

**Enxofre elementar adicionado em resíduo de mineração e sua influência no crescimento de arbóreas nativas****Influence of elemental sulfur added to mining residue on the growth of native trees**

DOI:10.34117/bjdv5n7-220

Recebimento dos originais: 13/07/2019

Aceitação para publicação: 07/08/2019

**Elidayane da Nóbrega Santos**

Graduada em agronomia pela universidade Federal de Campina Grande  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande  
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal -PB, Brasil  
Email: dayane-nobrega@outlook.com

**Josinaldo Lopes Araujo Rocha**

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande  
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal -PB, Brasil  
Email: jhosinal\_araujo@yahoo.com.br

**Rita Magally Oliveira da Silva Marcelino**

Graduanda em agronomia pela universidade Federal de Campina Grande  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande  
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal -PB, Brasil  
Email: rm.magally@gmail.com

**Plínio José Patriota Vitorino**

Graduado em agronomia pela Universidade Federal de Campina Grande  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande  
Endereço: Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal -PB, Brasil  
E-mail: plinio\_jpv@hotmail.com

**Rayanne Maria Galdino Silva**

Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba  
Instituição: Universidade Federal da Paraíba  
Endereço: Conjunto Presidente Castelo Branco III, s/n, Loteamento Cidade Universitária, João Pessoa-PB, Brasil.  
E-mail: rayannemaria2014@gmail.com

**Ayrton Hiago de Souza Carneiro**

Graduando em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Paraíba  
Instituição: Universidade Federal da Paraíba  
Endereço: Jardim Universitário, s/n - Campus I - Castelo Branco- PB, Brasil.  
E-mail: ayrtonhiago22@gmail.com

**RESUMO**

A exploração do mineral vermiculita tem gerado grande volume de resíduos no entorno das mineradoras, se tornando um passivo ambiental significativo, com potencial poluente. Uma importante alternativa para minimizar os impactos provenientes desta atividade é o aproveitamento do resíduo para o cultivo de arbóreas de ocorrência na Caatinga. Objetivou-se avaliar a influência de proporções de enxofre elementar ( $S^{\circ}$ ) adicionado ao resíduo de vermiculita sobre o crescimento inicial de duas espécies arbóreas. Foram realizados dois experimentos, sendo um com a espécie *Tabebuia aurea* e outro para o *Caesalpineia ferrea*. Em cada experimento, os tratamentos foram constituídos por cinco proporções de enxofre elementar (0, 50, 100, 150 e 200g/kg) adicionado ao resíduo de vermiculita e um tratamento adicional correspondente ao solo sem resíduo e adubado de forma convencional. Realizou-se medições do diâmetro do caule e altura de planta a cada quinze dias, durante 105 dias de cultivo. Após este período, foram avaliados o número de folhas, índice de área foliar, massa seca da parte aérea e raiz, índice de qualidade de Dickson e a eficiência dos tratamentos. O resíduo de vermiculita, tem potencial para ser utilizado no cultivo da *Tabebuia aurea* e *Caesalpineia ferrea*, com eficiência superior a 60% e 100% respectivamente. Entretanto, a produção de massa seca da *Tabebuia aurea* é afetada de forma negativa com a adição de  $S^{\circ}$  em proporção superior a 50g/kg. Para o *Caesalpineia ferrea*, a eficiência do tratamento é maximizada com a adição de 87 g/kg de enxofre elementar ao resíduo.

**Palavras chave:** Espécies nativas, Bioma Caatinga, Reflorestamento.

**ABSTRACT**

The extraction of vermiculite mineral generates massive waste around mining companies, becoming a significant environmental liability and a polluting potential. The use of residues for cultivation of trees comprises an alternative to minimize the impacts of mining activities. This study evaluates the influence of proportions of elemental sulfur ( $S^{\circ}$ ) added to the vermiculite residue on the initial growth of two tree species native from the caatinga ecoregion, northeastern Brazil. The species *Tabebuia aurea* and *Caesalpinia ferrea* were used in two independent experiments. In each experiment, the treatments comprised five proportions of elemental sulfur (0, 50, 100, 150, and 200g/kg) added to the vermiculite residue and the control with soil without residue and fertilized conventionally. Measurements of stem diameter and plant height were carried out fortnightly during the 105 days of cultivation. After this period, the number of leaves, leaf area index, dry mass of shoot and root, Dickson quality index, and treatment efficiency were evaluated. The residue of vermiculite potentiated the growth of *Tabebuia aurea* and *Caesalpineia ferrea*, with efficiency superior to 60% and 100%, respectively. However, the dry mass of *Tabebuia aurea* was negatively affected by the addition of  $S^{\circ}$  proportions above 50g/kg. The addition of 87g/kg of elemental sulfur to the residue provided the best efficiency of treatment on *Caesalpineia ferrea*.

**Keywords:** Native species, Caatinga biome, Reforestation.

**1 INTRODUÇÃO**

O Bioma Caatinga apresenta uma diversidade de espécies, as quais estão expostas às pressões antropogênicas, causadas principalmente pela exploração intensiva do revestimento florístico nativo (OLIVEIRA et al., 2015). Para recuperar um ecossistema a revegetação é um pré-requisito obrigatório (JESUS et al., 2016).

Estratégias de resgate da estrutura da vegetação nativa apresentam-se como uma alternativa adequada para o sucesso de programas de recuperação de áreas, uma vez que, essas espécies florestais nem sempre conseguem se estabelecer em solos degradados, devido à baixa quantidade de nutrientes disponíveis nesses solos (SUGAI, COLLIER & SAGGIN, 2010).

Além da degradação causada pelo desmatamento ao Bioma Caatinga, no Estado da Paraíba, a atividade de mineração, especialmente a exploração do mineral vermiculita tem gerado grande volume de resíduos no entorno das mineradoras, se tornado um passivo ambiental significativo, com potencial poluente. Uma importante alternativa para minimizar os impactos provenientes desta atividade é o aproveitamento do resíduo para o cultivo de arbóreas de ocorrência na Caatinga.

