



JOÃO MARCELO DE CARVALHO

**CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E EFICIÊNCIA
DE USO DE NUTRIENTES EM ESPÉCIES
VEGETAIS DE CANGA FERRUGINOSA**

LAVRAS – MG

2017

JOÃO MARCELO DE CARVALHO

**CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DE
NUTRIENTES EM ESPÉCIES VEGETAIS DE CANGA FERRUGINOSA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Maria Ligia De Souza Silva
Orientadora

Prof. Dr. Valdemar Faquin
Coorientador

LAVRAS – MG
2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Carvalho, João Marcelo de.

Crescimento, nutrição e eficiência de uso de nutrientes em
espécies vegetais de cangaferruginosa / João Marcelo de Carvalho.
- 2016.

67 p. : il.

Orientadora: Maria Ligia de Souza Silva.

Coorientador: Valdemar Faquin

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Rupestre. 2. Mimosa. 3. Rejeito de mineração. I. Silva,
Maria Ligia de Souza . II. Faquin, Valdemar . III. Título.

JOÃO MARCELO DE CARVALHO

**CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DE
NUTRIENTES EM ESPÉCIES VEGETAIS DE CANGA FERRUGINOSA**

***GROWTH, NUTRITION AND NUTRIENT USE EFFICIENCY IN CANGA
PLANTS SPECIES***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de dezembro de 2016.

Prof. Dr. José Lavres Júnior USP
Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo UFLA

Profa. Dra. Maria Lígia de Souza Silva
Orientadora

Dr. Valdemar Faquin
Coorientador

LAVRAS - MG

2017

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus Pai Criador, a minha amada família, aos amigos e orientadores pelo incentivo, apoio, força, amizade e companheirismo. Pois sem eles nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de conduzir este trabalho em suas dependências.

A professora Maria Ligia de Souza Silva e ao professor Valdemar Faquin, por me orientarem pelos caminhos da ciência com dedicação empenho e paciência, em momentos bons e em momentos difíceis. Exemplos que seram lembrados por toda vida.

Ao MEC e aos órgãos de pesquisa CNPq, CAPES e FAPEMIG que por meio de seus recursos foi possível conduzir e concluir este trabalho.

Aos professores e técnicos do Departamento de Ciência do Solo, pelo apoio incondicional sempre que necessário.

Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto e Silvio Ramos, sempre presentes e primordiais na conclusão deste trabalho.

A minha esposa Aline e filha Ana Luísa, que amo muito, sempre presente em todos os momentos, apoiando e incentivando.

A Deus, agradeço por ter me concedido entendimento, paciência, sabedoria, determinação e humildade.

Um homem com idéias tímidas não pode mudar o mundo.

Pe. Dehon

RESUMO

Os campos rupestres sobre o afloramento ferruginoso – canga, são um ecossistema conhecido por abrigar um grande número de espécies vegetais. A sua preservação é um grande desafio, uma vez que existem poucas informações na literatura sobre as espécies vegetais deste ambiente particular. No presente estudo, foi avaliado o crescimento, o teor e acúmulo de nutrientes e a eficiência de uso de nutrientes em uma espécie nativa (*Mimosa acutistipula* var *ferrea*) e em uma espécie ruderal (*Solanum crinitum*), ambas encontradas nas áreas da canga, sob efeito da omissão de nutrientes. Dois experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação utilizando três diferentes substratos (Latosolo, solo da canga e rejeito da mineração de ferro) com e sem a omissão de nutrientes. Ambos os experimentos foram instalados no esquema fatorial 9 x 3 x 4, compreendendo nove tratamentos, três solos e quatro repetições. Os tratamentos foram baseados na técnica do elemento faltante (em que se omite a aplicação de macronutrientes e micronutrientes). Os resultados mostraram resposta em crescimento da espécie nativa e ruderal da canga ferruginosa com os tratamentos aplicados (manejo dos nutrientes). O crescimento da *Mimosa acutistipula* var *ferrea* e da *Solanum crinitum* dependeu mais da presença do N, P e K, do que da presença de micronutrientes. O maior crescimento e acúmulo de nutrientes verificado pela *Solanum crinitum* pode ser favorável para a utilização dessa espécie como facilitadora nas áreas em recuperação, desde que sua disseminação seja controlada. A alta taxa de conversão dos nutrientes absorvidos em biomassa, parece favorecer o crescimento da *S. crinitum* em ambientes degradados.

Palavras-chave: Rupestre. *Mimosa*. *Solanum*. Rejeito de mineração.

ABSTRACT

The rocky fields on the ferruginous outcrops - Canga, is a well known ecosystem for hosting a large number of plant species. Its preservation is a major challenge, since there is little information in the literature on the species of this particular environment. In this study, the growth was evaluated, the content and accumulation of nutrients and nutrient use efficiency in a native species (*Mimosa acutistipula var ferrea*) and a ruderal species (*Solanum crinitum*), both found in the areas of the yoke under effect of omission of nutrients. Two experiments were conducted in-house-vegetation using three different substrates (Oxisol, soil sarong and reject mining iron) with and without the omission of nutrients. Both experiments were conducted in factorial 9 x 3 x 4, comprising nine treatments three soils and four replications. The treatments were based on the missing element technique (which omits the application of macronutrients and micronutrients). The results showed growth in response of native and ruderal species canga ferruginous with the applied treatments (management of nutrients). The growth of *Mimosa acutistipula var ferrea* and *Solanum crinitum* depended more on the presence of the N, P and K, that the presence of the micronutrients. The biggest growth nutrient accumulation verified by *Solanum crinitum* may be favorable for the use of this species as a facilitator in the areas recovery, since its spread is controlled. The high conversion rate of the nutrients absorbed in biomass, seems to favor the growth of *S. crinitum* in degraded environments.

Keywords: Rock. *Mimosa*. *Solanum*. Rejection of mining.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	A CANGA: CARACTERÍSTICAS GERAIS	13
2.1	Ecologia dos campos de canga.....	17
3	MINERAÇÃO E ECOSSISTEMAS DE CANGA.....	23
3.1	Histórico da mineração em áreas de canga	23
3.2	Mineração e impacto ambiental nos campos de canga.....	24
3.3	Legislação ambiental e recuperação de áreas degradadas por mineração	27
4	NECESSIDADE NUTRICIONAL DAS PLANTAS	31
4.1	Exigências nutricionais das espécies nativas	32
5	A canga da Serra de Carajás (PA)	35
5.1	As espécies estudadas	35
5.1.1	A <i>Solanum crinitum</i>	35
5.1.2	A <i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i>	35
6	OBJETIVO	37
7	MATERIAL E MÉTODOS	39
8	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
9	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O crescimento quantitativo da espécie humana e a evolução na qualidade de vida ocasionam, via de regra, um processo geométrico de exploração dos recursos naturais renováveis, como produtos agrícolas, e também dos não renováveis, como minerais. Isto acontece porque o simples crescimento demográfico exige que o homem constantemente procure e abra novas áreas de produção capazes de serem exploradas. Áreas estas que antes eram ocupadas por campos e florestas, e ficam submetidas a um amplo impacto ambiental graças à necessidade constante de produção de matérias primas essenciais e alimentos.

A ocupação de áreas naturais com a produção de alimentos, operada pelas atividades agro-pastoris, não é a única forma de demanda por recursos naturais. Podemos mencionar também a demanda por matérias-primas essenciais, como o minério de ferro, ocasionada pela mineração. Se o avanço das atividades agrícolas e/ou pecuárias se voltam para áreas que proporcionem solos de maior fertilidade, a mineração se volta para áreas menos propícias.

Embora ainda pouco conhecidos, os campos rupestres dominados pela canga abrigam importantes mananciais de água, os quais são responsáveis pelo abastecimento de algumas regiões urbanas. Essas áreas também são importantes para a exploração comercial de minérios, como minério de ferro, além de abrigarem uma significativa diversidade biológica.

Devido às peculiaridades dos campos de canga, a rica biodiversidade vegetal apresenta altas taxas de endemismo e uma grande variedade de usos dessas espécies entre as comunidades localizadas próximas a esses ecossistemas. Esses ecossistemas possuem uma inegável importância sócio-ecológica, mas eles estão submetidos à significativa pressão antrópica (RESENDE; FERNANDES; COELHO, 2013), comprometendo o equilíbrio dessas áreas. Esse quadro evidencia a demanda de atenção pela sociedade no intuito de fornecer subsídios para compreender melhor a dinâmica desse ecossistema e

fornecer meios para reduzir e/ou amenizar os impactos nele causados pela atividade humana.

Nesse ambiente, podem ser encontradas espécies nativas, assim como espécies ruderais. O estudo da fertilização de espécies recorrentes em áreas de canga, uma ruderal e outra endêmica, contribui tanto para o entendimento da dinâmica biológica dos campos de canga quanto para sua recuperação, quando necessária. Espera-se, desse modo, que este trabalho contribua no entendimento da demanda de nutrientes de duas espécies encontradas nesse ecossistema, a *Mimosa acustistipula* var. *férrea* e a *Solanum crinitum*.

Neste trabalho, avaliou-se o manejo de nutrientes sobre o crescimento de uma espécie endêmica (Fabaceae) e outra invasora (Solanaceae), ambas encontradas nas áreas de canga da região da Serra de Carajás, no sudeste do Pará.

Devido à importância ecológica e presumida raridade da vegetação que se estabelece nas áreas de cangas, e a crescente demanda pela utilização de espécies nativas para a recuperação de áreas mineradas, o conhecimento das exigências nutricionais das espécies vegetais encontradas nessas áreas é uma ferramenta importante para auxiliar na recuperação desse ecossistema.

Os trabalhos sobre campos de canga são relativamente poucos e enfocam aspectos diversos desse ecossistema, como, por exemplo, fenologia das espécies vegetais e a geologia das áreas de canga. No entanto, são escassas as pesquisas envolvendo as exigências nutricionais das espécies desse ambiente, cuja acelerada pressão de atividades mineradoras das últimas décadas é uma ameaça iminente no desaparecimento destes ecossistemas.

2 A CANGA: CARACTERÍSTICAS GERAIS

A palavra “canga” popularmente deriva de “itapanhoacanga”, ou pedra canga, e designa a rocha formada por minério de ferro, de cor tipicamente avermelhada. Por extensão, canga também passou a designar certos tipos de campo rupestre formados por rochas minéreas.

A canga é um ecossistema componente do bioma cerrado. Pode ser tomada como uma variedade de campo rupestre formado superficialmente por crostas ferruginosas, sendo também chamada de canga laterítica ou crosta ferruginosa, que ocorre, com algumas exceções, em áreas de altitude variável entre 900 m e 1800 m.

Não há consenso entre pesquisadores a respeito do termo que melhor define esse ecossistema: campo rupestre, vegetação de canga e carrascal são apenas algumas dentre 22 definições fitofisionômicas possíveis, encontradas, por exemplo, no trabalho de Mendonça et al. (1998).

Se o Cerrado apresenta grande variedade quanto a sua fitofisionomia, também os campos rupestres são heterogêneos quanto a uma tipologia. Como mostra o trabalho de Fernandes (2016) eles podem ser formados por rochas quartzíticas ou pela chamada canga. Essa variedade sugere diferentes tipos de adaptação das espécies nele existentes e, logo, de biodiversidade.

