indicando que estas espécies compartilham fitofisionomias mais fechadas (cerradões).

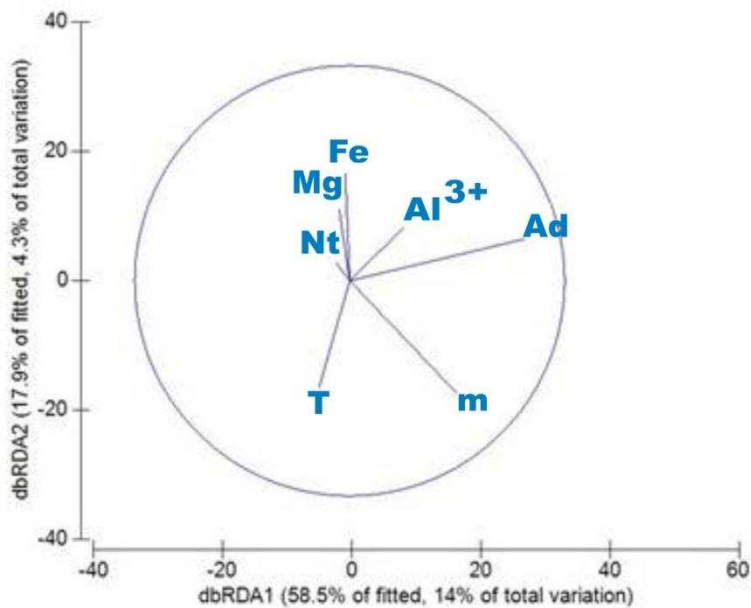


Figura 4. Análises dbRDA indicando as variáveis mais correlacionadas com a distribuição de das espécies dos dois grupos funcionais (leguminosas e acumuladoras de Al) nas diferentes fitofisionomias da FLONA de Paraopeba. **Ad**: Abertura de dossel. **T**: Capacidade de troca catiônica. **m**: Índice de saturação por alumínio. **Nt**: Nitrogênio total. **Fe**: Ferro. **Mg**: magnésio. **Al<sup>3+</sup>**: Alumínio.

As respostas das leguminosas frente as variáveis analisadas (figura4) mostrou que poucas tiveram uma correlação positiva com luz e alumínio, entre estas *Leptolobium dasycarpum*, *Hymenaea stigonocarpa*, *Tachigali vulgaris*, *Dimorphandra mollis*, *Plathymenia reticulata* e *Stryphnodendron adstringens*. A distribuição das demais leguminosas está mais relacionada com variáveis como capacidade de troca catiônica, magnésio, ferro e nitrogênio .

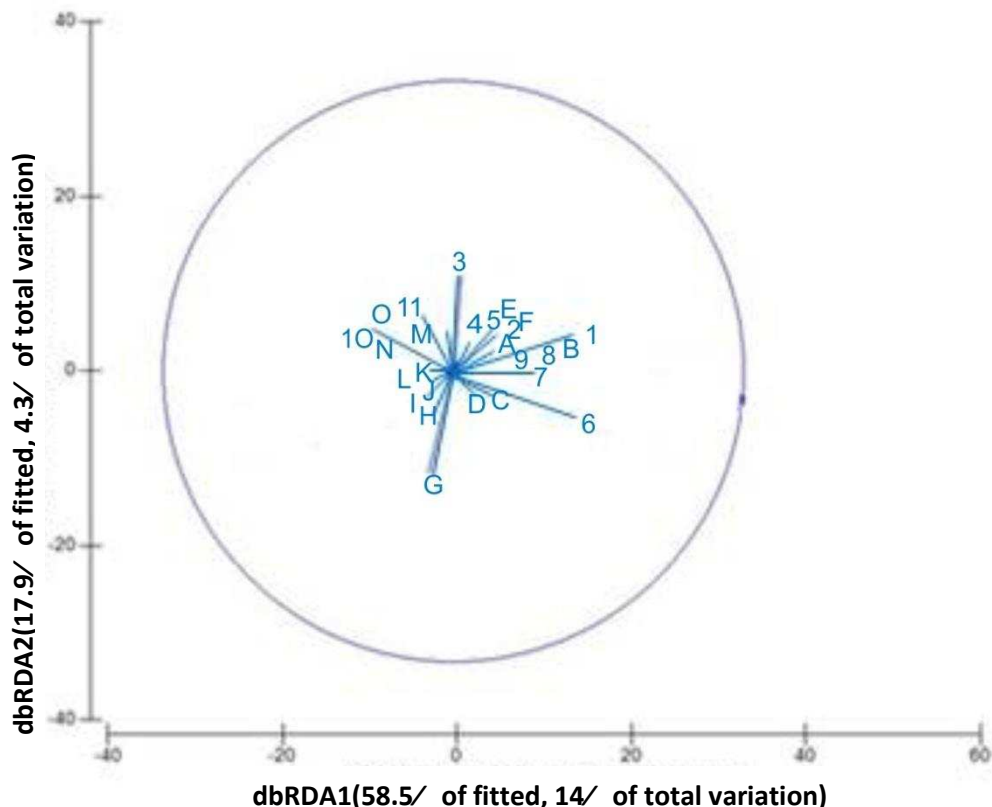


Figura 5. Correlação das espécies com variáveis selecionadas pelo melhor modelo de distribuição das espécies, tabela 6 e gráfico 3. Com letras espécies do grupo funcional das leguminosas e com números as acumuladoras de Al. **Letras:** **A:** *Dimorphandra mollis*; **B:** *Stryphnodendron adstringens*; **C:** *Plathymenia reticulata*; **D:** *Hymenaea stigonocarpa*; **E:** *Leptolobium dasycarpum*; **F:** *Tachigali vulgaris*; **G:** *Bowdichia virgilioides*; **H:** *Dalbergia miscolobium*; **I:** *Swartzia myrtifolia*; **J:** *Senna macranthera*; **K:** *Peltophorum dubium*; **L:** *Platypodium elegans*; **M:** *Copaifera langsdorffii*; **N:** *Platymiscium praecox*; **O:** *Machaerium aculeatum*. **Números:** **1:** *Miconia albicans*; **2:** *Symplocos nintens*; **3:** *Rudgea viburnoides*; **4:** *Qualea grandiflora*; **5:** *Qualea parviflora*; **6:** *Palicourea rigida*; **7:** *Vochysia rufa*; **8:** *Salvertia convallariodora*; **9:** *Vochysia thyrsoidea* **10:** *Qualea multiflora* **11:** *Callisthene major*

### 3.2. Análises de relação entre os dois grupos funcionais leguminosas e acumuladoras de alumínio.

Valores do coeficiente de correlação de Spearman evidenciaram uma correlação negativa entre a abundância das leguminosas com respeito à abundância de acumuladoras de Al, com um valor de  $r = -0.32$  e um  $p = 0.005$ . Ao fazer a correlação com cada subfamília das leguminosas (Tabela 8) obteve-se o mesmo padrão nas Papilionoideae ( $r = -0.41$  e  $p = 0.0003$ ), mas não houve correlação das acumuladoras de Al com as Mimosoideae e Caesalpinoideae.

O modelo linear generalizado, feito entre a abundância de leguminosas e abundância de acumuladoras e aplicando a família quasipoisson, confirmou a existência significativa de uma relação entre estes dois grupos funcionais, ( $t = -2.281$ ,  $p = 0.0255$ ), ou seja, ao aumentar as espécies de leguminosas obteve uma diminuição na abundância das espécies acumuladoras de alumínio (Figura 6).

Tabela 8. Grau de correlação entre leguminosas e acumuladoras de alumínio medido com o coeficiente de correlação de Spearman, (o \* indica a significância da relação. Relação significativa  $p < 0.05$ .)

