



DANILO LIMA GOULART

**EFEITO RESIDUAL DE ESCÓRIA COMO CORRETIVO DE
ACIDEZ EM SOLOS: AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE
MASSA SECA E DE NUTRIENTES EM BRAQUIÁRIA**

**LAVRAS – MG
2021**

DANILO LIMA GOULART

**EFEITO RESIDUAL DE ESCÓRIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ EM SOLOS:
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MASSA SECA E DE NUTRIENTES EM
BRAQUIÁRIA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. DSc. Guilherme Lopes
Orientador

LAVRAS – MG
2021

DANILO LIMA GOULART

**EFEITO RESIDUAL DE ESCÓRIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ EM SOLOS:
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MASSA SECA E DENUTRIENTES EM
BRAQUIÁRIA**

**RESIDUAL EFFECT OF SLAG AS SOIL ACIDITY AMENDMENT: EVALUATION
OF DRY MASS PRODUCTION AND NUTRIENTS IN BRACHIARIA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. DSc. Guilherme Lopes
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me prover saúde, discernimento e perseverança durante toda a graduação;

Aos meus pais, Stella e Edson, por ensinamentos, apoio, amizade e incentivo;

Às minhas avós, Gelse e Ignez, por todo serem pessoas que admiro, me inspiro e amo demais;

Aos meus irmãos, Diogo e Pietro, pelo companheirismo, carinho e suporte em todos os momentos;

À minha namorada, Milena, pela união, paciência, força e amor que sempre proporcionou em ocasiões difíceis;

Aos amigos que fiz em Lavras, especialmente aos membros da República Pipinela, por fazer com que a graduação se tornasse mais divertida e proveitosa;

Aos amigos do curso de agronomia Camila, Jamile e Vinícius pela amizade, companhia e por tornar as aulas mais leves;

Aos colegas do Departamento de Ciências do Solo (DCS), em especial Ruby e Márcio, pelo conhecimento e auxílio durante todos os anos de iniciação científica;

Ao professor Guilherme Lopes pela admissão como estudante de iniciação científica e pela orientação;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade de estudar o curso que eu sonhava e pelas diversas oportunidades durante este período;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica.

RESUMO

As forrageiras são plantas importantes no setor agropecuário, destacando-se as do gênero *Brachiaria* que são as mais utilizadas na alimentação de ruminantes em países tropicais. A espécie *B. ruziziensis*, apesar de menor produtividade, apresenta maiores valores nutricionais. A elevada acidez e baixa fertilidade natural em solos brasileiros implicam em desafios para o aumento na produtividade agrícola. Deste modo, a utilização de calcário tem sido de grande importância para melhorar a qualidade dos solos em busca do aumento de pH e maior disponibilidade de nutrientes. Além de calcário, o uso de escória tem surgido como uma alternativa sustentável para a prática da calagem e como fonte de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), pelo fato de apresentar, em alguns casos, silicatos e óxidos de Ca e Mg. Porém, estudos envolvendo a utilização desses produtos devem ser realizados a fim de avaliar sua eficiência na correção do pH e disponibilização de nutrientes, comparativamente a fontes convencionais (e.g., calcário). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da utilização de escória como corretivo de acidez, comparando-a a um calcário comercial. O experimento foi realizado com a utilização de dois solos (textura média e argilosa), os quais receberam duas doses dos corretivos (escória e calcário) a fim de se atingir valores de saturação por bases de 50 e 100%. Esses solos tratados com os corretivos foram cultivados previamente com arroz e soja. Na sequência e visando avaliar o efeito residual das aplicações dos corretivos (foco desse trabalho), foi realizada a semeadura de 18 sementes de braquiária por vaso e, em seguida, o desbaste para a manutenção de três plantas por vaso. O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados, constando de dois produtos x duas doses e uma testemunha para cada solo, totalizando 80 vasos (considerando que houve o cultivo prévio de duas culturas - arroz e soja - e que o experimento foi montado com quatro repetições para cada tratamento). Houve uma adubação com N, P, K, S, B, Cu, Mo, e Zn nas doses 300; 200; 150; 50; 0,5; 1,5; 0,1; e 5 mg dm⁻³, respectivamente. Ao final do experimento, foi colhida a parte aérea das plantas para análises nutricionais. Valores semelhantes de produção de massa seca da braquiária foram verificados quando se aplicou a escória, comparativamente ao calcário comercial. Isso indica que foi possível concluir que o efeito residual de ambos os corretivos (calcário e escória) se mostrou eficaz para propiciar um ambiente favorável para o crescimento da gramínea, além disso apresentaram capacidade de aumentar a disponibilidade de nutrientes, controle da acidez do solo e redução da saturação por Al. Segundo as características físico-químicas avaliadas pode-se afirmar que a escória possui potencial agrônomico. Contudo, ressalta-se a necessidade de se conduzir pesquisas futuras visando avaliar de forma mais detalhada o uso da escória como corretivo de acidez e como fonte de nutrientes, bem como de outros elementos que possam estar presentes na escória.

Palavras-chave: efeito residual; subproduto; escória; acidez do solo; forrageira.

ABSTRACT

Forages are important plants in the agricultural sector, especially those of the genus *Brachiaria*, which are the most used in ruminant feeding in tropical countries. The species *B. ruziziensis*, despite its lower productivity, has higher nutritional values. The high acidity and low natural fertility in Brazilian soils pose challenges for increasing agricultural productivity. Thus, the use of limestone has been of great importance to improve the quality of soils in order to rise the pH and the availability of nutrients. In addition to limestone, the use of slag has emerged as a sustainable alternative for amending soil acidity and as a source of calcium (Ca) and magnesium (Mg), as it presents, in some cases, chemical compounds containing Ca and Mg in the forms of silicates and oxides. However, studies involving the use of these by-products must be carried out in order to assess their efficiency in correcting the pH and availability of nutrients, compared to conventional sources (e.g., limestone). The objective of this work was to evaluate the residual effect of using slag as an acidity amendment/corrective, comparing it to a commercial limestone. The experiment was carried out using two soils (medium texture and clayey soils), which received two doses of the products in order to reach base saturation values of 50 and 100%. These soils treated with correctives were previously cultivated with rice and soybeans in a study carried by Silva (2021). As a result, and aiming to evaluate the residual effect of such applications (focus of this work), 18 brachiaria seeds per pot were sown and then thinned to maintain three plants per pot. The experimental design was completely randomized blocks, consisting of two products/correctives x two doses, and a control for each soil, totaling 80 pots (considering that there was a previous cultivation of two cultures - rice and soybean - and that the experiment was set up with four replicates for each treatment). There were fertilizations with N, P, K, S, B, Cu, Mo, and Zn at doses 300; 200; 150; 50; 0.5; 1.5; 0.1; and 5 mg dm⁻³, respectively. At the end of the experiment, plant shoots were collected for nutritional analysis. Similar values of dry mass production of brachiaria were verified when the slag was applied, compared to commercial limestone. This indicates that the was residual effect of both correctives (limestone and slag), i.e., they were effective in providing a favorable environment for grass growth, in addition to being able to increase nutrient availability, control soil acidity, and reduce saturation by Al. According to the physicochemical characteristics evaluated, it can be mentioned that the studied slag has agronomic potential. However, future studies should be conducted to assess in more details the use of slag as a soil acidity amendment and as a source of nutrients, as well as other elements that may be present in the slag.