Aproximadamente 60-80% dos resíduos de vermiculita obtido nas mineradoras não são utilizados e sem um devido destino, gerando volumes de rejeitos próximos ao local de exploração (LEITE et al., 2016).

Uma importante característica dos resíduos da exploração mineral da vermiculita é sua considerável concentração dos nutrientes para as plantas (potássio, cálcio e magnésio), como comprovado em alguns trabalhos (FRANÇA et al., 2010; SOUSA, MACHADO & LEITE, 2011), constituindo-se, desta forma, em uma matéria-prima potencial para a produção de um fertilizante ambientalmente correto e ao mesmo tempo de com baixo potencial de poluição/contaminação, uma vez que a liberação destes nutrientes ocorreria de forma lenta, de acordo com a demanda da planta. A utilização desse resíduo surge também como uma possibilidade de atenuação dos impactos ambientais negativos provocados pela a exploração mineral e o uso de fertilizantes minerais solúveis.

Embora os resíduos de vermiculita apresentem consideráveis teores de nutrientes (K, Ca e Mg), a liberação destes é decorrente de um processo bastante lento, pois é dependente do intemperismo químico dos minerais (FRANÇA et al., 2010; SOUSA, MACHADO & LEITE, 2011; Li et al., 2015). Assim, quando estes resíduos são aplicados diretamente no solo como fonte de nutrientes quase sempre não proporcionam os efeitos desejados (LEITE, GOMES & SANTOS, 2015; SANTOS et al., 2016). Desta forma, para tornar fonte de nutrientes os resíduos de baixa solubilidade para as plantas, como a vermiculita, é preciso utilizar produtos com capacidade de acelerar o processo de intemperismo químico. O enxofre elementar apresenta potencial para acelerar esse processo, pois vários trabalhos comprovaram seu potencial acidificante (SOUSA et al., 2012; SÁ et al., 2013; ARAÚJO et al., 2015; STAMFORD et al., 2015).

Uma das vantagens do enxofre elementar é que apesar de acelerar o processo de intemperização dos minerais presentes no resíduo, a liberação dos nutrientes ocorre com menor velocidade em comparação com os fertilizantes comerciais solúveis. Além disso, o sulfato gerado pela oxidação do

enxofre elementar é um macronutriente de plantas que geralmente encontra-se em baixa concentração em solos do semiárido pobres em matéria orgânica.

Desta forma, no presente trabalho objetivou-se avaliar a influência de proporções de enxofre elementar (S<sup>o</sup>) adicionado a um resíduo da exploração de vermiculita sobre o crescimento inicial de duas espécies arbóreas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no período de janeiro a maio de 2018, em casa de vegetação, pertencente ao Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar [CCTA] da Universidade Federal de Campina Grande [UFCG], *Campus* de Pombal-PB, localizado a 37° 48' 07'' W e 06° 46' 12'' S com altitude de 184 metros (SILVA et al., 2014).

### 2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS UTILIZADOS

Foram realizados dois experimentos, sendo um com a espécie craibeira (*Tabebuia aurea*, (Manso) e outro com o jucá (*Caesalpineia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth). Os experimentos foram instalados no delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, referentes a cinco proporções de enxofre elementar (0, 50, 100, 150 e 200g/kg) adicionados ao resíduo de vermiculita, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais por experimento. Cada parcela constou por uma planta em um vaso contendo 5,0 dm<sup>3</sup> de solo. O tratamento adicional foi constituído pelo cultivo pela adubação do solo com fontes solúveis de nutrientes de acordo com Malavolta (1980) para experimentos em vasos, sem a adição do resíduo de mineração.

### 2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E RESÍDUO DE VERMICULITA

O solo (Luvissole Crômico) utilizado nos experimentos foi coletado na camada de 0-20 cm, localizada no município de São Domingos (PB). Após secagem ao ar, destorroada e passada em peneira de malha de 2,0 mm, uma amostra deste solo foi analisada química e fisicamente (Tabelas 1 e 2) no Laboratório de Solos e Nutrição Mineral do CCTA/UFCG, conforme procedimentos descritos em Embrapa (2013).

O resíduo de vermiculita foi obtido em uma área de descarte próxima à mineradora União Brasileira de Mineração [UBM] localizada no município de Santa Luzia-PB. Após passar em peneira de 2,0 mm, o resíduo foi analisado quimicamente de acordo com os procedimentos descritos em Embrapa (2013) para análise de solo (Tabela 3).

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo utilizado.

pH	M.O	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>
CaCl <sub>2</sub>	g/kg	g/kg	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				
5,0	8,16	3,8	0,22	0,23	5,4	9,6	1,48

Fonte: Dados da Pesquisa.

**Tabela 2.** Atributos físicos do solo utilizado.

Areia	Silte	Argila	Densidade partículas	de	Densidade do solo
-----gkg <sup>-1</sup> -----			-----g cm <sup>-3</sup> -----		
636,8	97,2	266,0	2,67		1,40

Fonte: Dados da Pesquisa.

**Tabela 3.** Atributos químicos do resíduo de vermiculita.

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>	MO
-----mg/kg-----		-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----			g/kg
150,1	354,2	7,48	30,32	0,0	0,29

Fonte: Dados da Pesquisa.

### 2.3 PREPARAÇÃO DAS MUDAS E TRANSPLANTIO

A semeadura ocorreu em copos descartáveis de 250 mL com um total de 50 células para cada espécie, preenchidas com substrato composto por solo e esterco bovino na proporção volumétrica de 1:1. Para produção das mudas do jucá, realizou-se a quebra de dormência das sementes, as quais foram imersas em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) por 15 minutos e posteriormente lavadas em água corrente (ALVES et al., 2009).

O transplantio foi efetuado quando a muda atingiu altura mínima de 10 cm. O solo dos vasos foi irrigado diariamente utilizando-se água para irrigação mediante observação diária.

