



PLANTAS NATIVAS DO CERRADO E POSSIBILIDADES EM FITORREMEDIAÇÃO

Cristiano Figueiredo dos Santos¹

Elaine Novak¹

RESUMO

Algumas atividades desenvolvidas pelo homem possuem a capacidade de liberar contaminantes que são perigosos à saúde humana e a outras formas de vida, como animais e vegetais. Nesse sentido, alguns processos podem remediar situações indesejadas e, caso este processo aconteça por meio de um agente biológico, ele é chamado de biorremediação. A biorremediação que se dá por intermédio da comunidade vegetal é conhecida como fitorremediação e pode ser subclassificada em várias outras categorias. No Brasil, os trabalhos sobre fitorremediação estão principalmente voltados para herbicidas e alguns metais. A capacidade das plantas em remediar estes elementos está relacionada com aspectos fisiológicos que ainda não estão muito bem elucidados e que variam de espécie para espécie. No segundo maior bioma do Brasil, o Cerrado, as plantas desenvolveram adaptações para um ambiente com solo extremamente pobre em nutrientes, ácido e com altos teores de alumínio. Estudar plantas desse bioma para a fitorremediação é um campo promissor. O objetivo deste trabalho foi o de, através de uma revisão bibliográfica, investigar e relacionar publicações que trataram de plantas nativas do bioma Cerrado e seu potencial fitorremediador. Observou-se que apesar dos poucos trabalhos com plantas nativas do Cerrado enquanto fitorremediadoras, os resultados encontrados nestes trabalhos são positivos, o que ressalta a necessidade de investigar plantas nativas do Cerrado e seu potencial fitorremediador.

Palavras-chave: biorremediação, metais tóxicos, vegetação

ABSTRACT

Native Cerrado plants and possibilities in phytoremediation. Some activities developed by humans can release contaminants which are hazardous to human health and other life forms such as animals and plants. Thus, some process can remedy undesirable situations and if this process occurs through a biological agent, it is called bioremediation. The bioremediation that occurs through vegetal community is known as phytoremediation and may be sub classified into several others categories. In Brazil the research on phytoremediation are mainly focused on herbicides and some metals. The ability of plants to remedy these elements is related with physiological aspects which are not yet well elucidated and which vary from specie to specie. In the second largest biome in Brazil, Cerrado (Brazilian savannah), plants have developed adaptations to an environment with extremely nutrient-poor, acid soil and with high levels of aluminum soil. Study this biome's plants for phy-

¹ UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Brasil. E-mail para correspondência: biocsantos@hotmail.com

to remediation is a promising field. The aim of this study was, through a bibliography revision, to investigate and list papers that approached native Cerrado plants and their potential on phytoremediation. However, despite of the few research with native plants from Cerrado as phytoremediators, the results found in these studies are positive, which highlights the need to investigate the native plants of Cerrado and its potential as phytoremediator.

Keywords: bioremediation, toxic metals, vegetation

INTRODUÇÃO

A contaminação de solos e corpos hídricos com elementos e compostos químicos perigosos é um dos graves problemas resultantes da industrialização. As técnicas disponíveis para a remediação destes problemas podem ser divididas em dois grupos, as técnicas *in situ* e *ex situ*. As técnicas *ex situ*, devido a riscos ambientais que envolvem escavação, manipulação, transporte e armazenamento de materiais contaminados, têm sido preteridas em função das *in situ* (Procópio et al., 2009b). Uma das técnicas *in situ* que utiliza organismos vivos – no caso, plantas e comunidades microbianas associadas à rizosfera – para degradar, isolar ou imobilizar poluentes no solo e nas águas subterrâneas é a fitorremediação (Marques et al., 2011).

No Brasil os trabalhos sobre fitorremediação tem se concentrado em solos contaminados por metais e herbicidas (Marques et al., 2011), embora existam também trabalhos tratando de fitorremediação para hidrocarbonetos de petróleo (Corseuil e Moreno, 2001; Oliveira, 2009; Biazão, 2012) para solos salinos (Leal et al., 2008; Souza et al., 2012) e com enfoque em plantas nativas do Cerrado (Oliveira et al., 2009; Lopes, 2010).

