

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DA CANA-PLANTA:
EFEITOS NO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUTIVIDADE**

Cíntia Carla Avalhães
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Março de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DA CANA-PLANTA:
EFEITOS NO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUTIVIDADE**

Cíntia Carla Avalhães

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Coorientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Março de 2010

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Cíntia Carla Avalhães – nascida em Aquidauana, Mato Grosso do Sul, em 13 de maio de 1985, filha de Diva Aparecida Avalhães. Em 2003 ingressou na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Aquidauana, e graduou-se Engenheira Agrônoma em 2007. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica (CNPq) por 18 meses e colaboradora em projetos de pesquisa, bem como realizou estágio extracurricular na EMBRAPA Agropecuária Oeste e na UNESP Câmpus Jaboticabal. Em março de 2008 ingressou no curso de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na UNESP Câmpus Jaboticabal. Foi bolsista pela CAPES por 18 meses, realizou diversas atividades, como estágio docência em Nutrição de Plantas, membro do grupo de pesquisa Genplant, atuando como colaboradora em projetos de pesquisa e participou em organização de evento. Foi autora de cinco artigos em periódicos científicos e, autora e co-autora de mais de vinte resumos em anais de congressos. Em março de 2010 obteve o título de Mestre em Agronomia – Ciência do Solo.

A minha querida mãe, Diva Aparecida Avalhaes, exemplo de força, perseverança e humildade. Uma mulher que sempre lutou pelos seus sonhos e realizou-os com muito trabalho, simplicidade e fé em Deus. Uma vitoriosa, a qual eu procuro espelhar-me a cada dia. Minha mãe, minha amiga, minha heroína, meu exemplo de vida!

DEDICO

“O coração do homem propõe o seu caminho; mas o Senhor lhe dirige os passos”. (Provérbios 16:9)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jesus Cristo pela misericórdia, amor incondicional e por ter me concedido sabedoria e força para eu chegar até aqui.

À UNESP-FCAV e ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, pela estrutura fornecida, bem como à FAPESP e à CAPES pelo auxílio financeiro para que a pesquisa pudesse ser realizada.

Ao prof. Dr. Renato de Mello Prado pela orientação e conhecimento transmitido ao longo desse período, e ao meu coorientador, prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta pelos conselhos e disponibilidade em atender-me.

Aos membros da banca examinadora, Prof Dr. José Carlos Barbosa e Dirceu Maximino Fernandes pelas preciosas contribuições.

Ao professor William Natale e Dona Marisa, em especial, pela paciência, conselhos, bons exemplos e disposição em amparar-nos.

Ao prof. e amigo Marcos Camacho, pela amizade e conhecimento transmitido ao longo da minha vida acadêmica.

Aos colegas do grupo da pesquisa, Diego, Ivana, Aline, Matheus, André, Silvio, Netto, Everton, e em especial, à amiga Thays, sem os quais não teria sido possível a realização da mesma.

Aos funcionários do Depto de Solos e Adubos, em especial, à Claudinha e ao Djair pela amizade, auxílio, compreensão e disposição em ajudar e alegrar-nos nesses dois anos.

Aos meus amigos, Marcus, Danilo, Henrique, e a minha querida amiga Liliane, pelo apoio ao longo de toda minha estadia em Jaboticabal. Agradeço a Deus por essas vidas preciosas.

Agradeço às meninas, Dri, Ana, Amanda, Rose, Luíza, Carol, Samantha, "Miojo", Laura e Kelly, pelos bons momentos compartilhados. Vocês são muito especiais!

Ao meu primo Adirlei e à Cris pelo acolhimento e compreensão nos momentos difíceis. Agradeço ao colega Ronaldo pela disposição em ajudar-me nas tarefas.

Agradeço ao meu namorado Bruno, pelo companheirismo, amizade e incentivo.

A minha mãe e a minha irmã Cibeli, por acreditarem em mim, sempre! E à Júlia, minha sobrinha, pela alegria contagiante e animadora.

A todos aqueles que de alguma forma participaram, seja torcendo, trabalhando junto ou orando por mim, embora não mencionados.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. Importância da cultura da cana-de-açúcar	3
3.2. Fertilidade dos solos tropicais	4
3.3. Importância da nutrição da cana-de-açúcar.....	6
3.4. Escória de siderurgia como material corretivo da acidez do solo	7
3.5. Escória de siderurgia como fonte de silício	9
3.6. Escória de siderurgia e os metais pesados	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. Efeitos dos tratamentos na fertilidade do solo.....	21
5.2. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia nos teores de metais pesados no solo.....	48
5.3. Efeitos dos tratamentos na planta	52
5.3.1 Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento da cana-planta	52
5.3.2 Efeitos dos tratamentos na nutrição da cana-planta	54
5.3.3. Efeitos dos tratamentos na produção e na qualidade da cana-planta	81
6. CONCLUSÕES	85
7. AGRADECIMENTOS	85
8. REFERÊNCIAS	85
8. APÊNDICE	97

ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DA CANA-PLANTA: EFEITOS NO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUTIVIDADE

RESUMO - Pesquisas têm sido desenvolvidas com intuito de se constatar os benefícios da aplicação da escória de siderurgia em cana-de-açúcar. Em vista disso, com o presente trabalho, buscou-se avaliar o potencial agrícola da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo e fonte de silício, em sistema de colheita sem despalha a fogo, por meio de análises químicas do solo, das plantas e de variáveis biológicas de desenvolvimento, qualidade e produção da cana-de-açúcar, em um Latossolo Vermelho distrófico. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4, sendo que os tratamentos foram constituídos por duas fontes de material corretivo (calcário e escória de siderurgia), quatro doses (zero; metade; uma vez; duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60), totalizando 32 parcelas. O estado nutricional das plantas foi determinado por meio de amostragens das folhas +1 e +3 aos 4 e aos 9 meses. No solo, foram realizadas três amostragens (aos 99 dias após a incorporação do material corretivo, aos 6 meses e 15 meses após o plantio) para fins de fertilidade e determinação de silício “disponível”. A escória de siderurgia mostra-se semelhante ao calcário na elevação do pH do solo, na neutralização da acidez potencial e na elevação da saturação por bases do Latossolo Vermelho distrófico. A aplicação do material corretivo não afeta o crescimento e a produção da cana-planta. Contudo, as fontes e doses dos materiais corretivos influenciam a nutrição da cultura, afetando os teores foliares, especialmente Ca, Mn e Zn, independente do tipo de folha coletada (+1 e/ou +3). A aplicação da escória de siderurgia não foi suficiente para provocar incrementos a níveis tóxicos nas concentrações de metais pesados no sistema solo-planta.

Palavras-chave: Calagem, resíduo siderúrgico, *Saccharum spp.*, silício.

SILICATE SLAG THE CULTURE OF-SUGAR-CANE: EFFECTS ON SOIL, IN NUTRITION AND PRODUCTIVITY

ABSTRACT - Polls have been developed in order to see the benefits of silicate slag in sugar cane. Most of the results were favorable in both the production of stems and in the production of sugar, such as increased productivity and reduction of diseases and pest attack. Therefore, with this work, we attempt to assess the agricultural potential of the steel slag as corrective of soil acidity and a source of silicon in the system without despalha fire, from chemical analysis of soil, plants and biological variables of development, quality and production of sugar cane. The study was conducted at the Experimental Farm of FCAV / UNESP - Campus de Jaboticabal, in an Oxisol. The experimental design was a randomized blocks in factorial scheme 2x4, and the treatments consisted of two sources of remedial material (limestone and silicate slag), four doses (zero, half, once, twice the recommended dose for raise the V% indicated as optimal for each crop of sugar cane), totaling 32 plots. The nutritional status of plants is determined by sampling of leaves. The technological analysis will be performed by the sucrose, fiber, purity and concentration of soluble solids. In soil, the sampling will be conducted every six months, determining the concentration of silicon "available." The slag is shown similar to lime in raising soil pH to neutralize the acidity and the increase in saturation of the soil studied. The implementation of corrective material does not affect the growth and yield of sugarcane. However, the sources and levels of corrective agents influence the nutrition of the crop, affecting the leaf, especially Ca, Mn and Zn, regardless of leaf type collected (+1 and / or +3). The application of slag was not enough to cause increases to toxic levels in the concentrations of heavy metals in soil-plant system.

Key words: Liming, waste steel, *Saccharum spp.*, Silicon.

1. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica brasileira é uma das mais importantes para a economia do país. A capacidade total do setor atinge 41 milhões de t por ano de aço bruto (IBS, 2009). Porém, essa atividade gera imensas quantidades de resíduos, cerca de 0,65 t de escória por tonelada de aço produzido (CATANI e SOUZA, 1989). Além disso, existe um estoque enorme acumulado desde o início da implantação das indústrias siderúrgicas devido ao subconsumo desse resíduo.

Por outro lado, tem-se o nítido crescimento do setor sucroalcooleiro no Brasil, em decorrência do aumento da demanda de açúcar e álcool, apresentando-se como o setor mais competitivo do mundo, com maiores níveis de produtividade, rendimento e menores custos de produção. O Estado de São Paulo, que responde por 60% da produção nacional, apresentou uma produção de 299 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2007/2008, numa área colhida de 3,4 milhões de hectares (AGRIANUAL, 2009). Assim, observam-se dois setores de produção com potencial de interação, onde existe uma fonte de um produto com características semelhantes aos corretivos comercializados e, um setor sucroalcooleiro que apresenta vasta área cultivada no Estado, conseqüentemente, uma demanda por materiais corretivos.

