

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 30/08/2019.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BIOLOGIA VEGETAL

**Distribuição do alumínio (Al) em folhas de espécies
acumuladoras de Al do Cerrado**

MATHEUS ARMELIN NOGUEIRA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Agosto - 2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
RIO CLARO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BIOLOGIA VEGETAL

Distribuição do alumínio (Al) em folhas de espécies acumuladoras
de Al do Cerrado

MATHEUS ARMELIN NOGUEIRA

Dissertação apresentada ao
Instituto de Biociências do Câmpus
de Rio Claro, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Ciências Biológicas
(Biologia Vegetal).

Orientador: Prof.Dr. Gustavo Habermann

Agosto - 2018

N778d Nogueira, Matheus
Distribuição do alumínio (Al) em folhas de espécies
acumuladoras de Al do Cerrado / Matheus Nogueira. --
Rio Claro, 2018
34 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio
Claro
Orientador: Gustavo Habermann

1. Botânica. 2. Fisiologia Vegetal. 3. Ecofisiologia. 4.
Anatomia Vegetal. 5. Alumínio. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

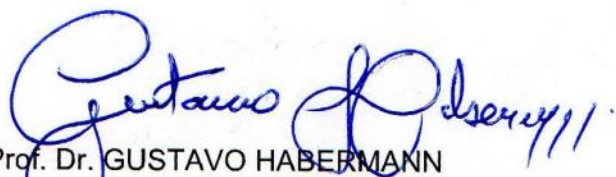
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Distribuição do alumínio (Al) em folhas de espécies acumuladoras de Al do Cerrado

AUTOR: MATHEUS ARMELIN NOGUEIRA

ORIENTADOR: GUSTAVO HABERMANN

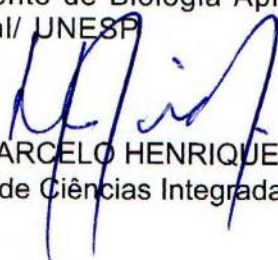
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA VEGETAL), área: BIOLOGIA VEGETAL pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. GUSTAVO HABERMANN
Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



Prof. Dr. DAVI RODRIGO ROSSATTO
Departamento de Biologia Aplicada a Agropecuária / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal/ UNESP



Prof. Dr. MARCELO HENRIQUE ONGARO PINHEIRO
Faculdade de Ciências Integradas do Pontal / UFU/Ituitaba

Rio Claro, 30 de agosto de 2018

*“A saudade é uma estrada longa
Nem é boa e nem é ruim
Vou seguindo sempre adiante
Nunca volto, Eu sou mesmo assim”*

- Almir Sater

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Regina e José, agradeço de coração pelo amor e esforço imensurável que foi me ajudar a chegar onde estou agora. Com vocês pude sonhar e conseguir trilhar o meu caminho. Obrigado!

A toda minha família que também sempre desejou o meu bem e fez de tudo para que eu um dia conseguisse um lugar ao sol.

A minha companheira, Juliana, a quem amo partilhar a vida, por ter me ajudado em praticamente todos os aspectos dessa jornada, por estar sempre ao meu lado e por me fazer uma pessoa melhor. Te amo!

Ao meu orientador Prof. Dr. Gustavo Habermann. Mais do que um orientador, um exemplo de pessoa. Obrigado pelos ensinamentos, por confiar em mim, por compartilhar suas experiências de vida comigo e pela sua grande amizade. Vou levar tudo o que aprendi de você por toda minha vida.

As amigas do grupo de pesquisa, Anna, Brenda, Carol, Giselle, Lorena, Mariana e Marina, por todo o apoio. Obrigado pela amizade e respeito.

A minha amiga e mentora Anna, por me ajudar demais nos trabalhos, sempre atenciosa e disposta a me ensinar. Obrigado pelas conversas sobre a vida e pelo companheirismo.