O bioma Cerrado abriga mais de 11.000 espécies vegetais, das quais 4.400 são endêmicas, sendo a heterogeneidade espacial um fator determinante para a ocorrência dessa diversidade de espécies. É essa enorme biodiversidade que qualifica o Cerrado como a savana mais rica do mundo, com destaque ainda por ser berço das águas já que abriga as nascentes dos principais rios das bacias Amazônica, da Prata e do rio São Francisco (MMA, 2011).

Ainda que alguns elementos-traço (metais catiônicos e aniônicos presentes em solos e plantas em concentrações usualmente menores que $0,1 \text{ dag kg}^{-1}$) sejam biologicamente essenciais, mesmo esses, sob condições específicas, podem causar impactos negativos a ecossistemas terrestres e aquáticos, tornando-se contaminantes ou poluente de solo e água (Guilherme et al., 2005).

Ocorre que, por exemplo, embora o alumínio (Al^{+++}) mesmo em pequenas concentrações possa ser considerado fitotóxico para muitas plantas, especialmente para as cultivadas, e tóxico para animais e seres humanos, não é considerado tóxico para plantas do Cerrado, já que essas podem utilizar estratégias de exclusão ou de absorção sem nenhum efeito prejudicial para o crescimento vegetativo, reprodução ou funções metabólicas (Haridasan, 2006), o que justifica estudos das plantas nativas desse bioma para a fitorremediação.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi o de, através de uma revisão bibliográfica, investigar e relacionar publicações que trataram de plantas nativas do bioma Cerrado e seu potencial fitorremediador.

REVISÃO DE LITERATURA

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando 21% do território nacional e, em termos de conservação, é considerado um *hotspot* mundial por apresentar altas taxas de endemismo ameaçadas por elevado grau de perda de habitat (Myers et al., 2000). Este bioma é a savana tropical mais diversificada do mundo, na qual plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas e cipós somam mais de sete mil espécies e 44% da flora é endêmica (Mendonça et al. apud Klink e Machado, 2005).

Cerca de um milhão de quilômetros quadrados originais do Cerrado foram transformados em pastagens plantadas, mas seus usos incluem culturas anuais (muitas destas, monoculturas), áreas urbanas e florestas plantadas, entre outros (Klink e Machado, 2005). O histórico de ocupação está relacionado com a exploração de ouro e pedras preciosas no início do século 18 e com o desenvolvimento de infraestruturas viárias para a construção de Brasília e com políticas agrícolas desenvolvimentistas que tinham por base a revolução verde (Ribeiro et al., 2005).

As fisionomias vegetais do Cerrado são ordenadas em quatro tipos principais (campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu stricto* e cerradão) que podem ter parte das diferenças observadas explicadas pela profundidade e umidade do solo (Henriques, 2005). De forma geral os solos são profundos, bem drenados, com baixa disponibilidade de nutrientes, onde nitrogênio, fósforo e vários outros cátions ocorrem em níveis muito baixos, porém com níveis de alumínio extremamente altos (Goodland e Ferri, 1979; Haridasan, 1982; Sarmiento, 1984 e Haridasan apud Franco, 2005).

Haridasan (2005) discute que as principais classes de solo que suportam o cerrado *sensu stricto* no Planalto Central são Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos, os quais, de modo geral, não apresentam restrições ao crescimento radicular das árvores. Entretanto, quando a profundidade se torna limitante, por causa de concreções lateríticas ou ferruginosas ou afloramento de rochas, a fisionomia comum é outra.

Os solos contendo rochas exploráveis pela indústria de mineração ou cobertos por escombros de peças metálicas apresentam metais pesados (especialmente zinco, chumbo, níquel, cobre, cromo e cobalto) e metaloides (manganês, cádmio, selênio e arsênio) em quantidades tóxicas para a maioria das plantas. A absorção de elementos metálicos pelas células é facilitada, já que vários metais são realmente necessários como micronutrientes, embora possam interferir no transporte eletrônico da respiração e da fotossíntese e na inativação de enzimas vitais (Larcher, 2000).

A aplicação de diferentes medidas de contenção e tratamento de material contaminado para saneamento de uma determinada área contaminada é designada remediação. O termo 'remediação' tem sido associado a técnicas não biológicas que promovam a atenuação ou remoção do contaminante, embora a remediação de uma área possa ser de natureza química, física ou biológica (Procópio et al., 2009b).