Variable(1)	Variable(2)	n	Spearman	p-valor
<b>Leguminosae</b>	Acumuladoras	75	-0.32	0.0050*
<b>Papilionoidae</b>	Acumuladoras	75	-0.41	0.0003*
<b>Caesalpinoidae</b>	Acumuladoras	75	0.15	0.1998
<b>Mimosoideae</b>	Acumuladoras	75	0.19	0.0986

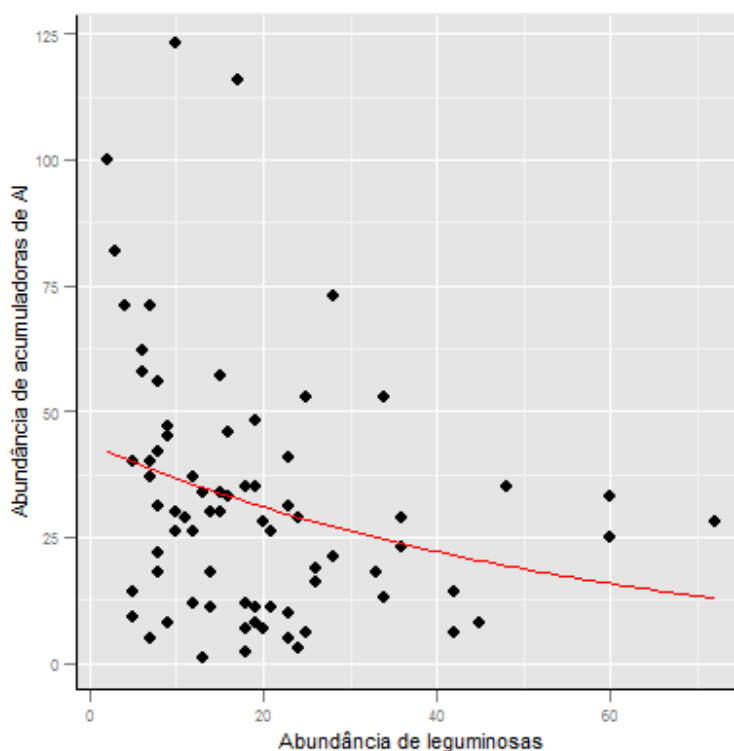


Figura 6. Modelo lineal generalizado entre abundância de leguminosas e acumuladoras de Al, aplicando a família de distribuição de erro quasipoisson

Com respeito à abertura do dossel modelos lineares generalizados aplicados com dados de abundância dos dois grupos funcionais evidenciaram diferenças estatísticas significativas, as acumuladoras de Al mostraram uma relação positiva ( $t = 6.716$ ,  $p = 3.49e^{-09}$ ) com a abertura de dossel, no entanto a abundância de leguminosas diminuiu com o aumento desta variável ( $t = -4.984$ ,  $p = 4.05e^{-06}$ ) (Figura 7).

Selecionando as espécies de acumuladoras de Al mais abundantes e correlacionando-as com a abertura do dossel verificou-se que existe uma relação positiva da maioria delas com esta variável (Figura 8), resultados que concordaram com os acima descritos, evidenciando também a relação negativa já descrita de *Qualea multiflora* e *Callisthene major* com esta mesma variável (Figura 9).

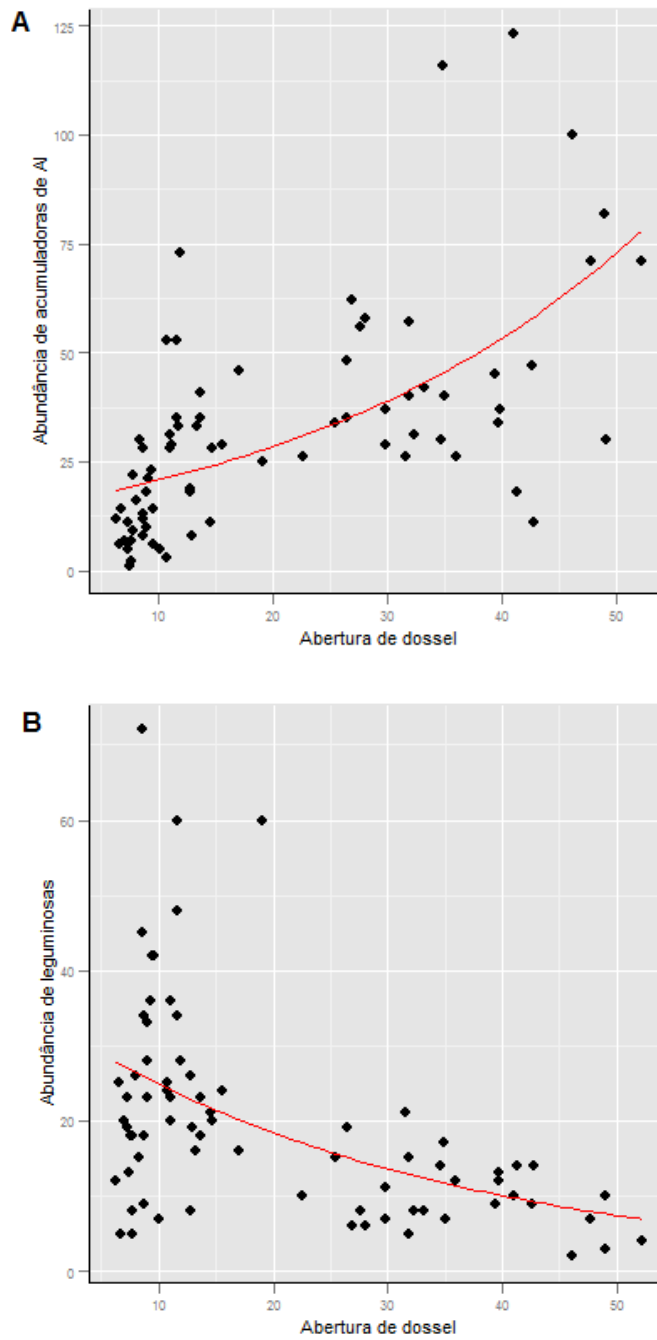


Figura 7. Modelos lineares generalizados entre abundância e abertura do dossel dos dois grupos funcionais. **A:** acumuladoras de AI. **B:** leguminosias, aplicando a família de distribuição de erro quasipoisson