A todos meus amigos que de alguma forma me ajudaram (e ainda ajudam) na minha formação: Caio Araújo, Caio Zamuner, Carol, Felipe, Fernando, Karina, Marina Silveira, Marina Abreu, Rafaela, Renan, Thiago e Vitor.

Ao Prof. Dr. Marcelo Pinheiro pela grande ajuda em campo, por toda sua disponibilidade e atenção.

Aos integrantes da banca avaliadora por aceitar o convite e pelo comprometimento com a avaliação desse trabalho.

Ao Instituto de Biociência da Unesp de Rio Claro pelo apoio e infraestrutura.

A CAPES pelo apoio e auxílio financeiro.

Sumário

Resumo	6
Abstract	7
1. Introdução	8
2. Material e métodos.....	12
<i>Área de estudo.....</i>	<i>12</i>
<i>Material vegetal.....</i>	<i>12</i>
<i>Características dos solos.....</i>	<i>15</i>
<i>Área foliar específica (AFE) e conteúdo de Al na folha</i>	<i>15</i>
<i>Estudos anatômicos.....</i>	<i>15</i>
<i>Análise dos dados.....</i>	<i>16</i>
3. Resultados	16
4. Discussão	27
5. Considerações finais.....	30
6. Referências	30

DISTRIBUIÇÃO DO ALUMÍNIO (AL) EM FOLHAS DE ESPÉCIES ACUMULADORAS DE AL DO CERRADO

Resumo

As espécies arbóreas do Cerrado podem ser divididas em acumuladoras de alumínio (Al) e não-acumuladoras. Ambos os grupos crescem bem em solos distróficos que são ácidos e ricos em Al. Não há evidências do papel fisiológico do Al nessas plantas, diferentemente do que é conhecido sobre a maioria das plantas cultivadas.

Nós comparamos a área foliar específica (AFE) e os conteúdos foliares de Ca e Al de duas espécies acumuladoras de Al (*Qualea grandiflora* Mart. e *Qualea. Parviflora* Mart.) que crescem em dois tipos de solos distintos. Um desses, foi distrófico típico do Cerrado, e o outro, de características únicas, calcário, com alta disponibilidade de Ca e baixa saturação de Al. As folhas também foram separadas em limbo e nervura foliar.

A AFE foi similar para plantas da mesma espécie, independentemente do solo em que cresceram, indicando que o Al não influencia neste parâmetro. O conteúdo de Ca na folha refletiu sua disponibilidade entre os tipos de solo e foi mais acumulado nas nervuras foliares. No entanto, o acúmulo de Al foi independente de sua disponibilidade nos diferentes tipos de solos e sua concentração foi maior no limbo foliar de ambas as espécies, o que foi confirmado por análises químicas e histoquímicas.

Concluimos que Ca e Al não parecem competir em espécies acumuladoras de Al e o padrão da distribuição e alocação de Al nas folhas merece novos estudos.

Palavras-chave: Alumínio, cálcio, limbo foliar, *Qualea sp.*

Abstract

The wood species of Cerrado can be classified in Al-accumulators and non-accumulators. Both groups grow well on acidic and Al rich dystrophic soils. There is no evidence of physiological role for Al in these plants, regardless of what is known in cultivated plants.

We compared the specific leaf area (SLA), Ca and Al contents in leaves of two Al-accumulating species (*Qualea grandiflora* and *Q. parviflora*) growing in two distinct soil types. One from a typical dystrophic cerrado soil, and another one with unique features, a calcareous soil with high Ca and low Al availabilities. The leaves were also divided into leaf blade and leaf veins.

The SLA was similar in the same plant species, regardless of the soil in which they grew, indicating that this parameter is not affected by Al. The leaf Ca content reflected its availability between the soil types, and was higher in the leaf veins when compared to the leaf blade. However, the Al accumulation was independent of its availability between the different soil types, and Al concentration was higher in the leaf blade of both species, which was confirmed by chemical and histochemical analyses.