Fitorremediação é o processo pelo qual plantas são introduzidas em um ambiente, de forma que elas assimilem contaminantes em suas raízes e folhas. Embora Gratão et al. (2005) considerem sub-processos da fitorremediação a fitoextração, a fitoestabilização, a fitovolatilização e a fito/rizofiltração, Procópio et al. (2009b), porém, consideram didático dividir a fitorremediação em oito processos: fitoextração, fitoacumulação, fitodegradação, fitovolatilização, fitoestimulação, rizodegradação, rizovalatilização e rizoestabilização, conforme descrito a seguir:

1. fitoextração - o contaminante presente no ambiente é absorvido pelo vegetal;
2. fitoacumulação - o contaminante é armazenado em um órgão vegetal, sem modificação molecular do xenobiótico e ocorre após a fitoextração;
3. fitodegradação - o contaminante é bioconvertido (intensamente, às vezes) em forma menos ou não tóxica em um órgão vegetal e ocorre após a fitoextração ou fitoacumulação;
4. fitovolatilização: o contaminante é fitotransformado a uma forma volátil, que é liberada na atmosfera. Esse processo ocorre após a fitoextração ou a fitoacumulação.
5. fitoestimulação: exsudatos radiculares de espécie vegetal são produzidos e liberados e estimulam a concentração/ativação da comunidade apta a biodegradar o contaminante;
6. rizodegradação: o contaminante é biodegradado pela comunidade microbiana associada à rizosfera da espécie vegetal. Ocorre, normalmente, após a fitoestimulação;
7. rizovolatilização: o contaminante é rizotransformado a uma forma volátil, que é liberada na atmosfera;
8. rizoestabilização: o contaminante é imobilizado, lignificado ou humificado na rizosfera da espécie vegetal, ficando inativo no solo, mesmo se preservada a integridade molecular.

Entre os trabalhos sobre fitorremediação recentemente desenvolvidos no Brasil, arsênio (Gonzaga et al., 2006; Felipe et al., 2009; Melo et al., 2009; Araújo et al., 2011; Gilberti, 2012; Schneider et al., 2012a; Schneider et al., 2012b) e os herbicidas Picloran (Carmo et al., 2008a; Carmo et al., 2008b; Procópio et al., 2008; Procópio et al., 2009a; Assis et al., 2010a; Assis et al., 2010b) e Tebuthiuron (Pires et al., 2003; Pires et al., 2005; Pires et al., 2006; Pires et al., 2008) aparentam ter sido investigados mais frequentemente.

Com relação a outros elementos químicos, existem publicações que tratam de fitorremediação para níquel (Paiva et al., 2003), cobre (Silva, 2007; Caires et al., 2011), cádmio (Paiva et al., 2001; Zeitouni et al., 2007), chumbo (Romeiro et al., 2007; Pereira et al., 2010; Oliveira, 2012), zinco (Zeitouni et al., 2007) e alumínio e silício (Britez et al., 2002). Além dos trabalhos já citados que tratam dos herbicidas Picloran e Tebuthiuron, existem ainda aqueles que tratam de Sulfentrazone (Belo et al., 2011) e de Trifloxysulfuron-sodium (Belo et al., 2007) e trabalhos que tratam de hidrocarbonetos de petróleo (Corseuil e Moreno, 2001; Oliveira, 2009; Biazão, 2012) e de solos salinos (Leal et al., 2008; Souza et al., 2012).

Apesar de todos esses trabalhos, o que ocorre, no entanto, é que embora o Brasil apresente grande potencial de uso tanto para biorremediação quanto para fitorremediação na recuperação de áreas contaminadas - devido à grande biodiversidade e ao clima que favorecem os processos biológicos no tratamento

da poluição (Marques et al., 2011) - ainda é restrita a relação de espécies de árvores nativas tropicais que reconhecidamente sejam efetivas para servir a esse propósito (Caires et al., 2011), e estudos específicos sobre plantas do Cerrado que possuem a habilidade de fitorremediar são carentes (Lopes, 2010).

Isso pode estar associado ao fato de que pode ser difícil encontrar uma espécie vegetal que apresente uma série de critérios desejados para espécies fitorremediadoras. Procópio et al. (2009b) listam alguns dos critérios desejáveis para plantas fitorremediadoras que incluem um sistema radicular profundo e denso, uma alta taxa de crescimento e produção de biomassa, elevadas capacidade transpiratória e de exsudação radicular, resistência a pragas e doenças, adaptabilidade ao local a ser remediado, fixação de nitrogênio atmosférico, alta associação com fungos micorrízicos, fácil aquisição ou multiplicação de propágulos além de fácil controle ou erradicação posterior, entre outras.