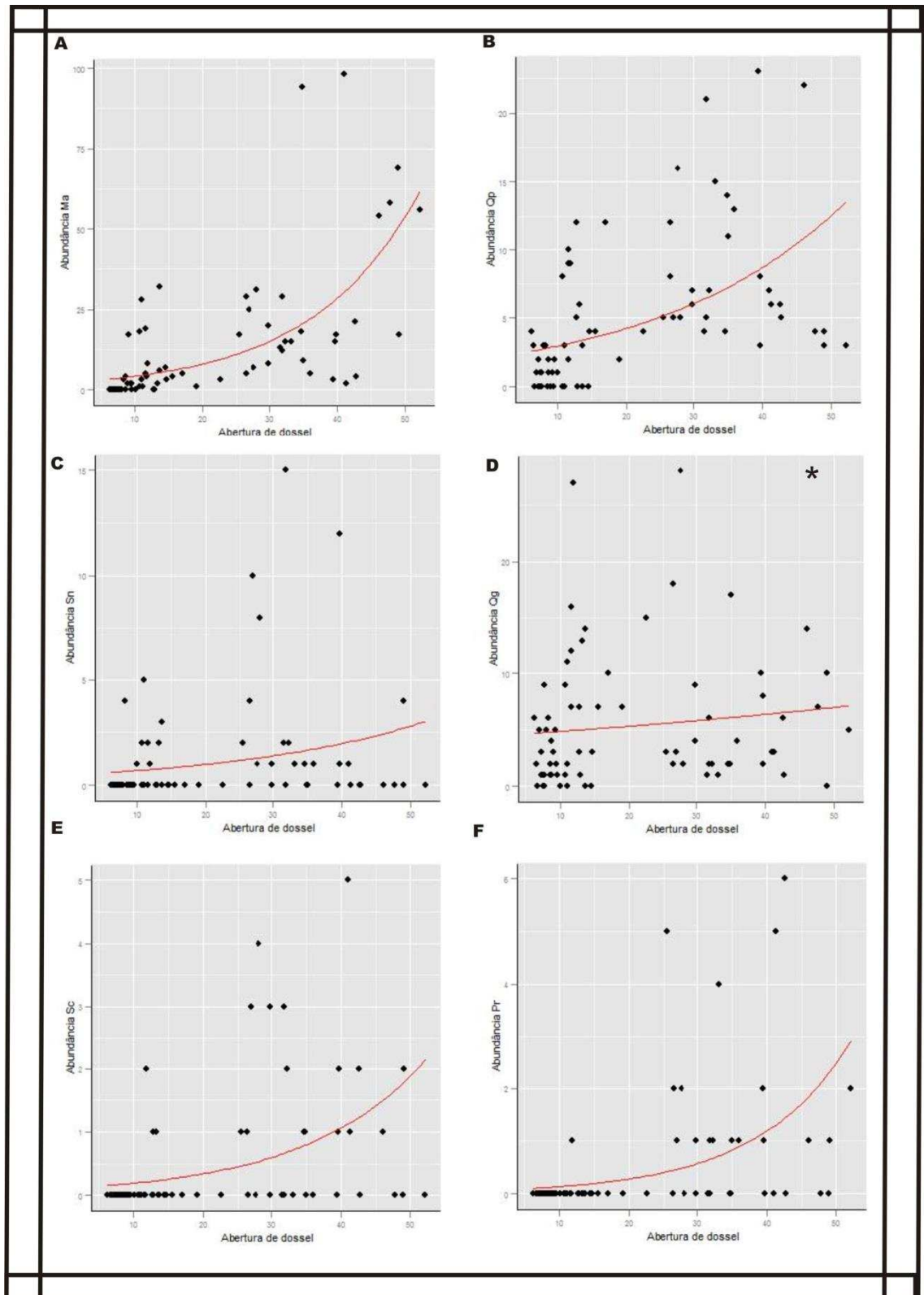


Figura. 8. Modelos lineares generalizados entre espécies de acumuladoras de AI e abertura de dossel aplicando a família de distribuição de erro quasipoisson. **A:** *Miconia albicans*. **B:** *Qualea parviflora*. **C:** *Symplocos nintens* **D:** *Qualea grandiflora*. **E:** *Salvertia convallariodora* . **F:** *Palicourea rígida*. (\*) significa ausência de relação significativa

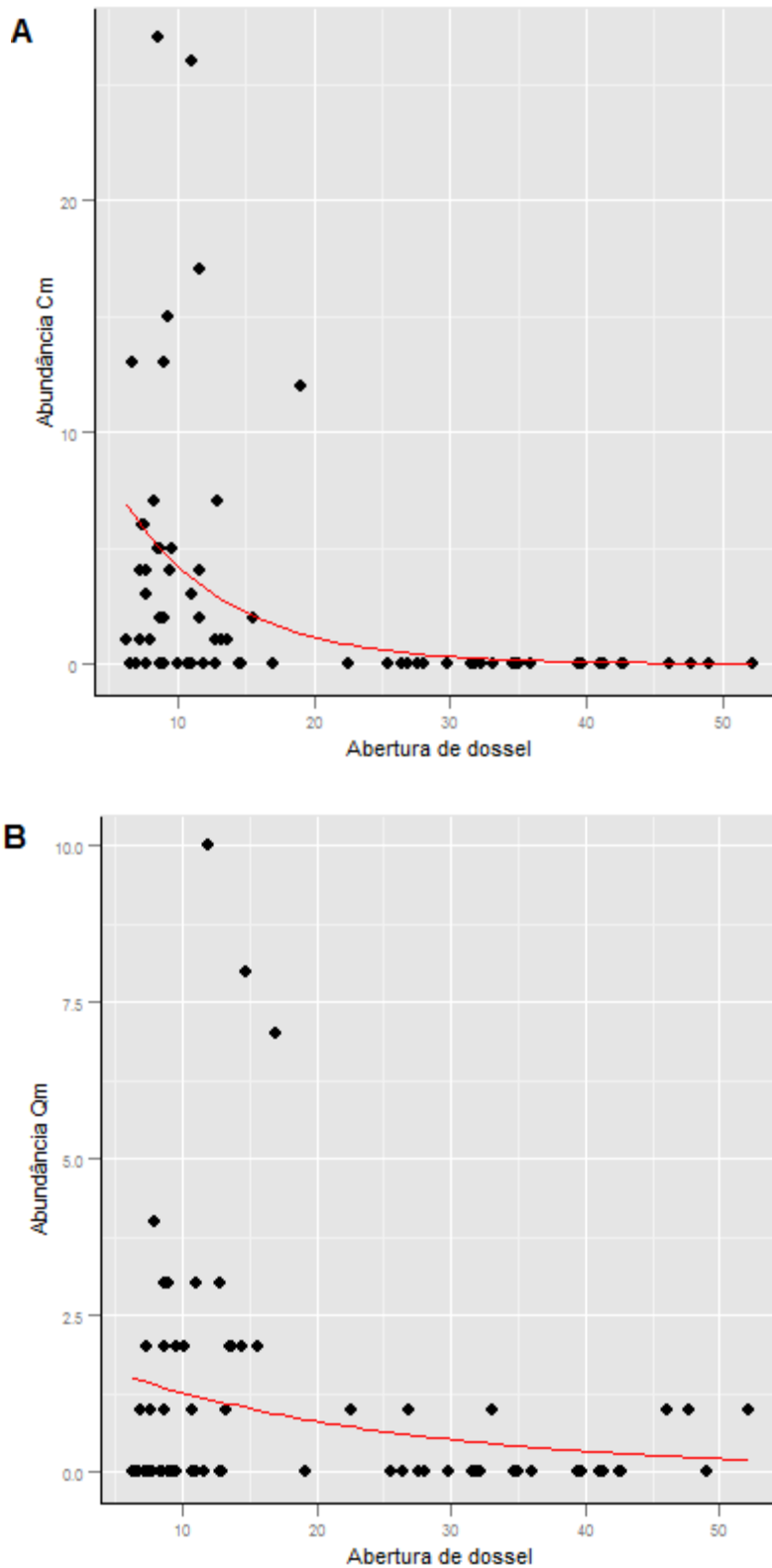


Figura 9. Modelos lineares generalizados entre abundância espécies e acumuladoras de AI e abertura do dossel. **A:** *Callisthene major*. **B:** *Qualea multiflora*, aplicando a família de distribuição de erro quasipoisson

Devido ao fato de as espécies *Qualea multiflora* e *Callisthene major* apresentarem correlação negativa, foram feitas análises de correlação entre abundância das leguminosas com a abundância destas duas espécies

obtendo-se uma correlação positiva estatisticamente significativa com Spearman ( $r_s$ ) de 0.53 e um valor de P 0.0001 (figura 9). O modelo linear generalizado aplicado com a família de distribuição de erro quasipoisson, também confirmou a significância desta relação ( $t= 7.256$ ,  $p= 3.48e-10$ ) (Figura 10).