We concluded that Ca and Al do not seem to compete in Al-accumulating species and the distribution pattern and Al allocation in the leaves deserve further studies.

Key words: Al, Calcium, Leaf blade, *Qualea sp.*

1. Introdução

A disponibilidade de nutrientes e as características do solo normalmente são fatores que influenciam as condições morfofisiológicas das plantas (Haridasan, 2001; Haridasan & Araújo 2005). Uma alta fertilidade do solo pode refletir, por exemplo, na concentração de nutrientes nas folhas dos vegetais (Rossatto et al., 2015), assim garantindo uma serapilheira com maior qualidade química que pode estimular um maior desempenho de microrganismos (Seastadt, 1984). No passado, a expansão da agricultura em áreas ocupadas principalmente por vegetações nativas implicou, na maioria dos casos, em correções do solo (aplicação de calcário) e o uso de fertilizantes (Ratter et al., 1997; Habermann & Bressan-Smith, 2013). Contudo, conceitos relacionados à deficiência de nutrientes, toxicidade e pH do solo, os quais são bem estabelecidos para plantas cultivadas, em plantas nativas não são considerados apropriados (Haridasan, 2008).

Solos ácidos representam 30% dos solos do planeta, somando 50% das terras cultiváveis (Kochian et al., 2004). O alumínio (Al) é o terceiro elemento químico mais abundante da crosta terrestre e, em solos ácidos ($\text{pH} < 5,0$), é encontrado na forma solúvel (Al^{3+}), o que o torna disponível para as plantas (Matsumoto, 2000; Vardar & Ünal, 2007). O alumínio edáfico (Al^{3+}) diminui a taxa de crescimento das raízes, além de causar necrose em plantas cultivadas em solos ácidos (Kochian, 1995), e isso tem sido apontado como um dos principais fatores limitantes da produtividade de culturas nesses tipos de solos. Por ser uma forma altamente reagente, o Al interage com diferentes sítios do simplasto e apoplasto das células e pode ser acumulado nas paredes celulares dos ápices radiculares e induzir à inibição do crescimento nessa região (Delhaize & Ryan, 1995; Matsumoto, 2000).

Por outro lado, plantas pertencentes à comunidades nativas de savanas (como por exemplo o Cerrado) e florestas tropicais, que se desenvolvem em solos naturalmente ácidos e com alto teor de Al, possuem estratégias que podem tolerar os efeitos tóxicos deste elemento (Ma, et al, 2001; Haridasan, 2008). Certas espécies são consideradas “excludentes” e classificadas como não acumuladoras, podendo impedir o transporte de Al para o interior de seus tecidos. Esses mecanismos de exclusão estão relacionados à liberação de ácidos orgânicos pelos ápices radiculares como, malato, oxalato e citrato, que quelam e detoxificam o Al formando compostos estáveis ainda na rizosfera limitando sua absorção simplástica (Ryan, 2011). Outras apresentam mecanismos de tolerância interna e são capazes de imobilizar e fixar o Al que adentra o simplasto em sítios como parede celular e vacúolos. (Brunner & Sperisen, 2013).

Dentre as espécies tolerantes, contudo, existem aquelas classificadas como acumuladoras, que são capazes de acumular elevadas concentrações de Al, principalmente em seus tecidos nas partes aéreas e até mesmo em frutos e sementes, sem prejudicar, aparentemente, suas estruturas internas ou externas (Haridasan, 1982; Scalon, 2010). A maioria das plantas que acumulam Al têm sua distribuição pelos trópicos úmidos e savanas, onde os solos são ácidos e a disponibilidade de Al é alta, sendo que algumas destas espécies são nativas da vegetação do Cerrado e foram descritas pela primeira vez por Haridasan (1982). Desde então, o estudo da relação de plantas acumuladoras de Al com seu ambiente tem se intensificado.