As comunidades vegetais de Cerrado são extremamente complexas em termos estruturais e ricas em espécies lenhosas endêmicas. Variedade ampla de forma, tamanho e grau de esclerofilia do limbo foliar das espécies lenhosas além da grande diversidade de formas de vida são características marcantes de qualquer área de Cerrado (Franco, 2005). Segundo Lamego e Vidal (2007), características favoráveis para a utilização de plantas como fitorremediadoras incluem crescimento rápido, elevada produção de biomassa, competitividade, vigor e tolerância à poluição. Devido a grande diversidade das formas vegetais existentes no Cerrado e as estratégias ecofisiológicas adotadas por algumas espécies nesse bioma, é de se esperar que o uso das plantas desse bioma como potencial fitorremediadoras esteja sendo subestimado.

De fato, são poucos os trabalhos (Tabela 1) que investigam espécies vegetais do Cerrado e sua habilidade de fitorremediação. Mesmo assim, nenhuma dessas espécies é endêmica do Cerrado, mesmo sendo esse um bioma com altas taxas de endemismo para a comunidade vegetal. Foram consideradas, neste trabalho, “espécies vegetais do Cerrado” aquelas constantes no domínio fitogeográfico do Cerrado na “Lista de Espécies da Flora do Brasil” (2012), na categoria nativa.

Tabela 1. Fontes, espécie(s) utilizada(s) e alvo de fitorremediação com plantas do Cerrado.

| Autor(es) | Espécie(s) Utilizada(s) | Alvo da Fitorremediação |
|----------------------|--|-------------------------|
| Biazão, 2012 | <i>Echinochloa polystachya</i> (caranana verdadeira) | Petróleo |
| Caires et al., 2011 | <i>Cedrela fissilis</i> (cedro) | Cobre |
| Gilberti, 2012 | <i>Baccharis dracunculifolia</i> (alecrim-do-campo) | Arsênio |
| Gonzaga et al., 2006 | <i>Pityrogramma calomelanos</i> (samambaia) | Arsênio |
| Silva, 2007 | <i>Peltophorum dubium</i> (canafistula), <i>Cedrela fissilis</i> (cedro), <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (timbaúva) | Cobre |

Segundo Oliveira et al. (2009), o cobre pode ser considerado elemento essencial, o arsênio e o cádmio microcontaminantes e o níquel pode ser considerado ao mesmo tempo um elemento essencial e um microcontaminante. Embora não tenham sido encontrados trabalhos sobre o alumínio, este é um elemento significativo para as plantas do cerrado e, segundo os mesmos autores, pode ser considerado um microcontaminante ambiental.

Várias plantas absorvem quantidades significativas de alumínio e quando a concentração na folha supera 1000 mg Kg⁻¹ pode-se dizer que esta é uma planta acumuladora de alumínio. São conhecidas 45 famílias botânicas que apresentam espécies acumuladoras de alumínio, sendo que 32% das espécies são da família Rubiaceae (Haridasan, 2006). No Cerrado brasileiro, as Vochysiaceas *Qualea grandiflora*, *Q. parviflora*, *Q. multiflora*, *Vochysia thyrsoide* e *V. elliptica*, além das Melastomataceas *Miconia ferruginata* e *M. pohliana* e a Rubiaceae *Palicourea rigida* são representantes de plantas acumuladoras de alumínio (Haridasan apud Haridasan, 2006).

As plantas nativas do Cerrado utilizam as estratégias de exclusão ou de absorção sem nenhum efeito prejudicial para seu crescimento vegetativo, embora os mecanismos fisiológicos envolvidos na exclusão ou absorção e transporte de alumínio tenham sido estudados em poucas plantas acumuladoras e ainda não estejam bem estabelecidos (Haridasan, 2006; Lopes, 2010), podendo estar relacionados com a forma do alumínio em questão (Al⁺⁺⁺ ou complexo alumínio-silicato, por exemplo) (Haridasan, 2006). Segundo Mor e Schopfer apud Lopes (2010), os mecanismos estão relacionados às diferenças na estrutura e no funcionamento das membranas celulares, na remoção de íons do metabolismo por armazenamento em formas fixas e/ou insolúveis em vários órgãos e organelas e alteração em padrões metabólicos, dentre outros.

