

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DE *Urochloa brizantha* CV. XARAÉS APÓS APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-254>

Data de submissão: 15/04/2025

Data de publicação: 15/05/2025

Eduardo do Valle Lima

Agrônomo Doutor em Agronomia / Agricultura
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA
eduardo.lima@ufra.edu.br
<https://orcid.org/0000-0003-2691-4751>
<http://lattes.cnpq.br/2692908498563726>

Patrícia da Silva Leitão Lima

Agrônoma Doutora em Proteção de Plantas
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA
patricia.leitao@ufra.edu.br
<https://orcid.org/0009-0005-7935-6169>
<http://lattes.cnpq.br/7052331461226701>

Icaro José Rocha

Zootecnista Especialista em Ruminantes
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA
icarorocha.zootec@hotmail.com
<http://lattes.cnpq.br/8021560921848123>

Valéria de Azevedo Araújo

Mestre em Saúde e Produção Animal na Amazônia
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA
valeria.zootecnista@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-3851-9206>
<http://lattes.cnpq.br/9777053077441007>

Welliene Moreira dos Santos

Zootecnista Doutora em Ciências Agrárias
Universidade Federal Rural da Amazônia / UFRA
welliene@yahoo.com.br
<https://orcid.org/0000-0002-5642-4609>
<http://lattes.cnpq.br/1578343917276872>

RESUMO

O silício não é considerado elemento essencial às plantas, mas desempenha importante papel às gramíneas forrageiras. O mesmo pode ser aplicado no solo por meio das escórias de siderurgia, que atuam como corretivos (silicato de Ca e Mg) e como fonte de Si. Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de escória de siderurgia sobre o solo, em área de pastagem cultivada, e as respostas na quantidade de corpos silicosos e no teor de silício dos tricomas da lâmina foliar de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. O trabalho foi conduzido a 30 km de Parauapebas (PA). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas, de 6 x 8 m, foram constituídas pelos tratamentos:

1- sem aplicação de escória de alto forno; 2- 200 kg de escória ha^{-1} ; 3- 400 kg ha^{-1} e 4- 600 kg ha^{-1} . A aplicação da escória foi de forma manual e em cobertura, no início do período chuvoso, após rebaixamento do pasto. Antes do florescimento, foram retiradas folhas, jovens e adultas, das touceiras das parcelas sem e com a dose máxima de escória. As amostras foram processadas segundo técnicas usuais para análise microscópica eletrônica de varredura e microanálise espectroscópica de raios-x por dispersão de energia. A aplicação da maior dose proporcionou o aumento do número de corpos silicosos e do teor de Si nos tricomas tectores aculeiformes presentes na lâmina foliar de *Urochloa brizantha*, como respostas morfofisiológicas da mesma frente a elevada disponibilidade do elemento no solo, após a aplicação da escória de siderurgia.

Palavras-chave: Silício. Deposição de sílica. Tricomas silicificados. Corpos silicosos. MEV-EDS.

1 INTRODUÇÃO

É crescente a atividade siderúrgica no Brasil, estando o país entre os maiores produtores mundiais de Fe, o que tem gerado mais de 6,25 milhões de toneladas de escórias a cada ano, as quais, muitas vezes, ficam acumuladas nos pátios das siderúrgicas (PEREIRA *et al.*, 2010; SOBRAL *et al.*, 2011). O município de Parauapebas (PA) encontra-se localizado na maior província mineral do mundo (Serra dos Carajás), notadamente no que diz respeito a extração de Fe. Assim, os resíduos da indústria do Fe e do aço, obtidos por diferentes processos, são facilmente encontrados nas siderúrgicas da região, principalmente no município de Marabá no sudeste do estado do Pará, onde se localiza o pólo siderúrgico.

Na produção de ferro gusa em alto forno e de aço em forno de aciaria, as escórias são resultantes de processamento em altas temperaturas (acima de 1400°C), quando a sílica presente como impureza do minério ferroso reage com o calcário a ele adicionado como fundente (SOUSA *et al.*, 2010), gerando constituintes neutralizantes a base de Ca e Mg (silicatos de Ca e Mg), além do próprio Si que pode ser utilizado como fertilizante. Assim, as escórias de siderurgia são as fontes mais baratas e abundantes de silicatos (STOCCO *et al.*, 2010), já sendo usadas como corretivos de acidez nos Estados Unidos e Japão, também apresentando aumento na disponibilidade de Si e outros elementos (PEREIRA *et al.*, 2010). O aproveitamento sustentável de um subproduto da indústria, cujo destino seria incerto, representa um benefício socioeconômico, minimizando o passivo ambiental gerado pelo acúmulo das escórias nas siderúrgicas, além de promover o desenvolvimento regional.

Depois da mineração, a pecuária vem como a segunda maior atividade econômica no sudeste do Pará. Todavia, a maioria da produção animal é realizada em sistemas extensivos, sendo as gramíneas mais cultivadas, as da espécie *Urochloa brizantha*, assentadas em solos de baixa fertilidade (Latossolos e Argissolos). O Brasil possui cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas, muitas já com mais de 10 anos de pastejo, apresentando 60% em avançando estádio de degradação (SÁVIO *et al.*, 2011). A escória constitui-se uma alternativa, pois, o acúmulo foliar de Si em gramíneas atenua os efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe, formando uma barreira física para a redução da transpiração, promovendo resistência ao ataque de pragas e doenças (FARIA *et al.*, 2008; SOUSA *et al.*, 2010), além de proporcionar folhas mais eretas, aumentando a eficiência fotossintética quanto a captação de luz (CRUSCIOL, 2006), evitando assim a degradação precoce e garantindo a perenidade dos pastos.

