



Revista
Técnico-Científica



USO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO

Emizael Menezes de Almeida¹, Angelo Herbert Moreira Arcanjo¹, Gustavo de Faria Theodoro¹, Antonio Leandro Chaves Gurgel², Juliana Caroline Santos Santana¹, Carolina Marques Costa³, Ana Beatriz Graciano da Costa⁴, Tairon Pannunzio Dias-Silva², Marcos Jacome de Araujo²

¹Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, Brasil; ²Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus – PI, Brasil; ³Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Brasil; ⁴Colegiado de Zootecnia, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Ciências Agrárias, Petrolina – PE, Brasil.

RESUMO: Os solos brasileiros, em especial os do Bioma Cerrado, são caracterizados por apresentar elevada acidez, altos teores de alumínio (Al) trocável e deficiência de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P). A aplicação de escória siderúrgica promove acréscimo nos teores de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn e reduz a acidez potencial no solo. Entretanto esse produto tem a presença de metais pesados na sua composição, que gera preocupação com o seu impacto no ambiente. O monitoramento sobre as concentrações de metais pesados e seus efeitos no solo e ambiente, evitando o desequilíbrio ambiental. Além disso, altas doses de escória de aciaria devem ser evitadas para não ocorrer desequilíbrio químico do solo. A escória aumenta o P disponível, Ca, Mg e Si no solo. O Si também promove maior resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças e acamamento e, quando associado à adubação com N e K, estimula aumento na produção de biomassa.

Palavras-chave: correção do solo, subproduto da mineração, silicato de cálcio, resíduo siderúrgico.

USE OF STEEL SLAG AS SOIL ACID CORRECTIVE

ABSTRACT: *Brazilian soils, especially those from the Cerrado Biome, are characterized by their high acidity, high exchangeable aluminum (Al) content and calcium (Ca), magnesium (Mg) and phosphorus (P) deficiency. The application of steel*

slag increases Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn and Zn contents and reduces the potential acidity in the soil. Although this product has the heavy metal pressure in its composition, there is a concern about the impact of heavy metals on the environment. Monitoring of heavy metal concentrations and their effects on soil and environment, avoiding environmental imbalance. In addition, high doses of steelmaking slag should be avoided to avoid chemical soil imbalance. Slag increases available P, Ca, Mg and Si in the soil. Si also promotes greater resistance of plants to attack by pests, diseases and lodging, when associated with N and K fertilization, stimulates higher biomass production.

Keywords: calcium silicate, mining by-product, steel waste, soil correction.

INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, em especial os do Bioma Cerrado, são caracterizados por apresentar elevada acidez, altos teores de alumínio (Al) trocável e deficiência de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) (Fonseca et al., 2012). Para isso, com base nos dados das análises químicas e físicas do solo, adota-se o uso da calagem como prática para corrigir a acidez, neutralizar o Al e o manganês (Mn), elevar a saturação de bases (Ca e Mg) e disponibilizar o P presente no solo (Aquino et al., 2019). Além disso, melhora o ambiente radicular da planta, estimula a atividade microbiana e preserva os teores de matéria orgânica do solo (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999).

O calcário calcítico, magnesiano ou dolomítico é o corretivo mais utilizado em solos para a agricultura e pastagens no Brasil. Isto se deve abundantes fontes de rochas calcárias, que o torna um insumo barato em comparação aos fosfatos e fontes nitrogenadas, que têm o seu valor associado às oscilações do dólar e do preço internacional do barril de petróleo. Entretanto, a distância da usina de extração e as propriedades rurais podem elevar o preço desse insumo, em função do frete que, em muitos casos, ultrapassa o preço da tonelada do calcário.

Uma alternativa ao uso do calcário é a escória de siderurgia, que é um subproduto da mineração e da indústria siderúrgica. A aplicação de escória siderúrgica promove acréscimo nos teores de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn e reduz a acidez potencial no solo, além da contribuição ambiental, haja vista que sua utilização reduz as quantidades acumuladas nos pátios industriais (SOBRAL et al., 2011).

Objetivou-se com o presente trabalho descrever o potencial da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo para implantação de plantas forrageiras.

MATERIAL E MÉTODOS

Para esta revisão da literatura foram consultados um total de 35 publicações, divididas entre: Publicações em Periódicos Internacionais (n = 2); Publicações em Periódicos Nacionais (n = 13); Livros (n = 11); Teses de doutorado (n = 1); Dissertação de Mestrado (n = 2); Documentos (n = 1); Publicações em Anais de Eventos (n = 1); Circular técnica (n = 1); Boletim (n = 1); Instrução Normativa (n = 2). A pesquisa das fontes bibliográficas foi realizada entre setembro a outubro 2019. A seleção dos artigos baseou-se na conformidade dos assuntos aos objetivos deste trabalho e na importância da pesquisa.

REVISÃO DA LITERATURA

Distribuição das indústrias siderúrgicas

No Brasil em 2016/2017 operam 30 usinas, a produção de aço no país está distribuída em 8 estados (Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, São Paulo, Ceará, Rio Grande do Sul, Pará e Pernambuco), com maior concentração no Sudeste 88,5% (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2018) (Figura 1).