Baker apud Marques et al. (2000) afirma que as espécies tolerantes podem ser caracterizadas de acordo com a capacidade relativa em absorver, translocar e concentrar os metais na planta, pois estas são consideradas acumuladoras, indicadoras ou excludoras de acordo com as concentrações de metais relativas dos metais na raiz e na parte aérea. Mesmo que os mecanismos de tolerância a metais pesados ainda não estejam muito bem elucidados, sabe-se que as diferenças entre as espécies tolerantes e as não tolerantes não são de natureza morfológica e sim de natureza bioquímica e fisiológica (Marques et al., 2000).

DISCUSSÃO

Apesar de existirem estudos sobre acúmulo e distribuição de metais pesados, tais como solo contaminado por rejeitos da indústria de zinco (Soares et al., 2001), alumínio e silício (Britez et al., 2002), níquel (Paiva et al., 2003), vários elementos químicos simultaneamente (Marques et al., 2000; Santana et al., 2008) e chumbo (Oliveira, 2012) além dos trabalhos que tratam da tolerância, como por exemplo ao cádmio (Paiva et al., 2001; Paiva et al., 2004), ao alumínio (Haridasan, 2006) e ao cobre (Caires et al., 2011) em espécies vegetais ocorrentes no Cerrado, esses trabalhos não tratam diretamente de aspectos relativos à remediação, embora contribuam para a discussão.

Guilherme et al. (2005) apontam que, nos sistemas aquáticos, as principais fontes naturais de aparecimento de elementos-traço são o intemperismo de rochas e a lixiviação no perfil do solo enquanto as fontes antropogênicas estão relacionadas às atividades de mineração (carvão e jazidas minerais), atividades industriais e geração de efluentes municipais.

Como o trabalho trata das plantas do Cerrado e dos trabalhos encontrados nesse bioma, apenas arsênio, cobre e petróleo farão parte da discussão.

O arsênio é um semimetal-traço presente basicamente em todos os ambientes que se apresenta em quatro estados de oxidação, ocorrendo, principalmente, nas formas inorgânicas arsenito e arsenato, e nas formas orgânicas como ácido monometilarsônico, ácido dimetilarsínico e óxido trimetilarsina (Who e Liu et al. apud Gilberti, 2012). Das poucas espécies hiperacumuladoras de arsênio, quase todas são pteridófitas (Zhao et al. apud Gilberti, 2012).

Gonzaga et al. (2006) relatam que a pteridófito *Pityrogramma calomelanos* possui capacidade para acumular arsênio. Gilberti (2012) trabalhou com uma Asteraceae (*Baccharis dracunculifolia*) e também observou que todos os indivíduos de *B. dracunculifolia* conseguiram acumular arsênio em seus tecidos. Observou, ainda, que mesmo sob elevadas concentrações de arsênio, os indivíduos não demonstraram sensibilidade da raiz ao elemento e que produziram novas ramificações e novas folhas. A espécie demonstrou apresentar mecanismos de resistência que a permitiu manter o crescimento quase inalterado.

O cobre é um elemento químico essencial para as plantas, já que participa como catalisador de reações bioquímicas, no metabolismo de carboidratos, do nitrogênio, na síntese de clorofila e na constituição de proteínas (Taiz e Zeiger, 2004 e Filho apud Silva, 2007).

Com relação a este elemento, Caires et al. (2011) estudando o cedro (*Cedrela fissilis*), discutem que essa espécie possui potencial fitorremediador, especialmente nos estágios iniciais do processo, já que as mudas apresentam elevada capacidade de acúmulo de cobre nas raízes, com exclusão deste metal na parte aérea. Silva (2007), trabalhando com a mesma espécie, não a considera acumuladora de cobre, mas a classifica como uma espécie extratora deste elemento e aponta que as mudas de cedro são capazes de acumular cobre tanto na parte aérea como na parte radicular.

O petróleo e seus derivados têm demanda mundial e a busca de técnicas que possam ser aplicadas na remediação de derramamentos acidentais em diferentes compartimentos ambientais se faz necessária, seja por processos de degradação ou de redução destes contaminantes ambientais (Biazão, 2012). As raízes das espécies da família Poaceae influenciam a degradação dos contaminantes ao promoverem uma alteração das condições físicas e químicas do solo (Cunningham et al. apud Biazão, 2012).