### 2.4 PREPARO E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O rejeito de vermiculita foi passado em peneira de 1,0 mm homogeneizado e enriquecido com enxofre elementar (S<sup>0</sup>) na forma de reagente p.a em pó, nas doses calculadas de acordo com os tratamentos. Em seguida, foi aplicada ao produto obtido, ureia comercial contendo 45%, na dose de 5g de N/100g de resíduo. A dose do “fertilizante” aplicada no solo foi de 175,52 g/dm<sup>3</sup>. Esta dose correspondeu à dose teórica de 300 kg de K<sub>2</sub>O/ha, considerando um teor total de 3,46% de K<sub>2</sub>O (SOUSA, MACHADO & LEITE, 2011). O fertilizante final foi incorporado todo ao solo antes do transplantio das mudas. Em todos os vasos realizou-se uma aplicação com 100 mg de P/dm<sup>3</sup> de solo, utilizando-se o monoamônio fosfato (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) p.a.

## 2.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

Realizou-se medições do diâmetro do caule e altura de planta a cada quinze dias, durante um período de 105 dias de cultivo. A altura da planta foi mesurada por meio de régua graduada. Para o diâmetro do caule utilizou-se o paquímetro digital verificando-se a partir de 1,0 cm acima do solo. Ao término deste período, avaliou-se o número de folhas e folíolos por meio de contagem simples e o índice de área foliar, utilizando um Ceptômetro (AccuPAR modelo LP-80), realizada as medições no intervalo do meio dia as treze horas da tarde.

Ao término de 105 dias após a instalação do experimento, as partes aéreas das plantas foram separadas das raízes, as quais foram secas em estufa a 65-70° para a obtenção da massa seca de folhas (MSF) de caule (MSC) e massa seca de raízes (MSR), massa seca total, bem como a razão raiz/parte aérea [ $\{MSR/(MSF+MSC)\}$ ].

De posse dos dados de altura de planta (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total (MST), e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), de acordo com a expressão:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)}$$

Em que: IQD: índice de qualidade de Dickson; MST: massa seca total (g/planta); H: altura das plantas (cm); DC: diâmetro do coleto (mm); MSPA: massa seca da parte aérea (g/planta); MSR: massa seca do sistema radicular (g/planta).

Ao término do experimento, com os dados do tratamento adicional e dos demais tratamentos, foi calculada a eficiência dos tratamentos utilizando-se a seguinte expressão:

$ET = \frac{(MSTs^o)}{MSTc} \times 100$ , em que:

MSTc

EF = Eficiência dos tratamentos (em %);

(MSTs°) = Produção de massa seca total (g/planta) obtida em uma determinada proporção de enxofre elementar;

MSTc= Produção de massa seca total no tratamento controle (adicional) (g/planta);

Paralelamente a esta pesquisa foi instalado no mesmo período, outro experimento, com os mesmos tratamentos e condições experimentais (solo, local e doses), diferindo apenas no fato de não ter sido cultivadas plantas. Nesse trabalho foi avaliado o efeito das proporções de S° no resíduo nos atributos químicos do solo ao longo do tempo de incubação. Assim, para subsidiar a discussão dos resultados do presente trabalho, parte dos dados do citado experimento é apresentado na tabela 4.

**Tabela 4.** Caracterização do solo em função das proporções de enxofre elementar (S°) aplicadas ao rejeito de mineração.

Proporção de S°	pHCaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----mgdm <sup>-3</sup> -----	
Antes da instalação do experimento							
0	5,41	5,02	3,58	0,20	0,17	5,16	7,25
50	6,72	5,12	3,72	0,18	0,17	5,81	53,07
100	6,19	4,88	4,53	0,17	0,16	5,79	92,88
150	5,70	5,10	4,80	0,18	0,17	5,96	117,66
200	4,96	5,53	3,08	0,18	0,16	6,43	163,88
105 dias após a instalação do experimento							
0	4,69	5,40	4,15	0,27	0,35	4,01	72,38
50	4,45	5,35	4,50	0,23	0,32	4,83	69,70
100	4,33	5,48	5,28	0,16	0,25	4,88	145,10
150	4,12	5,78	5,43	0,14	0,24	5,26	307,88
200	3,53	6,13	5,60	0,19	0,29	5,34	432,95

Fonte: Dados da Pesquisa.

## 2.6 ANÁLISE DOS DADOS

A análise estatística correspondeu à análise de variância (ANOVA) e análise de regressão polinomial para as proporções de S°. Todos os testes foram realizados a 5% de probabilidade utilizando-se *software* SISVAR® (FERREIRA, 2011). A altura de planta e diâmetro do caule que foram avaliadas em diferentes períodos ajustou-se ao modelo de superfície de resposta por meio do *software* SigmaPlot 2011.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