Existem alguns trabalhos que tratam do uso da escória apenas como corretivo de acidez e sua relação com a resposta das gramíneas, porém são escassos os que relatam o uso de silicatos como fonte de Si para as gramíneas forrageiras (STOCCO *et al.*, 2010). Diversos estudos têm demonstrado que as gramíneas respondem favoravelmente para a adubação silicatada, particularmente quando cultivada

em solos com baixos teores de Si disponível (SOUZA *et al.*, 2010), apesar de que na região tropical, não existem informações bem definidas quanto aos níveis críticos de Si no solo e na planta (FARIA *et al.*, 2008). Mesmo dispondendo-se de poucos resultados experimentais, principalmente para as gramíneas forrageiras, as escórias vêm sendo empregadas tanto para a correção de acidez, como no fornecimento de Si. Neste contexto, os vegetais podem ser classificados quanto a absorção de Si em acumuladores, intermediários e não acumuladores. As gramíneas em geral são reconhecidas como acumuladoras de Si, a exemplo de *U. brizantha* (SÁVIO *et al.*, 2011), devendo-se melhor estudar esta estratégia de acúmulo.

A sílica é um polímero amorfo de dióxido de silício hidratado ($\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$), ocorrendo nas estruturas foliares sob a forma de incrustações minerais opalinas chamadas de corpos silicosos (TOMLINSON, 1961). A presença e diversidade estrutural dos corpos de sílica são bem documentados em diferentes famílias vegetais, apesar de se questionar quais os mecanismos fisiológicos que os formam (SILVA; POTIGUARA, 2009). Embora o acúmulo de sílica em gramíneas seja um fenômeno relativamente conhecido em condições naturais, sem a fertilização com escória, a quantificação de corpos silicosos e os teores de Si em tricomas, das partes aéreas das gramíneas forrageiras, em função da maior disponibilidade de Si no solo, não é conhecido, principalmente quando se trata de *U. brizantha* cv. Xaraés. Os tricomas participam de inúmeros mecanismos fisiológicos vegetais (POTIGUARA *et al.*, 2013), devendo-se investigar o grau de participação na estratégia de acúmulo de Si nos tecidos foliares. Essas informações poderão auxiliar na explicação de qual é a relação da sílica biogênica nas plantas e suas funções no vegetal.

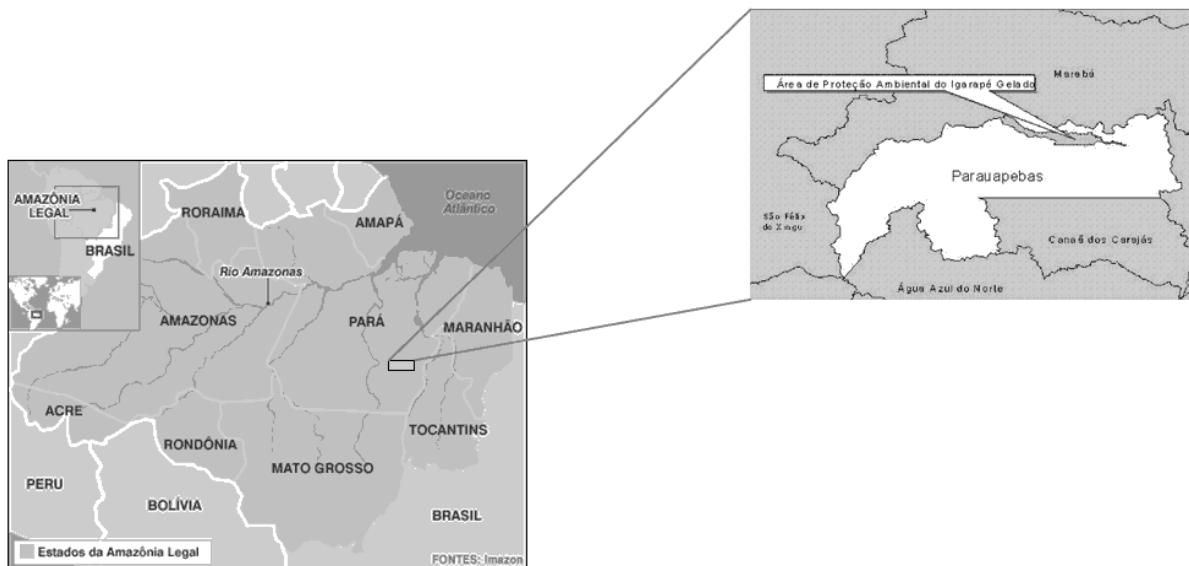
2 OBJETIVO

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de escória de siderurgia de auto forno na quantidade de corpos silicosos e no teor de Si dos tricomas da lâmina foliar de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés, visando contribuir com a identificação das estratégias de acúmulo de Si via foliar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em propriedade rural, com atividade de pecuária leiteira de produtores assentados na Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado – APA, com 21.600 ha e perímetro de 141,8 km (Figura 1). A área experimental ficou localizada no sudeste do estado do Pará, no cruzamento do Igarapé Gelado com a Estrada de Ferro Carajás – EFC, de coordenadas geográficas iguais a latitude 06° 00' 10" S e longitude 49° 57' 43" W, distante 30 km do município de Parauapebas (PA).

Figura 1. Localização da Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado.



Fonte: Imazon (2011).

O local é classificado como zona de Floresta Amazônica, com média de chuva em torno de 1.700 a 2.000 mm ano⁻¹ que concentra entre novembro a abril (70%). As temperaturas médias anuais são elevadas e em geral maiores que 23°C. A umidade relativa média é de aproximadamente 70% nos meses mais secos. O relevo é classificado em 8% como plano a suave onulado. O experimento foi conduzido em Argissolo (EMBRAPA, 2013), que apresentava fertilidade, na profundidade de 0 - 0,20 m, igual a: pH (H₂O) = 5,40; P (Mehlich-1) = 3,58 mg dm⁻³; Na = 5,95 mmol_c dm⁻³; K⁺ (Mehlich-1) = 93,00 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ (KCl 1 mol L⁻¹) = 21,67 mmol_c dm⁻³; Mg⁺² (KCl 1 mol L⁻¹) = 7,83 mmol_c dm⁻³; H+Al (Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹) = 35,08 mmol_c dm⁻³; soma da bases trocáveis (SB) = 128,45 mmol_c dm⁻³; CTC_{total} = 163,53 mmol_c dm⁻³ e saturação por bases (V%) = 78,55%.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas, de 6 m de largura e 8 m de comprimento, foram constituídas pelos tratamentos: 1- sem aplicação de escória; 2- 200 kg de escória ha⁻¹; 3- 400 kg ha⁻¹ e 4- 600 kg ha⁻¹. A escória de alto forno foi selecionada para ser empregada como fertilizante silicatado no presente experimento pela sua maior disponibilidade e característica química, como 41% de SiO₂, 26% de CaO e 4% MgO. A escória de alto forno foi passada em peneira com malha de 2,0 mm (ABNT nº.10) para atingir granulometria semelhante aos corretivos e fertilizantes comerciais.