Estratégias de resistência parecem ser frequentes em plantas que foram selecionadas, cresceram e se desenvolveram onde a capacidade de resistência ao Al é crucial para a sobrevivência, como nos trópicos e mais especificamente no Cerrado (Ryan & Delhaize, 2011). A vegetação do Cerrado na América do Sul, amplamente conhecida como ‘savana brasileira’, apresenta entre 1000 e 2000 espécies vegetais arbóreas por ha e é o segundo maior bioma brasileiro (Coutinho, 2002), sendo superado em área apenas pela Amazônia, ocupando 21% do território nacional (Klink & Machado, 2005). Devido a sua alta riqueza de espécies vegetais, alto grau de endemismo e seu estado de conservação atual, o cerrado é considerado um dos “hotspots” de biodiversidade mundial (Myers et al., 2000). Além disso, sua flora se estabelece bem em solos que são ácidos [pH (em CaCl₂) < 5], pobres em P e saturação de bases e com alta saturação de Al (m% > 70%) (Haridasan, 2008; Andrade et al., 2011; Habermann & Bressan, 2011; Souza et al., 2015; Bressan et al., 2016).

O Cerrado é considerado um mosaico de fisionomias vegetais incluindo florestas, formações savânicas (campo sujo, campo cerrado) e formas campestres bem abertas (campo limpo), que juntas são referidas como Cerrado *sensu lato* (Oliveira & Ratter, 2002). Espécies lenhosas são distribuídas em fisionomias mais densas, florestais, como é o caso do ‘Cerradão’. Já no cerrado *sensu strictu* (*s. str.*) as espécies constituem um tipo de fisionomia savânica contendo uma vegetação mais arbustiva e árvores de sub-bosque, com alta irradiância ao nível do solo (Ribeiro & Walter, 2008; Kissmann et al., 2012). Estas formações vegetacionais são influenciadas não apenas pelo clima (sazonalidade), mas também por fatores edáficos (Pinheiro & Monteiro, 2010). As espécies vegetais do Cerrado, tanto as acumuladoras quanto as não acumuladoras, crescem naturalmente em solos distróficos e ricos em Al, sem danos aparente em suas estruturas (Andrade et al., 2011; Souza et al., 2015).

Das 1000-2000 espécies vegetais por ha no Cerrado (Ratter et al., 2003), somente poucas espécies de poucas famílias são acumuladoras de Al, embora todas cresçam nos solos distróficos deste bioma. Essas espécies acumuladoras pertencem principalmente às famílias Melastomataceae, Rubiaceae, Simplicaceae e Vochysiaceae (Haridasan, 1982; Andrade et al., 2011; Souza et al., 2015; Malta et al., 2016). Em geral, plantas que apresentam mais de 1000 mg de Al por kg de massa seca são classificadas como acumuladoras de Al (Chenery, 1948; Jansen et al., 2002). No entanto, no Cerrado, espécies acumuladoras de Al podem exibir entre 4000 e 20.000 mg de Al por kg de massa seca e são classificadas como hiperacumuladoras (Haridasan, 1982; Haridasan & Araújo, 1988).

A relevância das espécies acumuladoras de Al nas fitofisionomias do cerrado foi demonstrada em estudos anteriores de Haridasan (1987) e Haridasan & Araújo (1988). Em tais estudos, espécies acumuladoras de Al chegaram a atingir números acima de 40% de índice de valor de importância (IVI), que é a soma da densidade, dominância e frequência da espécie em uma determinada área. Ainda, os mesmos autores obtiveram um IVI acima de 11% em regiões com solos calcários, o que indica que algumas espécies acumuladoras de Al também ocorrem em solos de pH elevado, e ainda assim conseguem acumular grandes quantidades de Al em seus tecidos.