Keywords: residual effect; by-product; slag; soil acidity; forage.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Efeitos do pH do solo e manejo da acidez	9
2.2 Metalurgia, siderurgia e seus subprodutos	13
3. OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo Geral	15
3.2 Objetivos Específicos.....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 Caracterização dos produtos utilizados	15
4.2 Experimento em casa de vegetação.....	17
4.3 Amostragem e preparo de amostras.....	20
4.4 Análises químicas dos materiais.....	21
4.5 Análises estatísticas	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 Efeitos no crescimento da braquiária.....	22
5.2 Efeitos na absorção de nutrientes	23
6. CONCLUSÃO	28
7. REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

A exigência por tecnologias avançadas para suprir a demanda por alimentos está crescendo no mundo todo, de forma a proporcionar alimentação de qualidade para todas as pessoas, visto que aproximadamente 800 milhões de pessoas não tem acesso a alimentação de qualidade (FAO, 2015). Simultaneamente, há um aumento na geração de resíduos, os quais podem, em alguns casos, apresentar potencial de uso agrícola. No manejo agrícola, a utilização de subprodutos de indústrias metalúrgicas e siderúrgicas como corretivos de acidez do solo se apresenta com uma opção de reaproveitamento destes resíduos.

A *Brachiaria ruziziensis* apresenta como característica crescimento intermediário e com altura média, atingindo aproximadamente 45cm. É uma espécie que apresenta uma exigência de fertilidade de média para alta; com baixa tolerância a acidez do solo. Além disso, apresenta valores nutritivos maiores em comparação a outras variedades do mesmo gênero e utilizada para a alimentação animal (EMBRAPA, 2021).

De acordo com o Instituto Aço Brasil (IABr) (2021), a produção de aço no Brasil apresenta-se entre as dez maiores do mundo, em 2020 a produção brasileira superou 31 milhões de toneladas. Na produção de uma tonelada de aço, 607 kg de resíduos são gerados, sendo que, aproximadamente 407 kg é de escória. Assim sendo, a produção de escória em 2020 alcançou 12,6 milhões de toneladas, com possibilidade de afetar o meio ambiente e custos para o armazenamento, caso não seja destinada a outra atividade.

Solos tropicais sofrem com alto intemperismo e, conseqüentemente, são caracterizados pela baixa disponibilidade de nutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), além de apresentarem elevadas concentrações de H + Al, provocando redução no pH do solo. Estas características ocorrem devido ao fato de que são afetados por elevadas temperaturas e pluviosidade. Portanto, para melhor desenvolvimento e maior produtividade, é utilizada a prática de correção de acidez, visando melhorar a qualidade do solo (LOPES & GUILHERME, 2016).

Pesquisas recentes revelaram que a utilização de escória em substituição ao calcário, como fonte de nutrientes como Ca e Mg, reduz a concentração de alumínio (Al) pelo efeito do aumento da saturação por bases (V%) e do pH do solo (FAGERIA & NASCENTE, 2014).

Esse produto é uma opção com potencial para reduzir a acidez, fornecer nutrientes e destinar um resíduo corretamente, assim como menor exigência de recursos financeiros.

As escórias, além de fornecerem macro e micronutrientes para as plantas e possuírem características corretivas do pH dos solos, apresentam concentrações de outros elementos, que podem ser tóxicos ou benéficos. Em vista disso, pesquisas devem ser realizadas para avaliar a eficiência agrônômica desses subprodutos e para determinar doses ideais para a aplicação de escória sem prejudicar o desenvolvimento das plantas.

Em grande parte dessas pesquisas, tem-se evidenciado o poder das escórias de aumentar os teores de Ca e Mg no solo, assim como de neutralizar a acidez do solo (PRADO; FERNANDES, 2000; ASSIS et al., 2007; REZENDE et al., 2007). Esse efeito ocorre pela reação de ânions SiO_3^{2-} com a água, promovida por silicatos, e em consequência há a liberação de hidróxidos (OH^-) para a solução do solo (KORNDÖRFER et al., 2007). De acordo com Alcarde (2005), a reação da escória varia de acordo com a dose aplicada, o tempo de contato com o solo e o tamanho das partículas.

Segundo Xiao et al. (2008), as escórias possuem grande quantidade de nutrientes úteis para melhorar a qualidade vegetal e a fertilidade do solo, como Ca, Mg e Si. Também são encontrados enxofre (S), fósforo (P), potássio (K), ferro (Fe) e manganês (Mn), ainda que em menores concentrações. Entretanto, na escória podem ser encontrados metais pesados potencialmente contaminantes (DEFELIPO et al, 1992). Assim, apesar de haver redução na solubilidade de metais pesados presentes na escória após um determinado tempo da sua aplicação (AMARAL SOBRINHO et al. 1997), a presença e quantidade potencial de metais pesados que podem ser adicionados aos solos pela aplicação de escória deve ser também alvo de investigação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Efeitos do pH do solo e manejo da acidez

No processo de formação do solo, o material de origem possui grande importância para determinar as características físicas e químicas. Uma dessas características é o pH do solo, fator determinante para a produtividade agrícola. Em condições de pH ácidos, o

desenvolvimento vegetal é drasticamente limitado. Solos ácidos ocorrem em aproximadamente 30% da área total de terras não cobertas por gelo no mundo (SUMMER; NOBLE, 2003).

A acidez dos solos pode ser oriunda de um material de origem pobre em cátions básicos, porém outros fatores podem influenciar na redução do pH do solo como, chuvas ácidas, intemperismo, aplicação de fertilizantes, a reação de nitrificação (conversão de amônio a nitrato) e até o processo de colheita (SUMMER; NOBLE, 2003; FAGERIA; NASCENTE, 2014; GOULDING, 2016).

No caso de chuva ácida, há um acúmulo de gases na atmosfera, por consequência da queima de combustíveis fósseis (ALEWELL, 2003). O intemperismo é um dos principais fatores naturais, visto que promove a remoção de cátions básicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} que são substituídos por cátions ácidos, como Al^{3+} e H^{+} (FAGERIA; BALIGAR, 2008).

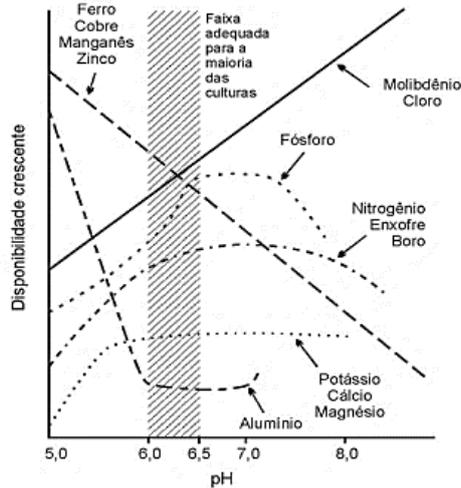
Além disso, a acidez pode ocorrer de forma mais rápida como resultado de ações antropogênicas e por processos do manejo agrícola intenso (SUMMER; NOBLE, 2003; FAGERIA; NASCENTE, 2014), a exemplo da aplicação de fertilizantes nitrogenados, decomposição de matéria orgânica, nitrificação, dentre outras.

A acidez em solos pode ser representada pela acidez ativa (concentração de H^{+} na solução do solo); acidez trocável (concentração de Al^{3+} e H^{+} adsorvida por cargas negativas); acidez não trocável (hidrogênio ligado a colóides orgânicos e inorgânicos por ligação covalente); e acidez potencial (somatório de Al^{3+} e H^{+}) (LOPES, 1998).

O desenvolvimento e a produtividade das plantas são afetados diretamente pela acidez do solo, visto que influencia em reações bioquímicas da concentração, disponibilidade e forma iônica dos nutrientes, deste modo a absorção pelas plantas também é afetada, assim como altera a solubilidade de elementos com possível fitotoxicidade (FAGERIA; BALIGAR; JONES, 1997; PAGANI; MALLARINO, 2012; GOULDING, 2016).