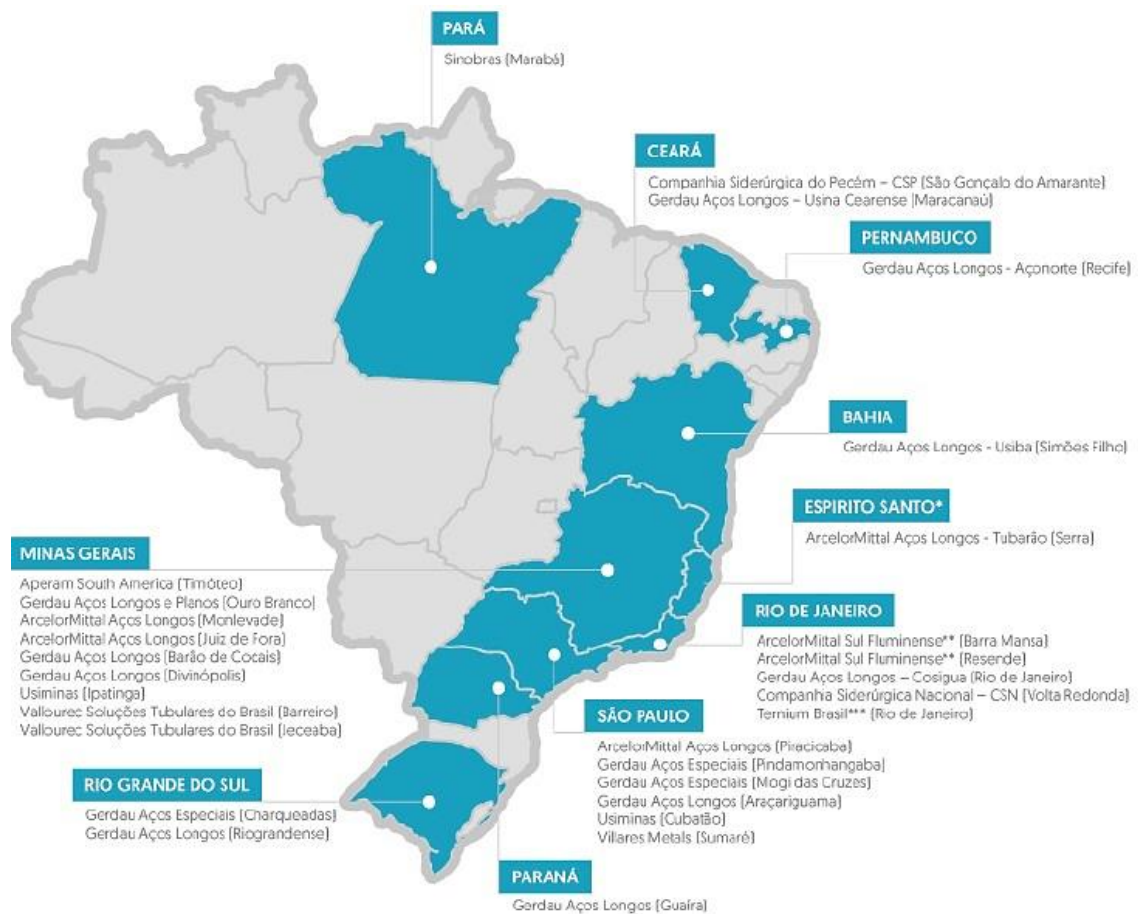


Figura 1. Mapa do Brasil com a distribuição das usinas de aço.

Figure 1. Map of Brazil with the distribution of steel mills.

Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

Em 2017 para cada tonelada de aço bruto produzido foram gerados 607 kg de coprodutos e resíduos, desses 42% eram agregado siderúrgico de alto-forno e 27% a escória de aciaria. O restante foram os finos, pós, lamas e outros, resultantes dos processos e sistemas de tratamento existentes (Figura 2). Os agregados siderúrgicos de alto-forno em sua quase totalidade 99% são destinados especialmente para a produção de cimento (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2018).