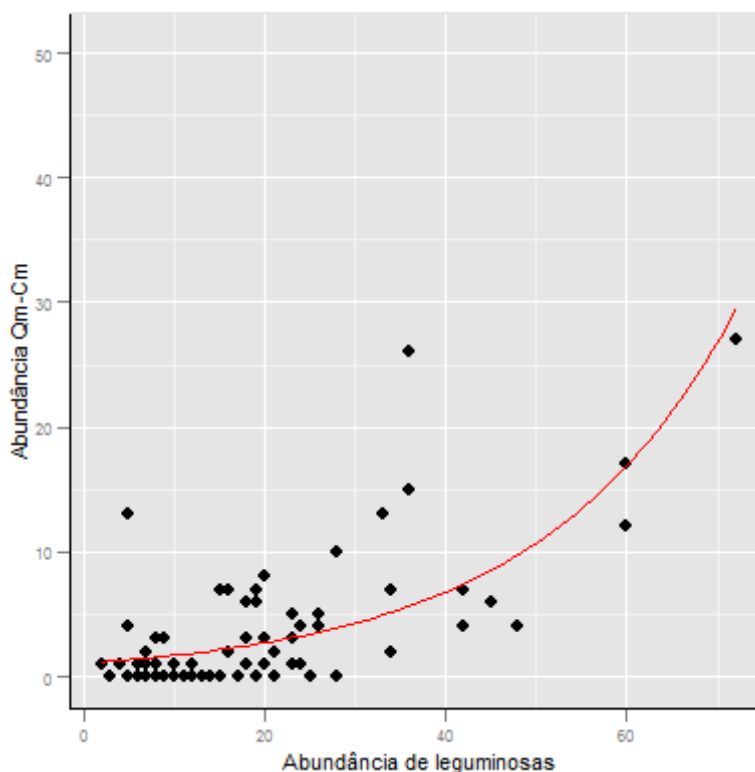


Figura 10. Modelos lineares generalizados entre abundância de leguminosas com abundância das espécies *Callisthene major* e *Qualea multiflora*, aplicando a família de distribuição de erro quasipoisson

### 3.3. Histolocalização de alumínio

Como referência para evidenciar a presença de Al nos tecidos dos órgãos vegetativos, utilizou-se reação positiva (Coloração azul) para o teste de Chrome Azurol'S na folha de *Symplocos nitens* (Figura 11a), observando-se a presença do Al nas paredes celulares de natureza pecto-celulósica da epiderme do colênquima, do floema e do parênquima lacunoso. Resultados negativos foram observados nas espécies de leguminosas amostradas, não sendo evidenciado o acúmulo de alumínio (Figura 11b-d e 12).

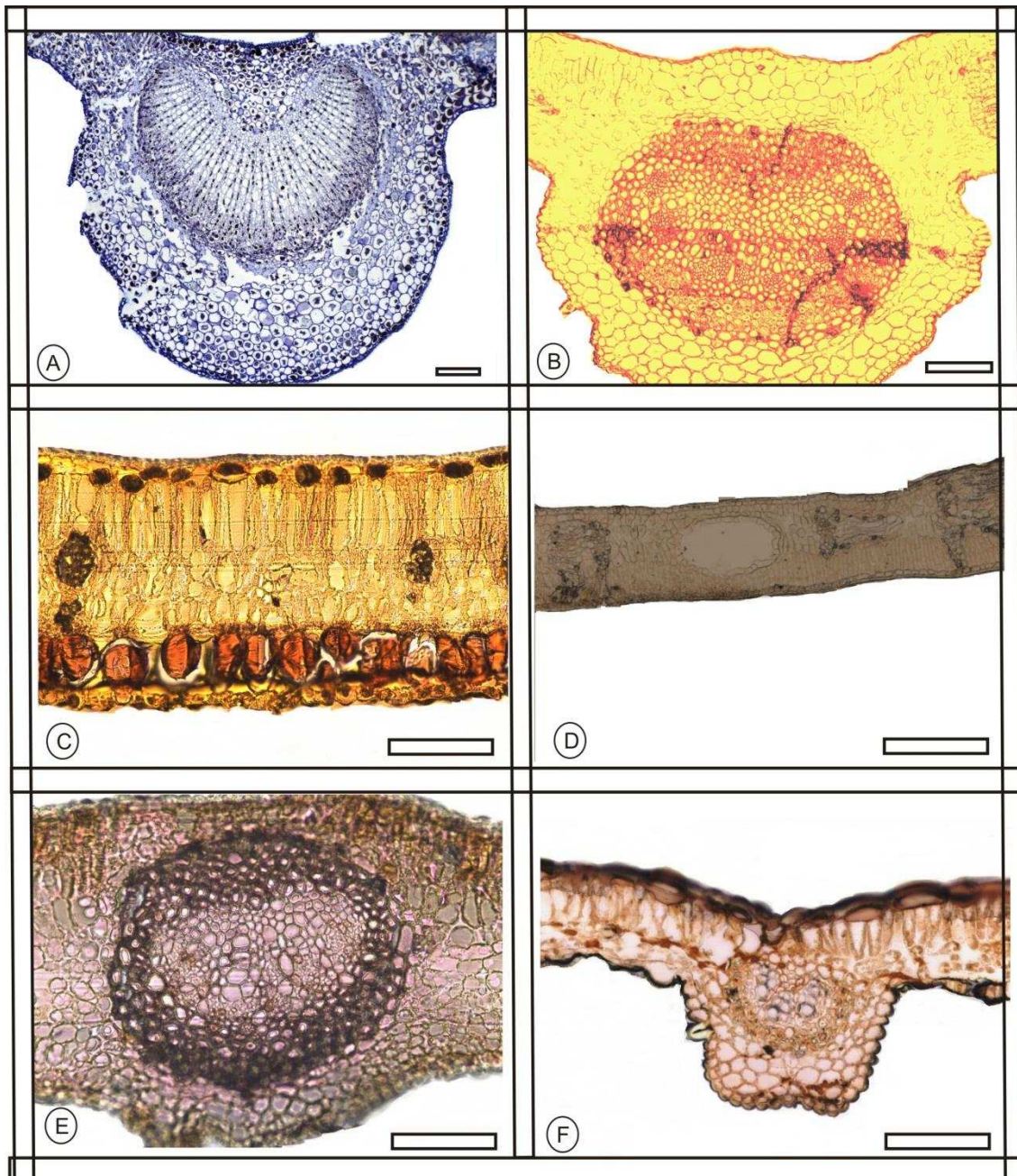


Figura 11. Teste para histolocalização de alumínio feito com o reagente Chrome Azurol'S (cortes transversais de folhas- microscopia de luz). Coloração azul indica o acúmulo de alumínio nos tecidos da folha, coloração diferente indica reação negativa ao teste. **A:** *Symplocos nitens*.(espécie referência, reação positiva). **B-F** (espécies de leguminosas com reação negativa) **B:** *Leptolobium dasycarpum*. **C:** *Bowdichia virgilioides* **D:** *Copaifera langsdorffii* **E:** *Stryphnodendron adstringens*. **G:** *Dimorphandra mollis*. Escala **A, D:** 200  $\mu$ m. **B, C,E,F:** 100  $\mu$ m.

#### 4. DISCUSSÃO

##### 4.1 Estrutura e composição florística de espécies de leguminosas e de acumuladoras de alumínio e sua relação com as variáveis ambientais.

Foram evidenciadas diferenças na estrutura e composição florística dos dois grupos funcionais nas diferentes fitofisionomias e diferentes classes de solo no Cerrado, as quais estão relacionadas com as variáveis ambientais solo e luz, que segundo a análise da PERMANOVA são diferentes em cada um das

áreas estudadas. As análises de associação das variáveis do solo e luz, mostraram que algumas variáveis estão influenciando mais do que outras na distribuição de leguminosas e acumuladoras de alumínio nas diferentes fitofisionomias da FLONA de Paraopeba. A abertura do dossel foi a variável que melhor explicou a distribuição das espécies destes dois grupos funcionais, segundo Coutinho (1978), o aumento de cobertura de dossel no sentido cerrado *sensu stricto* – cerradão, ou seja, a quantidade de luz disponível é potencialmente um importante fator determinante de cada espécie em cada ambiente, assim, foi observado mais espécies acumuladoras correlacionadas com a luz do que espécies de leguminosas. Segundo Sprent (1999), as leguminosas tolerantes à sombra são em grande parte restritas aos trópicos, tanto na savana como nas florestas (Izaguirre *et al.*, 1995).