Conforme a Figura 1, é possível afirmar que a faixa de pH entre 6,0 e 6,5 é a ideal para a maioria das plantas cultivadas, uma vez que nesta faixa há maior disponibilidade de todos os nutrientes no solo (LOPES, 1998).

Figura 1: Relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes e Al no solo



Fonte: Lopes (1998)

O Al é o principal elemento capaz de causar toxicidade para as plantas em pH menor de 5,5, isso ocorre devido ao fato de que a redução no pH do solo aumenta a solubilidade de Al, sendo que em pH abaixo de 4,5 o Al^{3+} é a forma trocável e ao elevar o pH formam-se hidróxidos de alumínio (FAGERIA; BALIGAR, 2008). Nos solos, o Al comumente associa-se às estruturas cristalinas de minerais como o feldspato e a mica; também pode associar-se a compostos orgânicos e em água por seu estado solúvel (LIU, 2015).

A toxidez por Al é caracterizada pela inibição do desenvolvimento radicular, implicando em perdas de produtividade e qualidade das plantas (FOY, 1974; RASHEED, 2020). Silva (2012) evidenciou outros indicativos de toxidez por Al, como a redução de biomassa e, possivelmente, alteração no processo de fotossíntese. A alta concentração de alumínio nos solos inibe a atividade enzimática, altera o equilíbrio hormonal, interfere na absorção, transporte e uso dos nutrientes (ZHAO, 2020).

Com o objetivo de atingir uma alta produtividade agrícola e de qualidade é importante aplicar práticas de manejo da fertilidade do solo para correção da acidez. Entre as práticas de correção do pH dos solos, se destaca a calagem, que se baseia na aplicação de calcário como corretivo de acidez para elevar o pH e a saturação por bases (V%), diminuir a concentração de Al e aumentar as concentrações de Ca e Mg (FAGERIA; NASCENTE, 2014; GURMESSA,

2020). Essa prática deve ser a primeira no preparo do solo, a fim de proporcionar condições favoráveis para o desenvolvimento das culturas, influenciando diretamente na eficiência das adubações (STANOJKOVIC-SEBIC, 2017).

Na prática da calagem são comumente utilizados produtos como calcário, cal virgem e cal hidratada (GOULDING, 2016), entretanto, em todo o mundo o mais utilizado é o calcário (CASTRO, 2016; DAS, 2020). Além de corrigir a acidez, o calcário também fornece Ca e Mg, nutrientes essenciais de plantas e que sofrem com a lixiviação em solos pelo intemperismo. Para a realização da calagem, deve ser calculada a necessidade de calagem (NC), para a qual existem alguns métodos (RIBEIRO et al., 1999).

Um dos métodos mais usados no Brasil é o conhecido como método da elevação da saturação por bases. Esse método visa elevar a saturação por bases para valores ideais e leva em consideração a saturação por bases atual do solo, bem como a CTC do solo, a qual é por sua vez dependente de Ca, Mg, K, H+Al e/ou das cargas negativas do solo. Além disso, o método considera a correção de uma camada de solo e 0 a 20 cm de espessura (STANOJKOVICSEBIC, 2017; GURMESSA, 2020).

Um produto para ser eficiente como corretivo de acidez do solo varia conforme suas características físicas e químicas, dentre esta última, o poder de neutralização (PN) é resultante da quantidade de ácido que este pode neutralizar, sendo determinado pela comparação do PN do carbonato de cálcio puro (CaCO_3) 100%. Para o cálculo do PN é utilizado a equação 1. A reatividade (RE) representa a característica física, representando o tamanho das partículas do produto, uma vez que isso influencia diretamente na velocidade de reação no solo. Partículas menores possuem reação mais rápida, portanto, partículas mais grosseiras reagem de forma mais lenta e incompleta. Para o cálculo da RE é utilizada a equação 2. Por fim, uma característica muito conhecida e usada para corrigir a NC em quantidade a ser aplicada no campo é o poder relativo de neutralização total (PRNT), utilizado para caracterizar o poder neutralizante efetivo dos produtos. Esse parâmetro leva em consideração o PN e a RE, de forma que a sua reatividade será maior conforme o valor de PRNT for mais elevado e, quanto menor for o PRNT a dose aplicada de corretivo será maior, sendo calculado pela equação 3 (RAIJ, 1997; LOPES, 1998; MAPA, 2006b).

$$PN = E_{CaCO_3} = (\%CaO * 1,79) + (\%MgO * 2,48) \quad (1)$$

$$ER (\%) = (A * 0,2) + (B * 0,6) + (C * 1,0) \quad (2)$$

Sendo que:

A = percentual de partículas de 0,84 a 2 mm;

B = percentual de partículas de 0,3 a 0,84 mm;

C = percentual de partículas <0,3 mm.

$$PRNT (\%) = \frac{(PN+RE)}{100} \quad (3)$$

Os corretivos de acidez de solos devem seguir a legislação brasileira (MAPA, 2006a, 2006b), para isso necessita ser um produto de natureza física sólida, em pó, com partículas que não sejam retidas na peneira de 2mm, passem 70% na peneira de 0,84mm e 50% na peneira de 0,3mm. Ademais, devem possuir um PN maior que 67; PRNT maior que 45; teores de Cd e Pb menores que 20 e 1000 mg kg⁻¹, respectivamente; e soma das porcentagens de óxidos de Ca e Mg maior que 38.

2.2 Metalurgia, siderurgia e seus subprodutos

As escórias podem ser originadas de siderurgias e metalurgias, conhecidas como escórias de alto-forno e escórias metalúrgicas, respectivamente. São resultantes do processo de fabricação de aço, que é realizada em alto-forno, podendo ser magnetita (Fe₃O₄), hematita (Fe₂O₃), siderita (FeCO₃) ou limonita (2Fe₂O₃·3H₂O), o carvão mineral ou vegetal e calcário. Para se realizar a separação de impurezas indesejadas no aço (escórias) são adicionados carvão e calcário, que trabalhando em altas temperaturas e pressão reduzem o minério de ferro.

A reciclagem de subprodutos oriundos das indústrias metalúrgicas e siderúrgicas pode garantir a sustentabilidade das mesmas. Porém, as escórias possuem fatores limitantes devido às suas características, visto que há a possibilidade de possuírem teores elevados de metais pesados, como cromo (Cr), molibdênio (Mo), níquel (Ni) sendo necessária uma avaliação prévia a fim de evitar impactos ambientais (SHEN & FORSSBERG, 2003). Apesar deste

problema podem ser utilizadas em aplicações na construção civil, material para sequestro de carbono, de estabilização mecânica dos solos, restauração de recifes de corais e na agricultura.

Por possuírem características fertilizantes e corretivas de acidez do solo, um dos destinos deste subproduto é no manejo e preparo do solo, visando melhorar as condições para a cultura a ser implantada. A correção do solo ocorre devido à presença de óxidos, hidróxidos e silicatos (Ca e Mg); promovendo aumento na disponibilidade destes nutrientes e do pH do solo. Em consequência disso, há também menor presença de moléculas de alumínio, que por possuir grande afinidade com H^+ , provoca acidez, ou seja, uma menor concentração de alumínio faz com que o solo fique mais apropriado para o desenvolvimento das plantas.

Além de características corretivas do pH dos solos, as escórias fornecem macro e micronutrientes para as plantas, há também a presença de outros elementos, que podem ser benéficos ou tóxicos. Por este motivo pesquisas foram realizadas a fim de que fossem determinadas doses ideais para aplicação sem que houvesse prejuízo no desenvolvimento das plantas (NOBILE, 2009; NOGUEIRA et al. 2012).