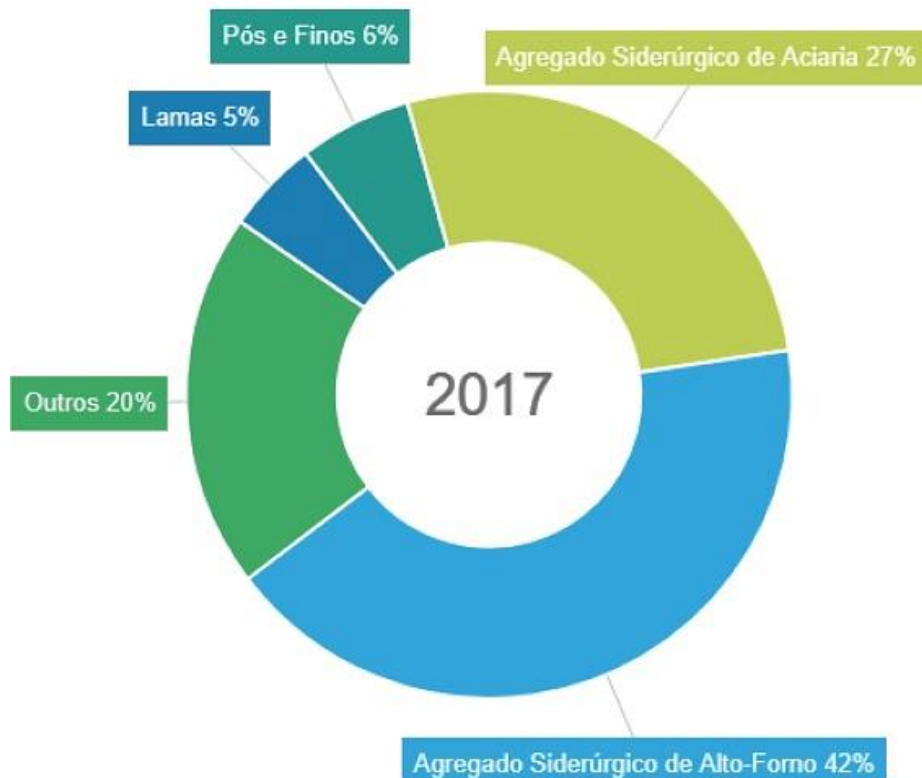


Figura 2. Geração de coprodutos e resíduos das usinas de aço por tipo.
 Figure 2. Generation of co-products and waste from steel mills by type.
 Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

Para se utilizar a escória de siderurgia como corretivo, deve-se considerar a distância da usina de extração até as propriedades rurais, pois o preço do frete pode inviabilizar o uso desse insumo.

Composição química da escória de siderurgia

Conforme a legislação brasileira de corretivos de acidez, a exigência estabelecida para o calcário agrícola ser considerado um corretivo de acidez é possuir pelo menor 67 % de poder de neutralização (PN) E_{CaCO_3} e 45 % de PRNT. A escória para ser considerada um corretivos de acidez deve atender a exigência mínima estabelecida para calcário (BRASIL, 2007).

Considerando os trabalhos de pesquisa, onde a escória de siderurgia apresentou a composição química de um produto que poderia ser comercializado, pode-se observar uma variabilidade nos compostos químicos presente na mesma, para cada composto químico foram utilizados os valores mínimo e máximo encontrados (Tabela 1).

Tabela 1. Compostos químicos da escória de siderurgia.

Table 1. Chemical compounds of steel slag.

Composto químico	Composição (%)	Literatura consultada
CaO	35,51 a 42,05	
MgO	3,46 a 12,49	Chaves e Faria, 2008; Hojo, 2010; Wally et al. (2015); Brasil
PN	70 a 87,2	e Nascimento, 2019
PRNT	64,6 a 72,27	

P ₂ O ₅	0,00004	
K ₂ O	0,013	Wally et al. (2015)
Sódio	0,012	
Zn	0,006	
FeO	0,81 a 1,21	Brasil e Nascimento, 2019; Wally et al. (2015)
MnO	0,80	
SiO _{2total}	46,07	Brasil e Nascimento, 2019
Al ₂ O ₃	10,89	

Além da escória corrigir a acidez do solo, tem outros benefícios extras à fertilidade do solo, como incrementos na disponibilidade de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn (Sobral et al., 2011). Entretanto, como esse produto tem a presença de metais pesados na sua composição, há preocupação com o seu impacto no ambiente (GARCIA-GUINEA et al., 2010).

Os principais metais pesados presente na escória são: Cádmio (2,3 mg kg⁻¹), Chumbo (6,2 mg kg⁻¹), Cobre (21,4 mg kg⁻¹), Cromo (4,6 g kg⁻¹) e Níquel (93,8 mg kg⁻¹), demonstrando que a escória básica de aciaria tem potencial de contaminação do solo por metais pesados potencialmente tóxicos (Wally et al., 2015). Segundo Guarcia-Guinea et al. (2010), a aplicação de escórias sem monitoramento ou controle, pode contaminar o meio ambiente.

Os limites máximos de metais pesados permitidos em corretivo de acidez, segundo o Anexo III, IN SDA 27 do Brasil (2006) são: Cádmio ($20,0 \text{ mg kg}^{-1}$), Chumbo ($1,0 \text{ g kg}^{-1}$). Observa-se que os limites permitidos para cromo e níquel não foram incluídos neste documento

A escória básica apresenta potencial na utilização como corretivo de solo e fonte de nutrientes, porém é necessário o monitoramento sobre as concentrações de metais pesados e seus efeitos no solo e ambiente, evitando o desequilíbrio ambiental. Além disso, altas doses de escória de aciaria devem ser evitadas para não ocorrer desequilíbrio químico do solo (WALLY et al., 2015).

Calagem com calcário versus escória de siderurgia

A calagem, ou correção do solo, consiste na aplicação de calcários ou silicatos de Ca e Mg que, quando adicionados ao solo, liberam hidróxido (OH^-) e estes complexam o Al^{3+} e o H^+ , ocorrendo aumento do pH e da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (FONSECA et al., 2012).

Visando descrever o efeito da aplicação de escória sobre atributos químicos do solo e na produção de plantas, com relação ao pH do solo, Chaves e Farias (2008) utilizaram como corretivos o agrosilício, com 36% de CaO, 9% de MgO e PRNT de 64,6%, comparado ao calcário dolomítico com 30,80 % de CaO, 14,00 % de MgO e PRNT de 84 %, com doses crescentes dos corretivos para elevar a saturação por bases do solo em torno de 56, 58, 60, 62, 65, 67, 69 e 71 %. Foi observado que o uso de calcário e agrosilício em diferentes saturações por bases aumentaram o pH do solo, que foi crescente até os 40 dias de incubação. Após este período, houve diminuição nos valores de pH das amostras de solo que receberam calcário e agrosilício e os valores de pH se estabilizaram (Figuras 3).