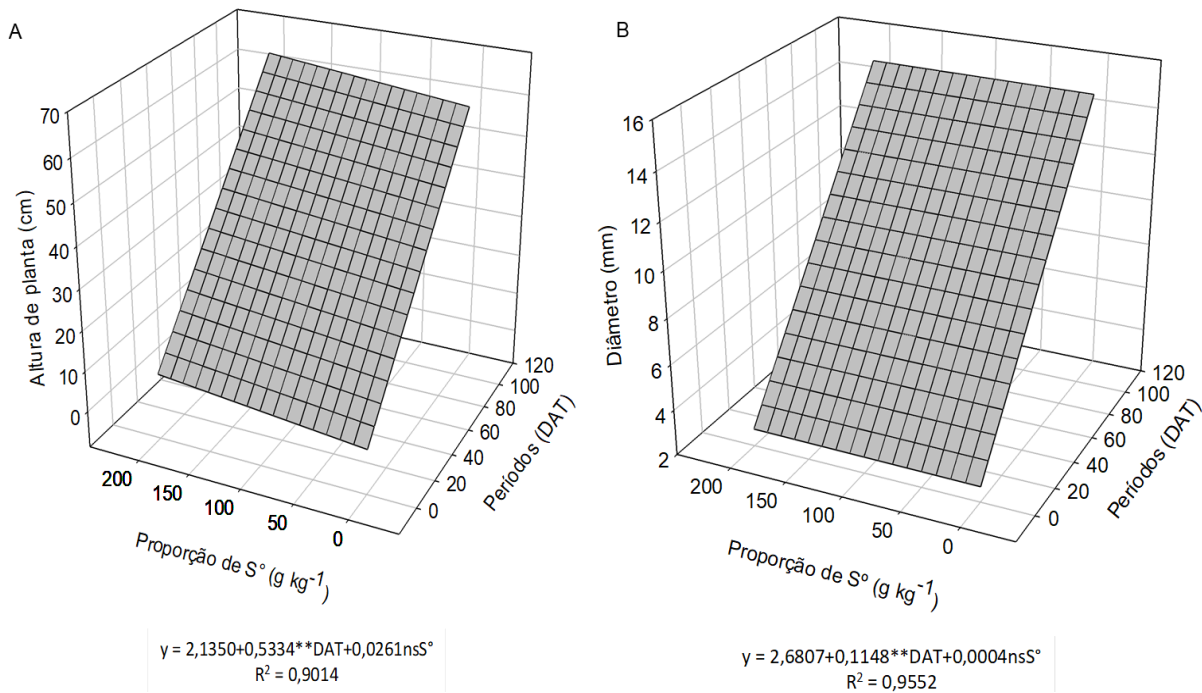
### 3.1 EXPERIMENTO 1: CRAIBEIRA

Pelas superfícies de resposta do tipo plana, ajustadas para a altura de planta (Figura 1A) e diâmetro do caule (Figura 1B), observou-se que as proporções de enxofre elementar (S°) não afetaram de forma significativa o crescimento da craibeira. Por outro lado, o crescimento desta espécie foi linear em função dos períodos de avaliação, atingindo aos 120 dias após o transplântio (DAT), os valores de 60 cm e 15 mm, para altura de planta e diâmetro do caule, respectivamente (Figura 1).

Foram encontrados valores de 25 cm de altura e 2,25 mm de diâmetro para mudas de craibeira aos 60 dias após o transplântio (SILVA, SANTOS & GOMES, 2014), sendo a altura próxima ao obtido aos 60 DAT deste trabalho e o diâmetro bem inferior.

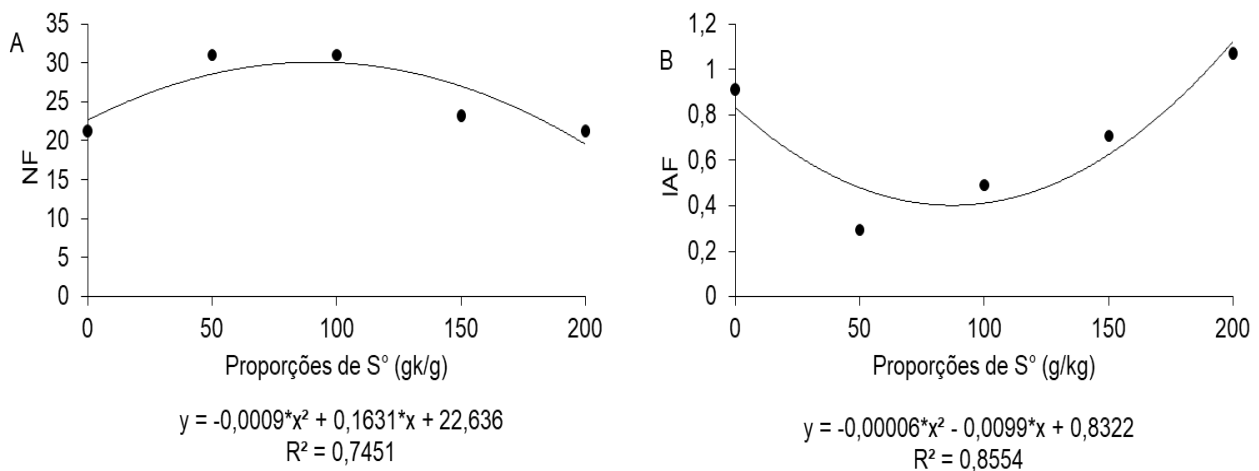
O número de folhas (Figura 2A) e o índice de área foliar (Figura 2B) responderam de forma quadrática às proporções de S°. O maior número de folhas estimado com a função de regressão, foi obtido na proporção de 90,6 g/kg de S°. O comportamento inverso entre estas variáveis pode indicar que ao elevar o número de folhas, a craibeira diminuiu o tamanho de suas folhas e, por conseguinte a sobreposição entre elas, levando assim a um menor índice de área foliar.

**Figura 1.** Superfície de resposta para altura da planta (A) e diâmetro (B) do caule da craibeira, em função de proporções de enxofre (S°) e períodos do cultivo (DAT- dias após o transplantio).



Fonte: Dados da Pesquisa.

**Figura 2.** Número de folhas (A) e índice de área foliar (B) da craibeira em função de proporções de enxofre (S°).



Fonte: Dados da Pesquisa.



A massa seca de folhas (Figura 3A) decresceu linearmente com as proporções de S°. Enquanto, a massa seca do caule (Figura 3B), massa seca de raízes (Figura 3C), massa seca total (Figura 3D), índice de qualidade de Dickson (IDQ) (Figura 3E) e a eficiência dos tratamentos (Figura 3F) não foram afetados pelas proporções de S°.