Há pelo menos dois tipos de canga: a primeira, a canga couraçada, é caracterizada como uma área em que predomina o afloramento rochoso, apresentando o aspecto de campo sujo com muitos componentes lenhosos subarbustivos que partilham espaço com espécies herbáceas epilíticas e neosolos. A segunda, a canga nodular ou granulada consiste em uma área com um substrato bastante desagregado, tendo ocasionalmente a aparência de verdadeiros depósitos superficiais de pedregulhos. Nesse segundo tipo não há uma maior ocorrência de afloramentos rochosos, apresentando uma fisionomia de campo sujo com muitos subarbustos (RIZZINI, 1979).

Carmo e Jacobi (2013) destacam esses dois tipos de canga com maiores particularidades:

- a) os campos rupestres abertos: representam áreas com rochas de alto teor de ferro, havendo formações de pequenos espaços de solo cuja profundidade raramente excede 10 cm. Desta camada, cerca de 5 cm é composta de solo orgânico. Essa camada superficial de composição orgânica é basicamente derivada da ação de cupins, cujos ninhos presentes na canga são erodidos, vindo a preencher pequenas fraturas e micro depressões no terreno rochoso;
- b) o campo rupestre arbustivo: é a formação mais comum presente na Serra de Carajás, apresentando estrato arbustivo mais homogêneo variando em abundância e dominância. Ao contrário do campo rupestre aberto, anteriormente descritos, os solos são um pouco mais profundos, alcançando cerca de 30 cm. Sendo a canga mais fragmentada, ela permite uma maior penetração das raízes havendo também maior perda de solo devido à erosão. A alternância de solos com variadas profundidades indica uma morfogênese severa no tabuleiro, ou platô, de canga e grande ocorrência de processos erosivos. A formação desses solos também é influenciada pela ação de cupins. A *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, endêmica da Serra de Carajás, é uma das espécies recorrentes nesse tipo de canga;

As formações de canga constituem uma couraça que recobre os depósitos de minério de ferro das maiores províncias minerais do país. Esses campos se caracterizam, a primeira vista, pelos numerosos afloramentos rochosos ricos em ferro, formados pela decomposição da canga ou de outros substratos ferrosos. Também é evidente a escassez de vegetação arbórea, a

rarefação de solo em áreas dominadas por superfícies nuas de formações ferríferas e a ocorrência de fissuras e escarpas (quebra da canga).

Mesmo na canga, apesar de seu aspecto homogêneo, diversos habitats são encontrados. Podem ocorrer áreas de matas e campos. Ao passo que uma numerosa variedade de espécies herbáceas cresce sobre a canga mais maciça, há formações de pequenas matas ou grupos de pequenas espécies arbóreas dispersas, assim como arbustos e espécies rasteiras.

Essas manchas de vegetação mais densa se restringem, no entanto, a depressões no terreno. São locais em que a camada de minério de ferro é profundamente fragmentada e apresenta cavidades produzidas por erosão. Essa situação permite o crescimento de raízes que alcançam camadas de solo que possam estar abaixo do nível das rochas ferríferas.

Embora uma das características desses campos sejam justamente a rarefação de solos, as formações superficiais das áreas de canga, originadas pela ação de intemperismos, também podem ser classificadas como solos. Estes são decorrentes de transformações nas formações ferríferas, com particularidades que influenciam definitivamente na ocorrência de uma vegetação característica relacionada à formação de solos mais profundos.

As condições adversas, dentre as quais salientam-se a alta concentração de metais pesados, são condicionantes que levam a ocorrência de endemismos relacionados às espécies vegetais. No caso dos campos de canga, esses endemismos ocorrem justamente com aquelas espécies naturalmente selecionadas e capazes de tolerarem a altos teores disponíveis de metal no solo.

Esses solos são colonizados por vegetação adaptada a condições limitantes para o desenvolvimento, como a pouca profundidade do solo, o déficit hídrico, a baixa fertilidade, a alta concentração de ferro oxidado, a propensão ao fogo, a alta exposição solar e aos ventos constantes e as grandes oscilações de temperatura (SANTOS; VARJÃO, 2004; VINCENT, 2004). A ocorrência dessa

vegetação pressupõe a interação com o solo, sendo, por exata razão, chamada de vegetação metalófila, que é aquela que ocorre com uma associação a metais, tal como se observa na vegetação de canga ou campos rupestres.

Essa vegetação metalófila apresenta altas concentrações de metais em seus tecidos, havendo mecanismos de tolerância às condições do meio levando a uma seleção de indivíduos nesses ambientes. Esses organismos podem inclusive apresentar mecanismos fisiológicos adaptativos e ao mesmo tempo, modificarem sua forma de vida e sua morfologia interna e externa (PORTO; SILVA, 1989). Adaptações estas que levam à ocorrência de espécies endêmicas, como a *Mimosa acustistipula* var. *ferrea*, aqui estudada.

Os campos rupestres ferruginosos, ou áreas de vegetação de canga, são geograficamente restritos. Sua notoriedade não se deve necessariamente à singularidade desse tipo de ambiente ou à possível biodiversidade que ele abriga, mas ao fato de as áreas de canga estarem fortemente associadas a importantes depósitos de minério de ferro. A vegetação de canga, necessariamente pode ser entendida como apenas a superfície de grandes jazidas minerais cuja demanda pelo mercado, inclusive internacional, é cada vez maior.

Essa riqueza mineral, no caso, faz com que os campos de canga estejam entre os ecossistemas mais ameaçados e menos estudados do Brasil (JACOBI; CARMO; VINCENT, 2008). É importante, assim, contrapor a essa riqueza mineral, também a sua riqueza biológica. A canga abriga espécies vegetais com potencial medicinal, ornamental e plantas tolerantes a altas concentrações de metais no substrato (PORTO; SILVA, 1989). Nessas áreas também se encontram importantes mananciais responsáveis por boa parte do abastecimento hídrico de grandes cidades, como Belo Horizonte (MG) e sua região metropolitana.

A distribuição geográfica desses campos ferruginosos é bastante limitada sendo encontrados principalmente em Minas Gerais, na região do

chamado Quadrilátero Ferrífero, em Mato Grosso do Sul, nas morrarias do Urucum e Rabicho, e na serra de Carajás no Pará. A raridade desse ecossistema e seu relativo desconhecimento, a vegetação característica que nele é encontrada e a exploração a que é submetida para a exploração de minério de ferro tornam pertinentes pesquisas como esta.

2.1 Ecologia dos campos de canga

A biodiversidade é considerada um fator bastante relevante para se avaliar a importância de um bioma. De acordo com Klink e Machado (2005), por exemplo, o Cerrado é, entre os biomas de savanas do mundo, aquele que possui a mais rica diversidade vegetal. Se levarmos em conta que os campos de canga são parte dos biomas de Cerrado, podemos pensar a importância dessa biodiversidade nos campos ferruginosos.

Skiryicz et al. (2014), relataram que as áreas da canga contribuem significativamente para a biodiversidade regional e global. E, como tal, é visto pelos conservacionistas como um verdadeiro tesouro biológico. Sobre as rochas ferruginosas, a canga é ameaçada pelas atividades antrópicas, apresentando um dilema importante entre conservação da biodiversidade e exploração econômica do ferro.

As peculiaridades e condições adversas dos campos de canga, conforme informado no capítulo anterior, criam um ambiente propício para a ocorrência de espécies vegetais endêmicas (DAYRELL et al., 2015), o que contribui significativamente para a biodiversidade regional e global, conforme lembrado por Skiryicz et al. (2014), constituindo um ecossistema muito importante para conservacionistas e biólogos.

Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), por exemplo, classificam a canga e sua vegetação metalófila como refúgio ou relíquia tendo em vista sua diferença marcante com a vegetação circundante. A canga, assim, seria marcada por um

insulamento, uma ilha biológica face ao predomínio de outros tipos de vegetação nas áreas em redor.

As espécies vegetais encontradas na canga são adaptadas a altos níveis de estresse hídrico e climático (irradiação solar, ventos fortes, chuvas torrenciais e secas prolongadas), além de sobreviverem em solos rasos e pobres em nutrientes (HOPPER, 2009). Também apresentam alta tolerância a concentrações de metais. Essas espécies assim enfrentam uma menor competição com outras concorrentes. Também, algumas espécies vegetais encontradas na canga podem tolerar elevadas concentrações de metais (conhecidas como espécies metalófitas) e que podem ser utilizadas para a recuperação de áreas contaminadas com metais pesados, sendo consideradas como espécies úteis para recuperação de áreas degradadas (SKIRYCZ et al., 2014).

Parte da ameaça a que os campos ferruginosos estão sujeitos decorre da exploração de ferro, e como essa atividade ocorre de maneira cada vez mais progressiva, pode-se perceber a urgência de estudos voltados para esse tipo de ambiente. Um levantamento florístico completo dessas áreas ainda não foi realizado na região. Temos trabalhos como os de Dutra, Messias e Garcia (2005), Jacobi et al. (2007), Morellato e Rosa (1991), Silva (1989) e Viana e Lombardi (2007).

Entretanto, se levarmos em conta a ocorrência de endemismos, é possível que haja uma diversidade de espécies ainda não descritas. Mesmo entre as espécies ainda desconhecidas e as já descritas, é importante levar em conta o grau de ameaça a que elas ainda estão sujeitas. As áreas da canga são ameaçadas pela indústria de mineração e a sua conservação e recuperação tornam um grande desafio nos tempos atuais (GIBSON; YATES; DILLON, 2010).

A despeito da exuberância e unicidade desse ecossistema, os campos rupestres estão sendo convertidos em novos ecossistemas, mais depauperados. O

que decorre da fragmentação destes e da progressiva invasão a que são submetidos por espécies exóticas em um ritmo acelerado. Esse processo, que pode se tornar irreversível, resulta em significativas perdas de exemplares da biodiversidade local e no comprometimento da dinâmica desses ecossistemas. Por outro lado, essas áreas continuam desconhecidas mesmo entre pesquisadores, o que deixam ainda como incertas as consequências desse processo para a sociedade (FERNANDES, 2016).

Áreas de Cerrado, geralmente estão sujeitas à degradação a partir da supressão de vegetação para formação de culturas e retirada de madeira. Os campos de canga, sendo também formações de Cerrado, ainda que muito específicas, muitas vezes sofrem degradação sob a alegação de que ele possui baixo potencial econômico. Por outro lado, a canga é valorizada, muitas vezes, pela presença do minério de ferro. Desse modo, se a destruição desse ecossistema decorre da subestimação de seu potencial econômico, sua valorização gera estragos ainda maiores, graças à atividade mineradora.

Desse modo, desconhece-se também que os campos ferruginosos possuem outras formas de potencialidade, que não apenas a da extração mineral. Esse potencial estaria, por exemplo, no manejo de espécies de valor econômico, como plantas de uso medicinal, e de uso ornamental, como orquídeas.

Resende, Fernandes e Coelho (2013), por exemplo, estimam que não é apenas a presença de minérios nesses locais que apresenta valor monetário, já que o manejo da biodiversidade também apresenta alto potencial e/ou valor monetário, além de biológico. Esse potencial se traduz na forma de fontes de insumos para indústria, além de serem valorizados na recomposição de áreas nativas.