Amostras peneiradas de escória de alto forno foram embaladas e encaminhadas ao Laboratório de Fertilizantes e Corretivos da Faculdade de Ciências Agrárias da UNESP / Botucatu (SP) para a determinação do teor de umidade (5,40%), reatividade - RE (67,53%), poder de neutralização - PN (50,00%) e poder relativo de neutralização total - PRNT (34,00%). Em seguida, a amostra coletada da escória de alto forno foi enviada ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu

Paraense Emílio Goeldi, para obtenção das eletromicrografias e realização das microanálises por Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS- Energy Dispersive Spectroscopy).

A aplicação da escória ocorreu de forma manual e em cobertura sobre o solo, no início do período chuvoso, após o rebaixamento do pasto, pelo pastejo controlado com vacas leiteiras, até atingir a altura ideal para a *U. brizantha*, que foi entre 0,25 a 0,35 m. Após a aplicação dos tratamentos (doses de escória), durante um período de 3 meses (em pleno período chuvoso), a área ficou vedada ao acesso de animais bovinos, até que a pastagem se encontrasse próxima ao ponto ótimo de corte, coincidindo produção de massa seca e valor nutritivo. Nesse estádio, anterior ao início do florescimento, foi efetivamente avaliado o efeito da adubação silicatada realizada, para posteriormente haver um novo rebaixamento do pasto.

As análises foram feitas com folhas jovens e adultas (n=5) coletadas da região mediana das touceiras de *U. brizantha* cv. Xaraés das parcelas sem escória e com dose máxima de 600 kg de escória ha⁻¹. Amostras foram fixadas em FAA₇₀ (formaldeído PA, ácido acético PA e álcool etílico 70%, 1:1:18, v/v) por 24 horas (JOHANSEN, 1940), lavadas e conservadas em álcool etílico 70% (POTIGUARA *et al.*, 2013), para posterior observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Para a análise em (MEV) e microanálise espectroscópica de raios-X por dispersão de energia (Energy Dispersive Spectroscopy - EDS), amostras foliares desidratadas pela série etílica crescente de Johansen (1940), foram secas em aparelho de ponto crítico de CO₂, aderidas sobre suportes metálicos através de fita de carbono dupla face e metalizadas com camada de ouro de aproximadamente 20 nm de espessura por 150 segundos em corrente de 25 mA (POTIGUARA *et al.*, 2013). As eletromicrografias foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura modelo LEO 1450 VP, utilizando-se detectores de elétrons secundários (ES) e de elétrons retroespalhados (ERE), com aceleração eletrônica e distância de trabalho de 15 Kev e 15 mm respectivamente. As escalas micrométricas foram obtidas ao mesmo tempo da captura das eletromicrografias e projetadas nas mesmas condições ópticas.

Análises químicas por EDS foram feitas para determinar o teor de silício nos tricomas e corpos silicosos foliares, assim como foi feito para a escória de siderurgia de alto forno, na determinação da sua composição química elementar. Para tanto, foi utilizado um detector de raios-X Gresham, modelo Sirius 10/7.5 acoplado ao MEV, operacionalizado nas mesmas condições de obtenção das eletromicrografias (POTIGUARA *et al.*, 2013).

Para a contagem dos corpos silicosos, foram utilizados 10 campos da lâmina foliar de 0,021 mm², considerando-se as faces adaxial e abaxial para as regiões da nervura central, margem e semilimbo do ápice, meio e base foliares, totalizando 60 campos observacionais por região e 180 por

lâmina foliar. A quantificação foi feita no próprio MEV Leo modelo 1450 VP, a um aumento de 695X estabelecido como padrão.

Os resultados das modificações estruturais foliares relacionadas com a aplicação de escória de siderurgia são apresentados na forma de eletromicrografias de varredura com respectivos espectros da análise por EDS *in situ* e gráficos do tipo colunas agrupadas, com os valores médios percentuais dos teores de Si e os respectivos \pm erros padrões.