Em grande parte destas pesquisas, tem-se evidenciado o poder das escórias de aumentar teores de Ca e Mg no solo, assim como o de neutralizá-lo. (PRADO; FERNANDES, 2000; ASSIS et al., 2007; REZENDE et al., 2007). Este efeito ocorre pela reação de ânions SiO_3^{2-} com a água, promovida por silicatos, e em consequência há a liberação de hidróxidos (OH^-) para a solução do solo (KORNDÖRFER et al., 2007). De acordo com Alcarde (2005) a reação da escória varia de acordo com a dose aplicada, o tempo de contato com o solo e o tamanho das partículas.

A escória possui abundância de elementos nutricionais que são úteis para o aumento da fertilidade do solo e da qualidade da cultura, principalmente Ca, Mg e Si (XIAO et al. 2008). Apesar de em concentrações menores, também são encontrados enxofre (S), fósforo (P), potássio (K), Ferro (Fe) e Manganês (Mn). Entretanto, a presença de metais pesados na escória de siderurgia e seu potencial de contaminação vem sendo alertada por alguns autores (DEFELIPO et al. 1992). De acordo com alguns autores a solubilidade de metais pesados presentes na escória é reduzida com o decorrer do tempo de aplicação (AMARAL SOBRINHO et al. 1997).

Em contrapartida, Piau (1991 e 1995) constatou que três tipos de escória (auto-forno, aciaria e a pré-cal) em diversas granulometrias não restringiram ao uso agrícola, não causando

toxidez às plantas. Devido à presença de nutrientes, a escória pode aumentar a produção de culturas, o Si pode estar associado à diversos fatores, assim como menor toxidez de Al, Mn e Fe, aumento na disponibilidade de P, maior ereção de folhas e caule, resistência ao frio, e economia de água da planta (BRANCA; COLLA, 2012). Com isso, é esperado que seja utilizada como fertilizante, podendo ser um destino benéfico deste subproduto, com potencial para ser utilizado com viés agrônômico.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

- Avaliar o efeito residual da aplicação da escória e calcário no crescimento e teores de nutrientes na matéria seca da braquiária, a qual foi cultivada em solos previamente cultivados com as culturas de arroz e soja.

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar os teores de nutrientes acumulados na matéria seca da braquiária cultivada após a soja e o arroz;
- Avaliar o efeito no desenvolvimento vegetal promovido pela escória, em comparação com a aplicação de um calcário comercial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização dos produtos utilizados

Para a realização do experimento, Silva (2021) utilizou um calcário comercial e uma escória, produtos que foram enviados para o Departamento de Ciência do Solo, Escola de Ciências Agrárias (ESAL) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A fim de se caracterizar a escória, primeiramente foi realizada a moagem das amostras, uma vez que estas

se apresentavam com granulometria grosseira e acima do permitido para corretivos de acidez do solo (MAPA, 2006b).

Com o objetivo de verificar se as amostras eram adequadas aos limites exigidos pela legislação vigente de corretivos de acidez dos solos no Brasil (MAPA, 2006a, 2006b) foram realizadas análises sobre as características físicas e químicas da escória (USEPA 3050B, 1996; USEPA 3060A, 1996; BRASIL, 2017). Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para cada parâmetro das amostras de escória e do calcário utilizado.

As análises físicas e químicas dos produtos podem ser encontradas com mais detalhes no estudo de Silva (2021), que objetivou determinar características como a umidade; a presença de óxidos de Ca e Mg; o poder de neutralização (PN); porcentagem de metais pesados; granulometria e PRNT dos corretivos.

Os dados de características físico-químicas obtidos da escória se encontraram dentro dos limites exigidos pelas legislações de corretivos de acidez do solo do Brasil (MAPA, 2006a, 2006b). No caso da granulometria, a amostra testada sofreu moagem prévia a fim de reduzir a granulometria para se adequar aos valores mínimos exigidos. O calcário utilizado não foi analisado por se tratar de um produto comercial, com características dentro do limite exigido (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros físicos e químicos da escória e do calcário.

Especificação	Escória	Calcário
Umidade (%)	1,03	<1,00
Óxido de Magnésio (%)	38,92	55,51
Óxido de Cálcio (%)	29,14	32,93
Soma das Bases (CaO + MgO) (%)	9,78	22,58
PRNT (%CaCO _{3eq})	58,6	77,4
PN (%CaCO _{3eq})	70,83	109,84
Cádmio total (mg kg ⁻¹)	<0,20	-
Chumbo total (mg kg ⁻¹)	<0,20	-
Passante na peneira de 2mm (%)	100	98,43
Passante na peneira de 0,84mm (%)	99,54	78,87
Passante na peneira de 0,3mm (%)	57,29	48,09

Fonte: Silva (2021)

4.2 Experimento em casa de vegetação

O experimento foi realizado em vasos com volume de 5 dm³ em condições de casa de vegetação, localizada no Departamento de Ciência do Solo, Escola de Ciências Agrárias (ESAL) da Universidade Federal de Lavras, em Lavras – Mg. Os solos utilizados foram coletados por Silva (2021) na cidade de Paracatu – MG, sendo um de textura média e outro de textura argilosa na profundidade de 0-20 cm, para maiores especificações, consultar o trabalho de Silva (2021).

Baseado nas características físico-químicas dos produtos e das análises dos solos utilizados, Silva (2021) calculou a necessidade de calagem (NC), destacando o PRNT de cada corretivo. O cálculo foi feito conforme o método da saturação por bases (RAIJ, 1997) para elevar a saturação por bases para 50 e 100%, apresentados na Tabela 2.

No experimento de Silva (2021), foi proposto a saturação por bases a 50 e 100% para se avaliar os parâmetros em condições de aplicações com dosagem elevada, por exemplo em áreas de abertura. Em seguida, houve a aplicação dos produtos, todos os vasos, incluindo a testemunha (sem a aplicação de escória ou calcário), os vasos foram cultivados por dois tipos de culturas, sendo uma da família Poaceae (arroz) e outra da família Fabaceae (soja), após o cultivo, foram retirados grãos, folhas, caule e raízes dos vasos.

Tabela 2: Quantidades da escória e do calcário em t ha⁻¹

	Necessidade de calagem (t ha ⁻¹)*			
	Escória		Calcário	
	Saturação por bases deseja (V%)			
	50,00	100,00	50,00	100,00
Textura Média	2,27	5,94	1,72	4,50
Argiloso	5,21	10,64	3,94	8,05

*Necessidade de calagem calculada em função da CTC de cada solo, da saturação por bases de cada.

Fonte: SILVA (2021)

Posteriormente, Silva (2021) realizou análises sobre o efeito das aplicações dos produtos nos atributos dos dois solos, após o cultivo de arroz (Tabelas 3 e 4) e de soja (Tabelas 5 e 6):

Tabela 3: Efeitos da aplicação de duas doses da escória e do calcário, como corretivos de acidez do solo, nos atributos químicos dos dois solos após o plantio do arroz

Tratamento	pH		Ca	Mg	Al	Acidez Potencial	CTC	V	m
	em água	CaCl ₂							
Arroz									
Solo de Textura Média									
Controle	4,9d	4,5d	1,30d	0,20d	0,13a	2,31a	3,90a	40,8d	7,5a
C 50	5,5c	5,1c	1,64c	0,50b	0,05b	1,45b	3,68a	60,8c	0,0b
E 50	5,6c	5,3c	2,01b	0,49b	0,05b	1,32ab	3,90a	66,5bc	0,0b
C 100	6,2b	5,7b	1,82bc	0,91a	0,05b	0,93c	3,75a	75,8b	0,0b
E 100	6,6a	6,2a	2,73a	0,87a	0,05b	0,42d	4,15a	89,8a	0,0b
CV (%)	2,92	2,86	8,16	15,70	6,54	17,27	8,34	6,38	29,81
Solo Argiloso									
Controle	4,8d	4,2d	0,35d	0,05c	0,31a	6,13a	6,73a	8,8e	33,5a
C 50	5,5c	5,0c	1,65c	0,86c	0,05b	4,06b	6,73a	39,5d	0,0b
E 50	5,8bc	5,2c	2,72b	0,73c	0,05b	3,51b	7,10a	50,8c	0,0b
C 100	6,0b	5,6b	2,48b	1,72a	0,05b	2,45c	6,83a	63,8b	0,0b
E 100	6,4a	6,0a	3,99a	1,19b	0,05b	1,63d	7,03a	76,5a	0,0b
CV (%)	2,97	2,14	13,28	10,45	14,69	9,15	4,61	8,77	15,89