Espécies como *Miconia albicans* (Sw.) Steud. e *Vochysia thyrsoidea* Pohl, típicas do cerrado, demonstraram pouca eficiência quando colocadas em tratamentos com baixos teores de Al (Haridasan et al., 1988, Machado, 1985). Isso garantiu o aparecimento de sintomas de deficiência nutricional quando submetidas a um substrato calcário, com pH alcalino. Tais autores observaram que, quando transplantadas para solos ácidos, as mudas tiveram uma certa recuperação de seu crescimento e notou-se diferenças entre suas concentrações foliares de Al

Em um estudo com uma espécie de trigo considerada acumuladora (*Fagopyrum esculentum* Moench. Cv. Jianxi), Shen & Ma (2001) demonstraram que o Al em solução nutritiva é mais acumulado em folhas mais velhas do que folhas jovens e que, após a transferência das plantas para solução isenta de Al, a concentração de Al permaneceu baixa nas folhas jovens, mas continuou a aumentar nas folhas mais velhas. Esses autores concluíram que o acúmulo contínuo nas folhas velhas pareceu ser proveniente do Al remanescente nas raízes e que o Al é pouco mobilizado entre esses órgãos vegetais.

Não há evidências do porquê essas plantas acumulam altas concentrações de Al em suas folhas. Estudos anteriores demonstraram deposições de Al em tecidos vegetais

não lignificados no mesófilo de espécies acumuladoras de Al do Cerrado, assim como o floema, colênquima e parênquima clorofiliano (Haridasan et al., 1986; Andrade et al., 2011; Malta et al., 2016). Isso levanta a possibilidade de que o Al poderia estar envolvido em processos fotossintéticos nessas espécies. No entanto, o Al também foi encontrado em associação com grânulos presentes na nervura central dessas plantas (Bressan et al., 2016), criando a hipótese de que haja uma atribuição mais estrutural para esse elemento nesse contexto. Portanto, o Al poderia estar também associado com tecidos metabolicamente ativos da folha como os parênquimas paliádico (limbo foliar) e esponjoso, ou com componentes não fotossintéticos, isto é, a estrutura da folha (nervuras).

No presente estudo, nós reconhecemos um remanescente de cerrado *s. str.* com características singulares que se encontra sobre um solo calcário com pH (em CaCl₂) = 5.0, com alto teor de Ca (16.4 mmol/dm³) e baixas concentrações de Al disponível (m% = 3.6%) em relação à média dos solos comumente encontrados no Cerrado. O fragmento é composto por um estrato arbóreo-arbustivo, o qual não forma um dossel fechado, além disso encontram-se espécies típicas do Cerrado como *Qualea grandiflora* Mart. e *Qualea parviflora* Mart. (Vochysiaceae), duas espécies de plantas acumuladoras de Al.

Para este estudo, nós apontamos a área foliar específica (AFE), os conteúdos foliares de Ca e Al, assim como a presença de Al nas folhas por meio de reações histoquímicas dessas duas espécies e as comparamos com outras das mesmas espécies, as quais foram encontradas em um solo de Cerrado distrófico. O solo coletado possuía características ácidas pH (em CaCl₂) = 4.0, apresentava baixo teor de Ca (3.4 mmol/dm³) e alta disponibilidade de Al (m% = 63%). Nós utilizamos folhas inteiras para medir a quantidade de Al. No entanto, também fizemos uma separação do limbo e nervura foliar a fim de verificar se a disposição de Al diferia entre tecidos estruturais e metabolicamente ativos. Neste trabalho nós testamos a hipótese de que o acúmulo de Al nas folhas de plantas que crescem em solos ácidos seria maior do que aquelas que crescem em solo calcário.

2. Considerações finais

A vegetação do Cerrado normalmente cresce em solos ácidos ricos em Al, mas neste estudo nós encontramos uma comunidade de plantas de Cerrado, incluindo espécies de plantas acumuladoras de Al, crescendo em um solo calcário. Nós observamos que o conteúdo foliar de Ca foi positivamente associado com sua disponibilidade no solo, enquanto que a captação de Al foi a mesma entre as espécies crescendo nos dois tipos de solo. Independentemente do tipo de solo, Ca e Al são armazenados em diferentes regiões da folha, e esses elementos não competem em espécies acumuladoras de Al, mesmo em solos com contrastante disponibilidade desses cátions. Embora o Al seja mais acumulado no limbo foliar dessas plantas, sugerindo uma associação com os tecidos fotossintetizantes, isso pode ser apenas uma questão de afinidade química deste metal com os tecidos foliares não lignificados do parênquima clorofiliano, ao invés de um provável papel no limbo foliar, sendo que mais evidências quanto a isso precisam ser encontradas.