Biazão (2012) trabalhando com *Echinochloa polystachya* (Poaceae) verificou que houve tolerância ao substrato contaminado com petróleo independentemente da concentração e que o contaminante não influenciou negativamente o crescimento e desenvolvimento da planta. Mesmo considerando que essa espécie não aumentou a degradação dos hidrocarbonetos de petróleo quando comparada com o tratamento controle, avalia que ela tem potencial para a recuperação de sítios contaminados.

CONCLUSÃO

Embora existam trabalhos sobre fitorremediação no Brasil, grande parte destes volta-se para as espécies comumente utilizadas na área agrônomicas e, sobretudo, com interesse em arsênio e herbicidas.

Os raros trabalhos que investigaram o potencial de espécies vegetais do Cerrado como fitorremediadoras utilizaram mais frequentemente o cedro (*Cedrela fissilis*) e se atentaram mais para a contaminação por arsênio. Nenhuma espécie endêmica do Cerrado foi investigada, mesmo com as altas taxas de endemismo vegetal desse bioma.

Estudos sobre o potencial de plantas nativas do Cerrado para a fitorremediação são escassos e necessários, face aos resultados já obtidos em alguns trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. S. A. et al. 2011. Fitorremediação de solos contaminados com arsênio (Ar) utilizando braquiária. **Ciênc. agrotec.**, **35**(1):84-91.
- ASSIS, R. L. et al. 2010a. Fitorremediação de solo contaminado com herbicida picloram por plantas de *Panicum maximum* em função do teor de água no solo. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, **30**(5):845-853.
- ASSIS, R. L. et al. 2010b. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, **14**(11):1133-1135.
- BELO, A. F. et al. 2007. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com Trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, **25**(2):251-258.
- BELO, A. F. et al. 2011. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, **29**(4):821-828.
- BIAZÃO, T. C. 2012. **Utilização de *Echinochloa polystachia* (Kunth) Hitchc. (POACEAE) na fitorremediação de solo contaminado com petróleo**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 61p.
- BRITEZ, R. M. et al. 2002. The relationship between aluminium and silicon accumulation in leaves of *Faramea marginata* (Rubiaceae). **New Phytologist**, **156**:437-444.
- CAIRES, S. M. et al. 2011. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, **35**(6):1181-1188.
- CARMO, M. L. et al. 2008a. Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. **Planta Daninha**, **26**(2):301-313.
- CARMO, M. L. et al. 2008b. Influência do período de cultivo de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. **Planta Daninha**, **26**(2):315-322.
- CORSEUIL, H. X.; MORENO, F. N. 2001. Phytoremediation potential of willow trees for aquifers contaminated with ethanol-blended gasoline. **Wat. Res.**, **35**(12):3013-3017.
- FELIPE, R. T. A.; OLIVEIRA, J. A.; LEÃO, G. A. 2009. Potencial de *Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis* para fitorremediação: absorção de arsênio e respostas antioxidativas. **R. Árvore**, **33**(2):245-254.
- FRANCO, A. C. 2005. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. In: A. Scariot; J. C. Sousa-Silva; J. M. Felfili

- (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 179-196.
- GILBERTI, L. H. 2012. **Potencial para uso da espécie nativa, *Baccharis dracunculifolia* DC (Asteraceae) na fitorremediação de áreas contaminadas por arsênio**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, 68p.
- GONZAGA, M. I. S.; SANTOS, J. A. G.; MA, L. Q. 2006. Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species. **Sci. Agric.**, **63**(1):90-101.
- GRATÃO, P. L. et al. 2005. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. **Bras. J. Plant Physiol.**, **17**(1):53-64.
- GUILHERME, L. R. G. et al. 2005. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos Ci. Solo**, **4**:345-390.
- HARIDASAN, M. 2005. Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. In: A. Scariot; J. C. Sousa-Silva; J. M. Felfili (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 167-178.
- HARIDASAN, M. 2006. Alumínio é um elemento tóxico para plantas nativas do cerrado? In: C. H. B. A. Prado; C. A. Casali (Orgs.). **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri: Manole, p. 1-10.
- HENRIQUES, R. P. B. 2005. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. In: A. Scariot; J. C. Sousa-Silva; J. M. Felfili (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 73-92.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, **1**(1):147-155.
- LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. 2007. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? **Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, **17**:9-18.
- LARCHER, W. 2000. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 531p.
- LEAL, I. G. et al. 2008. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **R. Bras. Ci. Solo**, **32**:1065-1072.
- LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. 2012. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/>>. Acesso em: 01 abr. 2013.
- LOPES, D. 2010. Plantas nativas do Cerrado uma alternativa para fitorremediação. **Estudos**, **37**(3/4):419-437.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. 2000. Crescimento e teor de metais de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesq. Agropec. bras.**, **35**:121-132.
- MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. 2011. Desafios técnicos e barreiras sociais, econô-