*T: Testemunha. C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).
Fonte: SILVA (2021)

Tabela 4: Teores de P, K, S, B, Zn, Fe, Mn, Cu e MOS nos solos após o plantio do arroz

Tratamento	MOS	P	K	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	dag kg ⁻¹								
Arroz									
Solo de Textura Média									
Controle	0,96a	73,64a	31,49a	25,30a	0,05d	6,89a	59,60a	28,38b	0,75a
C 50	1,22a	63,67a	28,75a	21,79a	0,26c	6,64a	49,13b	27,32b	0,69a
E 50	1,43a	70,60a	29,52a	16,04a	0,60b	7,00a	60,44a	30,83b	0,85a
C 100	1,45a	62,33a	37,49a	26,96a	0,24c	7,72a	46,22b	31,41b	0,74a
E 100	0,94a	64,32a	40,99a	23,77a	1,29a	8,03a	58,35a	41,68a	0,84a

Comentado [U1]: precisa estar tudo em negrito? Citar novamente a fonte abaixo da tabela. Fonte: Silva (2021).

Fazer as devidas formatações e ajustes nas demais tabelas abaixo

CV (%)	69,77	22,34	23,94	25,18	17,36	15,65	5,97	10,83	14,41
Solo Argiloso									
Controle	3,19a	11,38a	63,62a	19,91a	0,16c	1,65a	52,60a	10,80c	0,56a
C 50	4,28a	16,99a	63,98a	21,49a	0,20c	2,81a	48,04a	15,45bc	0,66a
E 50	3,10a	24,62a	67,81a	21,69a	1,17b	2,51a	23,30a	15,75bc	0,77a
C 100	3,23a	20,43a	67,16a	26,39a	0,21c	2,74a	53,76a	17,77ab	0,71a
E 100	3,58a	19,88a	75,62a	22,61a	2,46a	2,42a	62,05a	22,65a	0,73a
CV (%)	7,21	41,25	27,09	16,86	26,11	38,14	22,02	17,83	20,93

*T: Testemunha. C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).
Fonte: SILVA (2021)

Tabela 5: Efeitos da aplicação de duas doses da escória e do calcário, como corretivos de acidez do solo, nos atributos químicos dos dois solos após o plantio da soja

Tratamento	pH		Ca	Mg	Al	Acidez Potencial	CTC	V	m
	água	CaCl ₂							
Soja									
Solo de Textura Média									
Controle	4,7d	4,2d	0,95c	0,17c	0,16a	2,52a	3,73ab	33,0d	11,5a
C 50	5,3c	5,8c	1,36bc	0,54b	0,05b	1,75b	3,75ab	53,5c	0,0b
E 50	5,4c	5,0c	1,61b	0,43b	0,05b	1,53bc	3,63ab	59,3bc	0,0b
C 100	5,9b	5,5b	1,34bc	0,72a	0,05b	1,01cd	3,18b	68,5b	0,0b
E 100	6,4a	6,0a	2,42a	0,81a	0,05b	0,58d	3,90a	85,5a	0,0b
CV (%)	3,36	3,10	12,67	14,86	19,64	20,81	8,79	10,98	46,29
Solo Argiloso									
Controle	4,5c	4,1d	0,24d	0,05d	0,38a	5,76a	6,25b	8,5e	42,5a
C 50	5,4b	4,8c	1,12c	0,75c	0,05b	4,28b	6,33b	32,3d	0,0b
E 50	5,2b	4,8c	2,08b	0,66c	0,05b	3,90b	6,76ab	42,8c	0,0b
C 100	5,9a	5,4b	1,90b	1,64a	0,05b	2,68c	6,35b	57,3b	0,0b
E 100	6,1a	5,7a	3,76a	1,37b	0,05b	2,00d	7,25a	72,3a	0,0b
CV (%)	2,01	2,36	5,92	8,41	12,79	6,06	5,29	3,83	23,33

*T: Testemunha. C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).
Fonte: SILVA (2021)

Tabela 6: Teores de P, K, S, B, Zn, Fe, Mn, Cu e MOS nos solos após o plantio da soja

Tratamento	MOS	P	K	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
------------	-----	---	---	---	---	----	----	----	----

	dag kg ⁻¹	mg kg ⁻¹							
Soja									
Solo de Textura Média									
Controle	1,18a	60,99a	35,73a	18,94a	0,18a	8,58a	52,22a	31,63a	0,93a
C 50	1,77a	41,90a	31,76a	17,48a	0,18a	7,59a	45,26a	28,79a	0,67a
E 50	0,89a	49,85a	33,60a	17,50a	0,39a	7,91a	55,53a	34,43a	0,67a
C 100	1,44a	56,80a	31,15a	20,91a	0,19a	7,42a	40,25a	30,06a	0,57a
E 100	1,18a	41,61a	35,31a	4,39b	1,14a	6,87a	48,06a	35,81a	0,55a
CV (%)	58,88	22,25	16,52	22,05	39,11	17,31	16,44	17,7	25,68
Solo Argiloso									
Controle	3,01ab	17,29a	68,65a	19,12ab	0,19c	3,75a	109,66a	17,56a	1,07a
C 50	3,17ab	14,64ab	69,92a	17,01ab	0,15c	4,37a	46,20b	16,79a	0,80b
E 50	2,92b	14,80ab	54,73a	11,88b	1,23b	3,26a	47,55b	16,84a	0,57c
C 100	3,31ab	12,60b	45,57a	24,48a	0,17c	3,06a	45,16b	16,00a	0,48c
E 100	3,81a	13,26ab	49,24a	7,73b	2,40a	3,03a	42,54b	20,46a	0,41c
CV (%)	11,39	14,73	23,49	34,00	12,56	28,19	23,74	16,59	15,80

*T: Testemunha. C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).
Fonte: SILVA (2021)

Em seguida, após o estudo conduzido por Silva (2021), neste presente estudo, houve a semeadura com 18 sementes por vaso da forrageira *Brachiaria ruziziensis*, de porte médio, com a finalidade de determinar o efeito residual tanto de escória como calcário.

Foi realizada adubação de cultivo, conforme a recomendação de Malavolta (1981), para 300mg dm⁻³ de N; 200 mg dm⁻³ de P; 150 mg dm⁻³ de K; 50 mg dm⁻³ de S; 0,5 mg dm⁻³ de B; 1,5 mg dm⁻³ de Cu; 0,1 mg dm⁻³ de Mo e 5 mg dm⁻³ de Zn; para atingir a recomendação os produtos utilizados foram ureia e MAP.

Após 20 dias de desenvolvimento da braquiária, foram realizados desbastes para se obter um total de três plantas por vaso com o objetivo de homogeneizar as amostras para as análises químicas posteriores. Para a realização do experimento foi utilizado o delineamento de blocos inteiramente casualizados, com 80 vasos, em que os solos foram avaliados individualmente, contidos por 2 solos x 2 produtos x 2 doses x 4 repetições e 16 testemunhas.