Nesse sentido, Giannini et al. (2016), em uma nova abordagem para selecionar espécies vegetais para programas de recuperação ambiental, partindo de uma lista de atributos para escolha de espécies-chave para a restauração,

relataram que a *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* recebeu alta pontuação, e pode ser considerada como uma espécie promissora para ser utilizada nos programas de recuperação ambiental. *M. acutistipula* (Fabaceae) é considerada como um táxon supostamente endêmica, e que é encontrada sobre uma vasta área da canga, exibindo formação densa em algumas áreas, devido aos vários ramos que brotam a partir da sua base e que apresenta pequenas flores brancas que são atraentes para os polinizadores.

Por outro lado, nas áreas da canga também são encontradas espécies ruderais, como a *Solanum crinitum*, que apresenta crescimento rápido e alta tolerância a solos pobres. A *S. crinitum* tem origem na América Tropical e é encontrada em clareiras artificiais e naturais, em florestas e áreas de pastagens abandonadas na Amazônia brasileira (DIAS-FILHO, 1990a).

Desse modo, há também um valor monetário que se relaciona ao serviço de estocagem da diversidade de espécies botânicas que são encontradas e/ou fornecidas pelos campos de canga. Perspectiva esta que pode auxiliar na conservação dos ecossistemas de campos rupestres, como os campos de canga, assim como outros ecossistemas similares ameaçados dotados de rica biodiversidade.

Especificamente sobre a biodiversidade da Serra de Carajás, Silva, Secco e Lobo (1996) informam que:

a flora da vegetação "rupestre" de Carajás compõe-se de inúmeras espécies endêmicas, espécies raras, espécies novas para a ciência, espécies medicinais e ornamentais, além de estar associada a uma fauna onde se destaca uma boa concentração de pássaros (ex. *Poecilurus*, *Zonotrichia*); insetos como abelhas (ex. *Apis mellifera* L.), meliponídeos (ex. *Melipona seminigra pernigra* Moure & Kerr, *Trigona wiliana* Friese) e tabanídeos (ex. *Cryptotylus*); répteis (ex. *Liophis carajasensis*, tão peculiar à Serra Norte, *Anolis chrysolepis*, *Kinosternon s. scorpioides*), etc.

Essa riqueza fauno-florística, cabe ressaltar, se assenta sobre áreas de solos com baixa fertilidade natural. Especificamente o dos campos ferruginosos é um solo não desenvolvido (WEISSBERG, 1989), responsável pela vegetação metalófila, existente no local, que sobrevive fixando raízes em fraturas e entre blocos e fragmentos de rocha granulada pelos processos erosivos. Com base nesses aspectos, deve-se salientar que alterações nesse mosaico de biodiversidade impactam negativamente os processos que sustentam ecossistemas como este.

3 MINERAÇÃO E ECOSISTEMAS DE CANGA

3.1 Histórico da mineração em áreas de canga

A mineração nos campos de canga remonta ainda ao século XVIII, em Minas Gerais, época em que a atividade aurífera tinha primazia sobre qualquer exploração de jazidas de ferro. Os primeiros impactos em áreas de canga ocorreram nos atuais municípios de Mariana e Ouro Preto por dentro da exploração aurífera e da consequente ocupação humana desses terrenos. Entretanto, sendo esse tipo de exploração ainda artesanal, a recomposição dessas áreas deu-se de maneira natural e progressiva com o enfraquecimento da atividade mineradora e o abandono dessas áreas pela população local.

Embora o Brasil possuísse grandes reservas de minério de ferro, conhecidas desde o século XVIII, não havia grande demanda por essa matéria prima. No século XX, por exemplo, a produção de minério de ferro se destinava principalmente para siderúrgicas nacionais, como a Companhia Siderúrgica Nacional.

Curiosamente, a Serra de Carajás também apresenta vestígios de atividade humana, embora pré-histórica: na região foram encontradas ferramentas líticas feitas com lascas de minério de ferro, de modo que se tem um testemunho do reconhecimento da utilidade desse material desde tempos pré-históricos. Essa exploração, no entanto, tinha impacto ambiental praticamente nulo.

A exploração de minério de ferro em áreas de canga em escala industrial tem origem recente: teve começo durante a década de 1970 com o governo militar e o programa do milagre econômico brasileiro. Nessa época foram criadas grandes obras de infra-estrutura, como rodovias, que serviam justamente ao escoamento, por exemplo, de grandes companhias de mineração. Atualmente,

empresas como a *Vale do Rio Doce*, atual *Vale*, são responsáveis pela maior parte da maior produção nacional de minério de ferro.

3.2 Mineração e impacto ambiental nos campos de canga

A mineração ou exploração mineral é uma atividade indispensável para a sociedade moderna, dada a importância que os bens minerais/materiais e derivados assumiram na economia mundial que, de maneira geral, vão desde as necessidades básicas como habitação, agricultura, transporte, às mais sofisticadas, como tecnologia de ponta nas áreas de comunicação e informática (RIBEIRO et al., 2006). No entanto, a utilização dos recursos naturais implica na alteração do ambiente, podendo provocar modificações na vegetação, solo e comunidades que estão no entorno dos depósitos minerais (KUMSSA; AARDE; WASSENAAR, 2004).

O primeiro aspecto visível desses impactos se faz sobre o meio físico, a fisiografia, da região, através de efeitos que podem ser percebidos em curto prazo, como o desaparecimento de morros; a construção de aterros, o aparecimento de depressões no terreno. Nesse processo, se realiza, de modo mais específico, a remoção do solo (decapagens e aterros) e a consequente remoção da vegetação (desflorestamento), o que indiretamente provoca também o afugentamento de espécies da fauna nativa, que pode incluir espécies de grande porte, como mamíferos e aves, e outras espécies não catalogadas.

Na mineração ocorrida em áreas de canga o principal produto extraído é o minério de ferro. Para tanto, é necessária a raspagem da camada superficial desse ecossistema, removendo toda a vegetação existente e comprometendo de maneira quase definitiva o equilíbrio dessas áreas. Uma vez removida a canga, permanece uma área estéril de cor avermelhada sem que qualquer tipo de vegetação consiga se firmar ali.

Entretanto, o conceito, ou mesmo a prática de mineração como simples extração de minérios já se encontra suplantado. A extração, conforme prevista em lei, deve também incluir um plano de recuperação de áreas degradadas. Por essa razão, autores como Oliveira Júnior (1992) sustentam que “minerar é assegurar, economicamente, com mínima perturbação ambiental, esta remuneração e segurança, a máxima observância do princípio da conservação mineral a serviço do social”.

Os impactos da atividade mineradora incidem sobre o variado espectro de ambientes descritos nas áreas de canga, como cavernas, lagoas, brejos, lajeados, fendas, poças e escarpas (JACOBI et al., 2007; MAURITY; KOTSCHOUBEY, 2005). Esses pequenos habitats favorecem condições ecológicas que geralmente diferem da paisagem adjacente, ou matriz, que por sua vez, pode ser constituída por fitofisionomias florestais, campestres, arbustivas ou savânicas.

Entretanto, as comunidades vegetais rupestres associadas a substratos metalíferos, apesar de sua inestimável importância ambiental, ainda são negligenciadas, resultando no desconhecimento da dinâmica desses ecossistemas e do potencial da vegetação nativa para o uso sustentável ou para a restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração (GINOCCHIO; BAKER, 2004).

Vários trabalhos reconhecem a importância das áreas metalíferas para a conservação da diversidade biológica dessas regiões, as quais, como já dito, caracterizam-se por conter altas concentrações de metais no solo, sendo considerados centros de endemismo e especialização de plantas metalófilas (WHITING et al., 2004).

Esse tipo de ambiente vem sofrendo grande impacto pela necessidade da remoção da canga para a extração do minério de ferro e requer atenção especial para sua conservação. O crescente mercado do minério de ferro e os interesses econômicos envolvidos, somados à existência de poucas unidades de

conservação, torna a preservação desse ambiente peculiar um desafio imediato, a fim de se evitar a extinção das espécies endêmicas que ocorrem naturalmente em áreas de canga (JACOBI et al., 2007).

Até o momento, algumas pesquisas foram realizadas mostrando aspectos relacionados a características ecológicas e geológicas das áreas de canga (JACOBI et al., 2007; MOURÃO; STEHMANN, 2007), temas estes que se mostram mais rotineiros sobre esse ecossistema. No entanto são escassas as pesquisas envolvendo as exigências nutricionais das espécies desse ambiente, talvez mesmo porque essas mesmas espécies mal foram ainda estudadas.

Esse fato foi ressaltado por Mourão e Stehmann (2007, p. 783) que declaram:

É imprescindível, portanto, que se conheçam as espécies que habitam a canga e suas necessidades nutricionais, para que se possam implantar com eficiência e menor custo projetos de recomposição vegetal com a flora da região, mitigando os impactos ambientais e evitando a perda das espécies.

A recomposição da vegetação de uma área é essencial para se evitar processos erosivos de modo a possibilitar uma melhor conservação e manutenção do solo. Desse modo, oferecer melhores condições de solo para que dadas espécies possam reocupar uma determinada área é essencial. Tornar o solo propício é também fornecer nutrientes eficazes para as necessidades nutricionais das espécies selecionadas para o trabalho.

As diferenças entre plantas nativas do cerrado e de outros ecossistemas quanto à nutrição mineral destas ainda é pouco discutido. É comum que espécies nativas do cerrado sejam tolerantes a baixa fertilidade do solo. Entretanto, espécies diferentes podem apresentar respostas particulares relacionadas à fertilização.

3.3 Legislação ambiental e recuperação de áreas degradadas por mineração

A legislação brasileira voltada especificamente para a amenização de impactos ambientais causados pela mineração é de 1981, Lei nº 6938 (BRASIL, 1989), a qual instituiu a exigência de um Licenciamento Prévio (LP), um Licenciamento de Instalação (LI) e Licenciamento de Operação (LO) para esse tipo de atividade. A Resolução do CONAMA nº 01, estabelecida em 1986 definiu diretrizes gerais, com responsabilidades e critérios básicos para o uso e implementação da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (BURSZTYN, 1994).

Empreendimentos que envolvam mineração, conforme o decreto Federal de nº 97.632 de 1989 (BRASIL, 1989), devem, além de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e de Relatório de Impacto Ambiental, apresentar um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). No caso de a empresa mineradora já manter atividade, esta deverá ser regularizada por meio do mesmo plano.

A Instrução normativa do ICMBIO nº 11/2014, que estabelece procedimentos para a elaboração e análise do Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada (PRAD) requerido pela legislação ambiental vigente, define recuperação como “a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original” (BRASIL, 2014). E “área degradada” como “aquela impossibilitada de retornar por uma trajetória natural a um ecossistema que se assemelhe ao estado inicial, dificilmente sendo restaurada, apenas recuperada” (BRASIL, 2014). Essas definições se aplicam ao caso das áreas degradadas e também ao problema da recuperação das áreas de canga.

A mesma instrução também prevê que:

O método de recuperação ou restauração da vegetação deverá ser definido de acordo com as características bióticas e abióticas da área e conhecimentos secundários sobre o tipo de impacto causado, a resiliência da vegetação (BRASIL, 2014).

A instrução estabelece que a recuperação deve ser feita com espécies eminentemente nativas, sendo a área protegida, entre outros fatores, contra espécies invasoras, embora sejam as espécies exóticas consideradas como favoráveis para propiciar melhores condições de estabelecimento de espécies nativas.