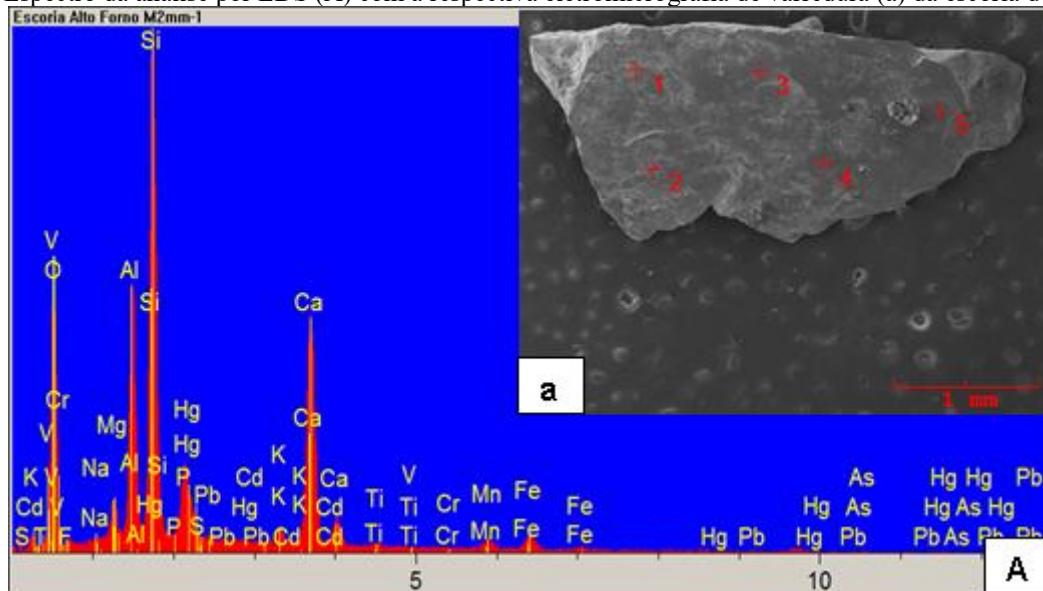
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas para o uso de escórias de siderurgia em pastagens como corretivo no solo estão sendo bastante estudadas. Entretanto, a finalidade do presente trabalho foi a de utilizar a escória de alto forno como uma fonte de Si e não como um material corretivo de acidez. Neste sentido, como a V% desejada para *U. brizantha* era de ficar entre 50 a 60 (RAIJ *et al.*, 1997) e a V% do solo, no momento da aplicação da escória, se encontrava em 78%, pode-se afirmar que quaisquer modificações quantitativas ou qualitativas nas lâminas foliares deveu-se exclusivamente a atuação do Si no interior das plantas.

De modo geral, as fontes de Si na forma de silicato ligado a um cátion tem sido as de maior solubilidade e disponibilidade de Si às plantas (PEREIRA *et al.*, 2010), como é o caso da escória de alto forno. Também, o período chuvoso nos três meses após a aplicação da escória sobre o solo, favoreceu a solubilização do material e a absorção de Si pelas plantas. Sendo assim, a escória de siderurgia de alto forno tem potencial para ser utilizada na agricultura, não somente como fornecedora de Ca e Mg ou apenas como material corretivo da acidez do solo, mas também como fonte de Si aos vegetais cultivados.

Ressalta-se na Figura 2 que, com as microanálises espectroscópicas de raios-X por dispersão de energia (EDS) e obtenção das eletromicrografias, os maiores picos de absorbância foram para o Si, onde a absorbância é diretamente proporcional à concentração. Isto caracteriza este material como de alto potencial para utilização como adubo silicatado. Também, não foi detectada elevada concentração de metais pesados ou outros elementos prejudiciais, não havendo perigo de contaminação ambiental pela escória de alto forno aplicada no solo.

Figura 2. Espectro da análise por EDS (A) com a respectiva eletromicrografia de varredura (a) da escória de alto forno.

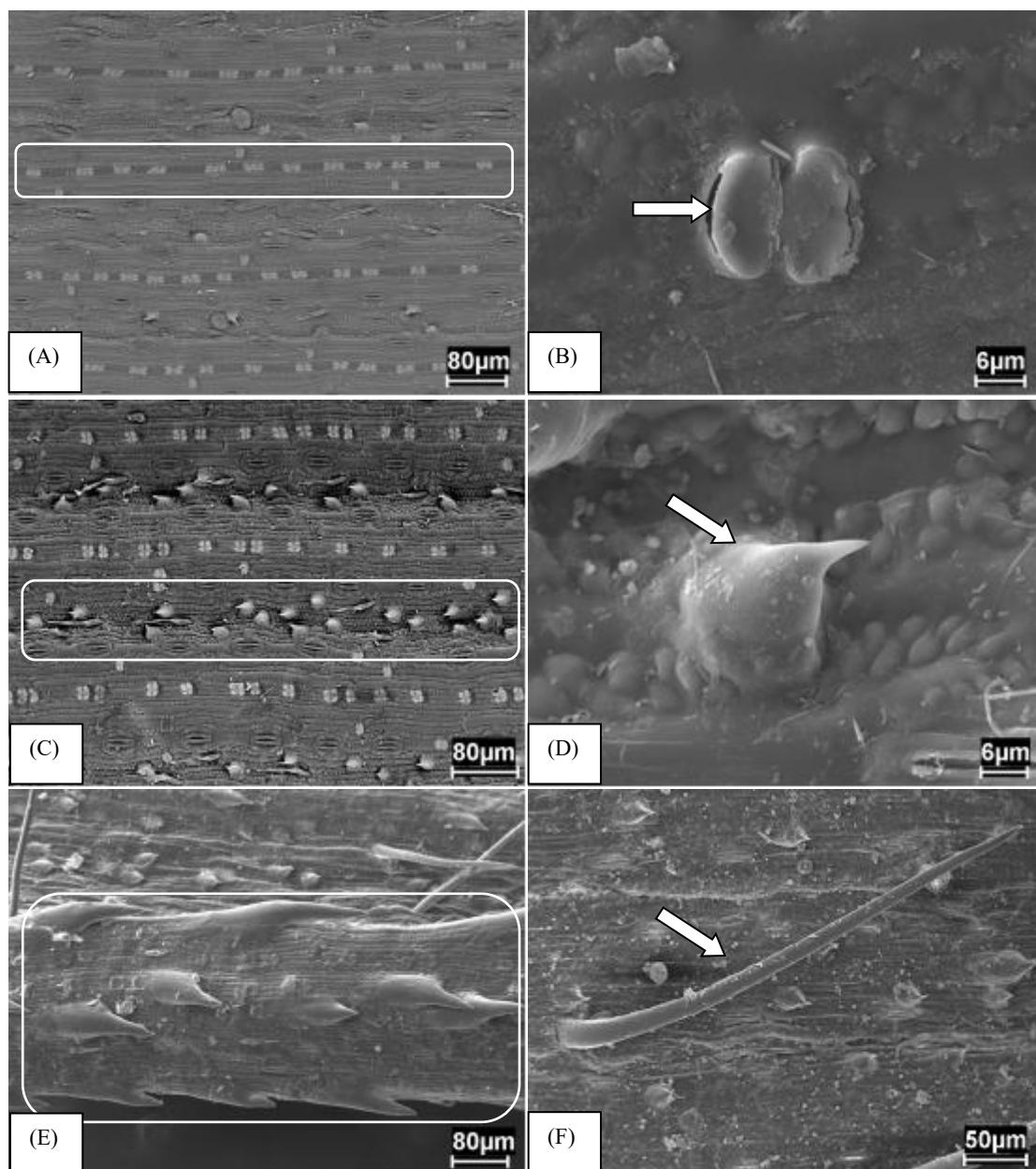


Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados originais da pesquisa.