4.3 Amostragem e preparo de amostras

Após 55 dias do cultivo da *Brachiaria ruziziensis*, foram coletadas amostras da parte aérea das plantas para determinação da matéria seca e para a diagnose foliar por meio de análise dos teores de nutrientes (RIBEIRO, 1999; FAQUIN, 2002). A escolha da análise da parte aérea da planta foi realizada por se tratar de uma forrageira utilizada para a alimentação animal.

Para a realização das análises, todas as amostras foram identificadas, armazenadas em sacos de papel e pesadas. Posteriormente, foram secas em estufas de circulação forçada de ar e posteriormente foram moídas em moinho tipo Willey.

4.4 Análises químicas dos materiais

O material moído foi pesado para 0,5 g de amostra em balança de precisão e armazenado para a determinação analítica, onde as amostras foram colocadas em frascos de pressão em TMF, em seguida foi realizada a digestão para macro e micronutrientes: fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn); zinco (Zn), utilizando a metodologia de acordo com USEPA 3051A.

Para isso adicionou-se 5 mL de ácido nítrico P.A. (HNO₃) e os frascos foram dispostos em forno micro-ondas. Posteriormente, as amostras passaram por leituras feitas em espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

4.5 Análises estatísticas

A fim de se aferir a ocorrência de distribuição normal, foram aplicados testes de normalidade. Logo, as análises estatísticas foram feitas por um teste de variância (ANOVA) com nível de 0,05 de significância para analisar diferenças entre os tratamentos (FERREIRA, 2011). Quando houve diferenças, os tratamentos foram comparados pelo Teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeitos no crescimento da braquiária

Os resultados obtidos para a produção de matéria seca da parte aérea da braquiária estão apresentados na Tabela 7. De modo geral, as massas secas oriundas de aplicações de calcário e de escória apresentaram valores similares, entretanto nos vasos em que a cultura anterior foi a soja os valores foram ligeiramente maiores em comparação aos vasos cultivados com arroz anteriormente.

Para os vasos previamente cultivados com arroz, não houve diferença significativa entre os tratamentos no solo argiloso, porém, no solo de textura média, a produção de massa seca nos tratamentos Controle e C 50 foi menor que nos outros tratamentos. Por outro lado, quando o cultivo anterior foi a soja, os resultados do tratamento com E 100 se apresentaram superiores aos outros tratamentos em ambos os solos. Todavia, em geral, os tratamentos de controle foram diferentes significativamente entre os dois solos, apresentando maior valor em solo argiloso e o menor valor no solo de textura média.

Tabela 7: Massa seca de parte aérea de braquiária cultivada em vasos anteriormente cultivados com arroz e soja nos dois solos, com a aplicação de duas doses da escória e do calcário, como corretivos de acidez do solo.

Tratamento*	Massa Seca da Parte Aérea (g)	
	Espécie cultivada antes da braquiária	
	Arroz	Soja
	Solo de Textura Média	
Controle	10,44 ± 0,86 b	9,10 ± 0,86 d
C 50	9,47 ± 0,60 b	19,86 ± 0,98 ab
E 50	15,25 ± 0,81 a	16,13 ± 0,18 c
C 100	17,19 ± 0,98 a	17,97 ± 0,60 bc
E 100	16,82 ± 0,18 a	21,87 ± 0,81 a
CV (%)	11,7	9,7
	Solo Argiloso	
Controle	15,05 ± 0,90 a	16,10 ± 0,90 a
C 50	9,68 ± 0,71 a	10,35 ± 0,81 b
E 50	11,90 ± 0,44 a	12,2 ± 1,07 b
C 100	11,09 ± 0,81 a	11,31 ± 0,71 b
E 100	11,47 ± 1,07 a	12,97 ± 0,44 ab
CV (%)	13,5	13,6

*C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Comentado [U2]: não é mais essa numeração? Rever todas...No texto e nas tabelas

Comentado [U3]: ? negrito? Deve ser apenas a palavras Tabela 7:

Comentado [U4]: sempre deixar um espaço entre tabelas e figuras e o texto (em cima e em baixo) - fazer isso em todo o material

Conforme apresentado na tabela anterior, os resultados mostram que o crescimento das plantas de *Brachiaria ruziziensis* foi semelhante com ambos os tratamentos, confirmando outras pesquisas que relataram os efeitos positivos da aplicação de escória no crescimento de outras culturas cultivadas (PAN et al. 2019; SHI et al. 2016).

Com relação aos solos, as forrageiras cultivadas em solos argilosos obtiveram menores valores de massa seca em comparação aos solos de textura média, este fato pode ser explicado ao analisar os teores deste nutriente nos solos após o estudo de Silva (2021) (Tabelas 4 e 6), em que nos solos de textura média os teores estavam mais elevados. O baixo teor de P pode ser justificado pela baixa disponibilidade natural na maioria dos solos brasileiros (MENDES, 2012) e pela ausência da aplicação de calcário e de escória antes do plantio da forrageira.

5.2 Efeitos na absorção de nutrientes

Os teores de nutrientes na parte aérea da *Brachiaria ruziziensis* cultivada em vasos previamente cultivados com arroz estão apresentados na Tabela 8 Tendo como resultado que os valores dos tratamentos com corretivos foram melhores do que os valores do tratamento controle podemos ressaltar que o potencial residual de ambos os corretivos pode manter condições favoráveis para a disponibilidade e absorção de nutrientes no solo. Desta forma, pode-se afirmar que as forrageiras em vasos com a aplicação de escória e em vasos com aplicação de calcário apresentaram comportamentos semelhantes.

Em relação aos teores dos nutrientes não foi observada grande diferença entre os tratamentos, com exceção de Ca e Mg. Os teores de Ca nas plantas cultivadas pós arroz foram maiores no solo argiloso em comparação ao solo de textura média; o mesmo ocorreu com os teores de Mg. Porém, houve diferença significativa entre os tratamentos em relação aos teores de Mg, em que o tratamento com calcário apresentou maiores valores em comparação à escória com aplicações de doses iguais.

Solos com textura média se mostraram menos eficientes para a absorção de Ca e Mg pelas plantas em relação ao solo argiloso. Isso pode ser explicado pelas doses aplicadas dos corretivos, uma vez que estas se elevam conforme o poder tampão do solo. Neste estudo, o solo argiloso possuiu maiores teores de argila e de matéria orgânica que o solo de textura média, deste modo é possível afirmar que também possuiu maior poder tampão. Logo, as

doses de corretivos aplicadas no solo de textura média foram menores em relação ao solo argiloso, portanto apresentou menores teores de Ca e Mg.

Este fato pode ser justificado de acordo com a Tabela 1, visto que o teor de Mg no calcário encontra-se mais elevado que na escória. Assim como os teores de Ca, em geral apresentaram valores similares em ambos os tratamentos; explicado pela pequena diferença nos teores de Ca na caracterização de escória e de calcário (Tabela 1).