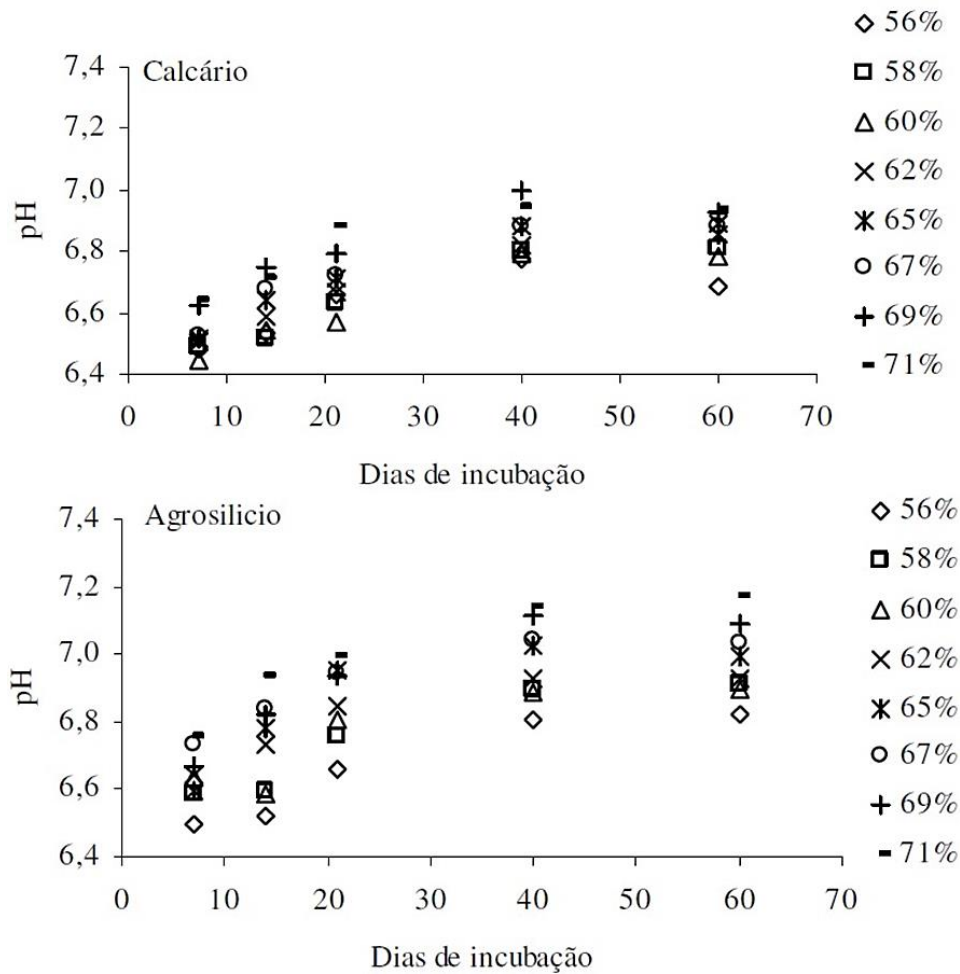


Figura 3. Variação do pH do solo incubado com doses crescentes de calcário dolomítico e agrosilício em função do período de incubação, respectivamente.

Figure 3. pH variation of incubated soil with increasing doses of dolomitic and agrosilicon limestone as a function of incubation period, respectively.

Fonte: Chaves e Farias (2008).

Apesar da escória ser conhecida como corretivo de acidez, trabalhos tem indicado redução da adsorção de P no solo. Prado e Fernandes (2001) em pesquisa comparando escória com calcário em Latossolo Vermelho-Amarelo álico, com doses para elevar a saturação por bases para 50%, 75% e 100%, avaliaram aos 12 e 24 meses após a aplicação, verificaram que o calcário não apresentou relação com o P disponível no solo, já a escória incrementou os níveis de P disponível no solo de forma linear. A eficiência da escória em aumentar o P disponível no solo deve-se mais ao

efeito do silicato contido nela, exercendo uma competição dos ânions de silicato com o P pelos sítios de adsorção.

Outros atributos da escória de siderurgia ao solo e a planta

A escória siderúrgica é utilizada para a correção da acidez dos solos por ser constituída de silicato de cálcio (Ca_2SiO_4). Entretanto, o Si na forma de sílica (SiO_2) pode ser utilizado nas plantas como um elemento estrutural ligado a lignina, promovendo maior rigidez a parede celular (Van Soest, 1994). Além disso, pode-se formar cristais de carbonato de sílica associados a pectina nas células da epiderme de algumas espécies vegetais (Mauseth, 1988). Tanto a sílica na parede celular como os cristais de carbonato de sílica na epiderme, podem ser considerados fatores antiqualidade por promoverem maior resistência mecânica à ingestão e digestão do vegetal pelo herbívoro (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2013).

O Si está presente em maior concentração nos tecidos suportes do caule e das folhas e, cerca de 99% encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, fórmula essa de difícil solubilização (Menegale et al., 2015). A sílica é encontrada em maiores concentrações em gramíneas do que em leguminosas, além de redutor da digestibilidade, também é considerada um mecanismo de defesa da planta a predação pelos grandes herbívoros (O'REGAIN e MENTIS, 1989).