As escórias, subprodutos da indústria do aço e ferro, apresentam em sua composição constituintes neutralizantes (ALCARDE, 1992), além de Ca e Mg (PIAU, 1991). Assim, as melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do SiO_3^{2-} e, conseqüentemente, da elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, CTC, V%, e diminuição da concentração de H+Al (PRADO e FERNANDES, 2001b, 2003; PRADO et al., 2002a). Além disso, a escória libera silício no solo, elemento que pode apresentar certa mobilidade, superior ao carbonato dos calcários, com reflexos na lixiviação de bases no perfil, o que, conseqüentemente, favorece o desenvolvimento das raízes nas camadas subsuperficiais, especialmente, em sistemas de produção que evitam a mobilização do solo.

No estabelecimento de uma cultura semiperene, como a cana-de-açúcar, a correção da acidez do solo adequada é extremamente importante na época da

implantação da cultura, permitindo incorporação do material na camada arável, pois um solo ácido comprometerá a produtividade das plantas por muito tempo.

Diante disso, tem sido desenvolvidas pesquisas com intuito de se constatar os benefícios da aplicação da escória de siderurgia em cana-de-açúcar em trabalhos desenvolvidos nos Estados Unidos (AYRES, 1966; ANDERSON e SNYDER, 1995). Na literatura nacional, existem alguns trabalhos que tratam do uso desse subproduto como corretivo de acidez do solo na cultura da cana-de-açúcar em condições de vasos (PRADO e FERNANDES, 2000, 2001a) e em condições de campo (Latosolo Vermelho Amarelo) acompanhando os efeitos na cana-planta e na primeira soqueira (PRADO, 2000; PRADO e FERNANDES, 2001b; PRADO et al., 2002a), na segunda e na terceira soqueira (PRADO et al., 2003).

Embora, tenham sido realizadas algumas pesquisas com escória de siderurgia em cana-de-açúcar no Brasil, são incipientes os trabalhos que avaliaram o efeito desse subproduto com relação à liberação de metais pesados, bem como, são contraditórios os resultados obtidos com relação aos extratores utilizados na quantificação dos mesmos, principalmente para cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb), metais pesados presentes na escória siderúrgica. Assim, o estudo da aplicação desse subproduto é condição necessária para que sua utilização preserve as condições ambientais.

Contudo, são poucas as pesquisas em condições de campo, especialmente em diferentes solos e no sistema de colheita sem despalha a fogo.

2. OBJETIVOS

Objetivou-se, com a presente pesquisa, avaliar o potencial agrícola da escória de siderurgia como material corretivo da acidez do solo e fonte de silício, associado ao monitoramento dos metais pesados no sistema solo-planta, a partir de análises químicas do solo, das plantas e de variáveis biológicas de desenvolvimento, qualidade e produção da cana-planta num sistema de colheita sem despalha a fogo, em um Latossolo Vermelho distrófico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar

Para o Brasil, a cana-de-açúcar é especialmente importante, pois continua avançando em várias partes do território nacional sendo cultivada para a produção de açúcar e álcool, e ainda para fabricação de aguardente e alimentação de bovinos. Segundo a Conab, a produção brasileira de cana-de-açúcar para safra 2008/2009 está prevista em 8,9 milhões de hectares, dos quais 7 milhões destinam-se à produção de açúcar e álcool. O Estado de São Paulo, que responde por 60% da produção nacional, apresentou uma produção de 299 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2007/2008, numa área colhida de 3,4 milhões de hectares (AGRIANUAL, 2009).

O principal cultivo no Estado de São Paulo é o da cana-de-açúcar, que ocupa pouco mais da quarta parte da área agrícola. O número de UPAs (Unidades de Produção Agropecuárias) com essa cultura aumentou 42,3% (de 70.111 para 99.799), enquanto que sua área aumentou 90,5% (de 2.886.312 ha para 5.497.139 ha), quase dobrando em onze anos. Como termo de comparação, segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a quantidade de cana-de-açúcar processada no Estado passou de 152.097.970t em 1995/96 para 296.313.957t, em 2007/08, um aumento de 94,8%, capaz de explicar o aumento de área plantada mais algum ganho de produtividade devido a inovações tecnológicas (UNICA, 2009).

Em 2008, a área com cana-de-açúcar para forragem foi estimada em 87.013,55 ha, enquanto que a área nova de cana-de-açúcar para indústria foi estimada em 792.609,46 ha (IEA, 2009).

O Projeto LUPA estima a área cultivada total, incluindo cana-de-açúcar para indústria e cana-de-açúcar para forragem, bem como áreas novas, que não estão em produção. A área cultivada em Jaboticabal, ano 2007/2008, foi de 53.766,5 ha, em 817 UPAs (SAA/LUPA/IEA,2008).

Além de contribuir para a diminuição da poluição ambiental por combustíveis fósseis, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar e seus produtos e subprodutos

constitui uma importante fonte de distribuição de riqueza e de bem estar para inúmeras metrópoles e de seus conseqüentes problemas sociais.

Pode-se destacar, ainda, a co-geração de energia elétrica. Vapor e calor são muito importantes no processo de obtenção de açúcar e de álcool. O vapor, obtido pela queima do bagaço da cana, movimenta turbinas, gerando energia elétrica que torna auto-suficientes unidades industriais e excedentes, vendidos às concessionárias. No Estado de São Paulo, o setor gera para consumo próprio entre 1.200 e 1.500 Megawatts, 40 usinas produzem excedentes de 158 Mw e, a luz que vem da cana já ajuda a iluminar diversas cidades. O potencial de geração de energia da agroindústria canavieira está em torno de 12 mil Mw – a potência total instalada no Brasil é de 70 mil Mw (UNICA, 2008).

3.2. Fertilidade dos solos tropicais

Uma das principais características dos solos brasileiros é apresentar acidez elevada, proveniente, principalmente, das altas concentrações de alumínio tóxico, ferro e manganês na solução do solo (MARTINS, 2005). E associado a isso, devido ao intemperismo, tem-se solos com baixo teor de Si, porém oferecem boas produções quando a fertilidade é corrigida.

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à própria pobreza em bases do material de origem, ou a processos de formação que favorecem a remoção de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na, etc. Além disso, os solos podem ter sua acidez aumentada por cultivos e adubações que levam a tal processo. Em qualquer caso, a acidificação se inicia, ou se acentua devido à remoção de bases da superfície dos colóides do solo (LOPES et al., 1990).

Há duas maneiras principais que provocam a acidificação do solo. A primeira ocorre naturalmente pela dissociação do gás carbônico, e a segunda causa da acidificação é ocasionada por alguns fertilizantes (sobretudo os amoniacais e a uréia) que durante a sua transformação no solo (pelos microrganismos) resulta H^+ . Contudo a correção do solo é uma prática que visa, principalmente, corrigir a acidez e neutralizar os efeitos tóxicos de elementos como o alumínio e o manganês, fornecendo ainda cálcio e magnésio (LOPES et al., 1990). Alguns autores atribuem

ainda como uma terceira causa importante da acidificação dos solos, a hidrólise do alumínio, a qual produz íons H^+ , de acordo com a reação:



O fato da cana-de-açúcar se desenvolver em uma larga faixa de pH, que varia de 4,0 a 8,3 (SCHMEHL & HUMBERT, 1964), aponta para uma possível menor necessidade de calagem, em comparação com outras culturas (RAIJ, 2008).

Uma minuciosa revisão sobre calagem para cana-de-açúcar foi realizada por MARINHO & ALBUQUERQUE (1983), ficando evidente a tolerância da cultura ao alumínio, contudo diversos trabalhos relatam a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de calcário, porém em alguns casos, esse efeito tenha sido atribuído ao cálcio como nutriente e não à correção da acidez do solo.

Em diversos países apenas os teores de Ca e Mg no solo são considerados para prescrição de calagem, como por exemplo, no Havaí o nível crítico de Ca^{+2} no solo seria de $7 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$, na África do Sul seria de $7,5 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ e na Austrália seria de $8,5 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$. Para o Brasil, há várias indicações, destacando-se a de ZAMBELLO JUNIOR FILHO (1991), com um limite de $7,5 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ de Ca^{+2} . Entretanto, os resultados de calagem para a cana-de-açúcar obtidos no Brasil ainda não são conclusivos.

Em dez ensaios, realizados em diversas unidades produtoras de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo num solo com saturação por bases inferior a 27%, buscando avaliar o efeito benéfico da calagem sobre a absorção de potássio pela cultura, ROSSETTO et al. (2004) puderam constatar que em apenas dois experimentos houve aumento na produção da cana-de-açúcar. Nesses solos o pH era inferior a 4,4, e os teores de cálcio e magnésio em torno de 6 e $1 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$, respectivamente. Isso mostra que, apesar da cana-de-açúcar apresentar uma boa tolerância e adaptabilidade à acidez do solo, em condições de extrema adversidade a cultura responde positivamente à prática da calagem. Em seis das dez avaliações foram encontrados ganhos de mais de 5 t ha^{-1} , entretanto apenas dois tiveram significância estatística. Os autores observaram ainda que, nas áreas onde foi observado ganho de produtividade, esses ganhos mantiveram-se entre 8 e 13 t ha^{-1} .

Neste contexto, pode-se também destacar a aplicação da escória de siderurgia como alternativa ao calcário, sendo corretivo da acidez do solo e fonte de Ca e Mg, conforme constatado por PRADO & FERNANDES (2000).

Entretanto, para avaliar o potencial da escória de siderurgia, comparando-a ao calcário a fim de ser empregado em culturas semi-perenes, como a cana-de-açúcar, há necessidade de acompanhar seus efeitos na nutrição da planta, uma vez que materiais corretivos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos e, conseqüentemente, a absorção e translocação dos nutrientes.

3.3. Importância da nutrição da cana-de-açúcar

O uso da análise foliar para fins de diagnose ainda não é muito aceito na cultura da cana-de-açúcar, devido ao fato de que as concentrações dos nutrientes variam em função das épocas de amostragem, os níveis de suficiência variam em função dos cultivares e ainda, existe uma grande dificuldade em se estabelecer um balanço adequado entre os nutrientes na planta além de não se conseguir corrigir os problemas durante a mesma safra (KORNDORFER e RAMOS, 2008).