Outras variáveis que se mostraram determinantes na distribuição das espécies foram o alumínio, índice de saturação de alumínio, capacidade de troca catiônica, magnésio e ferro. De forma semelhante Iguatemy *et al.* (2006) verificaram a influência de variáveis como abertura do dossel, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (t), pH, soma de bases, alumínio e hidrogênio na determinação da riqueza em um fragmento de Cerrado em Itirapina, São Paulo; enquanto Ruggiero *et al.* (2002) observaram que a composição florística estava associada com valores altos de saturação de alumínio e alumínio trocável na região nordeste do estado de São Paulo Gooland (1971) destaca também que o Al é um dos atributos mais importantes do solo, assim algumas espécies vegetais são obrigatoriamente acumuladoras de alumínio e não crescem em sua ausência (Oliveira Filho & Ratter 2002), por outro lado, Ratter (1992) relatou a existência de outras espécies que ocorrem apenas em áreas onde há maior teor de cálcio e magnésio e baixos teores de alumínio.

#### **4.2 Histolocalização de alumínio**

Neste estudo não foi evidenciado acúmulo de alumínio nos tecidos dos órgãos vegetativos das espécies de leguminosas amostradas, segundo Haridasan (2008) um dos mecanismos usados pelas espécies não acumuladoras de Al nativas do Cerrado é a quelação do cátion ( $Al^{+3}$ ). A exposição ao  $Al^{+3}$  pode induzir a liberação de ácidos orgânicos que protegem as raízes contra a ação do cátion quelando esse elemento na rizosfera e

levando a formação de complexos não tóxicos (Ryan *et al.*, 2001). O processo de fixação de N<sub>2</sub> parece ser vantajoso para estas espécies neste aspecto, segundo Zhao e Shen (2009) o amônio e nitrato conferem resistência ao Al, indicando que possivelmente existe influência do N atuando no mecanismo de resistência ao alumínio, dependendo da forma de absorção e mecanismos de assimilação de N na planta pode ocorrer excesso de absorção de cátion ou anions (Haynes, 1983; Kirkby e Knight, 1977;), íons de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) diminuem os locais de ligação de cátions da parede celular através de uma concorrência direta e indireta de prótons NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com íons Al, (Zhao *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010). Quando o nitrato é absorvido, para manter um equilíbrio de carga, movimento de cátions à superfície da raiz pode resultar em uma acumulação de Al nas raízes (Troelstra *et al.*, 1985; Tanaka *et al.*, 1987; Cumming, 1990; Cumming e Weinstein, 1990).

O fato de não ter reação positiva com o Chrome Azurol que indicaram o acúmulo de alumínio nos tecidos das espécies de leguminosas amostradas, não indica a ausência total deste elemento, devido os testes histoquímicos serem métodos qualitativos que não são capazes de discriminar entre diferentes concentrações de alumínio (Campos *et al.*, 2014b).

#### **4.3 Relação entre os dois grupos funcionais leguminosas e acumuladoras de alumínio.**

Os resultados apresentados neste estudo indicaram uma divisão do grupo funcional das acumuladoras de alumínio em dois grupos, acumuladoras de alumínio correlacionadas positivamente com a abertura do dossel que foram consideradas acumuladoras não tolerantes ao sombreamento (grupo um), e as que tiveram uma correlação negativa com a abertura do dossel acumuladoras tolerantes ao sombreamento (grupo dois).

Foi observada uma correlação negativa entre leguminosas e espécies acumuladoras de alumínio do grupo um, este pode ser explicado tendo em conta a luz como filtro biológico, mas influenciado pela fixação do nitrogênio. Segundo Franco e Faria (1997) o nitrogênio é de grande importância para o crescimento das plantas, principalmente em solos com pouca disponibilidade de nutrientes. Pons *et al.*(2007) sugerem que o crescimento das leguminosas fixadoras de nitrogênio é favorecido comparado com as não fixadoras deste elemento. Estudos realizados por Souza (2010) em casa de vegetação com

duas espécies de leguminosas do Cerrado, evidenciaram que a altura e o diâmetro das mudas das espécies foram influenciados significativamente pelos efeitos isolados das doses de nitrogênio aplicadas.

Na FLONA de Paraopeba, abundância de espécies do grupo 1 (um) foi maior no Cerrado *sensu stricto*, mas as leguminosas estiveram melhor representadas com respeito a altura e área basal, assim, plantas de maior tamanho e área basal, atuam como filtro biológico, criando micro-sítios específicos sob suas copas e selecionando espécies que se regeneram sob elas (Gandolfi et al., 2007). A altura da copa, justaposição das copas e densidade da folhagem são fatores que afetam o regime de luz (Gandolfi, 2003), podendo causar diferentes respostas biológicas entre as plantas ali presentes, como germinação, estresse, crescimento, fotoinibição ou morte (Gandolfi et al., 2007). Assim o sombreamento causado pelas leguminosas impede o estabelecimento das espécies acumuladoras de Al do grupo um, sendo este uma vantagem competitiva em vez de uma facilitação.

Um aspecto importante que permite atribuir os resultados ao processo de fixação de nitrogênio é a correlação com leguminosas não fixadoras de nitrogênio. Segundo Lavin (2005) o potencial de fixação de nitrogênio entre as subfamílias de leguminosas é variável, sendo muito incomum em espécies da subfamília Caesalpinoideae, mais comum em Mimosoidae e apresentando o maior potencial de nodulação em Papilionoidae.

Em nosso trabalho foi evidenciado correlação negativa com acumuladoras de Al apenas com espécies de Papilionoidae, nas outras duas subfamílias houve ausência de correlação, tal fato ajuda a confirmar que a correlação negativa observada está relacionada com o processo de fixação biológica de nitrogênio.

Vários estudos realizados com o objetivo de buscar variáveis ambientais relacionadas com a facilitação apontaram que a modificação da condição de luz sob as copas é um importante mecanismo (Gandolfi, 2003; Xiong et al., 2003; Gotelli, 2007; Souza, 2007; Costa, 2008,). Com isso, a hipótese de correlação positiva de leguminosas com as acumuladoras de alumínio foi realmente rejeitada. No entanto, é aceita, se considerarmos a relação das leguminosas com o grupo de acumuladoras que tem correlação negativa com a luz (que significa que são tolerantes ao ambiente sombreado promovido pelas leguminosas), desta forma os nossos resultados sinalizam algumas direções

sobre em que condições as leguminosas podem atuar como facilitadoras ou competidoras para outras espécies.

## **5. CONCLUSÕES**

As espécies de leguminosas da subfamília Papilionoidae tem relação com as acumuladoras de alumínio, no entanto as espécies das outras dois subfamílias não evidenciaram nenhuma relação.

O grupo funcional das acumuladoras de alumínio é dividido em dois subgrupos, as acumuladoras de Al tolerantes ao sombreamento e as acumuladoras de alumínio não tolerantes ao sombreamento.

As espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio atuam como facilitadoras para espécies acumuladoras de Al tolerantes ao sombreamento mas são competidoras com as espécies acumuladoras não tolerantes ao sombreamento.