3. Referências

- Alves VN, Torres JLR, Lana RMQ, Pinheiro MHO.** 2018. Nutrient cycling between soil and leaf litter in the Cerrado (Brazilian savanna) on eutrophic and dystrophic Neosols. *Acta Botanica Brasilica*, 32(2): 169-179.
- Andrade LRM, Barros LMG, Echevarria GF, do Amaral LIV, Cotta MG, Rossatto DR, Haridasan M, Franco AC.** 2011. Al-Hyperaccumulator Vochysiaceae from the Brazilian Cerrado store aluminum in their chloroplasts without apparent damage. *Environmental and Experimental Botany*, 70: 37–42.
- Bressan ACG, Coan AI, Habermann G.** 2016. X ray spectra in SEM and staining with chrome azurol S show Al deposits in leaf tissues of Al - accumulating and non-accumulating plants from the cerrado. *Plant and Soil*, 404: 293–306.
- Brunner I, Sperisen C.** 2013. Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. *Frontiers in Plant Science*, 4: 1-12.
- Chenery EM.** 1948. Aluminium in the plant world. *Kew Bulletin*, 3: 173-183.
- Coutinho LM.** 2002. O bioma do Cerrado. In Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois. (A.L Klein ed.) Editora Unesp, São Paulo: 77-91.
- Delhaize E, Ryan PR.** 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology* 107: 31 5-321.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).** 1997. Manual for methods of soil analyses. 2nd edition. (Embrapa: Rio de Janeiro).
- Epstein E, Bloom AJ.** 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives, 2nd Ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Ferreira LG, Yoshioka H, Huetea A, Sano EE.** 2003. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). *Remote Sensing of Environment*, 87: 534-550.
- Givnish TJ.** 1988. Adaptation to sun and shade: a whole plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15:63-92.
- Habermann G, Bressan ACG.** 2011. Root, shoot and leaf traits of the congeneric *Styrax* species may explain their distribution patterns in the Cerrado *sensu lato* areas in Brazil. *Functional Plant Biology*, 38: 209-218.
- Habermann G, Bressan-Smith R.** 2013. Will we have enough to eat in the near future? What the Brazilian Society of Plant Physiology and The Global Plant Council have to do with it? *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25: 244-250.
- Haridasan M.** 1982. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant and Soil*, 65: 265-273.
- Haridasan M, Paviani TI, Schiavini I.** 1986. Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species. *Plant and Soil*, 94(3), 435-437.
- Haridasan M, Hill PG, Russell D.** 1987. Semiquantitative estimates of Al and other cations in the leaf tissues of some Al-accumulating species using electron probe microanalysis. *Plant and soil*, 104(1), 99-102.
- Haridasan M, Araújo GM.** 1988. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the Cerrado region of central Brazil. *Forest Ecology and Management*, 24: 15-26.
- Haridasan, M.** 2001. Nutrient cycling as a function of landscape and biotic characteristics in the Cerrado of central Brazil. In: M.E. McClain, R.L. Victoria and J.E. Richey (Eds.) Biogeochemistry of the Amazon basin and its role in a changing world. Oxford University Press, New York. p. 68-83.
- Haridasan M, Araújo GM.** 2005. Perfil nutricional de espécies lenhosas de duas florestas semidecíduas em Uberlândia, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 28(2): 295-303.