- micas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **R. Bras. Ci. Solo**, **35**:1-11.
- MELO, R. F. et al. 2009. Potencial de quatro espécies herbáceas forrageiras para fitorremediação de solo contaminado por arsênio. **R. Bras. Ci. Solo**, **33**:455-465.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. 2011. **Guia de campo: vegetação do Cerrado 500 espécies**. Brasília: MMA/SBF, 532p.
- MYERS, N. et al. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, **402**:853-858.
- OLIVEIRA, A. P. 2012. **Avaliação da influência dos macronutrientes na bioacumulação do chumbo pela *Eichhornia crassipes***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 121p.
- OLIVEIRA, D. L. et al. 2009. Plantas nativas do Cerrado: uma alternativa para fitorremediação. **Estudos**, **36**(11/12):1141-1159.
- OLIVEIRA, N. C. 2009. **Seleção de microorganismos endofíticos com potencialidades para biorremediação de ambientes contaminados com hidrocarbonetos de petróleo e/ou derivados**. Dissertação (Mestrado em Medicina Tropical) - Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, Universidade Federal de Goiás, 80p.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O. 2001. Efeito da aplicação de cádmio sobre o teor de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissillis* Vell.). **Ciência Florestal**, **11**(2):153-162.
- PAIVA, H. N. et al. 2003. Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Florestalis**, **63**:158-166.
- PAIVA, H. N. et al. 2004. Absorção de nutrientes por mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) em solução nutritiva contaminada por cádmio. **Revista Árvore**, **28**(2):189-197.
- PEREIRA, B. F. F. et al. 2010. Phytoremediation of lead by jack beans on a Rhodic Hapludox amended with EDTA. **Sci. Agric.**, **67**(3):308-318.
- PIRES, F. R. et al. 2003. Seleção de plantas tolerantes ao tebuthiuron e com potencial para fitorremediação. **Revista Ceres**, **50**(291):583-594.
- PIRES, F. R. et al. 2005. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **R. Bras. Ci. Solo**, **29**:627-634.
- PIRES, F. R. et al. 2006. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron. **Caatinga**, **19**(1):92-97.
- PIRES, F. R. et al. 2008. Avaliação da fitorremediação de tebuthiuron utilizando *crotalaria juncea* como planta indicadora. **Rev. Ciênc. Agron.**, **39**(2):245-250.
- PROCÓPIO, S. O. et al. 2008. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). **R. Bras. Ci. Solo**, **32**:2517-2524.

- PROCÓPIO, S. O. et al. 2009a. Efeito da densidade populacional de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram. **Semina: Ciências Agrárias**, **30**(2):295-304.
- PROCÓPIO, S. O. et al. 2009b. **Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas**. Aracaju: Embrapa, 32p. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2009/doc_156.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2012.
- RIBEIRO, J. F. et al. 2005. Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. In: A. Scariot; J. C. Sousa-Silva; J. M. Felfili (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.383-399.
- ROMEIRO, S. et al. 2007. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L.. **Bragantia**, **66**(2):327-334.
- SANTANA, O. A. et al. 2008. Nutrientes e metais no solo e em árvores de Cerrado adjacentes a um aterro sanitário. **Cerne**, **14**(3):212-219.
- SCHNEIDER, J.; OLIVEIRA, L. M.; GUILHERME, L. R. G. 2012a. Espécies tropicais de pteridófitas em associação com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com arsênio. **Quim. Nova**, **35**(4):709-714.
- SCHNEIDER, J. et al. 2012b. Anatomy and ultrastructure alterations of *Leucaena leucocephala* (Lam.) inoculated with mycorrhizal fungi in response to arsenic-contaminated soil. **J. Hazard. Mater.**, (2012):1-14.
- SILVA, R. F. 2007. **Tolerância de espécies florestais arbóreas e fungos ectomicorrízicos ao cobre**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 134p.
- SOARES, C. R. F. S. et al. 2001. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, **13**(3):302-315.
- SOUZA, E. R. et al. 2012. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, **82**:20-27.
- ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. 2007. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, **66**(4):649-657.