Leite et al. (2001) encontraram teores superiores a 5% da MS de sílica na planta de capim-pojuca (*Paspalum atratum*) com idades a cima de 21 dias de crescimento. Sendo consideradas elevadas, já que o teores de sílica superior a 5% da MS afetaram a digestibilidade da forragem (Mertens, 1994). Santana et al. (2010) avaliando a calagem com calcário e escória silicatada em diferentes doses (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a dose recomendada) no cultivo do capim-Mombaça (*Panicum maximum*). Esses autores não encontraram diferença nos teores fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) em função das fontes e doses dos corretivos. Deve-se levar em consideração que não deve-se utilizar corretivos silicatados em gramíneas, destinadas a alimentação animal, que absorvem Si em maiores

concentrações. Entretanto são poucos trabalhos que avaliam as alterações na digestibilidade da forragem em função do uso de corretivos silicatados.

O Si também promove maior resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças, acamamento, melhora a interceptação de luz e diminui a transpiração (Barbosa Filho et al., 2001). Goussain et al. (2002) encontraram 40% a mais de SiO_2 em plantas de milho (*Zea mays*) que receberam doses de solução de silicato de sódio (Na_2SiO_3). O que pode ter tornando as plantas de milho mais resistentes à lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), já que esses autores encontraram lagartas com maiores dificuldade na alimentação em plantas com maior concentração de SiO_2 , o que causou aumento de mortalidade e canibalismo entre as lagartas. Souza et al. (2009) aplicando doses crescentes (0; 0,5; 1; 2 e 4 t ha^{-1}) de silicato de Ca na implantação de capim-marandu (*Brachiaria brizantha*), relatam que o incremento de Si no solo promoveu a redução de ninfas do percevejo-castanho-das-raízes (*Scaptocoris carvalhoi*) (Figura 4).

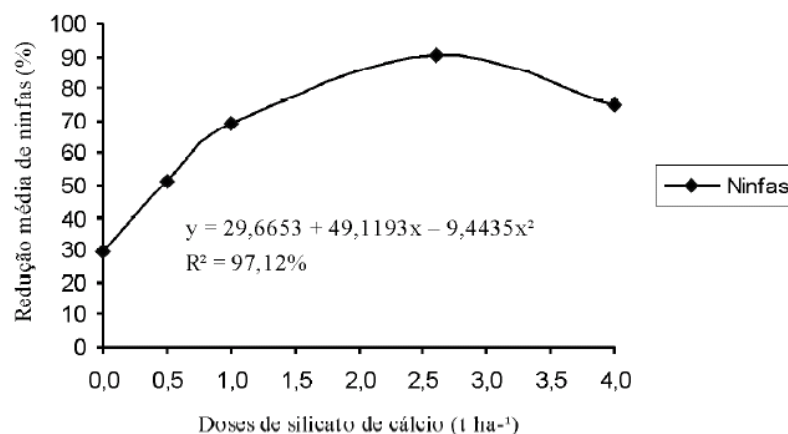


Figura 4. Percentual de redução de ninfas do percevejo-castanho-das-raízes *S. carvalhoi*, em função da aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio em *B. brizantha* cv. Marandu.

Figure 4. Percentage reduction of *S. carvalhoi* rootbug nymphs as a function of increasing doses of calcium silicate in *B. brizantha* cv. Marandu.

Fonte: Souza et al. (2009).

O Si deposita-se na parede celular das folhas, forma uma dupla camada protetora que evita grandes perdas de água, em condições de estresse hídrico, devido à menor taxa de evapotranspiração da planta (Marschner, 1995). Aquino et al. (2019)

relata que a aplicação de rochas em pó, ricas em K e Si, de baixo custo, no plantio de mudas de mogno-africano (*Khaya ivorensis*) promove maior resistência das mudas ao estresse hídrico após o plantio.

Zanetti (2013) avaliando dois regimes hídricos, irrigado ou não irrigado, e três doses de solução SiO₂, 0,0, 1,5 e 3,0 mg mL⁻¹, no cultivo de mudas de cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). O autor relata que a dose de 1,5 mg mL⁻¹ de solução SiO₂ favoreceu as reações fotoquímicas, a taxa fotossintética, a eficiência do uso da água e a taxa de carboxilação das plantas de cacau sob déficit hídrico. E que a densidade estomática foi reduzida nas plantas não irrigadas sob maior dose de Si.

Aplicação da escória de siderurgia na formação e recuperação de pastagens

A maioria da gramíneas tropicais caracterizam-se pela considerável tolerância à acidez do solo e razoável tolerância a toxidez pelo Al. Mas a correção desses fatores através da calagem, com grande efeito residual de Ca e Mg, resulta em maior volume de solo exposto ao sistema radicular (Vitti e Luz, 1997). Quando associada a adubação com N e K, estimula a produção de biomassa vegetal e, conseqüentemente, promove maior lotação animal. E se não houver correção da acidez do solo no sistema de produção, mesmo com adubação, ocorre redução progressiva da produção de matéria seca da pastagem (PRIMAVESI et al., 2004).

No cálculo da quantidade de corretivo agrícola, considera-se a profundidade efetiva de incorporação do corretivo. Para o estabelecimento da pastagem, com preparo do solo, deve-se incorporar o calcário nos 20 cm superficiais, através das operações de aração e gradagem (Cantarutti et al., 1999). O corretivo deve ser distribuído na superfície do solo, antes da primeira aração e mínimo de 60 dias antes do plantio da pastagem para que haja reação do corretivo no solo (MONTEIRO, 2013).