As áreas de mineração destinadas a um programa de recuperação ambiental devem contemplar pontos como: áreas lavradas, as quais incluem cavas (secas e inundadas), frentes de lavras (bancadas e taludes), trincheiras, galerias em lavra subterrânea etc.; áreas de deposição de resíduos sólidos, que incluem pilhas ou corpos de bota-fora, solos superficiais, estéreis, bacias de decantação e sedimentação de rejeitos de beneficiamento etc. (BRUM, 2000).

A recuperação dessas áreas pode ser definitiva, naqueles casos em que já definiu o tipo de uso do solo, ou provisória: quando ainda não se estabeleceu o uso final daquela área. No caso da recuperação provisória, o objetivo é manter a área viável para uma futura recuperação, levada adiante de maneira mais eficaz. Essa recuperação provisória, por sua vez, também contribui para retardar efeitos mais nocivos e permanentes da impactação dessas áreas.

Essa mesma instrução menciona em seu parágrafo terceiro:

Desde que justificado tecnicamente, pode-se considerar a possibilidade de implantação e ou manutenção de espécies exóticas não invasoras como forma de propiciar melhores condições para estabelecimento de espécies nativas. Após o estabelecimento das espécies nativas, as espécies exóticas devem ser eliminadas, ressalvadas as especificidades legais (BRASIL, 2014).

Esse processo pode ocorrer tanto simultaneamente, quando a recuperação é trabalhada cotidianamente e não apenas após o encerramento de uma atividade mineradora, ou orientada por um planejamento prévio que será

levado adiante após o encerramento de atividades em uma determinada área. Em um terreno reservado para a mineração, medidas de recuperação podem ser aplicadas, especialmente em áreas lavradas, que são aquelas em que a camada de solo foi totalmente removida, bem como a vegetação existente.

Nesses terrenos, as principais medidas empregadas são o retaludamento e a revegetação, a qual pode ser realizada usando-se espécies arbóreas, nas bermas, e herbáceas, especificamente, nos taludes. Pode ser também necessária a instalação de sistemas que visem à drenagem do terreno. Nesse caso, são abertas canaletas ao pé dos taludes, além de murundus, que são pequenos morros feitos manualmente no cimo dos taludes em frentes de lavra desativadas (OLIVEIRA JÚNIOR, 1992).

Os diversos tipos de solos presentes nas áreas de mineração podem ser usados e reutilizados segundo o fim desejado e o terreno em que eles serão empregados. Um exemplo pode ser a retirada de uma camada superficial do solo orgânico, que é estocada e depois reutilizada para a cobertura de superfícies alteradas por trabalho de lavra ou então de depósitos de materiais estéreis e/ou rejeitos provenientes do processamento do minério.

Já os solos alterados podem ser empregados na construção de aterros, diques, murundus ou leiras de isolamento e barragens de terra. Esse material também pode ser utilizado no remodelamento da topografia de superfícies alteradas e paisagens, e a este procedimento se segue a revegetação da área. As áreas em que são depositados resíduos sólidos como rejeitos também podem ser recuperadas. No caso, um dos procedimentos é a revegetação de taludes, feita essencialmente com espécies herbáceas.

Para que uma área utilizada na mineração possa ser novamente utilizada para outros fins, ou para que ela possa ser devolvida a condições próximas do original, anteriores a atividade mineradora, é necessário que ela apresente condições de estabilidade contra processos erosivos e/ou movimentação de

terrenos e também uma estabilidade química que não impeça a recomposição da vegetação e assegure a recomposição progressiva do ecossistema impactado.

O processo de revegetação não deve ser aleatório, uma vez que o fim deve ser de que o ecossistema impactado se recupere de forma natural e progressiva, sem resultar em uma área com características muito divergentes daquelas originalmente encontradas no local. No caso discute-se a importância dessa recuperação recorrendo-se a espécies nativas, embora ainda seja muito comum a utilização de espécies exóticas, algumas extremamente estranhas ao meio, como o eucalipto.

A revegetação é um procedimento previsto em lei se levado em conta a exigência imposta a empresas mineradoras para a recuperação de áreas degradadas, mas o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) pode encontrar dificuldades relacionadas à dificuldade de manejo do solo e da seleção e tratamento das espécies utilizadas nesse trabalho. E embora esses procedimentos não sejam de exigência recente, ainda são encontradas dificuldades técnicas, gerenciais e econômicas que comprometem a eficácia desse processo de recuperação (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005).

A implantação de projetos que visem à recuperação de áreas degradadas, por outro lado, pode ser buscada pelas próprias empresas, independente das exigências da legislação em vigor, mas também é comum que faltem conhecimentos técnicos adequados para a revegetação (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005).

4 NECESSIDADE NUTRICIONAL DAS PLANTAS

O conhecimento técnico, conforme dito anteriormente, é fundamental para o sucesso dos procedimentos de revegetação de uma área degradada. E um dos aspectos mais importantes nesse propósito é o conhecimento sobre as necessidades nutricionais das espécies selecionadas. Considerando que as plantas absorvem tanto elementos essenciais quanto aqueles potencialmente tóxicos, o estudo da necessidade nutricional de uma espécie leva em conta a exigência quanto ao tipo e quantidade de nutrientes necessários ao crescimento da planta.

Esse conhecimento específico permite a identificação e correção de deficiências que possam ocorrer em espécies trabalhadas em diferentes tipos de áreas degradadas, o que torna possível, por sua vez, intervenções corretas, sem que haja, assim, qualquer forma de desperdício. O que também provoca um menor impacto ambiental (SARCINELLI et al., 2004).

O método do *elemento faltante* permite uma identificação das deficiências nutricionais de uma espécie e, simultaneamente, a identificação de suas necessidades nutricionais. O que pode ser muito eficaz, por exemplo, para se quantificar a necessidade de adubação. A técnica consiste basicamente em permitir o crescimento de uma espécie segundo condições em que é testado um trabalho amplo envolvendo nutrientes necessários segundo doses específicas, sendo omitido, então, um nutriente de cada vez.

Assim, para se determinar quais elementos sejam essenciais na nutrição de uma espécie vegetal, pode-se recorrer a um experimento em que os elementos de uma solução sejam eliminados um após o outro. Nesse experimento, deve-se levar em conta a resposta a critérios como os que seguem (MALAVOLTA, 2006):

- a) a ausência do nutriente determinado no experimento faz com que a planta não se desenvolva normalmente e não se reproduza;
- b) o efeito observado acima só pode ser sanado com o nutriente faltante, ou seja, o nutriente é essencial;
- c) o elemento em questão é necessário para que ocorra uma reação bioquímica necessária ao desenvolvimento normal da espécie.

Há necessariamente uma variação a respeito da quantidade demandada de cada nutriente. Aqueles considerados essenciais podem ser classificados em macro e micronutrientes. Os primeiros, como Hidrogênio, Oxigênio, Carbono, Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre, são aqueles exigidos em maior quantidade (g Kg^{-1}). Os segundos, como Ferro, Boro, Molibdênio, Cloro, Cobre, Manganês, Zinco e Níquel são requeridos em quantidades reduzidas (mg Kg^{-1}).

4.1 Exigências nutricionais das espécies nativas

Parte do sucesso dos programas de recuperação de áreas degradadas depende do conhecimento das limitações ou demandas nutricionais das espécies utilizadas. Em termos gerais, a avaliação de exigências nutricionais de plantas pode envolver aspectos qualitativos ou quantitativos. Como passo inicial, a avaliação de caráter qualitativo constitui-se numa ferramenta simples e eficiente, fornecendo subsídios para estudos posteriores de cunho quantitativo, utilizando-se comumente uma técnica antiga, mas muito bem fundamentada, que é a já citada técnica do elemento faltante (BRAGA, 1983).

A utilização de espécies nativas para a recuperação de áreas degradadas tem se tornado condicionante exigida pelos órgãos ambientais às empresas. Sabe-se que a seleção de espécies vegetais nativas adaptadas a condições de

solos adversos pode influenciar no sucesso da restauração ecológica em áreas de cangas e em outras áreas degradadas que necessitam ser recuperadas.

Entretanto, um dos grandes problemas na utilização destas espécies, é a quase total carência de informações acerca das suas exigências nutricionais para o crescimento. A falta de conhecimento sobre a demanda nutricional, futuramente, poderá dificultar o uso dessas espécies e, comprometer a restauração ecológica de áreas degradadas.

Segundo Chaminade (1972) o uso da técnica do nutriente faltante fornece as informações: quais os nutrientes são deficientes; a importância relativa dessa deficiência; a velocidade de redução da fertilidade do solo; e segundo Malavolta (1980), uma referência semi-quantitativa da necessidade de adubação. De acordo com Pritchett (1979), experimentos com elemento faltante constituem-se num instrumento rápido e seguro em programas de fertilização e regeneração da biota.

Conforme relatado anteriormente, as informações sobre exigências nutricionais são escassas para espécies nativas de cangas, e têm sido bastante diferenciadas em espécies florestais. Por exemplo, Resende et al. (1999) verificaram que as espécies *Lithraea molleoides*, *Schinus terebinthifolius*, *Piptadenia gonoaeantha*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Sesbania virgata* respondem positivamente em crescimento, ao incremento de doses de fósforo.

Gatto (2004), em trabalho com *Cordia trichotoma*, concluiu que, na fase inicial de desenvolvimento, esta espécie exigiu solos com boa disponibilidade de nutrientes para seu estabelecimento e que a omissão de P, N, K, afetou negativamente o crescimento da espécie. Braga et al. (1995), em experimento com omissão de nutrientes em solo de baixa fertilidade concluíram que a *Tibouchina granulosa* mostrou alto requerimento nutricional, respondendo à adubação com macro e micronutrientes.

A necessidade de estudos com espécies nativas de campos de canga toma-se cada vez mais urgente, em função da velocidade com que avança o processo de mineração e da necessidade de se restaurar esse ambiente. Além destes desafios, os solos sob vegetação de canga e os estéreis e rejeitos usados para a revegetação impõem uma série de restrições sobre o cultivo de espécies vegetais, como baixo teor de nutrientes, e pobreza em estrutura, o que dificulta o desenvolvimento vegetal.

O estudo com as espécies encontradas nas áreas de canga, como por exemplo, a *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e a *Solanum crinitum* torna-se necessário, pois, são espécies que apresentam elevada ocorrência nas áreas de canga, notadamente em Carajás-PA, áreas essas que, nos últimos anos, vêm sofrendo grande exploração mineral.

Deve-se ainda levar em conta que sendo a *Solanum crinitum* uma espécie invasora, esta tende a concorrer com espécies nativas, como a própria *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, endêmica da Serra de Carajás.

5 A CANGA DA SERRA DE CARAJÁS (PA)

5.1 As espécies estudadas

A seleção das espécies a serem empregadas na recuperação de uma área minerada é essencial para a eficiência desse procedimento. Espécies adaptadas ao meio e de crescimento mais rápido são importantes para que se forme a cobertura vegetal, a qual pode diminuir as variações de temperatura e reter quantidades mais significativas de água no solo. Além do mais, elas diminuem a evaporação e o escoamento superficial e evitam processos erosivos (NOGUEIRA et al., 2012).

5.1.1 A *Solanum crinitum*

As solanáceas estão entre os grupos de plantas mais utilizadas pelo homem, graças ao fato de considerável número de espécies serem comestíveis ou terem uso medicinal. A *Solanum crinitum* é uma espécie arbustiva que possui ampla distribuição na América do Sul, sendo popularmente conhecida como jurubeba. Seus frutos são considerados tóxicos (AGRA; BHATTACHARYYA, 1999) e sem valor medicinal.