Apesar de não ser considerado um elemento essencial às plantas, o Si tende a se acumular nas lâminas foliares (BRAGA *et al.*, 2009), jovens e adultas, mais especificamente no interior das células epidérmicas, independente da aplicação ou não de escória no solo. Com ou sem a aplicação de escória, é possível identificar a formação de corpos silicosos (CS), organizados em fileiras paralelas ao longo do eixo da folha (Figura 3A). Individualmente, estes CS se mostram na forma de partículas silicosas em forma de halteres (Figura 3B), localizados na superfície da lâmina foliar de *U. brizantha*, assim como também caracterizado por Potiguara *et al.* (2013), sendo uma substância ergástica característica da micromorfologia foliar de gramíneas (METCALFE, 1960).

Portanto, os CS em forma de halteres são típicos de gramíneas e se constituem na principal forma de deposição e acúmulo de Si (SILVA; ALQUINI, 2003), sendo assim, uma estratégia reconhecida e adotada por *U. brizantha* para acumular o excesso de Si que se encontrava disponível no solo e foi absorvido pela planta. A questão é saber se após atingido o limite genético de deposição de Si na forma de CS, com a alta disponibilidade deste elemento no solo pela adubação silicatada com a escória de alto forno, a gramínea forrageira utilizada neste experimento apresentaria uma estratégia adicional para poder acumular ainda mais silício e de que forma.

Figura 3. Eletromicrografias de varredura da superfície de lâmina foliar de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. (A): Vista geral da face abaxial por ERE, destacando a organização dos corpos silicosos em halteres (demarcado por um retângulo). (B): Detalhe por ES de um corpo silicoso em haltere da face adaxial (indicado por uma seta). (C): Vista geral da face abaxial por ERE, destacando os tricomas tectores aculeiformes (demarcado por um retângulo). (D): Detalhe por ES de um tricoma tector aculeiforme da face adaxial (indicado por uma seta). (E): Detalhe por ES de tricomas tectores aculeiformes marginais (demarcado por um retângulo). (F): Detalhe por ES de um tricoma tector filiforme da face abaxial (indicado por uma seta). (B, C e D) = folhas jovens. (A, E e F) = folhas adultas. (A, C e D) = plantas não adubadas com escória. (B, E e F) = plantas adubadas com escória.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados originais da pesquisa.

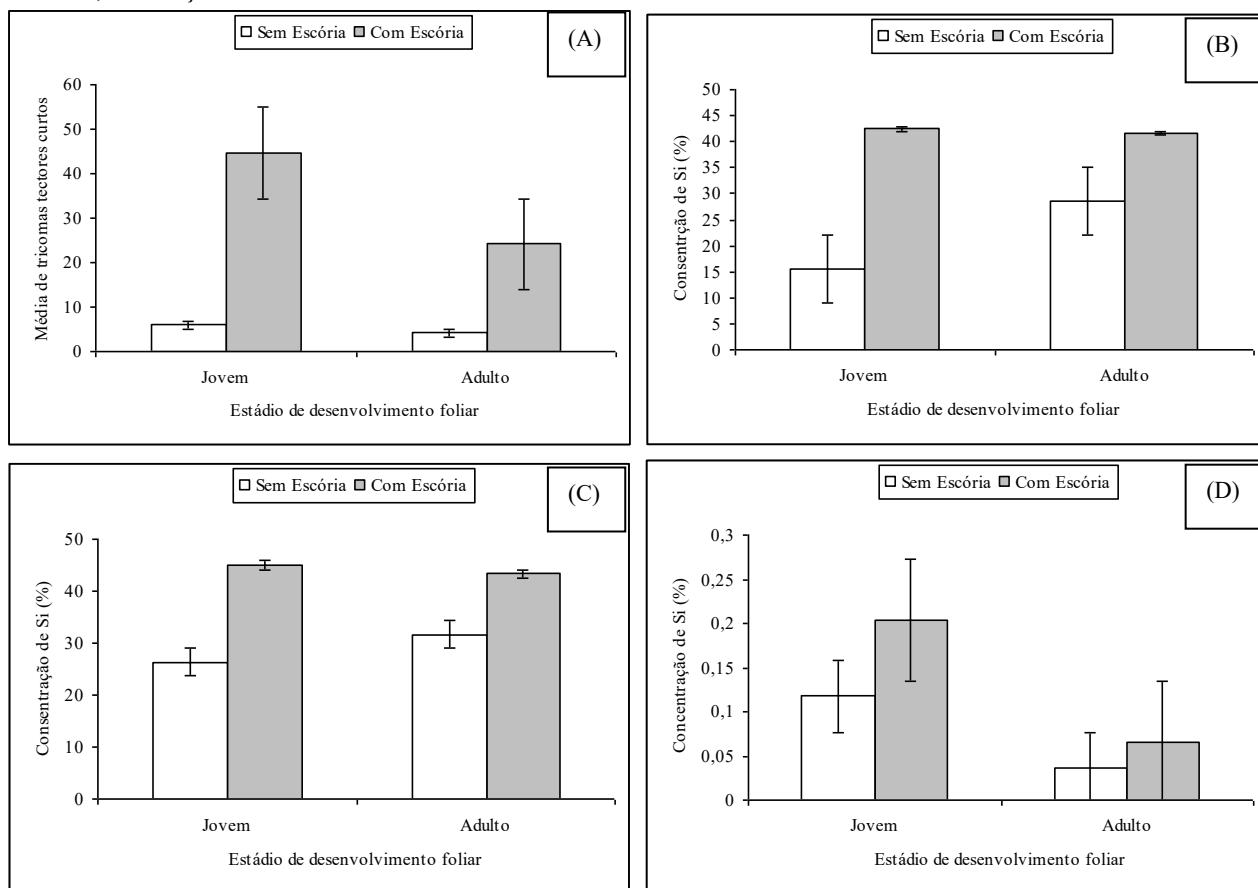
Ficou claro que havendo Si disponível, absorvido pelas plantas em maior quantidade, principalmente em solo adubado com escória como o do presente trabalho, o mesmo vai sendo metabolizado em biocomposto mineral e acumulado na forma de CS, talvez devido à ausência de um