As espécies de leguminosas estudadas não acumulam alumínio nos seus tecidos, indicando que estas espécies desenvolvem outro tipo de mecanismos para resistir às altas concentrações de alumínio nos solos do Cerrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, M. C. 1964 Studies of the Woodland Light Climate: I. The Photographic Computation of Light Conditions. **Journal of Ecology**, 51(1): 27-41.
- ANDERSON, M.J. & C.J. F. TER BRAAK. 2003. Permutation tests for multi-factorial analysis of variance. **Journal of Statistical Computation and Simulation**,73: 85–113.
- ARAÚJO, G. 1997. Estrutura comunitária de vinte áreas de cerrados residuais no município de Uberlândia, MG. **Daphne**, 7(2): 7-14.
- ARAUJO, G.M., RODRIGUES, R. F., GUSSON, A. E. 2008. Espécies acumuladoras de alumínio em dois cerradões, em diferentes solos no triângulo mineiro. In: **IX Simposio Nacional cerrado**.Brasília (DF).
- ARAÚJO, G. M., NASCIMENTO, A. R. T., LOPES, S. F., RODRIGUES, R. F. AND J. A. RATTER. 2011. Structure and floristics of the arboreal component of a legumes dominated cerradão and comparison with other cerradões in central Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, 68: 401–418.
- ARENS, K. 1963. As plantas lenhosas dos campos cerrados como vegetação adaptada às deficiências minerais do solo. In: FERRI, M. G. (coord.) **III Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo, Edgard Blucher /EDUSP, p. 13-115
- ASSUNÇÃO, S.L. & FELFILI, J.M. 2004. Fitossociologia de um fragmento de cerrado sensu stricto na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 18(4): 903- 09.
- BALDUINO, A. P. C.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A.; SILVA, A. F.; ILVA JUNIOR, M. C. 2000. Fitossociologia e análise comparativa da composição florística do cerrado da flora de Paraopeba-MG. **Revista Árvore**, 29(1): 25-34.
- BOLAN, N. S., HEDLEY, M.J. AND R. E. WHITE. 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. **Plant and Soil** 134: 53-63.
- BOYD, R. S., SHAW, J. J., MARTENS, S. N. 1994. Nickel Hyperaccumulation Defends *Streptanthus Polygaloides* (Brassicaceae) against Pathogens, **American Journal of Botany**, 81: 294–300,
- BURNHAM, K. P., ANDERSON, D. R. AND K. P. HUYVAERT. 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 65: 23–35.
- BUSTAMANTE, M.M.C., MEDINA, E., ASNER, G. P., B. NARDOTO, G. B., GARCIA-MONTIEL, D.C. 2006. Nitrogen cycling in tropical and temperate savanas. **Biogeochemistry**, 79: 209-237.
- BOYD, R. S., SHAW, J. J., MARTENS, S. N. 1994. Nickel Hyperaccumulation Defends *Streptanthus Polygaloides* (Brassicaceae) against Pathogens, **American Journal of Botany**, 81: 294–300.

BRESHEARS, D.D., LUDWIG, J. A. 2010. Near-ground solar radiation along the grassland–forest continuum: Tall-tree canopy architecture imposes only muted trends and heterogeneity. **Austral Ecology**, 35: 31–40

CALLAWAY, R. M. 2007. Positive interactions among plants. **The Botanical Review**, 61: 306-349.

CAMPOS, É. P.; DUARTE, T. G.; NERI, A. V.; SILVA, A. F.; MEIRA-NETO, J. A. A.; VALENTE, G. E. 2006. Composição florística de um trecho de cerradão e cerrado sensu stricto e sua relação com o solo na Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba, MG, Brasil. **Revista Árvore**, 30 (6):471-479.

CAMPOS, N. V., PEREIRA, T. A. R., MACHADO, M. F., GUERRA, M. B.B. , TOLENTINO, G. S., ARAÚJO, J. S., REZENDE, M. Q., SILVA, M.C. N.A.D., SCHAEFER, C. E. G. R. 2014. Evaluation of micro-energy dispersive X-ray fluorescence and histochemical tests for aluminium detection in plants from High Altitude Rocky Complexes, Southeast Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 86 (1): 285;296.

CARVALHO, M. M. 1998. Recuperação de pastagens degradadas em áreas de relevo acidentado. In: DIAS, L. E.; MELLO, L. W. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG:Editora de UFV. p. 149-161.

CARVALHO-JÚNIOR, W.G.O. 2012. **Avaliação de técnicas de histolocalização do alumínio em folhas de espécies de Cerrado**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Botânica. Universidade Federal de Viçosa, MG. 41p.

CHENERY, E. M. 1948. Aluminium in the Plant World. **Kew Bulletin**, 3(2 ): 173-183.

CLARKE K.R. & R.N.; GORLEY. 2006. PRIMER v6: **User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth.

CLEVELAND, C. C., TOWNSEND, A. R., SCHIMEL, D. S., FISHER, H., HOWARTH, R. W., HEDIN, L. O., PERAKIS, S. S., LATTY, E. F., FISCHER, J. C. V., ELSEROD, A., WASSON, M. F. 1999. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N<sub>2</sub>) fixation in natural ecosystems, **Global Biogeochemical Cycles**, 13(2): 623-645.

CREWS, T. E. 1999. The presence of nitrogen fixing legumes in terrestrial communities: Evolutionary vs ecological considerations. **Biogeochemistry**, 46 (1): 233-246.

COSTA, A.A.; ARAÚJO, G.M. 2001. Comparação da vegetação arbórea de Cerradão e de Cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, MG. **Acta Botanica Brasílica**, 15(1): 63-72.

COSTA, J. N. M. N. 2008. **Efeito de diferentes modelos de plantios de restauração e dos grupos funcionais das espécies plantadas na estrutura da comunidade e suas contribuições na riqueza e diversidade da paisagem agrícola**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo,

São Carlos.

COTTA, M.G.; ANDRADE, L.R.M.; GEEST, J. J.V.; GOMES, A.C.M.M.; SOUZA, C.M.D.; ALMEIDA, J. D.; BARROS, L.M.G. 2008. Diferenças entre hematoxilina na detecção de alumínio em tecidos foliares de plantas nativas do cerrado. In: **IX Simposio Nacional cerrado**. Brasília (DF).

COUTINHO, L. M. O. 1978. Conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botanica**, 1: 17-24.

COUTINHO, L. M. 2002. O Bioma do Cerrado. In: KLEIN, A. L. (Org.). **Eugene Warming e o Cerrado brasileiro: um século depois**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual de São Paulo, p. 77-79.

COUTINHO, L.M. 2006. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasilica**, 20 (1): 13-23.

CORDEIRO, L. 2000. Fixação de nitrogênio em leguminosas ocorrentes no cerrado. In: KLEIN, A. L. (Org.). **Eugene Warming e o Cerrado brasileiro: um século depois**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual de São Paulo, p. 131-145.

CUMMING, JR., WEINSTEIN, LH 1990. Nitrogen source effects Al toxicity in nonmycorrhizal and mycorrhizal pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings. I. Growth and nutrition. **Canadian Journal of Botany**, 68: 2644–2652.

DIAZ, S. & CABIDO, M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. **Journal of Vegetation Science** 8:463-474.

DRISCOLL, C. SCHECHER. W. 1990. The chemistry of aluminum in the environment. **Environmental Geochemistry and Health**. 12(1-2): 28-49.

DUARTE, L. D. S., CARLUCCI, M. B., HARTZ, S. M. & PILLAR, V. D. 2007. Plant dispersal strategies and the colonization of Araucaria forest patches in a grasslandforest mosaic. **Journal of Vegetation Science** 18:847-858.

DUFF, S. M. G., SARATH, G. & PLAXTON, W. C. 1994. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiologia. Plantarum**. 90: 791–800.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. 212p. 1997.