Espécies do gênero *solanum* podem ser encontradas em áreas alteradas através de desmatamentos, por exemplo, ou que estejam em processo de regeneração. Essa característica a aponta como espécie invasora, mas, conforme a resolução do ICMBIO (BRASIL, 2014), essa espécie pode ser utilizada em recuperação, desde que tenha o seu controle garantido para oferecer melhores condições ao estabelecimento de espécies nativas.

5.1.2 A *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*

A *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* (Fabaceae-Mimosoideae) é uma leguminosa que ocorre na região da Serra de Carajás (PA), sendo abundante no local, e considerada uma espécie endêmica do Brasil. Embora Barneby (1991)

tenha identificado a presença desta espécie no Mato Grosso e Maranhão, novos estudos ainda devem ser levados adiante a fim de se confirmar a amplitude da distribuição dessa espécie nas respectivas áreas em questão.

Essa mimosácea é conhecida popularmente como "mimosa-de-canga", apresenta porte arbustivo, com base formada por vários ramos e atinge até cinco metros de altura, com o caule contorcido, enrugado, espinhoso, apresentando casca escura e fendas longitudinais. O fruto é formado por uma vagem indeiscente e articulada, com artículos de 7 a 9 mm de comprimento (BARNEBY, 1991).

Informações sobre a *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* são de tal maneira escassas que ainda não há estudos possibilitando o entendimento de como impactos ambientais ou eventos naturais atípicos possam causar alterações na estrutura de suas subpopulações.

Não há ainda estudos mais conclusivos sobre essa espécie, que é considerada vulnerável (VU) pela lista de espécies ameaçadas do Pará (PARÁ, 2007). Trata-se de uma espécie característica de solos ricos em minério de ferro. Pode ser encontrada espaçada ou em grupos, formando touceiras. Sua ocorrência a torna, então, bastante representativa da vegetação rupestre em áreas de savanas metalófilas na região de Carajás (VASSALI, 2014).

6 OBJETIVO

Objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento, alocação de biomassa, teor e acúmulo de nutrientes em uma espécie nativa (*Mimosa acutistipula* var. *ferrea*) e em um arbusto ruderal (*Solanum crinitum*) ambos encontrados na canga, a partir do cultivo dessas espécies em três solos distintos, submetidos à omissão de nutrientes.

7 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em casa-de-vegetação usando amostras de solo de canga para avaliar o crescimento da *Solanum crinitum* e da *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*. Também foram utilizados um Latossolo e um rejeito de mineração de ferro, unicamente como referência para comparação do crescimento das espécies. Os substratos foram secos, peneirados em malha de 5 mm e encaminhados para caracterização química e granulométrica segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997) (TABELA 1).

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos dos substratos utilizados.

Atributos	Latossolo	Solo da canga	Rejeito da mineração de ferro
pH	6,4	6,6	5,23
P (mg dm ⁻³)	0,8	1,5	10,5
K (mg dm ⁻³)	16	2,3	8,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	3,2	0,2
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,02	0,15	0,10
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,1	0,1
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,9	3,2	0,9
MO (%)	0,7	6,1	0,4
Zn (mg dm ⁻³)	0,1	2,3	0,8
Fe (mg dm ⁻³)	12,1	183,4	22,4
Mn (mg dm ⁻³)	2,3	158,3	6,6
Cu (mg dm ⁻³)	1,2	0,4	0,1
B (mg dm ⁻³)	0,02	0,15	0,29
Argila (%)	59	31	7
Silte (%)	24	30	60
Areia (%)	17	39	33

As plantas de *Solanum crinitum* e *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* foram cultivadas separadamente em vasos preenchidos com 2 dm³ de solo. Para ambos os experimentos foi utilizado o esquema fatorial 9 x 3 x 4, sendo nove tratamentos, três substratos e quatro repetições, totalizando 108 vasos para cada experimento, instalados em delineamento inteiramente casualizado. Os

tratamentos (Tabela 2) foram baseados na técnica do elemento faltante. Exceto para o tratamento controle, foi aplicado CaCO_3 e MgCO_3 para elevar a saturação por bases para 60%.

Tabela 2 - Tratamentos utilizados para as duas espécies.

Item	Tratamentos	Caracterização
1	Completo 1	Aplicação de N, P, K, B, Cu, Zn
2	- N	Completo 1 - N
3	- P	Completo 1 - P
4	- K	Completo 1 - K
5	- Micro	Completo 1 - Micros
6	- B	Completo 1 - B
7	- Cu	Completo 1 - Cu
8	- Zn	Completo 1 - Zn
9	Controle	Sem aplicação de nutrientes

Após 30 dias de incubação dos substratos com o CaCO_3 e MgCO_3 , os tratamentos com a omissão de N, P, K, micronutrientes, B, Cu e Zn foram aplicados na forma de solução, utilizando-se os seguintes reagentes: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , KNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, H_3PO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , CuCl_2 , ZnCl_2 . No tratamento completo foi aplicado (mg dm^{-3}) 300 de N, 200 de P_2O_5 , 150 de K_2O , 50 de S, 75 de Ca, 15 de Mg, 0,5 de B, 1,5 de Cu e 5,0 de Zn.

Não foram aplicados nutrientes no tratamento controle, o qual recebeu apenas água destilada. Dez sementes da *Solanum crinitum* e quinze da *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* foram semeadas por vaso em cada experimento, e após uma semana de emergência efetuou-se o desbaste deixando-se três plantas de cada espécie por vaso, em seus respectivos experimentos. Como relatado anteriormente, um tratamento completo e um controle absoluto foram utilizados como referência em Latossolo e em rejeito da mineração de ferro, e, os

tratamentos com a omissão de cada nutriente foram aplicados somente no solo da canga.

Para ambos os experimentos e nos tratamentos referência, a umidade dos substratos foi rigorosamente controlada pesando o conjunto vaso-solo-planta, aplicando-se água destilada para repor o volume evapotranspirado. A parte aérea e as raízes de ambas as espécies foram colhidas com 120 dias de cultivo. Cada parte das plantas foi lavada com água destilada e, posteriormente, seca a 65 °C por 72h, ou até peso constante em estufa de circulação forçada de ar. Macro e micronutrientes foram analisados, após a digestão das raízes e parte aérea de ambas as espécies (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para os resultados obtidos, e a diferença significativa das médias entre os tratamentos foi avaliada pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Solanum crinitum* e a *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* são consideradas, respectivamente, espécie ruderal e nativa da canga ferruginosa e, as informações da demanda de nutrientes para o crescimento das plantas que crescem na canga poderão ser úteis para as atividades de recuperação ambiental. No presente estudo, o crescimento de ambas as espécies *S. crinitum* e *M. acutistipula* var. *ferrea* foi significativamente afetado pelos tratamentos (FIGURA 1 e TABELA 3). Quando as espécies receberam o tratamento completo, apresentaram crescimento vigoroso e produção de biomassa expressivamente superior aos demais tratamentos, especialmente quando comparadas ao tratamento controle.

No tratamento completo, as plantas não apresentaram nenhum sintoma visual de deficiência. Nas plantas crescidas nos solos com tratamento completo, o maior crescimento exibido por ambas as espécies foi correlacionado com o maior teor e acúmulo de nutrientes na parte aérea (vide discussão na sequência). Por outro lado, o crescimento da parte aérea e das raízes diminuiu consideravelmente nos tratamentos com a omissão de N, P, K e, particularmente no tratamento controle que não recebeu aplicação de nenhum nutriente ou corretivo (TABELA 3).

A deficiência de nutrientes na condição natural dos substratos utilizados (TABELA 1) foi, provavelmente, o fator que mais limitou o crescimento das plantas de *S. crinitum* e *M. acutistipula* var. *ferrea* no tratamento controle em todos os solos. Este comportamento indica que as espécies respondem ao fornecimento de corretivos e demais nutrientes, sugerindo a possibilidade de sua utilização para recuperação de áreas antropizadas pela mineração, onde os atributos dos solos/substratos são os principais responsáveis pela dificuldade de estabelecimento de espécies vegetais neste novo ambiente.

Tabela 3 - Biomassa da parte aérea, raízes, total e relação raiz: parte aérea de *S. crinitum* e *M. acutistipula* var. *ferrea* cultivadas em solo da canga e submetidas a omissão de nutrientes, e no Latossolo e no rejeito da mineração de ferro.

Tratamentos	<i>Solanum crinitum</i>			
	Biomassa da parte aérea	Biomassa da raiz	Biomassa total	Relação raiz:parte aérea
	(g vaso ⁻¹)			
Completo	28,27 a	22,04 c	50,31 b	0,78
Controle	0,36 g	0,18 h	0,54 h	0,5
-N	10,27 d	14,79 e	25,06 e	1,44
-P	4,30 f	2,90 g	7,2 g	0,67
-K	7,52 e	5,07 f	12,59 f	0,67
-Micro	24,54 b	20,75 c	45,29 c	0,85
-B	28,85 a	18,93 d	47,78 c	0,66
-Cu	27,97 a	27,29 a	55,26 a	0,98
-Zn	18,49 c	23,74 b	42,23 d	1,28
Latossolo completo	26,67	21,82	48,49	0,82
Latossolo controle	0,45	0,25	0,71	0,56
Rejeito complete	29,2	20,37	49,57	0,7
Rejeito controle	0,3	0,15	0,45	0,49

Tratamentos	<i>Mimosa acutistipula</i>			
	Biomassa da parte aérea	Biomassa da raiz	Biomassa total	Relação raiz:parte aérea
	(g vaso ⁻¹)			
Completo	8,26 a	2,58 a	10,84 a	0,31
Controle	0,67 c	0,20 b	0,87 c	0,3
-N	0,99 c	1,33 b	0,99 c	1,34
-P	0,39 c	0,53 b	0,92 c	1,36
-K	0,66 c	0,57 b	1,23 c	0,86
-Micro	3,25 b	3,20 a	6,45 b	0,98
-B	3,02 b	1,90 b	4,92 b	0,63
-Cu	2,74 b	1,71 b	4,45 b	0,62
-Zn	2,84 b	3,40 a	6,24 b	1,2
Latossolo completo	7,56	2,57	10,13	0,34
Latossolo controle	0,37	0,16	0,35	0,44
Rejeito complete	8,5	2,65	11,15	0,31
Rejeito controle	0,56	0,16	0,72	0,28

Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa ($p < 0.05$) de acordo com o teste Scott-Knott.