sistema excretor especializado (HABERLANDT, 1925). Todavia, a ocorrência dos CS e a morfologia destas incrustações minerais são geneticamente determinadas e pouco influenciadas por fatores ambientais (MOLLER; RASSMUSSEN, 1984). Sendo assim, há um limite para o depósito de Si sob a forma de CS (opala) (METCALFE, 1983). A sílica biogênica nas plantas pode estar relacionada a refletância das folhas, a proteção mecânica contra o ataque de insetos e patógenos, o controle da transpiração excessiva retenção de água, a prevenção do colapso tecidual subjacente em condições de seca e o balanço das trocas térmicas com o meio externo (SILVA; POTIGUARA, 2009). Ademais, o Si acumulado na folha a permite que fique mais ereta, aumentando a área foliar exposta à luz solar e, consequentemente, a melhorando sua eficiência fotossintética (CRUSCIOL, 2006).

Pela análise anatômica das folhas jovens e adultas de *U. brizantha* cv. Xaraés, foi possível também demonstrar a presença de outros depósitos de Si que ocorrem na forma de tricomas tectores aculeiformes (TA) (Figura 3C, D e E) e tricomas tectores filiformes (TF) (Figura 3F). Esses depósitos de Si localizam-se normalmente próximos à epiderme, na forma de apêndices, podendo ocorrer na parede celular (BRAGA *et al.*, 2009). Constatou-se também que os TA se distribuem por toda a superfície das folhas, mais especificamente entre as fileiras paralelas dos CS (Figura 3C), tanto na face abaxial, quanto na face adaxial (Figura 3D) e de forma restrita na margem das folhas (Figura 3E). Já os TF, em menor quantidade, encontra-se distribuído de forma aleatória em todo o limbo foliar (Figura 3F).

Verifica-se na Figura 4A que, independentemente do estádio de desenvolvimento foliar (jovens ou adultas), a aplicação de 600 kg de escória ha^{-1} proporcionou aumento na quantidade dos TA, indicando maior acúmulo de Si. As Figuras 4B e C corroboram com o fato anterior, mostrando que as concentrações de Si (%) naturalmente aumentaram nos TA em função da aplicação da dose máxima de escória ($600 kg ha^{-1}$). Este incremento também foi observado para TF (Figura 4D), independentemente se a folha era jovem ou adulta.

Figura 4. (A): Média de corpos silicosos. (B – D): Concentração de Si (%) dos tricomas tectores. (B e C): tricomas aculeiformes, sendo (C) específico aos da margem e (D): tricomas filiforme. Para os tratamentos sem e com dose máxima de escória, em função do estádio de desenvolvimento foliar.



Nota: Os valores são média ± erros padrões.

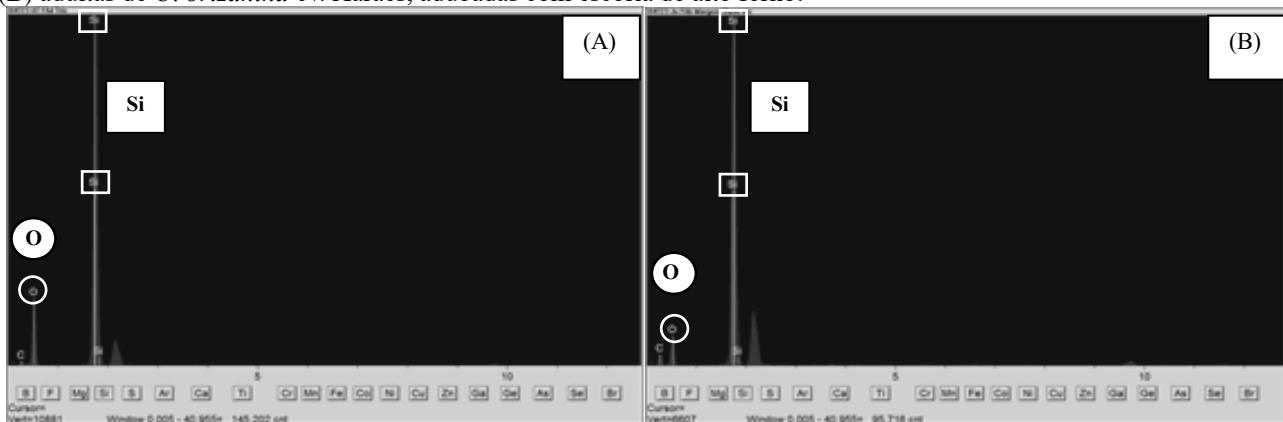
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados originais da pesquisa.

Para os TA da margem foliar (Figura 4C), o acumulo de Si bastante pronunciado nas parcelas que receberam tratamento com escória (600 kg ha^{-1}), explica o fato de que as folhas de *U. brizantha* cv. Xaraés apresentaram margens com uma coloração arroxeadas e muito mais cortante do que as margens das folhas de parcelas sem o tratamento com escória, onde a coloração arroxeadas não foi verificada nas observações a campo. Chama atenção a estrutura na forma de “gota” dos TA (Figura 3D), cujas partes pontiagudas de sílica ficam projetadas para o lado externo da epiderme, nas margens foliares (Figura 3E). Estes apêndices pontiagudos que se agrupam em sequência, envolta da margem do limbo foliar, todos voltados para o ápice foliar, formando a reconhecida superfície cortante das folhas de gramíneas.