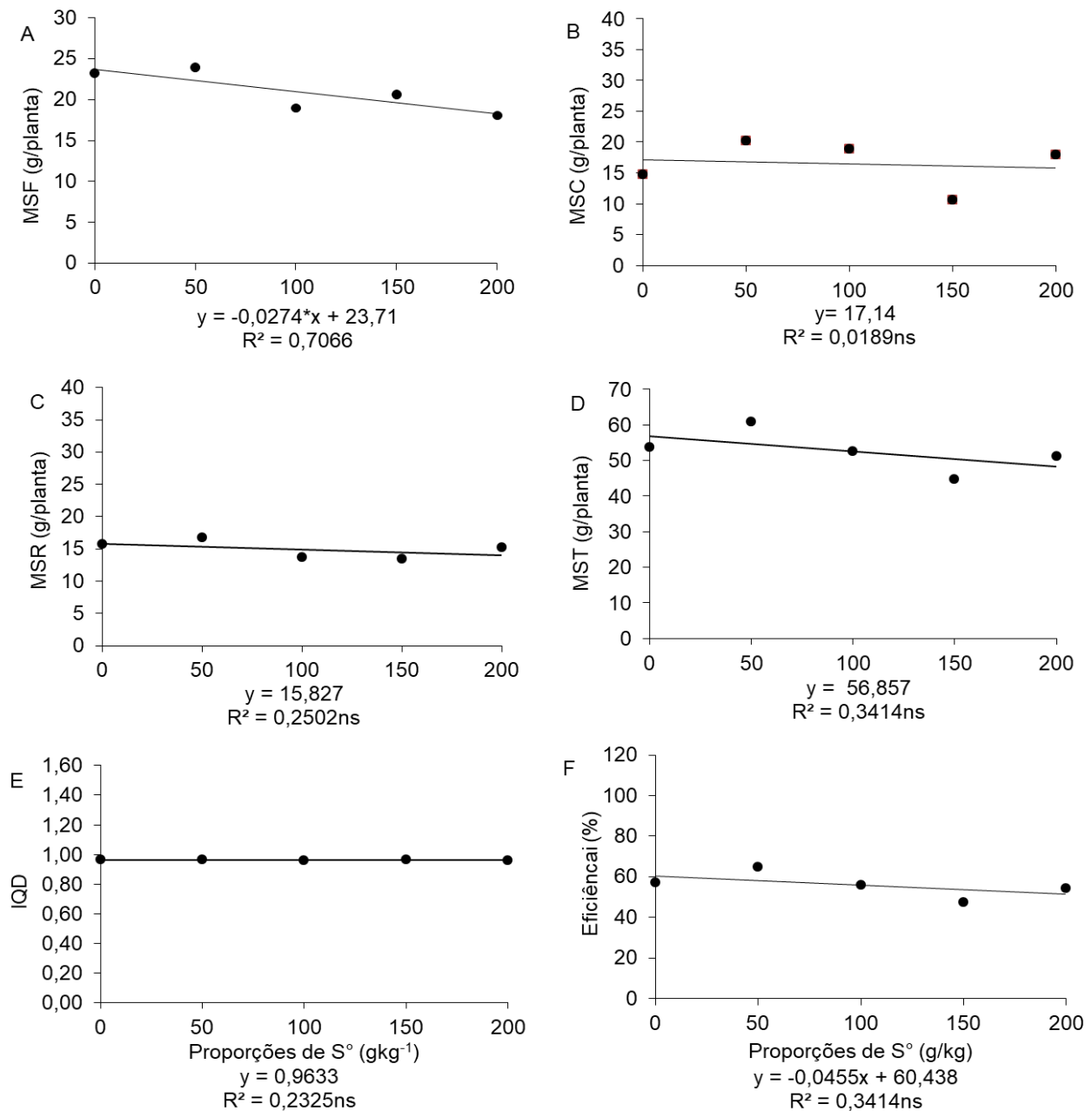
O valor médio obtido de 0,96 de IQD é considerado acima do ideal que é de 0,2 (ELOY et al., 2013). De acordo com Eloy *et al.* (2013) este índice é um dos melhores indicadores da qualidade das plantas porque associa parâmetro de robustez (H/DC) e de produção de biomassa (MSPA/MSR), evitando-se por exemplo, no caso de mudas, a escolha equivocada de plantas mais altas e estioladas em detrimento das mais baixas, mas que teriam que potencial de sobrevivência e bom desenvolvimento no campo.

Por sua vez, a eficiência dos tratamentos foi superior a 60%, indicando que o resíduo de vermiculita tem potencial para ser utilizado no cultivo desta espécie. Contudo, a adição de S° em proporções superiores a 50g/kg pode afetar negativamente a produção de massa seca das plantas. Silva, Santos & Gomes, 2014 recomendam a utilização do resíduo de vermiculita na produção de mudas de craibeira.

A menor produção de massa seca da craibeira nas maiores proporções de S° pode ter sido uma consequência da diminuição do pH do solo (Tabela 4). Neste trabalho, a diminuição do pH do solo ocorreu devido a oxidação do S°. Ao ser adicionado ao solo, juntamente com o fertilizante, o enxofre elementar sofre oxidação biológica por bactérias *Acidithiobacillus thiooxidans*, gerando ácido sulfúrico (STAMFORD et al., 2015), fato também observado por Sá et al. (2013) e Araújo et al. (2015).

O pH do solo exerce grande influencia no processo de absorção dos nutrientes do solo para as plantas (MUNIZ et al., 2018). Assim, o pH do solo, pode ter sido um fator de interferência negativa na eficiência da absorção dos nutrientes pela planta.

**Figura 3.** Massa seca de folhas (A), de caule (B), de raiz (C), total (D), e o índice de qualidade de Dickson (E) e a eficiência dos tratamentos (F) da craibeira em função de proporções de enxofre ( $S^{\circ}$ ) aos 105 dias de cultivo.



Fonte: Dados da Pesquisa.