Tabela 8: Teores de nutrientes na parte aérea de braquiária cultivada em vasos cultivados anteriormente com arroz, com dois solos com a aplicação de duas doses da escória e do calcário como corretivos de acidez do solo.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
Solo de Textura Média										
Controle	0,14 ± 0,01 c	2,33 ± 0,16 a	0,23 ± 0,02 b	0,11 ± 0,00 e	0,14 ± 0,01 b	46,28 ± 0,58 b	82,75 ± 1,29 a	202,28 ± 7,18 b	7,38 ± 0,49 ab	4,35 ± 0,11 b
C 50	0,40 ± 0,03 a	2,19 ± 0,14 a	0,37 ± 0,03 a	0,55 ± 0,02 c	0,19 ± 0,01 a	53,76 ± 0,38 a	84,42 ± 3,80 a	260,50 ± 12,50 a	7,98 ± 0,17 a	4,92 ± 0,45 b
E 50	0,41 ± 0,01 a	2,28 ± 0,25 a	0,40 ± 0,02 a	0,46 ± 0,01 d	0,19 ± 0,00 a	58,10 ± 1,45 a	76,71 ± 7,71 a	275,07 ± 12,31 a	6,52 ± 0,54 abc	3,71 ± 0,30 b
C 100	0,27 ± 0,02 b	2,08 ± 0,19 a	0,38 ± 0,03 a	0,86 ± 0,01 a	0,19 ± 0,01 a	45,98 ± 2,55 b	84,74 ± 5,92 a	140,64 ± 5,55 c	5,74 ± 0,22 bc	4,89 ± 0,39 b
E 100	0,38 ± 0,02 a	2,41 ± 0,16 a	0,47 ± 0,02 a	0,72 ± 0,01 b	0,19 ± 0,01 a	36,41 ± 1,00 c	79,53 ± 4,93 a	143,82 ± 11,22 c	5,68 ± 0,41 c	10,46 ± 0,44 a
CV (%)	11,2	18,0	11,4	5,5	8,9	5,4	13,7	9,7	11,1	13,2
Solo Argiloso										
Controle	0,40 ± 0,02 a	2,05 ± 0,09 a	0,32 ± 0,02 b	0,32 ± 0,02 c	0,21 ± 0,02 a	57,04 ± 1,58 a	78,78 ± 1,80 a	329,24 ± 10,27 a	7,67 ± 0,25 a	4,40 ± 0,56 bc
C 50	0,22 ± 0,01 b	2,68 ± 0,32 a	0,48 ± 0,04 a	0,83 ± 0,02 a	0,16 ± 0,01 b	25,41 ± 3,08 b	101,03 ± 11,83 a	165,64 ± 7,94 b	6,76 ± 0,30 a	5,58 ± 0,46 b
E 50	0,13 ± 0,01 c	2,17 ± 0,21 a	0,52 ± 0,03 a	0,65 ± 0,01 b	0,14 ± 0,00 b	21,60 ± 1,51 b	82,43 ± 1,83 a	133,45 ± 10,59 bc	4,73 ± 0,39 b	5,78 ± 0,21 b
C 100	0,14 ± 0,02 c	1,83 ± 0,14 a	0,33 ± 0,00 b	0,90 ± 0,02 a	0,15 ± 0,01 b	18,35 ± 0,29 b	80,77 ± 6,27 a	102,77 ± 9,98 c	4,55 ± 0,47 b	3,66 ± 0,39 c
E 100	0,15 ± 0,01 c	2,12 ± 0,09 a	0,50 ± 0,03 a	0,91 ± 0,02 a	0,16 ± 0,01 b	20,94 ± 1,36 b	94,79 ± 5,93 a	115,90 ± 6,36 c	5,09 ± 0,41 b	8,73 ± 0,45 a
CV (%)	11,5	17,1	9,5	5,3	10,4	12,0	14,9	11,7	11,7	14,3

*C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

Em relação aos teores de nutrientes na parte aérea da *Brachiaria ruziziensis* cultivada em vasos previamente produzidos com soja (Tabela 8), houve diferença nos teores de Ca, em que tratamentos com escória apresentaram maiores valores de Ca quando comparados a tratamentos com calcário.

Em solos cultivados com a forrageira após o cultivo da soja apresentaram valores semelhantes aos solos cultivados após o arroz em relação a absorção de nutrientes pelas plantas. No geral, os tratamentos utilizados apresentaram características similares para o fornecimento de nutrientes e desenvolvimento vegetal da *Brachiaria ruziziensis*.

A escória apresentou valores semelhantes ao do calcário comercial, comprovando a sua eficácia na correção de acidez do solo e no fornecimento de Ca e Mg para a forrageira cultivada. Outras pesquisas evidenciaram o mesmo comportamento de correção de acidez e aumento na disponibilidade de nutrientes como Ca, Mg e P (FILHO et al. 2004; CHAVES & FARIAS, 2008).

Pesquisas sobre o efeito residual de escória de siderurgia, assim como o calcário, como corretivo de acidez foram realizadas por Prado et al. (2003). Os autores reportaram respostas positivas para o efeito residual dos produtos na correção da acidez do solo após 48 meses da aplicação. As respostas da forrageira neste presente estudo também promoveram efeito residual benéfico e similar ao calcário para o crescimento e acúmulo de nutrientes pela braquiária.

Tabela 9: Teores de nutrientes na parte aérea de braquiária cultivada em vasos cultivados anteriormente com soja, com dois solos com a aplicação de duas doses da escória e do calcário como corretivos de acidez do solo.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
Solo de Textura Média										
Controle	0,12 ± 0,01 c	2,17 ± 0,09 a	0,16 ± 0,01 d	0,10 ± 0,01 c	0,12 ± 0,00 b	40,80 ± 0,74 c	80,17 ± 3,37 a	319,32 ± 24,70 a	7,51 ± 0,29 a	3,73 ± 0,21 b
C 50	0,37 ± 0,00 ab	2,33 ± 0,12 a	0,30 ± 0,01 c	0,50 ± 0,02 b	0,18 ± 0,00 a	60,26 ± 1,07 a	77,51 ± 6,12 a	295,37 ± 10,20 a	6,64 ± 0,06 b	3,61 ± 0,28 b
E 50	0,39 ± 0,02 a	2,13 ± 0,16 a	0,36 ± 0,01 b	0,49 ± 0,01 b	0,18 ± 0,00 a	59,02 ± 0,59 a	69,59 ± 5,41 a	268,82 ± 18,65 a	6,57 ± 0,20 b	4,46 ± 0,35 b
C 100	0,33 ± 0,01 b	2,25 ± 0,05 a	0,34 ± 0,02 bc	0,74 ± 0,01 a	0,18 ± 0,01 a	45,67 ± 1,41 b	65,74 ± 1,53 a	187,68 ± 10,58 b	5,58 ± 0,12 c	4,12 ± 0,44 b
E 100	0,35 ± 0,01 ab	2,23 ± 0,05 a	0,43 ± 0,01 a	0,74 ± 0,02 a	0,17 ± 0,00 a	41,07 ± 1,32 c	72,17 ± 1,80 a	139,15 ± 3,06 b	5,46 ± 0,06 c	7,15 ± 0,72 a
CV (%)	6,9	9,8	9,0	6,1	6,1	3,9	11,0	14,0	5,4	19,9
Solo Argiloso										
Controle	0,45 ± 0,02 a	2,54 ± 0,08 a	0,26 ± 0,01 d	0,26 ± 0,02 c	0,19 ± 0,00 a	80,70 ± 1,08 a	79,29 ± 1,52 a	441,59 ± 14,29 a	7,66 ± 0,22 a	5,47 ± 0,44 bc
C 50	0,12 ± 0,00 b	1,93 ± 0,09 b	0,33 ± 0,01 c	0,75 ± 0,01 b	0,14 ± 0,01 b	26,06 ± 1,47 bc	67,52 ± 4,31 a	222,01 ± 18,47 b	4,94 ± 0,05 c	3,07 ± 0,32 c
E 50	0,15 ± 0,00 b	2,10 ± 0,14 ab	0,52 ± 0,02 a	0,76 ± 0,02 b	0,15 ± 0,01 b	27,06 ± 1,24 bc	88,41 ± 9,54 a	199,54 ± 13,60 b	6,87 ± 0,16 ab	6,28 ± 0,87 ab
C 100	0,15 ± 0,01 b	1,96 ± 0,11 b	0,33 ± 0,01 c	0,95 ± 0,02 a	0,15 ± 0,01 b	22,41 ± 1,00 c	68,45 ± 4,86 a	127,40 ± 12,47 c	6,16 ± 0,30 b	3,53 ± 0,51 bc
E 100	0,14 ± 0,02 b	1,79 ± 0,04 b	0,42 ± 0,01 b	0,84 ± 0,02 b	0,15 ± 0,01 b	29,02 ± 1,82 b	66,91 ± 5,29 a	118,98 ± 8,95 c	5,03 ± 0,33 c	8,76 ± 0,90 a
CV (%)	10,5	9,6	6,3	5,9	8,5	7,8	14,5	12,6	7,0	23,7