Na Figura 5, por meio do espectro da análise por EDS dos TA das margens de folhas jovens e adultas, que receberam adubação com escória, é possível verificar os maiores picos de absorção para o Si, que correspondem às elevadas concentrações médias deste elemento apresentados na Figura

4C. Pela Figura 5, com o espectro da análise por EDS realizada nos TA, também foi possível detectar picos de O, indicando que o Si esta na forma de dióxido.

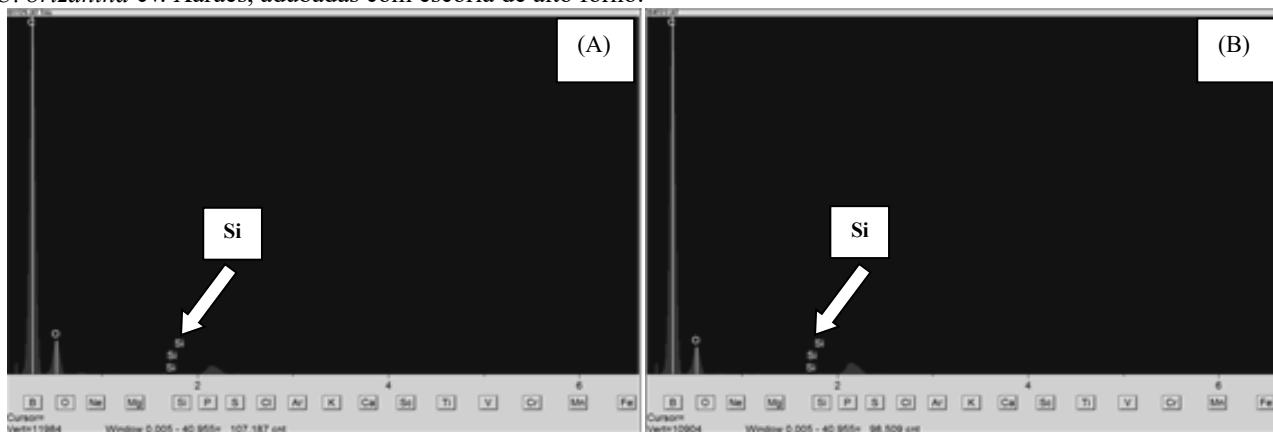
Figura 5. Espectros das análises por EDS realizadas nos tricomas tectores aculeiformes da margem de folhas (A) jovens e (B) adultas de *U. brizantha* cv. Xaraés, adubadas com escória de alto forno.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados originais da pesquisa.

A constatação de que em *U. brizantha* cv. Xaraés, os TA acumulam Si, sugere que tais estruturas atuem como uma segunda estratégia ou estratégia alternativa suplementar para absorver, acumular e, ou de certa forma “descartar” o excedente de Si que estava disponível no solo e foi absorvido pelas plantas, já que foi constatado um limite de acúmulo desempenhado pelos CS. Até então, apenas os CS eram considerados como a principal estrutura de deposição e acúmulo de Si em gramíneas. Com relação aos baixos teores de Si dos TF (Figura 4D), independentes do estádio de desenvolvimento foliar e do tratamento, sugerem que este elemento esteja atuando como um componente estrutural de parede destes tricomas, indicando que os mesmos desempenham outras funções biológicas em *U. brizantha* cv. Xaraés, não relacionadas apenas ao depósito e acúmulo de Si. Na Figura 6, espectros das análises por EDS dos tricomas tectores filiformes de folhas jovens e adultas, confirmam a sua incapacidade de acumular Si em grande quantidade, mesmo havendo elevada disponibilidade do elemento no solo.

Figura 6. Espectros das análises por EDS realizadas nos tricomas tectores filiformes de folhas (A) jovens e (B) adultas de *U. brizantha* cv. Xaraés, adubadas com escória de alto forno.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados originais da pesquisa.

De modo geral, os tricomas desempenham inúmeras funções para os vegetais, podendo oferecer proteção física contra larvas fitófagas de alguns insetos, realizar a dispersão de colônias de afídeos, eliminar substâncias alelopáticas que diminuem o vigor de plântulas as suas proximidades, evitar a entrada de produtos químicos utilizados na agricultura, proporcionar um microambiente saturado de água entre os estômatos e o meio, evitando o dessecamento, e influenciar na ação direta dos raios solares que incidem na lâmina foliar (POTIGUARA *et al.*, 2013). Além dos corpos silicosos e dos tricomas, na epiderme foliar, o Si também pode combinar-se com a celulose, pode estar presente nas células-guardas dos estômatos e podem ser encontrados nos elementos vasculares (SILVA *et al.*, 2005).

As funções dos CS e dos tricomas, quanto aos benefícios morfológicos e fisiológicos que podem agregar aos vegetais, vem sendo generalizadas por diversos autores, não havendo, por exemplo, discernimento claro e objetivo de quem, efetivamente, é responsável pelo aumento da eficiência fotossintética, resistência a pragas e doenças e maior tolerância a falta de água, com relação as duas estratégias de acúmulo de Si. Ressalta-se, contudo, a necessidade da ampliação de pesquisas que venham elucidar qual a função específica ou qual a participação exata dos CS e dos diferentes tipos de tricomas nas modificações quantitativas e qualitativas das plantas, ocorridas pela maior presença do Si disponível no solo. Ademais, também será importante verificar se estas mudanças estruturais constatadas no presente trabalho, acarretarão modificações no crescimento primário das plantas, no desenvolvimento e, consequentemente, na produtividade agrícola.