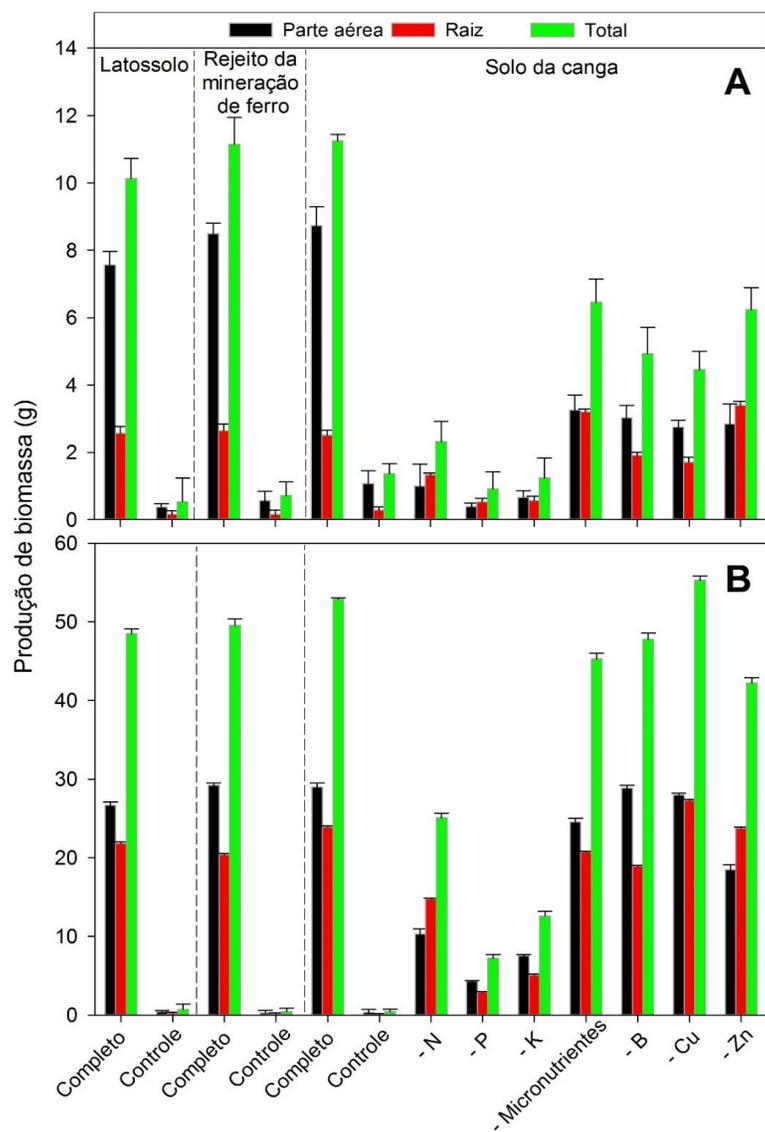
As duas espécies apresentaram maior crescimento no tratamento completo e menor desenvolvimento nos tratamentos com a omissão de N, P e K, e também no tratamento controle o qual recebeu apenas a adição da água destilada (FIGURA 1 e TABELA 3). Comportamento semelhante foi observado no Latossolo e no rejeito de mineração usados como referência. Esses resultados corroboram mais uma vez que as plantas de *S. crinitum* e *M. acutistipula* var. *ferrea* são responsivas à adubação, especialmente NPK, e que a aplicação desses nutrientes pode contribuir para um maior crescimento vegetal e uma maior cobertura do solo, sendo, portanto, fundamentais para as atividades de recuperação das áreas mineradas.

No entanto, esses resultados também mostram preocupação quanto à presença de plantas ruderais no ecossistema da canga, a qual pode ter um crescimento mais rápido e ocupar boa parte da área, se não for controlada. *Solanum crinitum* é um arbusto com aproximadamente dois metros, e com crescimento relativamente rápido sendo encontrada em clareiras artificiais e naturais das florestas e pastagens (ALBUQUERQUE, 1980; DANTAS, 1989; DIAS-FILHO, 1990b). É uma espécie nativa do Brasil, com distribuição em todos os estados das regiões Norte, Nordeste e Sudeste e parte da região Centro-Oeste, apesar de não ser endêmica do país.

Considerando que a espécie seja amplamente encontrada em Carajás e pelo seu rápido crescimento vegetal e boa produção de biomassa (TABELA 3), é possível incluí-la em programa de recuperação de áreas mineradas, porém mediante um sistema de monitoramento. Desta maneira, o presente trabalho parece indicar que a *Solanum crinitum* pode se comportar como uma espécie facilitadora, pois pode contribuir para o estabelecimento e crescimento de outras espécies vegetais sob a sua copa, uma vez que a espécie pode propiciar um microclima favorável para o desenvolvimento de plântulas que a circundam, além de contribuir no input e ciclagem de nutrientes.

Conforme relatado por Ren, Yang e Liu (2008), plantas facilitadoras desempenham um papel importante na recuperação das estruturas e funções em um ecossistema primário e podem atuar como uma força motriz na sucessão de ambientes em revegetação.

Figura 1 - Produção de biomassa da *Mimosa acutistipula* (A) e *Solanum crinitum* (B) cultivadas no Latossolo, rejeito da mineração de ferro e solo da canga, submetidas a aplicação e omissão de nutrientes.



Legenda: A barra de erro indica o desvio em relação à média (n = 4).

No presente estudo, a biomassa da parte aérea e das raízes obtida no tratamento completo foi considerada igual a 100% e relativizada para os demais tratamentos (FIGURA 2). De maneira geral, a produção relativa da parte aérea e da raiz em todos os tratamentos foi 50% inferior à encontrada no tratamento completo, exceto na omissão múltipla e isolada de micronutrientes (FIGURA 2). A produção relativa da parte aérea e da raiz foi menor, especialmente quando ambas as espécies vegetais foram cultivadas nas condições naturais sem a adição de nutrientes, tanto no substrato de canga, quando nos substratos usados como referência.

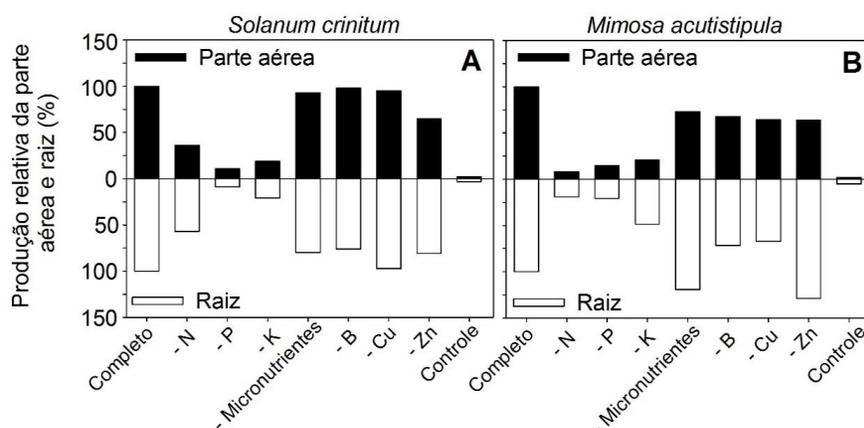
Além disso, observou-se que a *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* e *Solanum crinitum* foram mais sensíveis à omissão de N, P e K, do que a omissão de micronutrientes (TABELA 3, FIGURAS 1 e 2). Sob a omissão de P e N foi observado menor crescimento da parte aérea da *Solanum crinitum* e *Mimosa acutistipula*, respectivamente. Quanto aos micronutrientes, a omissão de Zn reduziu em menor intensidade o crescimento da parte aérea da *Solanum crinitum*, enquanto *M. acutistipula* priorizou o crescimento da raiz quando da omissão do nutriente (FIGURA 2). A omissão de B e Cu promoveu uma leve redução no desenvolvimento radicular da *Mimosa acutistipula*.

Esses resultados sugerem que em condições naturais a falta de N, P e K podem comprometer mais gravemente o restabelecimento da revegetação das áreas mineradas, em relação à omissão de micronutrientes.

Os tratamentos utilizados reduziram-se, na seguinte ordem, a produção de biomassa da parte aérea e raiz na *Solanum crinitum*, respectivamente: $P > K > N > Zn > Cu > B$ e $P > K > N > Zn > B > Cu$. Para a *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* foi $N > P > K > Zn > Cu > B$ para a parte aérea, e $N > P > K > Cu > B > Zn$ para a raiz. Esses resultados mostram novamente a menor exigência da *S. crinitum* e *M. acutistipula* por micronutrientes, ou a quantidade desses no solo foi suficiente para o crescimento inicial de ambas as espécies. Além disso,

verifica-se que há diferenças entre essas espécies para explorar o solo para a absorção de nutrientes.

Figura 2 - Produção relativa de biomassa da parte aérea e das raízes de *Solanum crinitum* (A) e da *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* (B) cultivadas em solo de canga. O tratamento completo foi considerado como 100%.



Uma das mais importantes formas de adaptação das plantas à deficiência de nutrientes é a alteração da sua morfologia radicular (MARCHNER, 2012). Neste caso, um aumento da relação raiz: parte aérea, a fim de permitir que as raízes cresçam mais para explorar maior volume de solo e garantir maior absorção de nutrientes, especialmente o P, tem sido observado (ANGHINONI; BARBER, 1980).

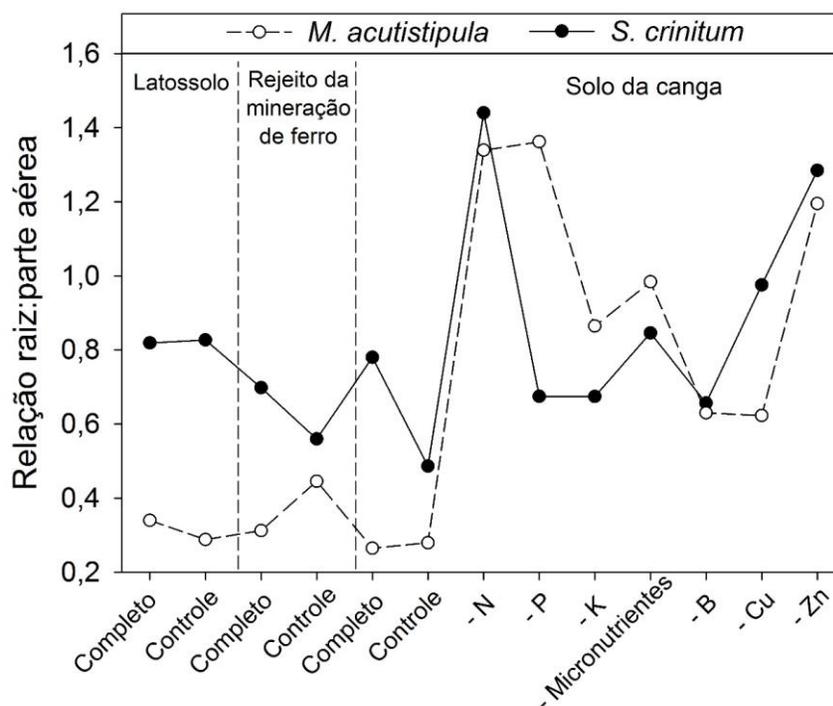
No presente estudo, a relação raiz:parte aérea foi significativamente afetada pelos tratamentos nas duas espécies vegetais (FIGURA 3). Observa-se que a *M. acutistipula* var. *ferrea* apresentou elevada relação raiz:parte aérea, enquanto a *S. crinitum* mostrou um leve aumento, quando ambas as espécies foram cultivadas no solo da canga sob a omissão de P. Além disso, as duas espécies também apresentaram aumento dessa relação na omissão de N e Zn. Esses resultados indicam que, sob a deficiência de N, P e Zn, a redução da parte

aérea da *M. acutispula* e *S. crinitum* foi proporcionalmente maior que a redução da biomassa da raiz (TABELA 3).