Para fins de diagnose foliar é conveniente que as amostras sejam coletadas e analisadas quando as folhas se encontram na fase de maior desenvolvimento vegetativo. Portanto, o tipo de folha adequada e a época certa de amostragem são fatores muito importantes na definição dos critérios para a diagnose foliar, visto que a distribuição dos nutrientes minerais na planta e, em cada uma de suas partes, não é homogênea e, mesmo ao longo da folha, podem-se observar teores diferenciados, em função até mesmo da mobilidade de cada elemento na planta, mostrando a necessidade da padronização das amostras (JONES et al., 1991). Contudo, existem divergências na literatura com relação à diagnose foliar em cana-de-açúcar, existindo indicações para a folha +3, aos 4 meses após a brotação (MALAVOLTA, 1992) ou aos 9 meses de idade (TRANI et al., 1983) e também a folha +1 (RAIJ et al., 1997).

PRADO et al. (2002), avaliando doses de materiais corretivos em cana-de-açúcar, observaram resposta significativa na produção de colmos; entretanto, não

houve diferença no estado nutricional das plantas. Os autores levantaram como hipótese para explicar esse fato, o tipo de folha amostrada (+3). Acrescentaram ainda, que sabendo que o tipo de folha define a sua idade, que por sua vez constitui uma fonte de variação importante, isto dificultaria as interpretações do estado nutricional da planta, de forma que estudos sobre a folha-diagnóstica deveriam ser considerados para essa cultura.

Assim sendo, é importante a realização de novos trabalhos no tocante à folha-diagnose para cana-de-açúcar, bem como épocas de amostragens.

Com relação à importância do Ca para as plantas, MALAVOLTA et al. (1997) citam: a) estrutural: pectatos de cálcio, carbonato de cálcio, oxalato de cálcio, fitato de cálcio e calmodulinas; b) constituinte ou ativador enzimático: ATPase (aspirase), alfa amilase, fosfolipase D, nucleases; c) processos: estrutura e funcionamento de membranas, absorção iônica, reações com hormônios vegetais e ativação enzimática; d) papéis na formação: estimula o desenvolvimento das raízes.

O magnésio é o elemento central da molécula de clorofila, cerca de 10% do Mg total da folha está na clorofila. Segundo MALAVOLTA (1997) o magnésio é ativador de muitas enzimas. Quase todas as enzimas fosforilativas é ativada pelo magnésio, além das reações de síntese de compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão da raiz.

Ao avaliar respostas da cana à aplicação do subproduto, PRADO & FERNANDES (2003) observaram que a semelhança do calcário e da escória de siderurgia na produção de massa seca da parte aérea, explicada pelo seu comportamento semelhante no solo e conseqüentemente na nutrição da planta. RAID et al. (1992) verificaram ainda, que a escória proporcionou um efeito linear no perfilamento da cana-de-açúcar (média dos dois cortes) enquanto que o calcário não afetou este parâmetro.

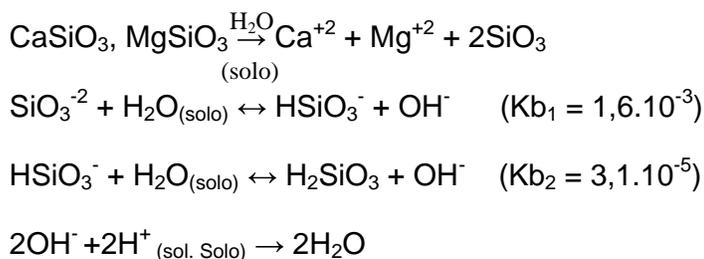
3.4. Escória de siderurgia como material corretivo da acidez do solo

Escórias são subprodutos da indústria do aço e ferro que apresentam em sua composição constituintes neutralizantes (ALCARDE, 1992), além de Ca e Mg (PIAU, 1991), e Si, elemento benéfico às plantas e ao solo. Assim, as melhorias nas

características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do SiO_3^{2-} e, conseqüentemente, da elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, CTC e V%, e diminuição da concentração de H+Al (PRADO & FERNANDES, 2000, 2003; PRADO et al., 2002).

CARVALHO-PUPATTO et al. (2003) verificaram que o aumento nas doses de escória proporcionou aumentos significativos nos valores de pH, Ca, Mg e Si e redução na acidez potencial (H+Al). Resultados semelhantes foram obtidos por PRADO et al. (2002) e PRADO & FERNANDES (2003).

O aumento do valor de pH está relacionado ao poder neutralizante da base SiO_3^{2-} (ALCARDE, 1992) presente no material utilizado. Segundo o mesmo autor, o processo ocorre de acordo com as seguintes reações:



Efeitos positivos do silicato no P disponível do solo foram encontrados por LEITE (1997), que indica a inclusão de silicatos em programas de adubação fosfatada em latossolos intemperizados, objetivando aumentar a eficiência da adubação fosfatada. PRADO & FERNANDES (2001) sugerem ainda que o efeito da escória de siderurgia no P disponível do solo se deve mais ao efeito do silicato do que ao efeito do pH e, assim o uso agrônômico desse subproduto pode contribuir para aumentar a eficiência da adubação fosfatada em solos semelhantes ao Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana.

Comparando a escória com o calcário, baseado no poder de neutralização (PN) para a correção do solo, FORTES (1993) verificou a não eficiência da aplicação de escória, enquanto PRADO (2000), aplicando doses quimicamente equivalentes de calcário e escória, em condições de campo cultivado com cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca) aos 12 e 24 meses após a incorporação, observou mudança na correção da acidez do solo e concluiu que a reatividade da escória de siderurgia depende da classe de solo.

Pode-se considerar ainda resultados obtidos por PRADO et al. (2004), onde a aplicação da escória de siderurgia aumentou significativamente, e de forma linear, o pH, reduzindo linearmente a concentração de H+Al; as concentrações de cálcio e magnésio, os valores da soma de bases e da saturação por bases aumentaram de forma quadrática no substrato.

Um dos aspectos conhecidos e responsáveis pela alta produção da cana-de-açúcar e sucesso da cadeia produtiva é a adequada nutrição da cultura, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros.

Contudo, o monitoramento do estado nutricional da cultura é extremamente importante, destacando-se a diagnose foliar, que é um método baseado nas relações diretas entre o nível de fertilidade do solo ou a dose de adubo empregado e a produção, a dose de adubo e o teor dos nutrientes nas folhas, e o teor de nutriente nas folhas e a produção obtida.

3.5. Escória de siderurgia como fonte de silício

Ultimamente, têm sido discutidos os efeitos benéficos do Si no sistema solo-planta. No solo, uma das formas principais do Si presente no solo é o ácido monossilícico (H_4SiO_4). O Si pode apresentar certa mobilidade superior ao carbonato dos calcários, com reflexos na lixiviação de bases no perfil, o que, conseqüentemente, favorece o desenvolvimento das raízes nas camadas subsuperficiais, especialmente em sistemas de produção que evitam a mobilização do solo, como no sistema de cana-crua e até plantio direto (culturas anuais).

RAIJ & CAMARGO (1973) verificaram em solos de diferentes textura e idade do estado de São Paulo, que os menores valores de Si solúvel ocorreram no Latossolo textura média e os maiores valores num Argissolo. Isto se deve à reduzida porcentagem de argila neste Latossolo, aliada a menor superfície específica total em relação ao Argissolo menos intemperizado e mais argiloso. Esses autores encontraram teores de Si extraível com $CaCl_2$ $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$, variando de 1 a 43 mg dm^{-3} . Para os solos com os mesmos teores de argila, os teores de Si solúvel foram maiores nos solos com horizonte B textural do que nos solos com horizonte B latossólico.

KORNDÖRFER et al. (1999) observaram em diferentes solos do estado de Minas Gerais concentrações de 9,0, 7,0, 10,0 e 3,3 mg dm⁻³ de Si disponível (extrator cloreto de cálcio 0,0025 mol.L⁻¹) para Latossolo Roxo distrófico, Latossolo Vermelho-Escuro álico, Latossolo Vermelho-Amarelo álico e Areia Quartzosa álica, respectivamente.

FONSECA et al. (2009) observou que houve acréscimo na concentração de Si de 50% com adição de 3,22 g dm⁻³ de escória de siderurgia em ECaCO₃, em relação à testemunha, no período pós-incubação de um Latossolo Vermelho distrófico.

Na planta, o Si pouco móvel, penetra na forma de ácido monossilícico, e acredita-se que sua absorção ocorra de maneira passiva, por fluxo de massa, processo não seletivo, sendo facilmente translocado no xilema (JONES & HANDRECK, 1967; BARBER & SHONE, 1966; YOSHIDA, 1975).

Depois de absorvido, é depositado na forma de sílica amorfa nas paredes das células da epiderme, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar a resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, dependendo da variedade do material (EPSTEIN, 1999; KORNDÖRFER et al., 2002). O Si melhora, ainda, o aproveitamento da água (AGARIE et al., 1998), sendo que as folhas ricas desse elemento podem, por meio da polimerização, preencher os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água através da parede celular, causando aumento da economia de água da planta pela diminuição da taxa de transpiração (SAVANT et al., 1999).

O Si beneficia também a arquitetura da planta, as folhas ficam mais eretas e aumenta a taxa fotossintética (DEREN et al., 1994; KORNDÖRFER et al., 2002; FARIA, 2000), resultado de uma menor abertura de ângulo foliar, permitindo maior captação da energia luminosa (YOSHIDA et al., 1969), aumentando a produtividade, principalmente em espécies acumuladoras desse elemento como o arroz e cana-de-açúcar (KORNDÖRFER & DATNOFF, 1995).