Para pastagens estabelecidas realiza-se a aplicação superficial do corretivo considerando uma profundidade efetiva de incorporação natural de aproximadamente 5 cm, de acordo com as recomendação da análise da amostra de solo coletada a 10cm de profundidade. Para a incorporação do corretivo até camadas mais profundas, deve-se associar a aplicação de gesso à calagem, que promoverá o afunamento dos

nutrientes presentes na superfície do solo (Cantarutti et al., 1999; Aquino et al., 2019). A vantagem de se aplicar superficialmente, e a manutenção da integridade dos órgãos das plantas, especialmente do sistema radicular, que pode ser danificado com uso de implementos agrícolas (grade, subsolador e sucador) com intuito de incorporar o corretivo a camadas mais profundas (FONSECA et al., 2012; MOTEIRO, 2013).

Segundo Evangelista e Lima (2013) em pastagens degradadas a distribuição do corretivo superficial é recomendável, quando à boa presença de plantas forrageiras, baixa quantidade de corretivo a ser aplicado ($1,5$ a $2,0$ t ha⁻¹), solo descompactado e se a forragem produzida nessa área tiver demanda em curto espaço de tempo. Esses mesmos autores relata que pode-se incorporar o calcário por meio de gradagem, quando o solo estiver descoberto, compactado e a recomendação do calcário for acima de 2 t ha⁻¹. E, que em solos com deficiência de P, recomenda-se realizar a adubação corretiva antes da de produção e junto com a calagem.

Deve-se ter maior cuidado com o manejo da fertilidade em pastagens sob solos de textura mais arenosos e ou em relevo declivoso, por apresentar maior suscetibilidade a perda de nutrientes por lixiviação e erosão (Dias-Filho, 2011). Práticas conservacionistas como a construção de terraços para conter as enxurradas são eficientes para evitar a erosão, perdas maiores de nutrientes e conservar os recursos hídricos. O plantio de árvores leguminosas, implantado um sivilpastoril, contribuem para a ciclagem de nutrientes ao solo dessas áreas mais susceptíveis a perda de nutrientes.

O calcário tem sido o principal corretivo utilizado para correção da acidez e elevar a saturação de bases na formação, manutenção e recuperação de pastagens. A escória de siderurgia pode ser uma alternativa aos pecuaristas, principalmente aos próximos de indústrias siderúrgicas e distante das usinas de calcário, o que possibilitaria menor custo na correção do solo. Entretanto, ainda não se tem muitos trabalhos abordando seu benefício na calagem de pastagens e a sua influência na composição bromatológica da forrageira, já que sabe-se que na composição da escória de siderurgia tem SiCa, que poderia limitar o consumo e digestibilidade da forragem.

Deus et al. (2014) avaliaram o cultivo de alfafa (*Medicago sativa* L.) em um Nitossolo Vermelho Eutrófico e em um Latossolo Vermelho Distrófico, observaram que os tratamentos escória de aço e escória inoxidável aplicados no Nitossolo Vermelho Eutrófico pelo PRNT experimental, foram semelhantes ao calcário no aumento do pH e saturação de bases. E quando aplicadas com PRNT da indústria, as duas escórias promoveram pH e saturação de bases superiores aos obtidos com wollastonita e calcário, 30 dias após a aplicação. Esses mesmos autores observaram no Latossolo Vermelho Distrófico, que o PRNT laboratorial das duas escórias foram semelhantes ao calcário e a wollastonita, 30 e 90 dias após a aplicação, apresentaram menores pH e saturação de bases. O que demonstrou, através dos resultados desse experimento, que a atividade dos corretivos varia de acordo com o tipo de solo.

Souza et al. (2009) avaliaram a aplicação de aplicando doses crescentes (0; 0,5; 1; 2 e 4 t ha⁻¹) de silicato de cálcio (CaSiO₃), com 23% de SiO₂ e 36% de CaO, em um Neossolo Quartzarênico na implantação de pastagem de capim-marandu (*Brachiaria brizantha*). Esses autores relataram que houve aumentos de 0,145 unidades no pH e 0,0812 mg dm⁻³ de Ca no solo para cada t ha⁻¹ de CaSiO₃ aplicada (Figura 5 e 6).

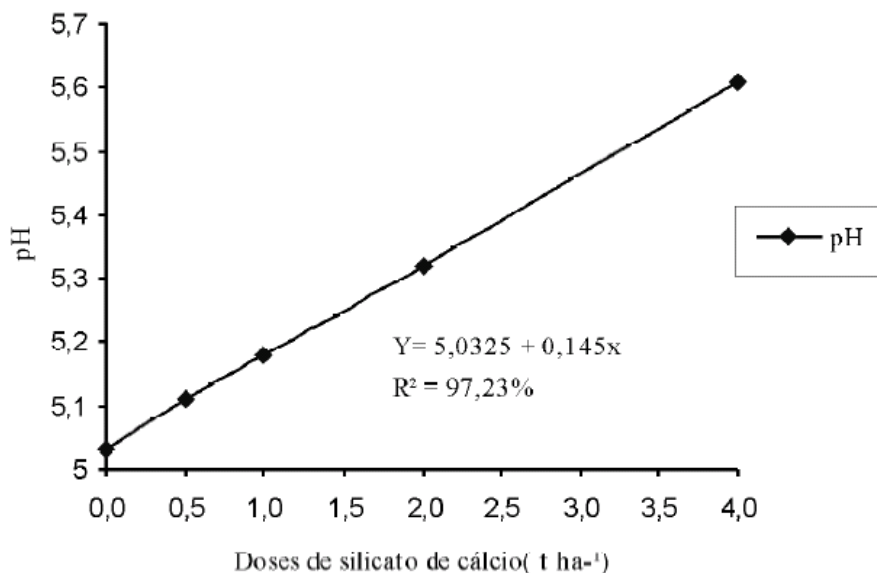


Figura 5. Valores de pH do solo em função da aplicação doses crescentes de silicato de cálcio em *B. brizantha* cv. Marandu.