- Haridasan M.** 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20:183-195.
- Jansen S, Broadley MR, Robbrecht E, Smets E.** 2002. Aluminum hyperaccumulation in Angiosperms: A Review of its phylogenetic significance. *The Botanical Review*, 68: 235-269.
- Johansen DA.** 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Co, New York.
- Kissmann C, Tozzi HH, Martins S, Habermann G.** 2012. Germination performance of congeneric *Styrax* species from the Cerrado *sensu lato* areas and their distribution pattern in different physiognomies. *Flora*, 207: 673-681.
- Klink, CA, & Machado, RB.** 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1(1), 147-155.
- Kochian, LV.** 1995. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.46, p.237–260.
- Kochian LV, Hoekenga OA, Piñeros, MA.** 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, v.55, p.459-93.
- Kukachka BF, Miller R.** 1980. A chemical spot-test for aluminum and its value in wood identification. *IAWA Bulletin*, 3: 104–109.
- Lorenzi, H.** 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 352 p.
- Ma JF, Ryan PR, Delhaize E.** 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, 6: 273-278.
- Malta PG, Silva AS, Ribeiro C, Campos NV, Azevedo AA.** 2016. *Rudgea viburnoides* (Rubiaceae) overcomes the low soil fertility of the Brazilian Cerrado and hyperaccumulates aluminum in cell walls and chloroplasts. *Plant and Soil*, 408: 369-384.
- Matsumoto, H.** 2000. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *International Review of Cytology*, 200: 1-46.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GA, Kent J.** 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- Pinheiro MHO, Monteiro R.** 2010. Contribution to the discussions on the origin of the cerrado biome: Brazilian savanna. *Brazilian Journal of Biology*, 70(1), 95-102.
- Ratter JA, Bridgewater S, Ribeiro JF.** 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60: 57-109.

- Ratter JA, Ribeiro JF, Bridgewater S.** 1997. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, 80:223-230.
- Rossatto DR, Carvalho FA, Haridasan M.** 2015. Soil and leaf nutrient content of tree species support deciduous forests on limestone outcrops as a eutrophic ecosystem. *Acta Botanica Brasilica*, 29: 231-238.
- Ryan PR, Tyerman SD, Sasaki T, Furuichi T, Yamamoto Y, Zhang WH, Delhaize E.** 2011. The identification of aluminium-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. *Journal of Experimental Botany*, 62: 9-20.
- Sarruge JR, Haag HP.** 1974. Análises Químicas em plantas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba.
- Seastadt TR.** 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralisation process. *Annual Review of Entomology*, 29: 25-46.
- Scalon, MC.** 2010. Plantas hemiparasitas do cerrado e sua relação com hospedeiras acumuladoras e não-acumuladoras de alumínio. 2010. x, 80 f., il. Dissertação (Mestrado em Ecologia) -Universidade de Brasília.
- Shen R, Ma JF.** 2001. Distribution and mobility of aluminium in an Al-accumulating plant, *Fagopyrum esculentum* Moench. *Journal of Experimental Botany*, v.52, p.1683-1687.
- Souza MC, Bueno PCP, Morellato LPC, Habermann G.** 2015. Ecological strategies of Al-accumulating and non-accumulating functional groups from the Cerrado *sensu stricto*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87: 813–823.
- Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A.** 2017. Mineral nutrition. In: _____. (Org.). *Plant Physiology and development*. Sinauer Associates, Sunderland, MA. p. 119-142.
- van Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA.** 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas.
- Vardar F, Ünal G.** 2007. Review: Aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Advances in Molecular Biology*, 1: 1-12.
- Villela DM, Haridasan M.** 1994. Response of the ground layer community of a Cerrado vegetation in central Brazil to liming and irrigation. *Plant and Soil*, 163: 25-31.
- Wehr JB, Blamey FPC, Hanna JV, Kopittke PM, Kerven GL, Menzies NW.** 2010. Hydrolysis and speciation of Al bound to pectin and plant cell wall material and its reaction with the dye chrome azurol S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58:5553–5560.