A cana-de-açúcar é bastante responsiva a adubação com Si, principalmente nos solos pobres nesse elemento. ROSS et al. (1974) citam uma exportação de até 408 kg ha⁻¹ de Si para uma produção de apenas 74 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar (folhas

e colmo). Pode ainda, aumentar a produção de 11 a 16% na cana-planta e 11 a 20% na cana-soca (DATNOFF et al., 2001).

Embora as funções do silício na cana-de-açúcar não sejam completamente esclarecidas, sabe-se que ele desempenha importante papel na produtividade dessa cultura, sendo absorvido em quantidade elevada, podendo variar de 0,14% a 6,7%, em folhas jovens e folhas velhas, respectivamente (ANDERSON et al., 1991).

3.6. Escória de siderurgia e os metais pesados

Na natureza, os metais pesados podem originar-se das rochas e, assim os solos resultantes de processos de intemperismo dessas rochas acabam por conter os metais pesados. Entretanto, o uso de resíduos orgânicos, como fertilizantes e/ou condicionadores do solo, também pode contribuir para a adição de metais pesados nos solos (MARQUES et al., 1998; GATTO, 2003).

Na literatura é possível verificar extratores para estudar a disponibilidade de níquel em áreas que recebem lodo de esgoto, podendo destacar o ligante orgânico ou complexante DTPA e as soluções ácidas HCl 0,1 mol L⁻¹ e Mehlich-3 (BERTONCINI, 1997; ANJOS, 1999; OLIVEIRA, 2000). O uso de agentes complexantes decorre da sua habilidade de deslocar metais ligados a radicais orgânicos e carbonatos, extraíndo com facilidade as formas lábeis dos metais, sem dissolver as não lábeis (ABREU et al., 1997).

Contudo, o método de extração mais estudado para a previsão da disponibilidade dos metais pesados no solo é o que emprega os agentes quelantes DTPA, entretanto, para os elementos com maior potencial tóxico como Cd, Cu, Ni e Pb, a eficiência desse extrator tem se mostrado reduzida. É difícil haver um extrator que tenha boa correlação com as quantidades fitodisponíveis para todos os metais pesados no solo (Mattiazzo et al., 2001), no entanto, o DTPA pode ser mais eficiente que os extratores Mehlich 1 e 3 para a avaliação da disponibilidade desses elementos tóxicos no solo (Mantovani et al., 2004).

Existe ainda, preferência, pelo uso de ácidos fortes, como HNO₃, ou mistura de ácidos, como ácidos nítrico e perclórico (HNO₃ + HClO₄ – 5:1), água régia (HNO₃

+ HCl – 3:1), ou $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$ (USEPA) mesmo que os resultados não representem os teores totais dos metais no solo.

LAKE (1987) relaciona 28 elementos metálicos pesados, intervalos de níveis de ocorrência em solos agrícolas e valores de maior frequência. Segundo o mesmo autor, o cádmio ocorre nos solos em teores totais variando de 0,01 a 0,70 mg kg^{-1} ; o cromo de 5 a 1.000 mg kg^{-1} ; o níquel de 5 a 500 mg kg^{-1} e o chumbo de 2 a 200 mg kg^{-1} . Para PIAU (1991) a concentração de Cd varia entre 0,07 e 1,1 mg kg^{-1} , e o Cr varia até 120 mg kg^{-1} (BARTLET, 1976), sendo o limite aceitável de Pb no solo é de 70 mg kg^{-1} , porém esta variação está entre 0,1 e 10 mg kg^{-1} (DAVIES, 1977).

Conforme o Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução 375 (CONAMA, 2006), a carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas nos solos agrícolas é de 4 kg ha^{-1} para Cd; 154 kg ha^{-1} para Cr; 41 kg ha^{-1} para Pb e 74 kg ha^{-1} para o Ni.

CORRÊA et al. (2008) observaram que a aplicação de escória de aciaria, lama cal e lodos de esgoto em sistema plantio direto elevou os teores de CTC no solo, o que possibilitou maior adsorção dos metais pesados catiônicos pelos colóides do solo, e a ligação do tipo covalente aos colóides, o que ajuda a explicar a baixa disponibilidade de metais pesados no solo. Os autores relatam que nos solos intemperizados, o aumento da CTC está associado ao aumento de pH, em razão da maior quantidade de cargas negativas dependentes de pH, caracterizada pela maior presença de minerais do tipo 1:1 e de óxidos hidratados de Fe e Al.

Os mesmos autores observaram, ainda, que não houve correlação significativa entre os teores disponíveis de Cd, Cr, Hg, Pb, V e As, em relação aos atributos químicos do solo – pH, matéria orgânica e CTC –, o que permite inferir que houve efeito de compensação entre a adição de metais pesados pela aplicação da escória de aciaria, lama cal e lodos de esgoto e a sua atuação no aumento do pH, da matéria orgânica e da CTC do solo (responsáveis pela adsorção desses metais), o que os torna indisponíveis para análise de extração por DTPA, assim como indisponíveis às plantas, nas condições de Latossolo Vermelho distrófico, manejado sob plantio direto.

Entretanto, para fundamentar o uso agrícola da escória na agricultura, além dos aspectos positivos sobre a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, são

necessários estudos sobre a influência na liberação de metais pesados potencialmente tóxicos no solo e a absorção pelas plantas e, conseqüentemente, sua influência ou não na cadeia alimentar.

SOUZA (2002) verificou que a correção do solo tanto pelo agrosilício® quanto pelo calcário resultou em menor absorção de Cu pela cana-de-açúcar, bem como a absorção de Pb. E observou ainda, que não houve efeito com relação à absorção de níquel pela cana-de-açúcar. A correção de acidez (promovida pela aplicação da escória) diminui a concentração de Ni na solução do solo (LINDSAY, 1979), sendo que o níquel, que é considerado um elemento tóxico, presente em pequenas quantidades, pode ser benéfico ao crescimento vegetal (MALAVOLTA, 1980; SOUZA, 2002).

Embora tenham sido realizadas pesquisas quantificando metais pesados no solo, são incipientes os relatos a respeito da liberação destes elementos em função da aplicação da escória de siderurgia no sistema solo-planta.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Ensino, Pesquisa e Produção da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, localizada a uma altitude de 610 metros, com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W, apresentando clima seco no inverno, em um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006).

Antes da implantação do experimento, foram coletadas 15 subamostras de terra para compor uma amostra composta, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade, para fins de avaliação de fertilidade (RAIJ et al., 2001) conforme Tabela 1. O preparo do solo na área experimental foi realizado pela operação de aração e gradagem.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento

Camada	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
cm	em CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%	
0-20	4,5	17	15	1,9	7	3	40	12,4	52,4	24
0-10	4,4	17	14	1,8	7	3	42	11,8	53,8	22
10-20	4,6	17	16	2,0	8	3	38	13,0	51,0	25
20-40	4,4	14	8	0,8	8	3	38	11,8	49,8	24
40-60	4,6	14	5	0,6	8	3	31	11,6	42,6	27

E ainda, determinou-se no solo, na camada de 0-20 cm de profundidade, as concentrações de micronutrientes, alumínio e silício: B = 0,18; Cu = 0,7; Fe = 19; Mn = 13,5; Zn = 0,5 mg dm⁻³; 6,0 mmol_c dm⁻³ de Al; e 3,9 mg dm⁻³ de Si. O teor de argila foi de 24,5%, na camada de 0-40 cm de profundidade.

Os tratamentos, com quatro repetições, foram dispostos em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4 (duas fontes e quatro doses de material corretivo), totalizando 32 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por uma parcela de 6 m de comprimento e 6 m de largura, totalizando uma área de 36 m², separadas por corredores de 1,5 m de largura.

As fontes de material corretivo foram a escória de siderurgia da empresa Recmix, denominada agrosilício[®] (PRNT = 72,3%, CaO = 42,1%, MgO = 12,4%, RE = 82,88%, Si total = 8,1% e Si solúvel = 6,0%), e o calcário dolomítico (PRNT = 86,2%, CaO = 41,4% e MgO = 10,6%, RE = 85,9%).

Determinou-se, ainda, na escória de siderurgia os teores de metais pesados (Cd = 2,4 mg kg⁻¹, Cr = 2,3 mg kg⁻¹, Ni = 163,8 mg kg⁻¹, Pb = 27,3 mg kg⁻¹) (USEPA, 1986).

As quantidades dos materiais corretivos utilizadas foram: zero, metade, uma vez e duas vezes a dose indicada para elevar V% a 60, em equivalente carbonato de cálcio (ECaCO₃ = 0; 0,9; 1,8 e 3,6 t ha⁻¹), seguindo a recomendação para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997), correspondendo às doses de 0,0; 1,3; 2,6 e 5,2 t ha⁻¹ para a escória de siderurgia e, 0,0; 1,1; 2,2 e 4,4 t ha⁻¹ para o calcário.

A distribuição dos materiais corretivos ocorreu manualmente, dia 19 de novembro de 2007 (Figura 1) e, em seguida, realizou-se a incorporação mecanizada

com emprego da enxada rotativa e, posteriormente, com arado de disco reversível regulado para até 20 cm de profundidade.



Figura 1. Foto lateral da área experimental, ilustrando a distribuição dos materiais corretivos, Jaboticabal-SP

O plantio da cana-de-açúcar (variedade RB 85 5156) foi realizado no dia 17-01-2008, no ano agrícola de 2008/2009 (cana-planta).

No momento do plantio, realizou-se a adubação básica, aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N, 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, de forma uniforme em todos os tratamentos. As doses foram baseadas na análise química do solo, seguindo a recomendação de adubação proposta por SPIRONELLO et al. (1997) para alta produtividade da cana-de-açúcar. Aplicou-se no plantio o micronutriente Mn na forma de sulfato de manganês nos tratamentos com calcário para balanceamento nutricional deste elemento conforme análise química da escória (0,52% de Mn) realizada antes da instalação do experimento.