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA-JUNIOR, M. C.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. 2002. Composição florística e fitossociológica do Cerrado sentido restrito no município de Água Boa, MT. **Acta Botânica Brasilica**, 16(1):103-112.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; MACHADO, J. W. B.; WALTER, B. M. T.; SILVA, P. E. N.; HAY, J. D. 1992. Análise comparativa da florística e fitossociologia da vegetação arbórea do cerrado sensu stricto na Chapada do Pratinha, DF-Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, 6 (2): 27-46.

FELFILI, M. C.; FELFILI, J. M. 2001. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu stricto da Chapada Pratinha, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 15 (2): 243-254.

FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. 1997. The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology Biochemistry**, 29 (5/6): 897-903.

FRAZER, G.W., CANHAM, C.D., AND LERTZMAN, K.P. 1999. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation**. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. 36p.

FURLEY, P.A. & RATTER, J.A. 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. **Journal of Biogeography**, 15:97-108.

GALLOWAY<sup>1</sup>, J. N., DENTENER<sup>2</sup>, F. J., CAPONE, D.G., BOYER<sup>4</sup>, E. W., HOWARTH, R. W., SEITZINGER, S. P., ASNER, G. P., CLEVELAND, C., GREEN, P., HOLLAND, E., KARL<sup>11</sup>, D. M., MICHAELS, A. F., PORTER, J.H., TOWNSEND, A., VÖRÖSMARTY, C. 2004. Nitrogen Cycles: Past, Present and Future, **Biogeochemistry**, 70: 153-226.

GANDOLFI, S. 2003. Regimes de luz em Florestas Estacionais Semidecíduais e suas possíveis conseqüências. In: **CLAUDINO-SALES, V. (Org). Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora,. p. 305-311.

GANDOLFI, S.; JOLY, C. A.; RODRIGUES, R. R. 2007. Permeability-impermeability: canopy trees as biodiversity filters. **Scientia Agricola**, 64 (4): 433-438.

GHANATI, F., MORITA, A., YOKOTA, H. 2005. Effects of aluminum on the growth of tea plant and activation of antioxidant system, **Plant Soil**, 276: 133–141.

GOODLAND, R. & FERRI, M.G. 1979. **Ecologia do Cerrado**. Editora da Universidade de São Paulo – Edusp/Livraria Itatiaia Editora Ltda., Belo Horizonte.

GOODLAND, R. 1971. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: **III Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo: USP. Pp. 44–60.

GOODLAND, R. 1969. Análise ecológica da vegetação de cerrado. In: GOODLAND, R.; FERRI, M. G. **Ecologia do cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia. p. 167-179.

GOTELLI, N. J. Sucessão. In: GOTELLI, N. J. **Ecologia**. Londrina: Editora Planta, 2007. p. 183-208.

GREVENSTUK, T., ROMANO, A. 2013. Aluminium speciation and internal detoxification mechanisms in plants: where do we stand? **Metallomics**, 5,

1584-1594.

GRUBB, P.J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. **Biol Rev** 52: 107–145.

HARIDASAN, M.; PAVIANI, T.I.; SCHIAVINI, I. 1986. Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species. **Plant and Soil**, 94: 435-437.

HARIDASAN, M.; ARAUJO G. M. 1988. Aluminium-Accumulating Species in Two Forest Communities in the Cerrado Region of Central Brazil. **Forest Ecology and Management**, 24: 15-26.

HARIDASAN, M. 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 12(1): 54-64.

HARIDASAN, M. 2008. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? Pp. 1-10 In: Prado, C.H.B.A; Casali, C.A. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri: Manole.

HUTCHINSON, G. E. 1945. Aluminum in soils, plants and animals. **Soil Science**, 60: 29–40.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE.2007.Mapa de Climas .Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/clima./viewer.htm>.acesso em: 8.Non.2014.

ISHARA, K. L. ; DÉSTRO, G. F. G.; MAIMONI-RODELLA, RITA C. S. ; YANAGIZAWA, YURIKO A. N. P. 2008. Composição florística de remanescente de cerrado sensu stricto em Botucatu, SP1. **Revista Brasileira de Botânica**, 31(4): 575-586.

IZAGUIRRE-MAYORAL, M.L., VIVAS, A.I. & OROPEZA, T. 1995. New insights into the symbiotic performance of native tropical legumes: I. **Analysis of the response of thirty-seven native legume species to artificial shade in a neotropical savanna**, 19:111-129.

JANSEN, S., BROADLEY, MR., ROBBRECHT E. SMETS 2002. Aluminium hyperaccumulation in angiosperms: a review of its phylogenetic significance. **The Botanical Review**,68: 235-269.

JENNY, H. N. 1950. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. **Soil Science**, 69 (1): 63-69.

JONCKHEEREA, I. FLECKA, S., NACKAERTSA, K., MUYYA, B., COPPINA, P., WEISSB, M., BARETC, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, 121: 19-35.

JOHANSEN, D.A. 1940. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill Book, . 523p.

KIRKBY EA, KNIGHT AH 1977. Influence of the level of nitrate nutrition on ion

uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation–anion balance in whole tomato plants. **Plant Physiology**, 60:349–353.

KRAUS, J.E.; ARDUIN, M. 1997. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR.. 198p.

KUKACHKA, B.F.; MILLER, R.B. 1980. A chemical spot-test for aluminum and its value in wood identification. **IAWA Bulletin**, 1(3): 104-109.

HAYNE, R.J. 1983. Acidification induced by leguminous crops. **Grass and forage Science**, 38: 1;11.

LAVOREL, S. & GARNIER, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology** 16:545-556.

LAVOREL, S., DÍAZ, S., CORNELISSEN, J., GARNIER, E., HARRISON, S., MCINTYRE, S., PAUSAS, J., PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., ROUMET, C. & URCELAY, C. 2007. Plant functional types: are we getting any closer to the holy grail? in Canadell, J. G., Pataki, D. E. & Pitelka, L. F. (orgs.). **Terrestrial ecosystems in a changing world**. Springer-Verlag, Berlin. Pp. 149-164

LAVIN M, HERENDEEN PS, WOJCIECHOWSKI MF. 2005. Evolutionary rates analysis of Leguminosae implicates a rapid diversification of lineages during the tertiary. **Systematic Biology**, 54: 574–594.

LEIBOLD, MA. 2008. Ecology: return of the niche. **Nature**, 454: 39–41.

LEWIS, G. P.; SCHRIRE, B.; MACKINDER, B. & LOCK, M. (eds.). 2005. **Legumes of the world**. Kew: Royal Botanic Gardens. 577p.

LOPES, A.S. & COX, F.R. 1977. a survey of the fertility status of surface soils under “cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal** 41: 741-747.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. de S.; DUARTE, T. G., CHIEREGATTO, L. C. & RATTER, J. A. 2006. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. \* An analysis of the cerrado–Amazonian forest ecotone. **Edinburgh Journal of Botany**, 63(2-3): 323–341.

MCKEY, D. 1994. Legumes and nitrogen: The evolutionary ecology of a nitrogen-demanding lifestyle. In: **Advances in Legume Systematics 5: The Nitrogen Factor**. Sprent JI & McKey D (Eds). p 211–228.

MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S. & NOGUEIRA, P.E. 1998. Flora vascular do cerrado. Pp. 289-556. In: S.M. SANO & S.P. ALMEIDA. **Cerrado, Ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA CPAC.

MENDONÇA, R.C., FELFILI, J.M., WALTER, B.M.T., SILVA-Jr., M.C., REZENDE, A.V., FILGUEIRAS, T.S., NOGUEIRA, P.E. & FAGG, C.W. 2008. Flora vascular do cerrado: Checklist com 12.356 espécies. In **Cerrado: ecologia e flora** (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, ed.). Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.417-1279.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE BRASIL (MMA). 2007. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Biodiversidade do cerrado e pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Brasília: 540 p

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. 1974. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York. Jhon Wiley & Sons.