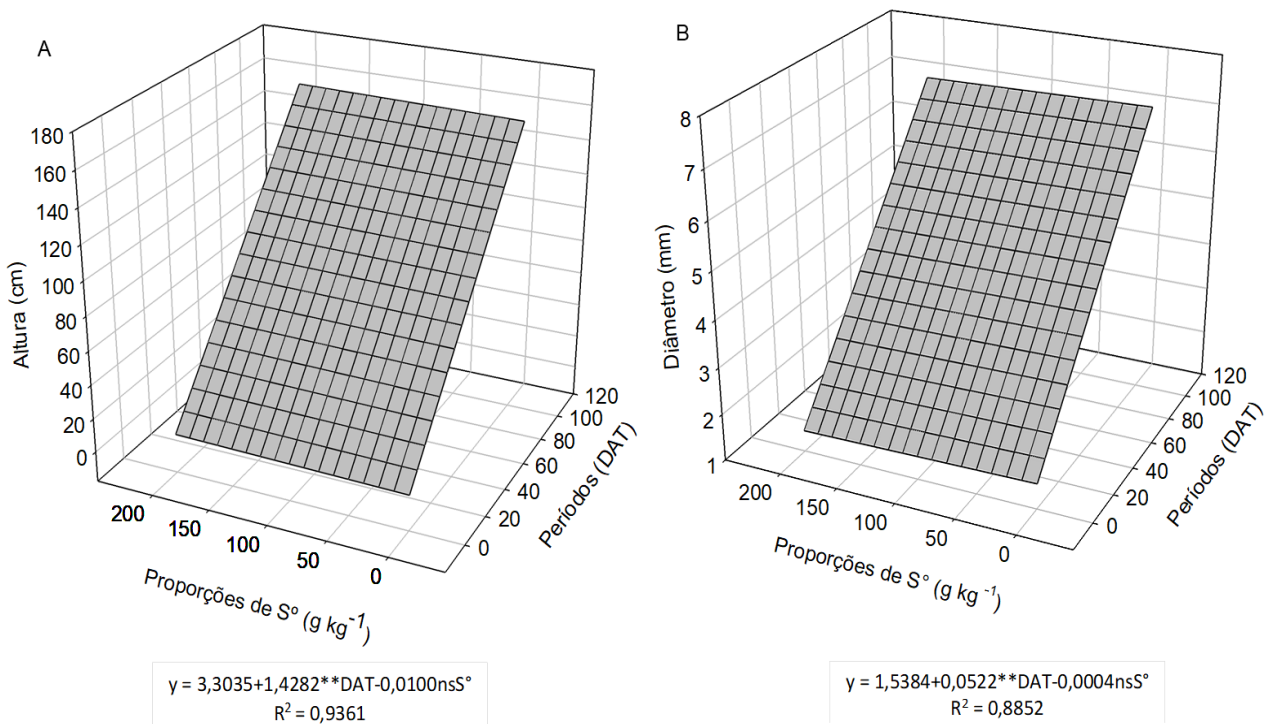
### 3.2 EXPERIMENTO 2: JUCÁ

Pelas superfícies de resposta do tipo plana, ajustadas para a altura de planta (Figura 4A) e diâmetro do caule (Figura 4B), observou-se que as proporções de enxofre elementar ( $S^{\circ}$ ) não afetaram de forma significativa o crescimento do jucá. Por outro lado, o crescimento desta espécie foi linear em função dos períodos de avaliação, atingindo aos 120 dias após o transplante, os valores estimados de 1,70 cm e 7 mm, para altura de planta e diâmetro do caule, respectivamente (Figura 4). Lenhard et

al. (2013) encontraram uma maior altura das plantas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth de 110,34 cm aos 180 dias após o transplante, valor este inferior ao obtido neste estudo.

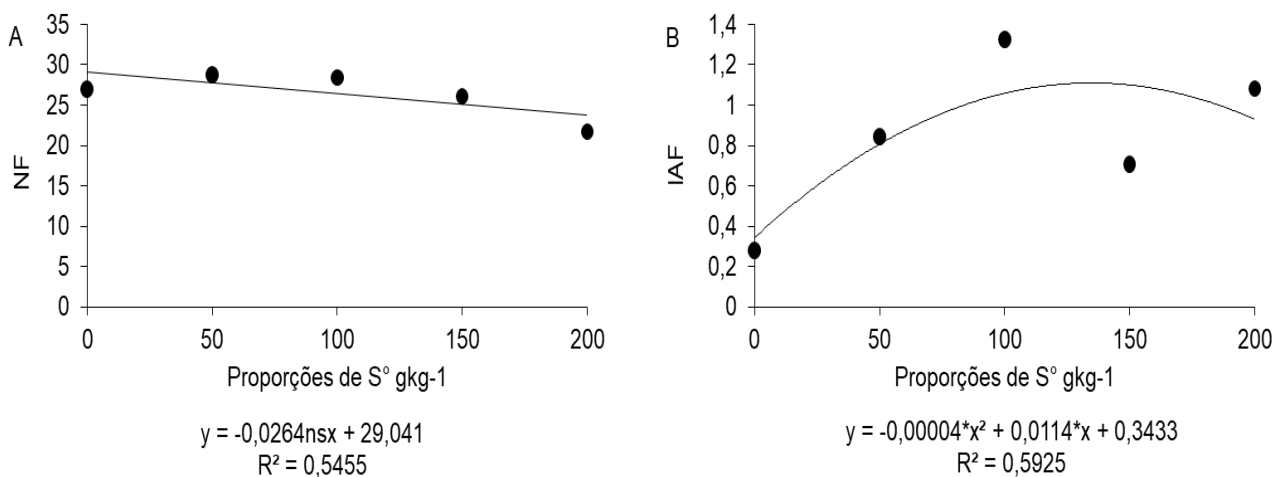
O número de folíolos (Figura 5A) respondeu de forma linear e o índice de área foliar (Figura 5B) de forma quadrática às proporções de  $S^{\circ}$ . Houve uma redução 18% no número de folíolos por planta, quando se elevou a proporção para 200 g/kg de  $S^{\circ}$ . O maior índice de área foliar estimado com a função de regressão, foi obtido na proporção 142 g/kg de  $S^{\circ}$ . O comportamento destas variáveis pode indicar que ao reduzir o número de folíolos, o jucá aumentou o tamanho de seus folíolos e, por conseguinte maior expansão da área coberta, levando assim a um maior índice de área foliar.