*C 50: calcário para aumentar o V% para 50. E 50: escória para aumentar o V% para 50. C 100: calcário para aumentar o V% para 100. E 100: escória para aumentar o V% para 100. Médias seguidas da mesma letra na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05)

6. CONCLUSÃO

Houve efeito residual e positivo do uso de escória como corretivo de acidez do solo no crescimento da braquiária, visto que apresentou maiores valores na produção de massa seca. Além disso, a escória testada foi capaz de fornecer os nutrientes, principalmente Ca e Mg, de forma similar ao calcário comercial usado como comparativo. Deste modo, conclui-se que a escória apresentou características semelhantes ao calcário comercial e eficiência agrônômica como efeito residual para fornecimento de nutrientes e correção de acidez de solos.

7. REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, ANDA. Boletim Técnico, p. 24, 2005.
- ALEWELL, C. et al. Acid inputs into the soils from acid rain. Handbook of soil acidity. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, USA, p. 83-115, 2003.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B., VELLOSO, A. C. X., COSTA, L. M., OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p.9-16, 1997.
- ASSIS, M.H.S.; PEREIRA, H.S.; BARBOSA, N.C.; CARNEIRO, M.A.C.; PAIVA, J.B. Formas de aplicação de fertilizante silicatado e seus efeitos no solo e na produção de sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. Anais. Gramado: SBCS, CD Rom, 2007.
- BRANCA, T. A.; COLLA, V. Possible uses of steelmaking slag in agriculture: an overview. Material Recycling-Trends and Perspectives. p. 335-356, 2012.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 20 out. 2021
- BRASIL. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: MAPA, 2017. 240p.
- CARMO, C. A. F. de S. et al. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Embrapa Solos-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2000.
- CASTRO, G. S. A. et al. Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. Journal of soil science and plant nutrition, v. 16, n. 2, p. 362-379, 2016.
- DAS, S. et al. Recycling of ferrous slag in agriculture: Potentials and challenges. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, p. 1-35, 2020

DEFELIPO, D.V.; NOGUEIRA, A.V., LOURES, E.G.; ALVAREZ, V.V.H. Eficiência agronômica de um resíduo de indústria siderúrgica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.127-131, 1992.

EMBRAPA. Detalhes das cultivares. Disponível no aplicativo Pasto Certo e em www.pastocerto.com/#/details/19, acessado em 30/11/2021.

FAGERIA, Nanda K.; NASCENTE, Adriano S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. In: *Advances in agronomy*. Academic Press, p. 221-275, 2014.

FAO, The state of food insecurity in the world 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Disponível em www.fao.org/publications/sofi/en/, acessado em 29/11/2021.

FAQUIN, V. Diagnose do estado nutricional das plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, v. 1, p. 77, 2002.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. *The plant root and its environment*, 1974.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil use and management*, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016.

GURMESSA, B. Soil acidity challenges and the significance of liming and organic amendments in tropical agricultural lands with reference to Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, p. 1-23, 2020.

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L.A. Aplicação de silicatos no solo. Disponível em www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Fontes%20de%20Si/fontes.htm, acessado em 21/09/2007.

LI ZY, MA ZW, van der KUIJP TJ, Yuan ZW, HUANG L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Sci Total Environ*. 468469:843853, 2014.

LIU, P. et al. Mechanism and kinetics of aluminum dissolution during copper sorption by acidity paddy soil in South China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 34, p. 100-106, 2015.

LOPES, A. S. Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. *Advances in Agronomy*. Academic Press, p. 1-72. 2016.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.

MENDES, F.F. Controle genético da eficiência no uso de fósforo em milho tropical. Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO –MAPA. Instrução Normativa SDA nº 27, 05 de junho de 2006a.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Instrução Normativa SDA nº 35, 04 de julho de 2006b.

NOBILE, F. O. Uso agrônômico da escória de siderurgia. Revista UNIARA, nº 21/22, 2008/2009

NOGUEIRA, N. O.; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F.; BRINATE, S. V. B. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café arábica. Rev. Ciênc. Agron., v. 43, n. 1, p. 11-21, jan-mar, 2012.

PAGANI, A.; MALLARINO, A. P. Comparison of methods to determine crop lime requirement under field conditions. Soil Science Society of America Journal, v. 76, n. 5, p. 1855-1866, 2012.

PAN, X. Y. et al. Four-year effects of soil acidity amelioration on the yields of canola seeds and sweet potato and N fertilizer efficiency in an ultisol. Field Crops Research, v. 237, p. 1-11, 2019.

PIVIC, R., STANOJKOVIC, A., MAKSIMOVIC, S. and STEVANOVIC, D. Improving the chemical properties of acid soils and chemical composition and yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) by use of metallurgical slag. Fresen. Environ. Bull. 20, 875-885, 2011.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. Fertilidade do solo e nutrição de plantas • Rev. Bras. Ciênc. Solo 27, 2003.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. Scientia Agrícola, v.57, n.4, p.739-744, 2000.

RAIJ, B.van. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1997.

RASHEED, A. et al. A review on aluminum toxicity and quantitative trait loci mapping in rice (*Oryza sativa* L). Applied Ecology and Environmental Research, v. 18, p. 3951-3961, 2020.

REZENDE, L.; SOUZA, I.; BARROS, N.; MILAGRES, J. Eficiência agrônômica do agrosilício, comparativamente ao calcário dolomítico, na correção do solo e na disponibilidade de Ca e Mg. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, Gramado. Anais... Gramado: SBCS, 2007, CD Rom, 2007.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. C.; ALVAREZ, V. H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação. Viçosa, 1999. 341 p.

SHI, R. Y. et al. Ameliorating effects of individual and combined application of biomass ash, bone meal and alkaline slag on acid soils. Soil and Tillage Research, v. 162, p. 41-45, 2016.

SILVA, G. N. T. Escória de metalurgia como corretivo de acidez do solo e fonte de nutrientes para arroz e soja. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

STANOJKOVIC-SEBIC, A.; DINICI, Z.; POSTIC, D.; SAVIC, D.; ILICIC, R.; JOSIC, D.; PIVIC, R. Vol. 26, pg. 1017-1025 Fresenius Environmental Bulletin, 2017

SUMMER, M.E., NOBLE, A.D. Soil acidification: the world story. In: Rengel, Z. (Ed.), Handbook of Soil Acidity. Marcel Dekker, New York, pp. 1-28, 2003.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Embrapa. 573 p. 2017.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and soils. EPA method 3051A. 30p. 2007.

WANG, Y., YIN, C., ZHANG, J., LIU, X., KANG, W., LIU, L. and XIAO, W. Risk assessment of heavy metals in farmland soils near mining areas in Daye City, Hubei Province, China. Fresen. Environ. Bull. 25, 490-499, 2016.

XIAO L. G.; WANG S. Y.; LUO F. Status research and applications of magnesium slag. JLIAE, 25(1), 17, 2008.

XU XH, ZHAO YC, ZHAO XY, WANG YD, DENG WJ. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China. EcotoxEnviron Safe. 108:161167, 2014.

ZHAO, W. R. et al. The mechanisms underlying the reduction in aluminum toxicity and improvements in the yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) after organic and inorganic amendment of an acidic ultisol. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 288, p. 106716, 2020.