Na ocasião do plantio, ocorreu também a distribuição do inseticida fipronil (100 g ha⁻¹) no sulco de plantio da cana, por meio de bombas costais. Após 42 dias do plantio, realizou-se a adubação nitrogenada na forma de uréia na dose de 60 kg ha⁻¹ de N.

Para controle de plantas daninhas de folhas largas e estreitas após o plantio, foram aplicados por pulverização mecanizada os herbicidas pós-emergentes 2,4 D (1,2 L ha⁻¹) e MSMA (2,4 L ha⁻¹) em área total, com vazão de 300 L ha⁻¹ em 25-02-2008. Foi realizada também a pulverização mecanizada do herbicida pré-emergente Velpar na dose de 2,5 kg ha⁻¹, em 26-03-2008.

Aos nove meses após a brotação (15-10-2008), foram soltas no experimento, vespas, *Cotesia flavipes*, visando o controle biológico (Biocontrol®) da broca da cana.

Para todas as avaliações feitas no experimento, consideraram-se as duas linhas centrais de plantio, sendo as demais denominadas de bordaduras.

Para as análises de crescimento e/ou desenvolvimento, foi considerado o número de perfilhos aos 120 dias após a brotação (DAB), devido à ausência de colmos, e o número de colmos, aos 270 e 360 DAB, em 1,5 m linear. A altura foi medida na base do colmo até a inserção da folha +1 (primeira folha com a região da inserção da bainha visível) (Figura 2a) e o diâmetro médio da base do colmo foi medido cerca de 8 cm do solo, a partir de 10 plantas por área útil (Figura 2b).

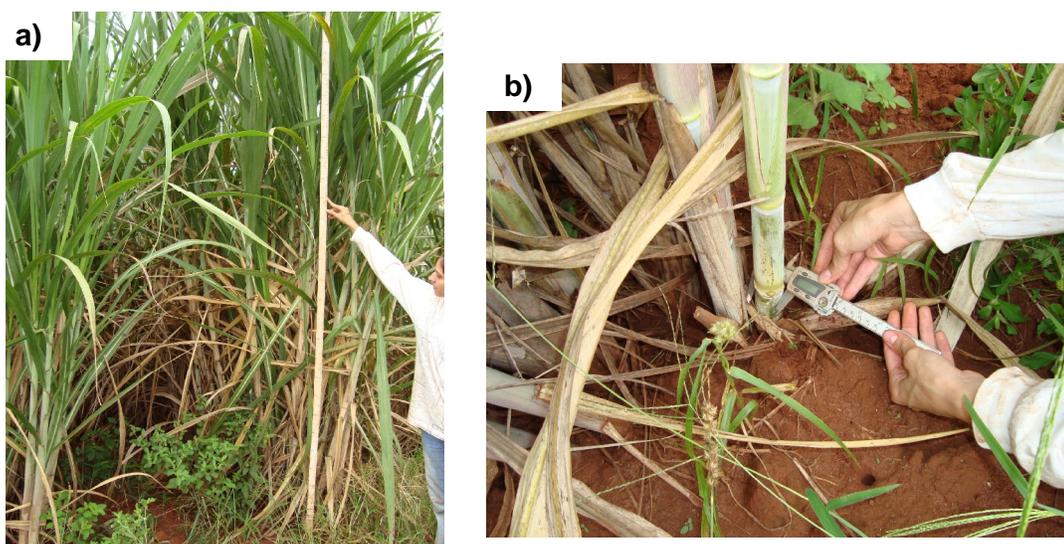


Figura 2. Foto ilustrando as avaliações de crescimento, altura (a) e diâmetro do colmo (b) aos nove meses após a brotação, Jaboticabal-SP.

No solo, a amostragem foi realizada ao longo do período experimental, aos 99 dias após a incorporação dos materiais corretivos (26-02-2008), aos 6 meses após o plantio e aos 15 meses após o plantio. Para isto, foi feita a amostragem do solo na entrelinha da cana-de-açúcar (PRADO et al., 2001), por meio de 10 pontos por área útil, considerando as camadas de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade (Figuras 3 a, b, c, d). Posteriormente, as amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha para determinações analíticas para fins de fertilidade, que seguiram os métodos descritos

por RAIJ et al. (2001). Nas amostras de terra coletadas antes e após o cultivo da cana, também foi determinada a concentração de silício “disponível” segundo a metodologia laboratorial proposta por KORNDÖRFER et al. (2004).

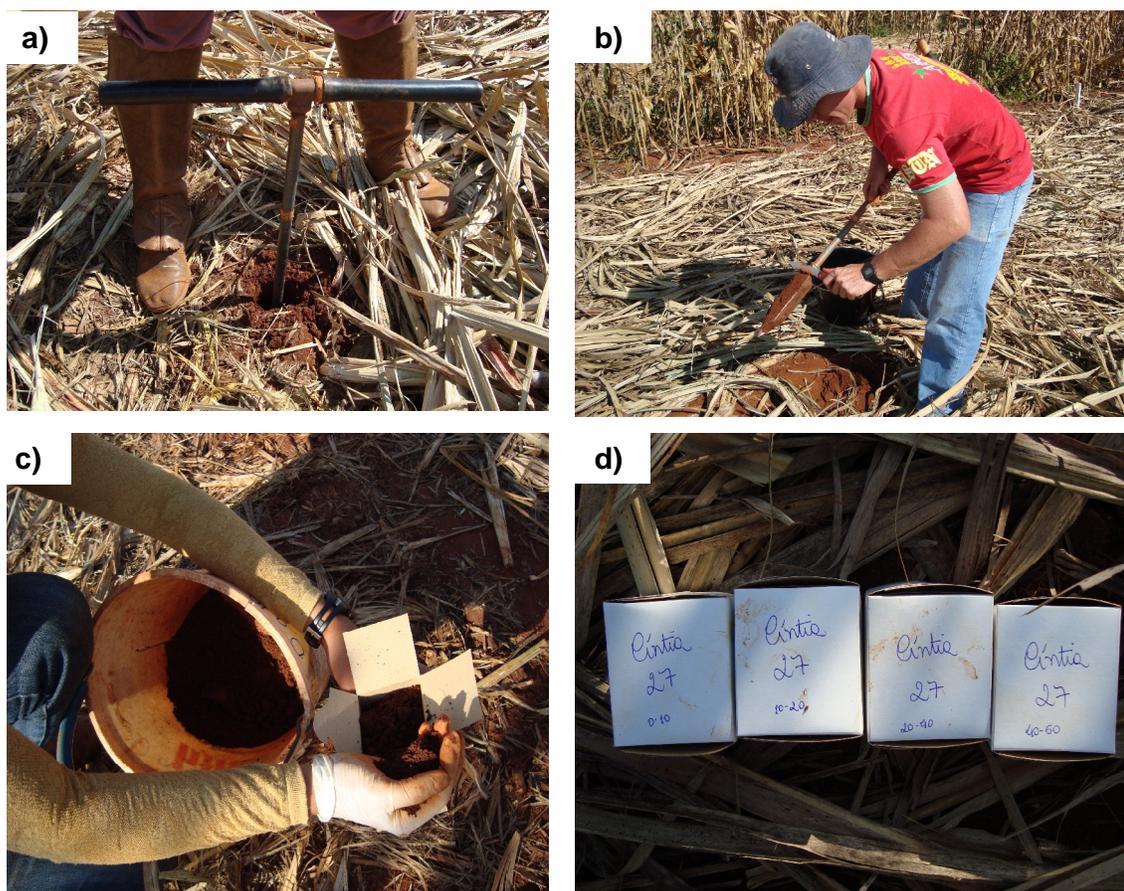


Figura 3. Fotos ilustrando a amostragem de solo até a camada de 60 cm de profundidade (a, b) e as amostras acondicionadas nas caixas de papel (c, d). FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, 29 de maio de 2008.

Além disso, foi feito estudo para avaliar o risco de contaminação de metais pesados potencialmente tóxicos da escória aplicada no solo, sendo determinadas as concentrações fitodisponíveis de Cd, Cr, Ni e Pb, utilizando-se os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹ (PAGE et al., 1982); Mehlich-3 (MEHLICH, 1984) e DTPA pH 7,3 (LINDSAY & NORWELL, 1978), bem como a concentração semitotal desses elementos no sistema solo-planta (USEPA, 1986), sendo as leituras realizadas com utilização da absorção atômica. A análise de metais pesados no solo foi realizada nas amostras

coletadas tanto aos seis quanto aos 15 meses após o plantio, na camada de 0-10 cm de profundidade, e na planta, foi realizada no momento da colheita, na parte aérea (folha+colmo+palmito).

O estado nutricional das plantas (macronutrientes, micronutrientes e silício), foi determinado através de amostragens de 10 folhas por parcela. Como existem divergências na literatura sobre a folha diagnóstica e a época de amostragem, havendo indicações para a folha +3, a ser coletada aos quatro meses após a brotação (MALAVOLTA, 1992) ou aos nove meses de idade (TRANI et al., 1983) e, também a folha +1 (RAIJ et al., 1996), procurou-se avaliar possíveis diferenças entre os métodos, visto inexistir experimentação específica abordando este aspecto. Neste sentido, para a coleta da folha diagnose foram considerados os dois tipos de folhas e as duas épocas de amostragens. Assim, foi coletada a folha +1 (folha mais alta com colarinho visível "TVD") (Figura 4 a), os 20 cm centrais, excluída a nervura central durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo e também, a folha +3 (folha +1 = primeira folha com a região da inserção da bainha visível) (Figura 4 b), tanto aos quatro meses após a brotação da soca, como aos nove meses após a brotação da soqueira.