**Figura 4.** Superfície de resposta para altura da planta (A) e diâmetro do caule (B) do jucá, em função de proporções de enxofre ( $S^{\circ}$ ) e períodos do cultivo (DAT- dias após o transplante).



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 5. Número de folíolos (A) e índice de área foliar (B) e do jucá em função de proporções de enxofre (S°).



Fonte: Dados da Pesquisa.

A massa seca de folhas (Figura 6A), a massa seca do caule (Figura 6B), massa seca de raiz e massa seca total (Figura 6D) responderam de forma quadrática às proporções de S°, com os maiores valores obtido nas proporções 83, 87, 104 e 105 g/kg de S° respectivamente.

A maior produção de massa seca do sistema radicular das mudas de maracujazeiro-amarelo foi obtida no tratamento que continha vermiculita, onde obteve também bons valores de altura, diâmetro e número de folhas (SERRANO et al., 2006).

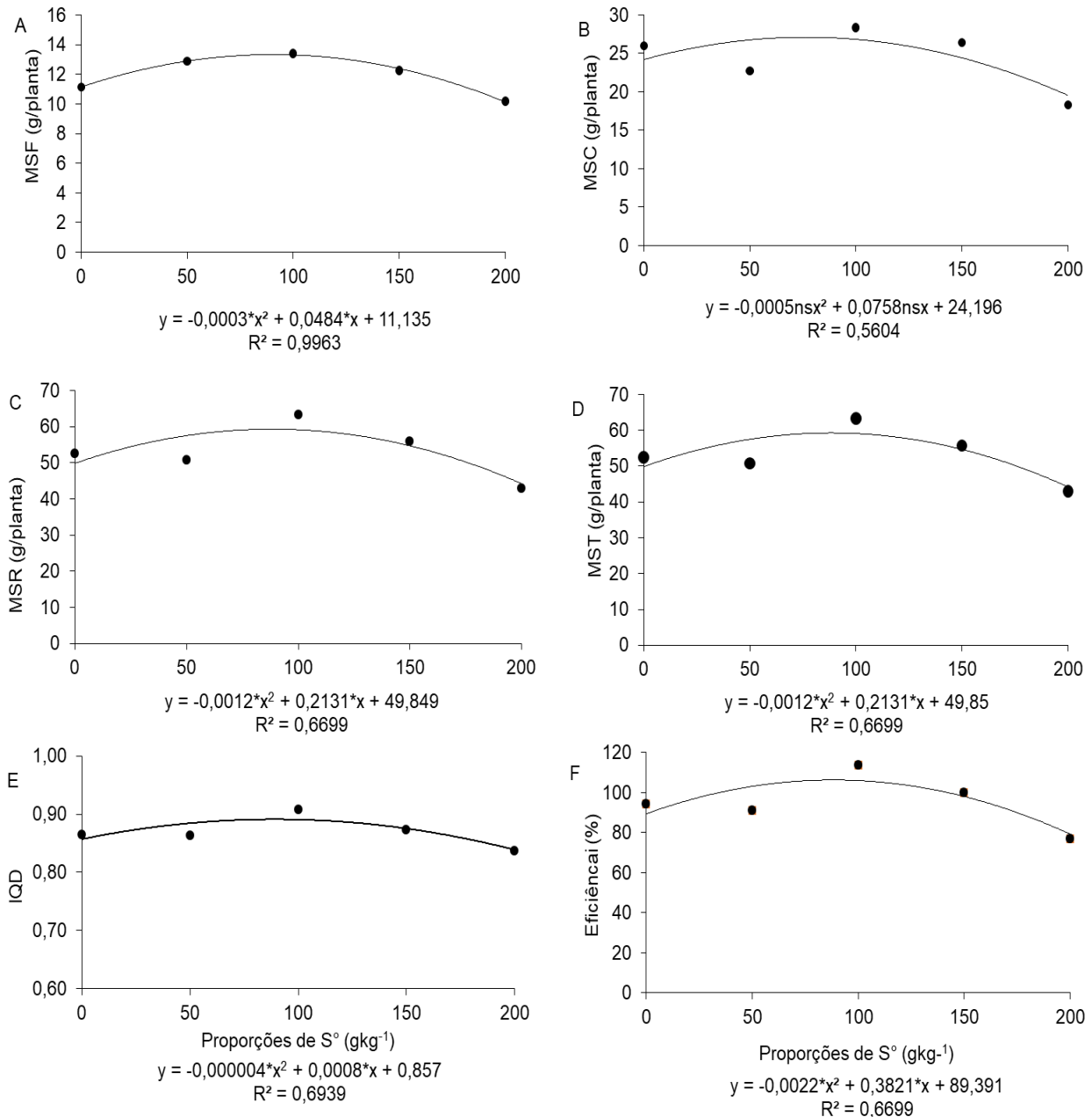
O índice de qualidade de Dickson (Figura 6E) e a eficiência do fertilizante (Figura 8F) apresentaram resposta positiva pelas proporções de S°. O valor médio obtido de 0,90 de IQD na proporção 122 g/kg é considerado acima do ideal que é de 0,2 (ELOY et al., 2013). Por sua vez, a máxima eficiência do fertilizante foi obtida na proporção de 87 g/kg de S°.

A eficiência dos tratamentos (Figura 6F) foi superior a 105 %, indicando que o resíduo de vermiculita tem potencial para ser utilizado no cultivo desta espécie.

Através da avaliação dos parâmetros morfológicos da planta e IQD observou-se que as mudas de jucá responderam positivamente a utilização do rejeito de vermiculita. Contudo, proporções de S° superiores a 105 g/kg pode afetar negativamente a produção de massa seca das plantas.