Esse aumento da relação raiz:parte aérea na omissão desses nutrientes pode ser uma resposta adaptativa dessas espécies para maximizar a capacidade de adquirir nutrientes do solo. Segundo Föhse et al. (1991), plantas com alta eficiência de absorção de P apresentam não só alta taxa de absorção do nutriente por unidade de massa de raiz (alto influxo), mas também alta relação parte aérea/raiz. Parece que essa adaptação é distinta entre as espécies, uma vez que *M. acutispula* var. *ferrea* quando sob omissão de nutrientes, parece sempre priorizar o crescimento da parte aérea, enquanto *S. crinitum* parece modular melhor a redução de biomassa nestes dois compartimentos de forma relativamente equivalente (TABELA 3 e FIGURA 1).

É interessante observar o grande decréscimo da biomassa da parte aérea da *M. acutispula* var. *ferrea* no tratamento controle no solo de canga, em relação à menor redução na biomassa radicular. Certamente, essa melhor modulação no direcionamento de fotoassimilados entre raiz e parte aérea pode representar uma vantagem adicional no crescimento de *S. crinitum* em ambientes mais degradados, mantendo seu aparato fotossintético menos prejudicado (maior biomassa da parte aérea) para produção de fotoassimilados, de modo a manter a vitalidade do seu sistema radicular.

Figura 3 - Relação raiz: parte aérea da *M. acutistipula* e *S. crinitum* cultivadas no Latossolo, rejeito da mineração de ferro e no solo de canga, submetidas a omissão ou não de nutrientes.



Para avaliar a influência da omissão de nutrientes na nutrição mineral das espécies, foi avaliado o balanço de nutrientes na *S. crinitum* e na *M. acutistipula* var. *ferrea* (TABELAS 4, 5, 6 e 7). Diferenças significativas nos teores de nutrientes foram observados dependendo do tratamento aplicado. Em geral, tanto a *S. crinitum* quanto a *M. acutistipula* var. *ferrea* mostraram maiores teores de macro e micronutrientes no tratamento completo em relação aos demais tratamentos. Por outro lado, os teores de nutrientes em ambas as espécies foram menores no tratamento controle. Alta correlação foi observada ($r = 0,86$ e $r = 0,83$, $p < 0,05$ para a *S. crinitum* e para *M. acutistipula* var. *ferrea*, respectivamente) entre teores de nutrientes e biomassa da parte aérea, sugerindo

que seu fornecimento pode, concomitantemente, aumentar o crescimento e sua absorção pelas plantas.

No presente estudo, verificou-se que a *Solanum crinitum* apresentou menores teores de nutrientes na parte aérea, quando comparado com o *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* em todos os tratamentos (TABELAS 4 e 6). De forma geral, para *M. acutistipula*, os teores de nutrientes na parte aérea seguiram a seguinte ordem: $N > K > Ca > S > P > Mg$ e, para os micronutrientes $Zn > B > Cu$, enquanto que para *S. crinitum* a sequência foi $N > K > Ca > Mg > S > P$ para os macronutrientes, e $Zn = B > Cu$ para os micronutrientes. Destacam-se os maiores teores de magnésio observados para esta última espécie em praticamente todos os tratamentos (TABELA 6), indicando que, provavelmente, *S. crinitum* seja uma espécie mais exigente no nutriente em comparação com *M. acutistipula* var. *ferrea*, informação que tem importância quando se considera a necessidade de estabelecimento da espécie em substratos pobres em nutrientes, como são em geral os ambientes minerados.

Tabela 4 - Teores totais de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, cultivada no solo da canga sob diferentes tratamentos.

Tratamentos	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Completo	24,1 a	4,8 a	18,9 a	13,3 a	2,9 a	4,2 a
Controle	12,8 c	0,9 c	12,8 b	7,4 c	0,8 c	2,3 b
-N	11,2 c	2,1 b	14,1 b	9,4 b	1,5 b	2,5 b
-P	17,7 b	0,7 c	13,7 b	9,3 b	1,8 b	2,7 b
-K	18,8 b	2,3 b	8,3 c	9,8 b	1,3 b	2,3 b
- Micronutrientes	26,2 a	4,5 a	18,3 a	12,6 a	2,4 a	4,4 a
- B	23,9 a	4,2 a	17,8 a	12,9 a	2,4 a	4,2 a
- Cu	25,1 a	3,8 a	18,3 a	13,2 a	2,7 a	4,1 a
- Zn	23,5 a	4,2 a	18,5 a	13,4 a	2,5 a	3,8 a

Tratamentos	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)		
	B	Cu	Zn
Completo	38,1 a	12,5 a	46,7 a
Controle	17,5 b	8,1 b	33,2 b
-N	39,4 a	11,8 a	43,0 a
-P	39,2 a	11,6 a	44,1 a
-K	35,9 a	11,5 a	43,3 a
- Micronutrientes	17,8 b	7,5 b	31,2 b
- B	15,5 b	12,4 a	44,8 a
- Cu	38,5 a	7,8 b	45,0 a
- Zn	37,3 a	11,9 a	30,6 b

Letras diferentes na coluna indica diferença significativa ($p < 0.05$) de acordo com o teste Scott-Knott.

Tabela 5 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, cultivada no solo da canga sob diferentes tratamentos.

Tratamentos	Macronutrientes (mg vaso ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Completo	199,1	39,6	156,1	109,9	24	34,7
Controle	8,6	0,6	8,6	5	0,5	1,5
-N	11,1	2,1	14	9,3	1,5	2,5
-P	6,9	0,3	5,3	3,6	0,7	1,1
-K	12,4	1,5	5,5	6,5	0,9	1,5
- Micronutrientes	85,2	14,6	59,5	41	7,8	14,3
- B	72,2	12,7	53,8	39	7,2	12,7
- Cu	68,8	10,4	50,1	36,2	7,4	11,2
- Zn	66,7	11,9	52,5	38,1	7,1	10,8

Tratamentos	Micronutrientes (µg vaso ⁻¹)		
	B	Cu	Zn
Completo	314,7	103,3	385,7
Controle	11,7	5,4	22,2
-N	39	11,7	42,6
-P	15,3	4,5	17,2
-K	23,7	7,6	28,6
- Micronutrientes	57,9	24,4	101,4
- B	46,8	37,4	135,3
- Cu	105,5	21,4	123,3
- Zn	105,9	33,8	86,9

Por outro lado, a *S. crinitum* mostrou crescimento mais rápido e produção de biomassa da parte aérea sensivelmente superior a *M. acutistipula* var. *ferrea* (TABELA 3), o que contribuiu para o maior acúmulo de nutrientes na sua parte aérea (TABELAS 5 e 7), uma vez que o acúmulo de nutrientes é determinado pela relação entre o teor de nutriente e biomassa produzida naquele compartimento.

Observa-se (TABELAS 5 e 7) que o acúmulo de nutrientes por *S. crinitum* chega a atingir quase três vezes a quantidade acumulada por *M. acutistipula* var. *ferrea* em alguns tratamentos, sugerindo a utilização da *S. crinitum* como planta facilitadora em programas de recuperação ambiental, uma vez que a espécie pode contribuir para uma maior cobertura do solo e, para um maior input e ciclagem de nutrientes nas áreas em recuperação. No entanto, destaca-se a necessidade de aprimoramento de trabalhos com espécies ruderais e pioneiras, como a *Solanum crinitum*, para aumentar o conhecimento sobre sua funcionalidade e interação com a fauna e flora locais.

Tabela 6 - Teores totais de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da *Solanum crinitum*.

Tratamentos	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Completo	15,5 a	1,5 a	5,3 a	12,2 a	3,3 a	1,7 a
Controle	5,5 b	0,4 b	1,4 c	6,3 b	0,4 b	0,9 a
-N	6,4 b	1,6 a	4,8 a	11,3 a	3,1 a	1,4 a
-P	13,8 a	0,6 b	6,0 a	10,8 a	3,0 a	1,3 a
-K	17,6 a	1,7 a	1,2 c	11,4 a	3,3 a	1,6 a
- Micronutrientes	16,5 a	1,3 a	3,8 b	10,7 a	3,1 a	1,5 a
- B	13,5 a	1,2 a	3,7 b	9,4 a	3,4 a	1,2 a
- Cu	16,1 a	1,1 a	3,9 b	9,8 a	3,8 a	1,4 a
- Zn	15,4 a	1,1 a	3,5 b	10,9 a	3,7 a	1,1 a

Tratamentos	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)		
	B	Cu	Zn
Completo	29,9 a	8,2 a	28,5 a
Controle	18,4 c	2,5 b	15,4 c
-N	24,6 b	3,4 b	23,9 b
-P	22,3 b	3,8 b	22,1 b
-K	22,4 b	2,9 b	21,7 b
- Micronutrientes	18,6 c	1,6 b	20,3 b
- B	19,8 c	1,8 b	18,3 b
- Cu	17,9 c	1,3 b	19,1 b
- Zn	15,7 c	2,3 b	18,1 b

Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa ($p < 0.05$) de acordo com o teste Scott-Knott.

Tabela 7 - Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da *Solanum crinitum*, cultivada no solo da canga sob diferentes tratamentos.

Tratamentos	Macronutrientes (mg vaso ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Completo	438,2	42,4	149,8	344,9	93,3	48,1
Controle	2	0,1	0,5	2,3	0,1	0,3
-N	65,7	16,4	49,3	116,1	31,8	14,4
-P	59,3	2,6	25,8	46,4	12,9	5,6
-K	132,4	12,8	9	85,7	24,8	12
- Micronutrientes	404,9	31,9	93,3	262,6	76,1	36,8
- B	389,5	34,6	106,7	271,2	98,1	34,6
- Cu	450,3	30,8	109,1	274,1	106,3	39,2
- Zn	284,7	20,3	64,7	201,5	68,4	20,3

Tratamentos	Micronutrientes (µg vaso ⁻¹)		
	B	Cu	Zn
Completo	845,3	231,8	805,7
Controle	6,6	0,9	5,5
-N	252,6	34,9	245,5
-P	95,9	16,3	95
-K	168,4	21,8	163,2
- Micronutrientes	456,4	39,3	498,2
- B	571,2	51,9	528
- Cu	500,7	36,4	534,2
- Zn	290,3	42,5	334,7

A eficiência nutricional é definida como a biomassa produzida por unidade de nutriente absorvido, que depende de dois componentes principais: a eficiência de aquisição e a eficiência de utilização (BAILIAN; MCKEAND; ALLEN, 1991). Devido às diferenças genotípicas e à interação genótipo ambiente, a capacidade de absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelas

plantas podem alterar-se (MARSCHNER, 2012). Portanto, cada espécie ou genótipo tem habilidade diferenciada no uso dos nutrientes absorvidos (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) pode variar à medida que a disponibilidade de nutrientes se altera, e, em geral, maior EUN pela planta ocorre com a redução da disponibilidade dos nutrientes no solo (BARROS, 1986). O maior crescimento da *S. crinitum*, certamente relacionado à sua melhor capacidade de adaptação, também está relacionado com a maior taxa de conversão de biomassa por unidade do nutriente absorvido (TABELA 8). De modo geral, a eficiência de utilização de N, P e K pela *S. crinitum* é sensivelmente maior que de *M. acutistipula var. ferrea*, ou seja, a primeira converte muito maior quantidade de biomassa por unidade de nitrogênio, fósforo e potássio absorvido quando estes nutrientes são fornecidos via adubação.