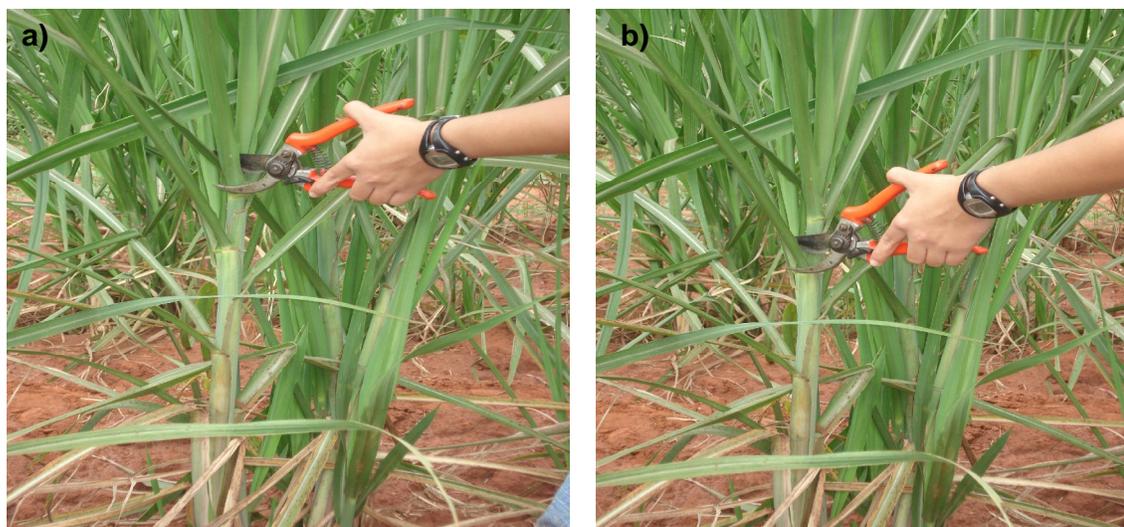


Figura 4. Amostragem das folhas +1 (a) e +3 (b) aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar. FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, 29 de maio de 2008.

Realizou-se a colheita da cana-de-açúcar manualmente, sem despalha a fogo, aos 15 meses após o plantio (17-04-2009). Avaliou-se a produção de colmos a partir da coleta dos colmos da área útil, e os valores foram expressos em $t\ ha^{-1}$.

Na ocasião da colheita, também foi realizada a amostragem de colmos para a avaliação da qualidade tecnológica da cana, a partir de 10 colmos contíguos da linha central de cada parcela (Figuras 5 a, b). Na análise tecnológica foi realizada avaliação do teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza e concentração de sólidos solúveis, determinados segundo o método descrito em COOPERSUCAR (1989).



Figura 5. Foto ilustrando o experimento no momento da colheita manual (a) e a coleta dos colmos (b) para a realização da análise tecnológica da cana-de-açúcar. FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, 17 de abril de 2009.

Além disso, no momento da colheita, foi coletada a parte aérea (folhas, colmo e palmito) em 1,5 m na linha do plantio (Figura 6 a) e em seguida, o material vegetal foi pesado e triturado (Figuras 6 b, c, d) para se obter a massa da matéria seca (MS), determinar-se o teor de nutrientes no tecido vegetal conforme a metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983). Em seguida, calculou-se o acúmulo dos nutrientes e de Si nas plantas (teor x MS). A determinação dos teores de silício seguiu a metodologia descrita por ELLIOTT & SNYDER (1991).



Figura 6. Foto ilustrando a separação da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar em folhas, colmo e palmito (a), a pesagem (b), a trituração (c) e o acondicionamento das amostras em saco plástico (d). FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP, 17 de abril de 2009.

Para estudo dos resultados, foram realizadas análises de variância nos casos em que o teste F foi significativo (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002), e estudos de regressão polinomial para avaliar o efeito das doses sobre as variáveis estudadas, utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2000).

Para as variáveis de solo, realizou-se análise em parcelas subdivididas, sendo oito tratamentos (2 fontes x 4 doses de material corretivo – parcelas) e quatro camadas de profundidade (subparcelas).

Para as variáveis de planta (macro, micronutrientes e Si) realizou-se análise em fatorial, sendo 2 fontes x 4 doses de material corretivo x 2 tipos de folhas (+1 e +3).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Efeitos dos tratamentos na fertilidade do solo

Decorridos 99 dias da incorporação dos materiais corretivos, notou-se interação entre as fontes e doses dos materiais corretivos para os atributos químicos do solo avaliados, exceto para pH, P, MO e H+Al (Tabela 2).

Isso indica que o efeito entre as fontes dos materiais corretivos depende das doses empregadas. Resultados semelhantes foram observados por PRADO et al. (2004) onde houve um incremento na concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} e elevação da soma de bases e da saturação por bases em função da elevação das doses aplicadas dos materiais corretivos (escória e calcário). Isto é explicado pela dependência da solubilização da escória de acordo com o maior fracionamento das partículas, possibilitando maior contato corretivo-solo.

Notou-se diferença entre as fontes de material corretivo nas concentrações de K, Ca, Mg, bem como na soma de bases e na saturação por bases, onde a escória demonstrou-se melhor ao calcário em relação ao incremento de K, Ca, Mg, soma de bases, e na elevação da saturação por bases, 35 e 40%, respectivamente (Tabela 2).

Observou-se um aumento no pH, nas concentrações de Ca, Mg, na SB e no V% e uma redução da acidez potencial com o aumento das doses de material corretivo (Tabela 2).

Para o valor de pH e concentração de H+Al no solo, independente do material corretivo, houve um aumento e uma diminuição com ajuste linear, respectivamente, de 4,3 para 5,4 e de 51 para 28 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ utilizando a dose de 3,6 t ha^{-1} em ECaCO_3 de material corretivo (Figuras 7a,e). Isso implica afirmar que a escória de siderurgia é semelhante ao calcário ao afetar essas variáveis, corroborando aos resultados observados por FONSECA et al. (2009) que, ao trabalhar com um mesmo tipo de solo cultivado com capim-marandu em vaso, verificou uma redução de 28 para 16 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ da acidez potencial do solo utilizando 6,4 t ha^{-1} de ECaCO_3 . Efeito semelhante de silicatos na neutralização da acidez do solo também foi obtido

por outros autores (CARVALHO PUPATTO et al., 2004; PRADO e FERNANDES, 2000, 2001b).

Com a aplicação do calcário e da escória pôde-se observar um aumento linear nas concentrações de Ca (Figura 7c); de Mg (Figura 7d); na soma de bases (Figura 7f) e na saturação por bases, que passou de 20 para 62% e de 21 para 69% (Figura 7g), respectivamente. Assim, notou-se que a interação ocorreu devido a maior dose do material corretivo utilizada, destacando a escória para as bases, soma de bases, com reflexo na saturação por bases do solo. Como são materiais distintos, pode-se admitir que as taxas de RE utilizadas para o calcário talvez não expressem a mesma realidade no caso da escória, visto que este produto apresenta constituição química e física complexa e distinta do calcário. Esta diferença aparece desde a composição da escória (silicatos de cálcio e magnésio associados a compostos de Fe, Al e Mn) e durante a fase de produção destes resíduos (PRADO et al., 2001b).

Portanto, estes resultados discordam dos obtidos por PRADO e FERNANDES (2000) onde, ao trabalharem com um Neossolo Quatzarênico, observaram que a aplicação dos corretivos (calcário e escória de aciaria) não apresentou ajuste significativo nos teores de Ca+Mg, porém no mesmo solo, o calcário apresentou efeitos lineares em tais atributos.

Os resultados observados neste trabalho assemelham-se aos de PRADO et al. (2003), onde estes autores concluíram que a aplicação de escória de siderurgia elevou os valores de pH, SB, V% e as concentrações de Ca, Mg no solo, e reduziu o H+Al. E ainda, corroboram as observações feitas por PRADO (2000) que, aplicando doses equivalentes em CaCO_3 , de calcário e escória (aciaria), em condições de campo cultivado com a cana-de-açúcar (cana-planta) aos 12 meses após a incorporação, observou igual mudança na correção da acidez do solo. Esse efeito da escória na correção da acidez do solo e no aumento de bases deve-se à presença de constituinte neutralizante (SiO_3^{2-}) e do Ca e Mg, respectivamente.

Observou-se que a aplicação das doses dos materiais corretivos não atingiu a saturação por bases do solo calculada aos 99 dias após a incorporação. Esse efeito provavelmente deve-se ao curto tempo de reação dos materiais corretivos, pois os de NATALE & COUTINHO (1994) também observaram que somente após os 12

meses decorridos da incorporação é que ocorreu a máxima reação do material corretivo no solo. E ainda, OLIVEIRA et al. (1997) e QUAGGIO et al. (1982) em condições de campo mostraram que a reação máxima do calcário no solo ocorreu mais tarde ainda, entre 18 e 33 meses após aplicação do calcário.

Esse retardamento para reação máxima do calcário no solo pode estar relacionado com o grau de homogeneização da incorporação do corretivo, além do fato dos índices de reatividade, adotados atualmente para o cálculo do RE, apresentarem-se superestimados, dentro do prazo estimado na legislação de 0 a 90 dias (PRADO & FERNANDES, 2001b), assim, talvez fosse mais interessante se trabalhar com eficiência granulométrica, levando em consideração a textura de cada solo, ao invés de valores de RE.