Figure 5. Soil pH values as a function of increasing doses of calcium silicate in *B. brizantha* cv. Marandu.

Fonte: Souza et al. (2009).

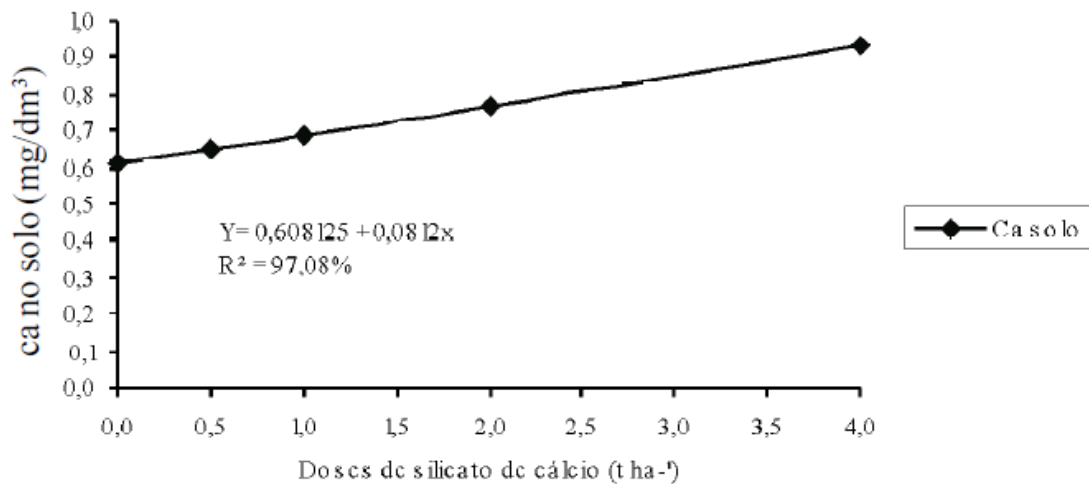


Figura 6. Teores de cálcio no solo em função da aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio em *B. brizantha* cv. Marandu.

Figure 6. Soil calcium content as a function of increasing doses of calcium silicate in *B. brizantha* cv. Marandu.

Fonte: Souza et al. (2009).

Na implantação de capim-mombaça (*Panicum maximum*) e um Latossolo Vermelho distrófico, Aguiar (2019) avaliou duas fontes de corretivo, calcário magnesiano e silicato de Ca e Mg, e três métodos de aplicação, corretivo incorporado de 0 a 0,20 m sem gesso agrícola, corretivo e gesso incorporado de 0 a 0,20 m e corretivo incorporado de 0 a 0,20 m com gesso superficial e tratamento controle, sem aplicação de corretivos e gesso agrícola. O autor relata que as melhores respostas nas profundidades de 0 a 0,40 m do solo foram para os tratamentos que tinham o calcário como corretivo (sem e com gesso, incorporado ou superficial), elevando os teores de pH, V (%) e bases trocáveis (Ca, Mg e K). Entretanto, pelos resultados, o silicato de Ca e Mg pode ser usado como corretivo, por apresentar resultados de elevação de pH, V (%) e bases trocáveis, intermediários aos do calcário e ao tratamento controle. E por apresentar menores resultados de Al trocável ao controle e semelhantes ao calcário em todas profundidades do solo (0 a 0,60 m).

Faria et al. (2008) avaliaram a aplicação superficial de silicato de Ca combinado com calcário dolomítico (0 + 0; 2 + 0; 4 + 0; 6 + 0; 2 + 4; 4 + 2 e 0 + 6 t ha⁻¹), com diferentes ofertas diárias de forragem (50, 100, 150 e 200 kg t⁻¹ de MS por PV) em uma pastagem de capim-marandu (*B. brizantha*) sob um em Latossolo Vermelho

distroférico. Esses autores concluíram que os atributos químicos do solo relacionados com a correção da acidez, como o pH, Ca, Mg, K, H+Al e V (%) e o teor de Si, responderam positivamente à aplicação de silicato de Ca e calcário dolomítico, apresentando efeito residual no solo, inclusive com reflexos nas camadas avaliadas (0–10, 10–20 e 20–40 cm).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de escória siderúrgica corrige a acidez do solo e contribui para aumentar o P disponível e os teores de Ca, Mg e Si no solo. O Si também promove maior resistência das plantas ao ataque de pragas, doenças e acamamento, quando associada a adubação com N e K, estimula a maior produção de biomassa.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. Cap. 8, In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, p.43-61.

AGUIAR, V.F. **Aplicação de corretivos de acidez e condicionador do solo na implantação de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça**. 2019, Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri: Diamantina, 2019, 37p.