Tabela 8 - Eficiência de utilização de nutriente na parte aérea de *Solanum crinitum* e *Mimosa acutistipula var. ferrea* no tratamento completo e na omissão de N, P e K.

	N	P	K
Tratamentos	<i>Solanum crinitum</i>		
	(biomassa da parte aérea) g ² / mg nutriente acumulado		
Completo	1,82	18,85	5,33
Omissão	1,60 (14)	7,17 (62)	6,27 (+18)
Tratamentos	<i>Mimosa acutistipula var. ferrea</i>		
	(biomassa da parte aérea) g ² / mg nutriente acumulado		
Completo	0,34	1,72	0,44
Omissão	0,09 (73)	0,56 (68)	0,08 (82)

Números entre parênteses representam a variação percentual em relação ao tratamento completo para cada nutriente.

Por outro lado, quando da omissão de N, P e K, nutrientes que mais promoveram redução de biomassa nas duas espécies estudadas quando de sua omissão (TABELA 3), *M. acutistipula* var. *ferrea* reduz de forma muito mais acentuada a conversão do nutriente absorvido em biomassa da parte aérea (TABELA 8) em relação a *S. crinitum*. Especificamente no caso da utilização de potássio, esta redução chega a 82%, ou seja, a taxa de conversão do potássio absorvido em biomassa da parte aérea da *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* se reduz em 82% quando da omissão do nutriente, enquanto que para a *Solanum crinitum*, esta conversão é aumentada em 18%.

A afirmação de Barros (1986) de que eficiência de utilização de nutrientes é, em geral, maior com a redução da disponibilidade dos nutrientes no solo não se aplica às espécies avaliadas, o que pode ser atribuído as diferenças no índice utilizado para o cálculo da eficiência nutricional, ou mesmo pelo trabalho do autor ter sido conduzido com espécies “domesticadas”, diferentemente das espécies utilizadas no presente trabalho.

De forma geral, observa-se que para nitrogênio, fósforo e potássio, a taxa de conversão de nutrientes em biomassa é muito menor na *Mimosa acutistipula* var. *ferrea* do que na *Solanum crinitum* mesmo no tratamento completo. Souza (1994) menciona cinco características que contribuem para o aumento da eficiência na absorção e de utilização de nutrientes pelas plantas: adequada geometria e distribuição do sistema radicular, modificações químicas na rizosfera e exsudação de substâncias capazes de solubilizar nutrientes, presença de micorrizas, tolerância a condições de baixo pH ou aumento de teores de alumínio trocável, e taxa de absorção mais rápida em condições de baixas concentrações de nutrientes. Certamente, estas podem ser algumas das principais razões do sucesso adaptativo de *S. crinitum* em vários ambientes, incluindo em áreas degradadas.

9 CONCLUSÃO

O estudo mostra que os nutrientes que mais limitaram o crescimento da *Mimosa acutistipula* var *ferrea* e da *Solanum crinitum* foram o N, P e K, sendo que a omissão de micronutrientes, exceto o zinco, pouco influenciaram a biomassa. No caso, o maior crescimento e acúmulo de nutrientes verificado pela *Solanum crinitum* pode ser favorável para a utilização dessa espécie como facilitadora nas áreas em recuperação, desde que sua disseminação seja controlada. Por sua vez, a alta taxa de conversão dos nutrientes absorvidos em biomassa parece favorecer o crescimento da *S. crinitum* em ambientes degradados.

REFERÊNCIAS

- AGRA, M. F.; BHATTACHARYYA, J. Ethnomedicinal and phytochemical investigation on *Solanum* in Northeast of Brazil. In: NEE, M. et al. (Ed.). **Solanaceae IV: advances in biology and utilization**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1999. p. 341-343.
- ALBUQUERQUE, J. M. Identificação de plantas invasoras de cultura da região de Manaus. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 10, n. 1, p. 47-95, 1980.
- ALMEIDA, R. O. P. O.; SANCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critério de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2005.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S. A. Phosphorus application rate and distribution in the soil and phosphorus uptake by corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 1041-1044, 1980.
- BAILIAN, L.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Forest Science**, Lawrence, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- BARNEBY, R. C. **Sensitivae Censitae**: a description of the genus *Mimosa* *Linnaeus* (Mimosaceae) in the New World. New York: The New York Botanical Garden, 1991. 835 p. (Memoirs of New York Botanical Garden, 65).
- BARROS, N. F. Classificação nutricional de sítios florestais: descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- BRAGA, F. A. et al. Requerimentos nutricionais de quatro espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p. 18-31, 1995.
- BRAGA, J. M. **Avaliação da fertilidade do solo**: ensaios de campo. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1983. 102 p.
- BRASIL. **Decreto nº 97.632**, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Brasília, DF, 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em: 10 out. 2016.

BRASIL. **Instrução Normativa ICMBIO nº 11**, de 11 de dezembro de 2014. Estabelecer procedimentos para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada - PRAD, para fins de cumprimento da legislação ambiental. (Processo nº 02127.000030/ 2013-48). Brasília, DF, 28 mar. 2014. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

BRUM, I. A. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração**. 2000. 22 p. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BURSZTYN, M. A. A. **Gestão ambiental: instrumentos e práticas**. Brasília, DF: E. Blücher, 1994. 172 p.

CARMO, F. F.; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 64, n. 3, p. 527-541, 2013.

CHAMINADE, R. Recherches sur fertilité et la fertilisation des sols em régions tropicales. **L'Agronomie Tropicales**, Paris, v. 27, n. 9, p. 8891-8904, 1972.

DANTAS, M. **Studies on succession in cleared areas of Amazonia rain forest**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 397 p.

DAYRELL, R. L. C. et al. Environmental control of seed dormancy and germination of *Mimosa calodendron* (Fabaceae): implications for ecological restoration of a highly threatened environment. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 305-399, 2015.

DIAS-FILHO, M. B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 8, p. 789-796, ago. 1990a.

DIAS-FILHO, M. B. **Plantas invasoras em pastagens cultivadas da Amazônia: estratégias de manejo e controle**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1990b. 103 p.

DUTRA, V. F.; MESSIAS, M. C. T. B.; GARCIA, F. C. P. Papilionoideae (Leguminosae) dos campos ferruginosos do Parque Estadual do Itacolomi, MG, Brasil: florística e fenologia. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, p. 493-504, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERNANDES, G. W. The Megadiverse rupestrian grassland. In: _____. **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil**. Zurich: Springer, 2016. chap. 1, p. 3-14.

FÖSHE, D. et al. Phosphorus efficiency of plants: II., significance of root radius, root hairs and catio-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 132, p. 261-272, 1991.

GATTO, M. A. S. **Morfo-anatomia e crescimento de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steudel (Boraginaceae) em Latossolo Vermelho distroférico do noroeste do Paraná**. 2004. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

GIANNINI, T. C. et al. Multiple-attribute approach to select plant species for restoration of high-altitude ironstone outcrops inside Amazonian Forest. **Restoration Ecology**, Malden, v. 11, n. 5, May 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4856429/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

GIBSON, N.; YATES, C. J.; DILLON, R. Plant communities of the ironstone ranges of south-western Australia: hotspots for plant diversity and mineral deposits. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 19, n. 14, p. 3951-3962, Dec. 2010.

GINOCCHIO, R.; BAKER, A. J. M. Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. **Revista Chilena de História Natural**, Santiago, v. 77, n. 1, p. 185-194, mar. 2004.

HOPPER, S. D. OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 322, p. 49-86, 2009.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F.; VINCENT, R. C. Estudo fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga como subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no quadrilátero ferrífero, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 345-353, 2008.

JACOBI, C. M. et al. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 16, n. 5, p. 2185-2200, 2007.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A Conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KUMSSA, D. B.; AARDE, R. J. van; WASSENAAR, T. D. The regeneration of soil microarthropod assemblages in a rehabilitating coastal dune forest at Richards Bay, South Africa. **African Journal of Ecology**, Oxford, v. 42, p. 346-354, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 220 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô NI Serra de Carajás, PA: degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 78-97, 2005.

MENDONÇA, R. et al. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S.; ALMEIDA, S. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA – Cerrados, 1998. p. 288-556.

MORELLATO, L. P. C.; ROSA, N. A. Caracterização de alguns tipos de alguns tipos de vegetação na região Amzônica, Serra dos Carjás, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 14, p. 1-14, 1991.

MOURÃO, A.; STEHMANN, J. R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 58, p. 775-786, 2007.

NOGUEIRA, O. N. et al. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 2121-2131, 2012.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. B. **Custos associados à proteção ambiental na mineração**. 1992. 127 p. Dissertação (Mestrado em Mineralurgia e Planejamento Mineiro)-Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1992.

PARÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução nº 54, de 24 de outubro de 2007. **Diário Oficial [do] Estado do Pará**, Belém, 2007. Disponível em: <<https://www.semas.pa.gov.br/2007/10/24/10059/>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 13-19, 1989.

PRITCHETT, W. L. **Propertiers and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500 p.

REN, H.; YANG, L.; LIU, N. Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China. **Progress in Natural Science**, Bethesda, v. 18, p. 137-142, 2008.

RESENDE, A. V. et al. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, nov. 1999.

RESENDE, F. M.; FERNANDES, G. W.; COELHO, M. S. Economic valuation of plant diversity storage service provided by Brazilian rupestrian grassland ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 73, n. 4, p. 709-716, 2013.

RIBEIRO, A. I. et al. Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta amazônica, empregando métodos geoestatísticos à variável resistência mecânica à penetração. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 83-90, mar. 2006.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos**. 2. ed. São Paulo: Hucitec; EDUSP, 1979. 374 p.

SANTOS, M. D. C.; VARJÃO, A. F. D. C. Sedimentation and pedogenic features in a Clay deposit in Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 76, n. 1, p. 147-159, 2004.

SARCINELLI, T. S. et al. Nutrient deficiency symptoms in seedlings of *Acacia holosericea* in response to the omission of macronutrients. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 173-181, 2004.

SILVA, M. F. F. **Aspectos ecológicos da vegetação que cresce sobre a canga hematítica em Carajás-PA**. 1989. 193 p. Tese (Doutorado em Botânica)- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1989.

SILVA, M. F. F.; SECCO, R. S.; LOBO, M. G. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da Serra dos Carajás, estado do Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 26, n. 1, p. 17-44, 1996.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Potafos - Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 91, p. 1-12, set. 2000.

SKIRCZ, A. et al. Canga biodiversity, a matter of mining. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 5, p. 1-9, 2014.

SOUZA, M. E. **Correlação adulto-juvenil para eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade do solo**. 1994. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

VASSALI, M. **Variabilidade genética em populações de *Mimosa acutistipula* Mart. (Benth.) var. *ferrea* Barneby (Leguminosae) em vegetação de Canga na Amazônia**. 2014. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação de vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 123 p.

VIANA, P. L.; LOMBARDI, J. A. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 159-177, 2007.

VINCENT, R. C. **Florística fitossociológica e relações entre a vegetação e o solo em áreas de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2004. 144 p. Tese (Doutorado em Ecologia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

WEISSBERG, I. **Aspectos geoquímicos do impacto ambiental da mineração na Amazônia, Serra dos Carajás, Pará**. 1989. 206 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

WHITING, S. N. et al. Research priorities for conservation of metallophyte biodiversity and their potential for restoration and site remediation. **Restoration Ecology**, Malden, v. 12, p. 106-116, 2004.