Em relação à concentração de silício “disponível” no solo, observou-se incremento de 92% com aplicação da escória de siderurgia ($7,5 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação à concentração inicial ($3,8 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 2). O baixo teor de Si “disponível” no Latossolo Vermelho distrófico obtido na análise inicial é importante, pois, aumenta o potencial de resposta das plantas à aplicação desse elemento. Assim, KORNDÖRFER et al. (1999), observaram em quatro solos do Triângulo Mineiro, teores de Si “disponível” variando de 3,3 a $10,0 \text{ mg dm}^{-3}$ extraído com CaCl_2 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$. Analisando a concentração de Si “disponível”, também extraído com CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, em oito solos do Estado de São Paulo, MELO (2005) encontrou teores de silício variando de 4,1 a $43,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Portanto, tem-se concentração baixa de Si nos solos tropicais, sendo variável com o tipo de solo.

Esse baixo teor de Si é resultante do alto grau de intemperismo em que se encontram os solos de regiões tropicais e dos elevados teores de sesquióxidos de Fe e Al (MALAVOLTA, 1980), que são os principais responsáveis pela adsorção de Si em solução (MENGEL & KIRKBY, 1987). Outro fator importante, que contribui para a diminuição do teor de Si “disponível” no solo, é a extração do elemento por culturas acumuladoras, associada à falta de adubação silicatada (LIMA FILHO et al., 1999).

Tabela 2. Atributos químicos do solo, aos 99 dias após a aplicação do material corretivo, na camada de 0-20 cm de profundidade

Tratamentos	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	Si
	(CaCl ₂)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						%	mg dm ⁻³
Fontes (F)											
Calcário	4,6	19,7	20,2	1,9	16	6	42	23,6	67,5	35	5,3
Escória	4,7	19,9	21,3	2,9	19	8	44	30,4	72,3	40	7,5
Teste F	0,57 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,65 ^{NS}	16,74 ^{**}	20,27 ^{**}	53,6 ^{**}	0,68 ^{NS}	46,57 ^{**}	3,15 ^S	9,93 ^{**}	93,4 ^{**}
Doses (ECaCO ₃)											
0 (t ha ⁻¹)	4,3	19,7	22,2	2,0	7	4	51	13,1	64,5	21	4,9
0,9 (t ha ⁻¹)	4,3	20,8	20,2	2,5	10	4	48	16,9	65,4	26	5,4
1,8 (t ha ⁻¹)	4,7	19,0	18,1	2,2	17	7	44	25,9	69,8	37	6,4
3,6 (t ha ⁻¹)	5,4	19,6	22,5	2,0	37	14	28	52,1	79,8	65	8,8
Teste F	30,18 ^{**}	1,31 ^{NS}	2,4 ^{NS}	3,83 [*]	261,41 ^{**}	153,43 ^{**}	17,01 ^{**}	303,33 ^{**}	6,75 [*]	176,6 ^{**}	59,59 ^{**}
	Teste F										
F x D	0,13 ^{NS}	0,29 ^{NS}	0,50 ^{NS}	12,55 ^{**}	20,7 ^{**}	18,88 ^{**}	2,24 ^{NS}	28,26 ^{**}	6,97 [*]	4,47 [*]	39,08 ^{**}
C.V. (%)	5,5	9,7	17,9	14,6	13,1	14,5	16,9	10,6	10,9	11,3	10,0

^{*}, ^{**} e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

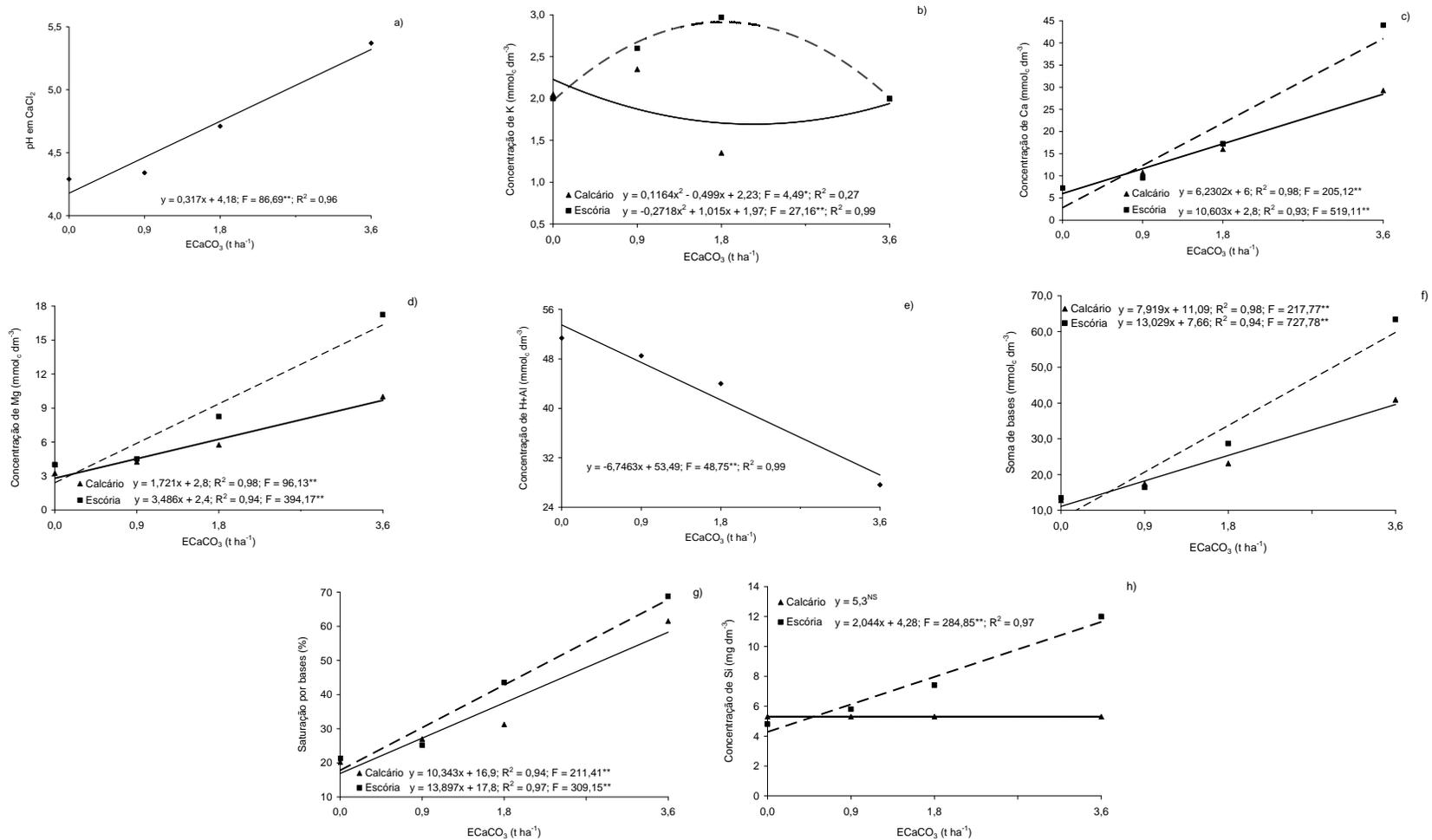


Figura 7. O valor de pH do solo (a), concentrações de K (b), Ca (c), Mg (d), H +Al (e), soma de bases (f) e saturação por bases (g) e Si (h) no solo aos 99 dias após a incorporação dos materiais corretivos, na camada de 0-20 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009.

Quanto às fontes de material corretivo, notou-se maior concentração de Si “disponível” no solo tratado com a escória de siderurgia em relação ao calcário (Tabela 2). Observou-se, ainda, que o aumento das doses de escória de siderurgia proporcionou efeito linear crescente na concentração de Si “disponível” no solo, ao passo que, com a aplicação do calcário, não se observou significância (Figura 7h).

Pôde-se verificar diferença entre as fontes de material corretivo apenas com relação à concentração de alumínio no solo, onde o calcário proporcionou menor teor deste elemento (Tabela 3). Para os micronutrientes analisados não houve diferença com relação às fontes de material corretivo utilizados. Porém, tendo em vista que a escória de siderurgia apresenta reação lenta, ou seja, maior efeito residual no solo (PRADO & FERNANDES, 2000), esperava-se que, com maior tempo de incorporação, poderá haver maior reação desse resíduo e, conseqüentemente, maior liberação de micronutrientes (principalmente, o Cu e o Zn). Isso, consistiria em uma vantagem em relação ao calcário, pois na composição da escória, apresenta quantidades suficientes para ser considerada fonte de micronutrientes, o que pode ser comprovado por VALADARES et al. (1974) que, analisando duas escórias, observaram teores superiores de micronutrientes em comparação com dezesseis calcários de diferentes naturezas.

Tabela 3. Concentração de micronutrientes e alumínio no solo, aos 99 dias após a aplicação do material corretivo, na camada de 0-20 cm de profundidade

Tratamentos	mg dm ⁻³				mmolc dm ⁻³	
	B	Cu	Fe	Zn	Mn	Al
Fontes (F)						
Calcário	0,21	0,7	20,9	0,9	9,7	2,7
Escória	0,22	0,7	21,2	0,9	9,7	3,3
Teste F	0,48 ^{NS}	1,32 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	6,10*
Doses (D) (ECaCO ₃)						
0 (t ha ⁻¹)	0,20	0,8	22,7	1,0	12,8	6,2
0,9 (t ha ⁻¹)	0,23	0,8	22,6	0,9	9,9	3,7
1,8 (t ha ⁻¹)	0,18	0,7	22,1	0,8	8,5	2,0
3,6 (t ha ⁻¹)	0,24	0,6	16,6	0,9	7,6	0,1
Teste F	2,39 ^{NS}	3,69*	19,39**	1,13 ^{NS}	11,44**	102,07**
	Teste F					
(F) x (D)	1,06 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,70 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,31 ^{NS}	3,66**
C.V. (%)	22,9	16,4	9,0	20,0	19,5	23,8

* ,** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Por outro lado, houve diferença em função das doses aplicadas, havendo uma redução nas concentrações de Cu (Figura 8a), Fe (Figura 8b) e Mn (Figura 8c) e ainda, observou-se uma redução com ajuste linear na concentração de alumínio (Figura 8d) em função da aplicação de fontes e doses de calcário e escória.