AQUINO, S. M.; PINHEIRO, A. L.; AQUINO JÚNIOR, H. M.; AQUINO, W. M.; BRITO, R.; PINHEIRO, D. T.; COUTO. L. **Mogno africano**: produção de madeira nobre no Brasil. 3ª ed. São Paulo: Instituto Brasileiro de Florestas, 2019, 123p.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.325-30, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 27**, de 09 de junho de 2006. concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Diário Oficial da União, 21 jun. 2006. Seção 1, p. 15.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução normativa nº 5**, de 23 de fevereiro de 2007. Normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, 1 mar. 2007. Seção 1, p. 10.

BRASIL, E. C.; NASCIMENTO, E. V. S. **Aproveitamento agrônomo de escória de siderurgia de alto-forno na correção da acidez do solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 40 p. (Documentos, 444).

CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. Cap. 18.5, In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, p.332-341.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.75-82, 2008.

DEUS, A.C.F.; BULL, L.T.; CORRÊA, J.C.; VILLAS BOAS, R.L.; Nutrient accumulation and biomass production of alfafa after soil amendment with silicates. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, n.3, p. 406-413, 2014.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4ª ed. Belém: MBDF, 2011, 215p.

EVANGELISTA, R.A.; LIMA, J.A. Estabelecimento e renovação de pastos. Cap.17, In: REIS, R.A.; BERNADES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME, 2013, p.251-274.

FARIA, L.A.; LUZ, P.H.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**, Viçosa, v.32, n.3, p.1209-1216, 2008.

FONSECA, D. M.; SANTOS, M. E. R.; SILVA, A. A. Corretivos e adubos fosfatados em pastagens: aplicação superficial é suficiente? **Informe Agropecuário**, v.33, n.266, p.49-57, 2012.

GARCIA-GUINEA, J.; CORRECHER, V.; RECIO-VAZQUEZ, L.; CRESPO-FEO, E.; GONZALEZMARTIN, R.; TORMO, L. Influence of accumulation of heaps of steel slag on the environment: determination of heavy metals content in the soils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.82, p.267-277, 2010.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotrop. Entomol**, Londrina, v.31, n.2, p.305-310. 2002.

HOJO, R. H. **UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DA GOIABEIRA**. 2010. 76 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo. 2010.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade**. 2018. 84 p.

LEITE, G.G.; SILVEIRA, L.F.; FERNANDES, F.D.; GOMES, A.C. **Crescimento e composição química do capim *Paspalum atratum* cv. Pojuca**. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento* 19, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001, 22p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 920p., 1995.

MAUSETH, J.D. **Plant Anatomy**. Menlo Park: Benjamin Cummings, 1988, 568p.

MENEGALE, M.L.C.; CASTRO, G.S.A.; MANCUSO, M.A.C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p.435-454, 2015.

MERTENS, D.R. Regulation of forag intake. In: FAHEY JUNIOR, G.C. **Forage quality: evolution and utilization**. Madison: America of Agronomy e Crop Science Society of America, 1994, p.450-493.

MONTEIRO, F.A. Uso de corretivos agrícolas em pastagens. Cap.18, In: REIS, R.A.; BERNADES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME, 2013, p.275-290.

NASCIMENTO JÚNIOR, D.; VILELA, H.H.; SOUZA, B.M.L.; SILVEIRA, M.C.T. Fatores que afetam a qualidade da plantas forrageiras. Cap. 27. In: REIS, R.A.; BERNADES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME, 2013, p.409-424.

O'REAGAIN, P.J.; MENTIS, M.T. Leaf silicification in grasses: a review. **Journal of The Grassland Society of Southern Africa**, Sunnyside, v.6, n.1, p.37-43,1989.

PRADO, R. D. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1199-1204, 2001.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L. A.; ARMELIN, M. J. A.; FREITAS, A. R. **Calagem em pastagem de *Brachiaria decumbens* recuperada com**

adubação nitrogenada em cobertura. Circular técnica 37, São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004, 32p.

SANTANA, G.S.; BIANCHI, P.P.M.; MORITA, I.M.; ISEPON, O.J.; FERNANDES, F.M. Produção e composição bromatológica da forragem do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), submetidos a diferentes fontes e doses de corretivo de acidez. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.1, p.241-246, 2010.

SOBRAL, M. F.; NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; 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 Ambiental**, v.15, n.8, p.867–872, 2011.

SOUZA, E.A.; MORAES, J.C.; AMARAL, J.L.; LIBERATO, R.D.; BONELLI, E.A.; LIMA, L.R. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sobre a população de ninfas do percevejo castanho das raízes *Scaptocoris carvalhoi* Becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.6, p.1518-1526, 2009.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2ª ed., Nova York: Cornell University Press, 1994, 476p.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. **Calagem e uso de gesso agrícola em pastagens.** In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS,3, 1997, Jaboticabal. *Anais...* Jaboticabal: UNESP-FCAMV, 1997, P. 63-111.

WALLY, M. S.; BISSANI, C. A.; SANTOS, V. P.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; ANDREAZZA, R.; GIANELLO, C. Correção da acidez do solo e aporte de metais pesados pela aplicação de escória básica de aciaria. **Biosci. J.**, v.31, n.1, p.135-145, 2015.

ZANETTI, L.V. **Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) ao déficit hídrico.** 2013, Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais: Vitória, 2013, 60f.