As alterações estruturais e químicas, de natureza quantitativa, verificadas nas lâminas foliares de *U. brizantha* cv. Xaraés, proporcionadas pela aplicação da escória de siderurgia, permitem sugerir mais estudos no sentido de verificar se as mesmas causariam alguma modificação quanto ao aumento na produção de massa seca, no valor nutritivo da forragem e da sua palatabilidade aos animais

ruminantes, necessitando de, no mínimo, determinar-se as características bromatológicas da espécie, com e sem a aplicação de escória. KORNDÖRFER *et al.* (2010) em condições de cerrado observaram que o silicato de cálcio foi eficiente para elevar as concentrações de Si, nas plantas de *U. brizantha* e *Megathyrsus maximus*, mas não alterou a produção de massa seca das espécies. Em contrapartida, Lima *et al.* (2004), constataram que a aplicação de 700 kg ha⁻¹ de escória de alto forno em pastagens de *U. brizantha* proporcionou a elevação na produção de massa seca da parte aérea.

5 CONCLUSÕES

O aumento do número de corpos silicosos (CS) e dos teores de Si nos tricomas aculeiforme (TA) das lâminas foliares de *Urochloa brizantha* cv Xaraés correspondem as respostas morfofisiológicas da planta diante a maior disponibilidade do Si no solo, após a aplicação da escória de alto forno.

A deposição de Si sob a forma de CS é limitada, havendo os TA como segunda estratégia ou estratégia alternativa suplementar para que a planta continue absorvendo e acumulando o excedente de Si disponível no solo.

Não são todos os tipos de tricomas que apresentam a funcionalidade de armazenamento de Si, notadamente como é o caso dos tricomas filiformes (TF) em *Urochloa brizantha* cv Xaraés com baixo acúmulo de Si.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, pela realização das eletromicrografias e das microanálises por EDS.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G. de; CASTRO, E. M. de. Características anatômicas de mudas de morangueiro micro propagadas com diferentes fontes de silício. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.44, n.2, p.128-132, 2009.
- CRUCIOL, C. A. C. Silício para as gramíneas forrageiras. *Revista Campo e Negócios*, Uberlândia, v. 4, n. 1, p. 14-15, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- FARIA, L. de A.; LUZ, P. H. de C.; RODRIGUES, R. C.; HERLING, V. R.; MACEDO, F. B. Efeito residual da silicatagem no solo e na produtividade do capim-marandu sob pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1209-1216, 2008.
- HABERLANDT, G. *Physiological plant anatomy. Today e tomorrow's* Delhi. p. 529-613, 1925.
- IMAZON. Mapa da Amazônia Legal. 2011. Disponível em: <http://www.imazon.org.br/mapas/amazonia-legal/image_view_fullscreen>. Acesso em: 24 jun. 2014.
- JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York: MacGraw-Hill Book Co., 1940. 523p.
- KORNDÖRFER, P. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 119-125, 2010.
- LIMA, E. do V.; OLIVEIRA, M.F. de; LIMA, P. da S.L. Persistência da palhada e liberação de nutrientes de Brachiaria brizantha, sem e com escória de siderurgia no sudeste do Pará. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 1-18, 2024.
- METCALFE, C. R. 1960. *Anatomy of monocotyledons. Gramineae*. Clarendon Press, Oxford, v.1.
- METCALFE, C. R. Secretary mineral substances - silica. In: METCALFE, C. R.; CHALK, L. *Anatomy of the dicotyledons*. 2. ed. Oxford: Claredon, v. 2. p. 82-94, 1983.
- MOLLER, J. D.; RASMUSSEN, F. L. S. Stegmata in Orchidales: character state distribution and polarity. *Botanical Journal the Linnean Society*, v. 89, p. 53-76, 1984.
- PEREIRA, H. S.; GAMA, A. J. M; CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H. Reatividade de escórias silicatadas da indústria siderúrgica. *Ciência Agropecuária*, Lavras, v. 34, n. 2, p. 382-390, 2010.
- POTIGUARA, R. C. de V.; SILVA, R. J. F.; KIKUCHI, T. Y. S.; LUCAS, F. C. A.; MACEDO, E. G. Estruturas vegetais em microscopia eletrônica de varredura. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade do Estado do Pará, 116 p, 2013.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1997, 285p. (Boletim Técnico, 100).

SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C. da; TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, 2011.

SILVA, L. M.; ALQUINI, Y. Anatomia comparativa de folhas e caules de *Axonopus scoparius* (Flugge) Kuhlm. e *Axonopus fissifolius* (Raddi) Kuhlm. (Poaceae). Revista Brasileira de Botânica, v. 26, n. 2, p. 185-192, 2003.

SILVA, L. P. da; SILVA, L. S. da; BOHNEN, H. Componentes da parede celular e digestibilidade in vitro de palha de arroz (*Oryza sativa*) com diferentes teores de silício. Ciência Rural, v.35, p.1205-1208, 2005.

SILVA, R. J. F.; POTIGUARA, C. de V. Substâncias ergásticas foliares de espécies amazônicas de *Oenocarpus* Mart. (Arecaceae): caracterização histoquímica e ultra-estrutural. Acta Amazonica. v. 39, n. 4, p. 793-798, 2009.

SOBRAL, M. F.; NASCIMENTO, C. W. A. do; CUNHA, K. P. V. da; FERREIRA, H. A.; SILVA, A. J.; SILVA, F. B. V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.8, p.867–872, 2011.

SOUZA, R. T. X. de; KORNDÖRFER, G. H.; WANGEN, D. R. B.; Aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 3, p. 669-676, 2010.

STOCCHI, F. C.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F. dos; LIMA, J. S. de S.; SANTOS, D. A.; MACHADO, R. V. Uso de escórias de siderurgia na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas do gênero *Brachiaria* em um latossolo vermelho-amarelo. Biosci. J., Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 240-248, 2010.

TOMLINSON, P. B. Anatomy of the monocotyledons-II: Palmae. Oxford University Press, New York. 462 p, 1961.