MYERS, N.R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hot spots for conservation priorities. **Nature**, 403: 853–858.

NERI, A. 2007. **Gradiente Pedológico-Vegetacional de Cerrado em Paraopeba, MG**. Tese. Universidade Federal de Viçosa.

NERI A. V., SCHAEFER, C. E. G. R., SILVA, A. F., SOUZA, A. L., FERREIRA-JUNIOR, W. G., J. A. A. MEIRA-NETO. 2012. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian Cerrado vegetation. **Edinburgh Journal of Botany**, 69: 1–27.

OLANDER, L. P. & VITOUSEK, P. M. 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. **Biogeochemistry**, 49: 175–190.

OLIVEIRA, E. C. L.; FELFILI, J. M. 2005. Estrutura e dinâmica da regeneração natural de uma mata de galeria do Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 19 (4): 801-811.

PAUSAS, J. G. 1999. Response of plant functional types to changes in the fire regime in mediterranean ecosystems: a simulation approach. **Journal of Vegetation Science** 10:717-722.

PILLAR, V. D. 1999. On the identification of optimal plant functional types. **Journal of Vegetation Science** 10:631-640.

PILLAR, V. & SOSINSKI, E. 2003. An improved method for searching plant functional types by numerical analysis. **Journal of Vegetation Science** 14:323-332.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2012. R: A language and environment for statistical computing. [WWW document] URL <http://www.R-project.org/>. [accessed 20 September 2013].

RATTER, J.A., RIBEIRO, J.F. & BRIDGEWATER, S. 1997. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, 80:223-230.

RIBEIRO, J. F.; HARIDASAN, M. 1984, Comparação fitossociológica de um cerrado denso e um cerradão em solos distróficos no Distrito Federal. In: **Congresso Nacional De Botânica**, Manaus. Anais. Manaus: Sociedade de Botânica do Brasil, p.342-347.

RIBEIRO, R. D. & LIMA, H. C. 2009. Riqueza e distribuição geográfica de espécies arbóreas da Família leguminosae e implicações para conservação no centro de diversidade vegetal de cabo frio, rio de janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, 60 (1): 111-127

- ROBERTSON, G., ROSSWALL, T. 1986. Nitrogen in West Africa: The regional cycle. **Ecological Monographs**, 56: 43-72
- RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; JONES, D. L. 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 52 (1): 527-560.
- SILVA, L.O., COSTA, D.A., SANTO FILHO, K., FERREIRA, H.D. & BRANDÃO, D. 2002. Levantamento florístico e fitossociológico em duas áreas de cerrado sensu stricto no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. **Acta Botanica Brasilica**, 16:43-53.
- SILVA, R.R., PRADO, A. L., PEREZ, A. P., SEGALLA, R. 2010. Espécies herbáceas e lenhosas de Leguminosae numa área de Cerrado no Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, 8(4): 373-376.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. 1988. Fixação biológica de nitrogênio. In: **Siqueira, J. O. Biotecnologia do solo fundamentos e perspectivas**. Brasília: Gráfica Nagy Ltda., p. 179-216.
- SOLBRIG, O. T. The diversity of the savanna ecosystem. In: SOLBRIG, O. T.; MDEINA, E.; SILVA, J.A.(Ed.). **Biodiversity and savanna ecosystem processes** Heidelberg: Springer-verlag. P.1-27.
- SOUZA, F. M. 2007. **Associações entre as espécies arbóreas do dossel e do subosque em uma Floresta Estacional Semidecidual**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SOUZA, P. B.; SAPORETTI JUNIOR, A. W.; SOARES, M. P.; OLIVEIRA VIANA, R. H.; CAMARGOS V.L.; MEIRA NETO, J. A. A. 2010. Florística de uma área de cerradão na Floresta Nacional de Paraopeba - Minas Gerais. **Cerne, Lavras**, 16 (1):86-93.
- SOUZA, N.HILGERT. 2010. **Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio em duas espécies nativas do cerrado: a canafistula e o barbatimão**. Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD.
- SPRENT, J.I. 1999 Nitrogen fixation and growth of non-crop legume species in diverse environments. Perspectives in **Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 2, 149–162.
- STUART. 2010. **Leguminosas fixadoras de nitrogênio facilitam outras espécies arbóreas em uma floresta de restinga?** Dissertação. Instituto de biociências da Universidade de São Paulo.
- STUVA, A. C. 2003. Distribución de las leguminosas de la parte alta de la cuenca la gallega. Morropón. Piura. **Ecología Aplicada**, 2(1):9-13.
- TILMAN, D. 1985. The resource ratio hypothesis of succession. **American Naturalist** 125 (6): 827-852
- TANAKA A, TADANO T, YAMAMOTO K, KANAMURA N 1987. Comparison of toxicity to plants among Al<sup>3+</sup>, AlSO<sub>4</sub><sup>+</sup> and Al-F complex ions. **Soil Science and Plant Nutrition**, 33: 43–55.

TER STEEGE, H., PITMAN, N. C., PHILLIPS, O. L., CHAVE, J., SABATIER, D. DUQUE, A., MOLINO, J-F., PREVOST, M-F., SPICHIGER, R. CASTELLANOS H., HILDEBRAND, P & VASQUEZ, R. 2006. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. **Nature**. 443: 444-447.

TOLENTINO, G. S. 2011. **Composição e partição de nicho em gradientes de solo e luz no Cerrado**. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa.

TRESEDER, K. K. & VITOUSEK, P. M. 2001 Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in Hawaiian rain forests. **Ecology**, 82: 946–954.

TROELSTRA, SR., VAN DIJK, K., BLACQUIÈRE, T. 1985. Effects of N source on proton excretion, ionic balance, and growth of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner: comparison of N<sub>2</sub> fixation with single and mixed sources of NO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>. **Plant Soil**, 84:361–385.

TUOMISTO, H. 2010. A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. **Ecography**, 33: 2–22.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; BARDGETT, R.D.; VAN STRAALLEN, N. M. 2008. The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystem. **Ecology Letters**, 11(2): 296-310.

VITOUSEK, P.M., HOWARTH, R.W. 1991. Nitrogen limitation on land in the sea. How can it occur? **Biogeochemistry**, 3: 87-115.

VITOUSEK, P.M., FARRINGTON, H. 1997. Nutrient limitation and soil development: Experimental test of a biogeochemical theory. **Biogeochemistry**, 37 (1): 63-75.

VITOUSEK, P. M., CASSMAN, K., CLEVELAND, C., CREWS, T., FIELD, C. B., GRIMM, N.B., ROBERT HOWARTH, W., MARINO, R., MARTINELLI, L., RASTETTER, E. B., SPRENT, J. I. 2002. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. **Biogeochemistry**, 57(1): 1-45.

WATANABE, T., JANSEN, S., OSAKI, M. 2005. The beneficial effect of aluminium and the role of citrate in Al accumulation in *Melastoma malabathricum*, **New Phytologist**, 165: 773–780.

WEISER, V. L.; GODOY, S. A. P. 2001. Florística em um hectare de cerrado stricto sensu na ARIE: cerrado Péde-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Acta Botanica Brasilica**, 15 (2): 201-212.

WILSON, J. B. & AGNEW, A. D. 1992. Positive-feedback switches in plant communities. **Advances in Ecological Research** 23:263–336.

XIONG, S. 2003.. Interactive effects soil moisture, vegetation canopy, plant litter and seed addition on plant diversity in a wetland community. **Journal of Ecology**, 9: 976-986.

ZHAO XQ, SHEN RF, SUN QB. 2009. Ammonium under solution culture alleviates aluminum toxicity in rice and reduces aluminum accumulation in roots compared with nitrate. **Plant and Soil** 315: 107–121.