Binotto (2007) estudando a relação entre variáveis de crescimento e a interferência que estas exercem sobre o IQD em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* verificou correlação entre o IQD e as variáveis em estudo, sendo assim o IQD um bom indicador da qualidade das mudas.

**Figura 6.** Massa seca de folhas (A), de caule (B), de raiz (C), total (D), e o índice de qualidade de Dickson (E) e a eficiência dos tratamentos (F) do jucá em função de proporções de enxofre (S°) aos 105 dias de cultivo.



Fonte: Dados da Pesquisa.

#### 4 CONCLUSÃO

O resíduo de vermiculita tem potencial para ser utilizado no cultivo da craibeira. Entretanto, a produção de massa seca da craibeira é afetada de forma negativa com aumento das proporções de S°.

As mudas de jucá responderam positivamente a utilização do rejeito de vermiculita. A eficiência do tratamento é maximizada com a adição de 87 g/kg de enxofre elementar ao resíduo para o cultivo desta espécie.

**REFERÊNCIAS**

- ALVES, E. U.; BRUNO, R. L. A.; OLIVEIRA, A. P. O.; ALVES, A. U.; ALVES, A. U. Escarificação ácida na superação de dormência de sementes de pau ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tu. var. *leiostachya*). **Revista Caatinga**, Mossoró, v.2, n.1, p. 37-47, 2009.
- ARAUJO, J. L.; SEVERO, P. J. S.; LUCENA, F. T. C.; VERIATO, R. G.; PAIVA, K. F. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos?. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.4, p. 388-396, 2015.
- BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em mudas de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maid e Pinus elliottii var. elliottii – Engelm.** 2007. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 373 - 384, 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B.; SANTOS, J. S.; BORGES, R. S. Estudo da aplicação de resíduos de vermiculita como fertilizante alternativo de potássio. **Anais**. 2010. II SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE, Campina Grande, PB, 2010.
- JESUS, E. N.; SANTOS, T. S.; RIBEIRO, G. T.; ORGE, M. D. R.; AMORIM, V. O.; BATISTA, C. R. R. C. Regeneração Natural de Espécies Vegetais em Jazidas Revegetadas. **Revista Floresta Ambiente**, v.23, n.2, 2016.
- LEITE, M. J. H.; GOMES, A. D. V.; SANTOS, R. V. Comportamento inicial do maracujazeiro em solos afetados por sais submetidos a tratamentos alternativos com o uso de coprodutos de mineradoras. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 401-413, 2015.
- LEITE, M. J. H.; GOMES, A. D. V.; SANTOS, R. V.; ARAUJO, J. L. Crescimento do maracujazeiro amarelo em função de gesso e compostos com rejeitos de mineralização aplicados em solo salinizado. **Nativa**, v.4, n.6, p.353-359, 2016.
- LENHARD, N. R.; PAIVA NETO, V. B.; SCALON, S. P. Q.; ALVARENGA, A. A. Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 178-186, 2013.

LI, T.; WANG, H.; WANG, J.; ZHOU, Z.; ZHOU, J. Exploring the potential of phyllosilicate minerals as potassium fertilizers using sodium tetraphenylboron and intensive cropping with perennial ryegrass. **Scientific Reports**, v.4, p.1-7, 2015.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 251p.

MUNIZ, Y. S.; SOUSA, T. Y. O.; BASTOS NETO, C.; VIEIRA, K. R. S.; VIEIRA, E. G. S.; REIS, M. G. F. Análise da fertilidade do solo em área experimental da Universidade Estadual do Maranhão. **Revista Encontros Regionais de Agroecologia do Nordeste**, v. 2, n.1, p. 1-3, 2018.

OLIVEIRA, J. R. G.; SILVA, E. M.; TEIXEIRA-RIOS, T.; MELO, N. F. M.; YANO, M. Response of an endangered tree species from Caatinga to mycorrhization and phosphorus fertilization. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n.1, p. 94-102. 2015.

SÁ, F. V. S.; ARAUJO, J. L.; NOVAES, M. C.; OLIVEIRA, S. R. Crescimento inicial de craibeira em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. **Irriga**, v.18, n.4, p. 647-660, 2013.

SANTOS, W. O.; MATTIELLO, E. M.; VERGUTZ, L.; COSTA, F. R. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. **Journal of Plant nutrition and Soil Science**, v.179, p. 547-556, 2016.

SERRANO, L. A. L.; Silva, C. D.; OGLIARI, J.; Carvalho, A. D.; MARINHO, C. S.; DETMANN, E. Utilização de substrato composto por resíduos da agroindústria canavieira para produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 487-491, 2006.

SILVA, G. H.; SANTOS, R. V.; GOMES, A. D. V. Crescimento de mudas de craibeira em substrato de co-produto sob fertilização química e orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, n.5, p. 78 – 83, 2014.

SILVA, M. A.; RIBEIRO, S. N.; CRISPIM, D. L. ANDRADE SOBRINHO, L. G.; FARIAS, C. A. S. Avaliação do gerenciamento de resíduos de óleos lubrificantes e suas embalagens em oficinas mecânicas da cidade de Pombal – PB, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 9, n. 4, p.53-58, 2014.

SOUSA, F. Q.; ARAUJO, J. L.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H.; SANTOS, R.V.; LIMA, G. S. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.

SOUSA, L. D. A.; MACHADO, Á. O. D. V.; LEITE, J. Y. P. Liberação de potássio a partir de rejeito de vermiculita. **Anais**. 2010. XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Salvador-BA, 2011.

STAMFORD, N. P., FIGUEIREDO, M. V. B., JUNIOR, S. S., FREITAS, A. S. A., SANTOS, C. R. R.S., & JUNIOR, M. A. Effect of gypsum and sulfúur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation

and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **Scientia Horticulturae, Amsterdam**, v.192, n.1, p. 287-292, 2015.

SUGAI, M. A. A.; COLLIER, L. S, SAGGIN-JÚNIOR O. J. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v.70, n.2, p. 416-423, 2011.