Provavelmente, isto ocorreu devido ao início da reação de neutralização da acidez do solo causada pelos corretivos que proporcionaram aumento no valor de pH, conseqüentemente, neutralizando o Fe e o Al tóxico, através do processo de precipitação destes elementos no solo.

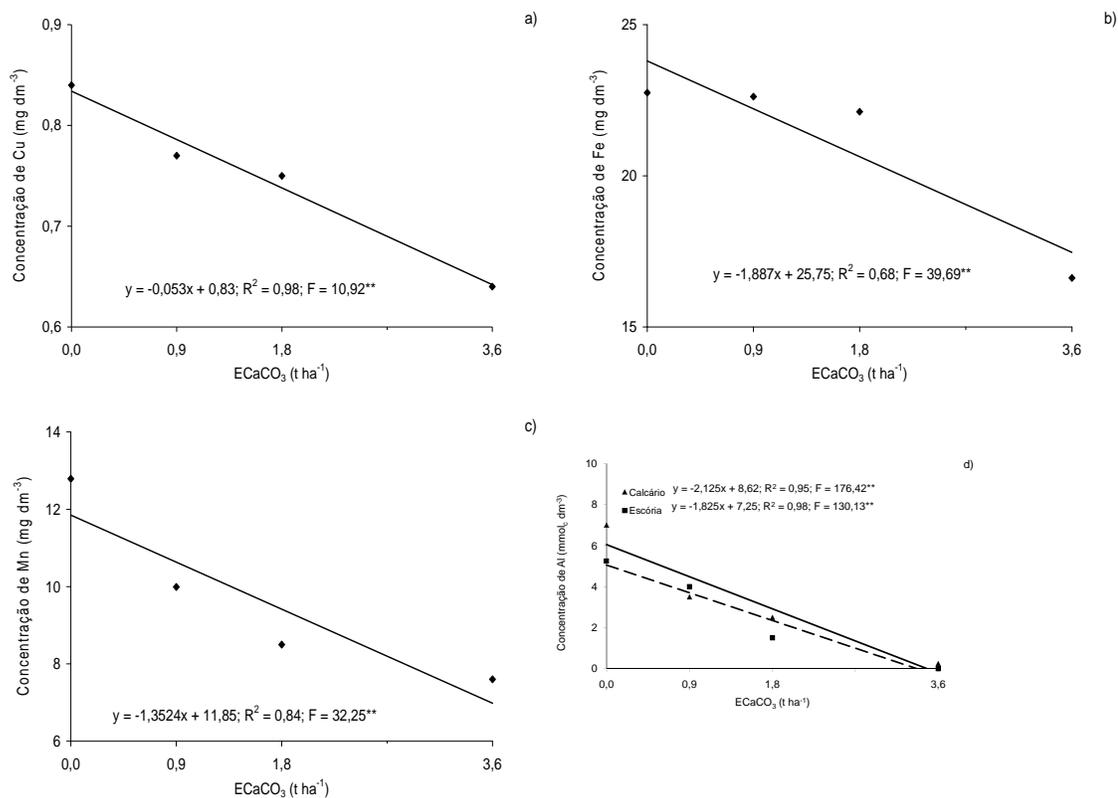


Figura 8. Concentrações de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Al (d) no solo em função da aplicação do material corretivo, aos 99 dias após sua incorporação, na camada de 0-20 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009

Aos seis meses após o plantio, pôde-se observar diferença entre os tratamentos, bem como interação entre tratamentos e profundidades para pH, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, V%, Al e Si (Tabela 4), e ainda, observou-se diferença entre as profundidades analisadas para todas as variáveis estudadas, exceto para a concentração de cobre no solo (Tabela 4). Esses resultados mostram que ocorreu efeito da aplicação dos materiais corretivos em profundidade pouco tempo após da sua incorporação (seis meses). Assim sendo, realizou-se análise em fatorial para estudo do efeito das fontes e doses para cada profundidade separadamente.

Na camada de 0-10 cm de profundidade, observou-se um aumento com ajuste linear no valor de pH (Figura 9a) e na concentração de Mg (Figura 9e), e um ajuste quadrático na concentração de K (Figura 9c) no solo em função do aumento das doses dos materiais corretivos, indicando assim, a semelhanças dos dois materiais corretivos ao afetar essas variáveis.

Pôde-se perceber ainda, interação entre fontes e doses do material corretivo para as concentrações de P, sendo que a escória de siderurgia proporcionou maior disponibilização de fósforo (Figura 9b) conforme se aumentaram as doses. Houve um aumento com ajuste linear na concentração de Ca (Figura 9d) no solo para ambos os corretivos com aumento das doses, porém o calcário provocou maior incremento do elemento, com reflexo na soma de bases (Figura 9g) e na saturação por bases (Figura 9h). Assim, observou-se que a escória apresentou uma reação mais lenta que o calcário ao afetar essas variáveis. Esta reação mais lenta da escória de siderurgia pouco tempo após sua incorporação no solo pode ser influenciada por diversos fatores como a presença de impurezas como alumínio, o que reduz sua solubilidade (ANDO et al., 1988). Isto pode ser explicado pela constituição química da escória, a qual apresenta parte de compostos de Ca e Mg ligado a alumino-silicatos (CRANE, 1930) ou pela formação de uma película de oxihidróxido de Fe e Al em torno das partículas de corretivo, isto ocorre provavelmente, no momento da hidrólise, em função da alcalinidade em torno desta partícula (GOMES et al., 1996). Este fato fica mais evidente nos materiais de escória de siderurgia em função da presença do Fe e Al em maior quantidade, quando comparado aos calcários.

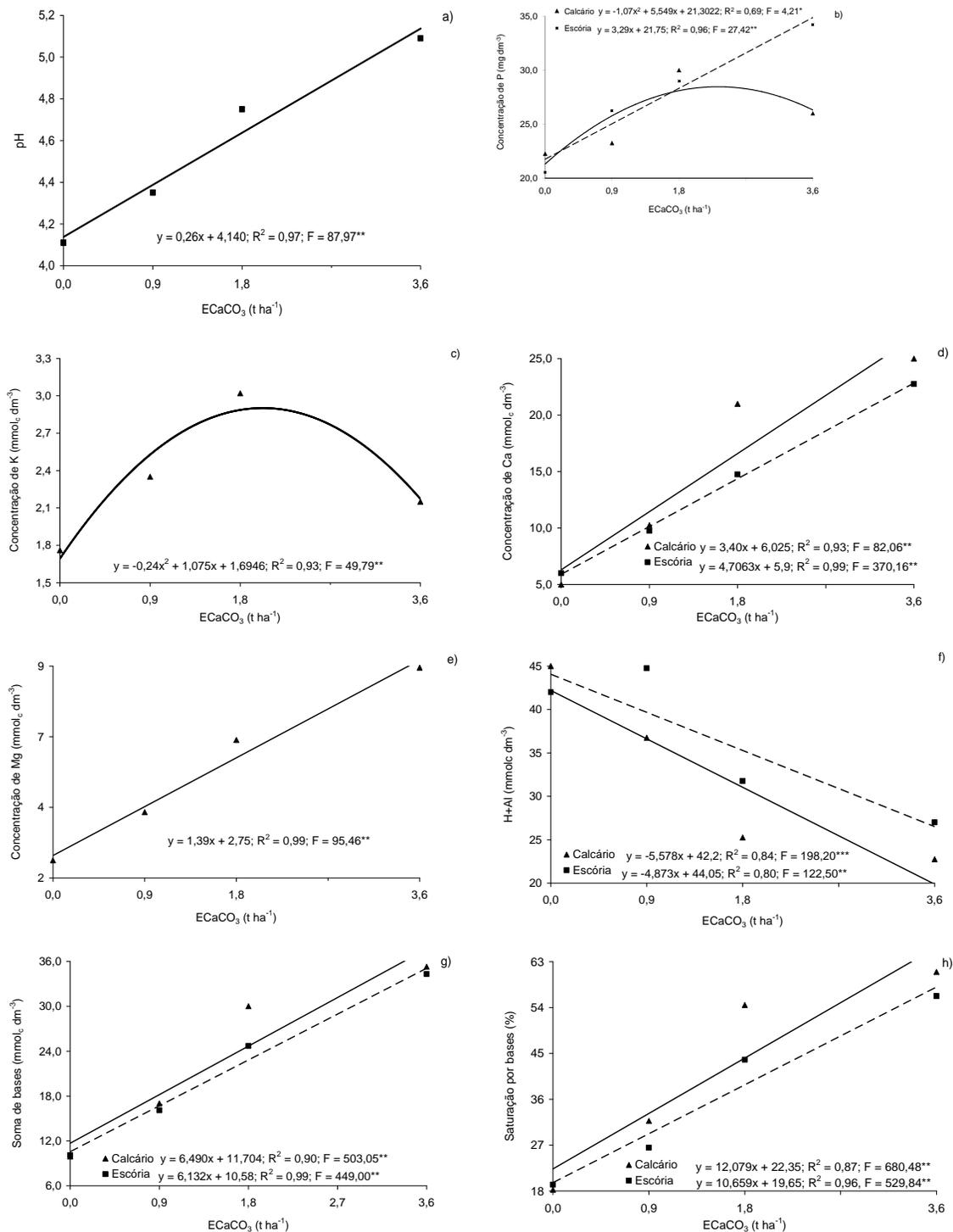


Figura 9. O pH do solo (a), as concentrações de P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), H+Al (f), a soma de bases (g) e a saturação por bases (h), aos seis meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 0-10 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009.

Houve ainda, uma redução na concentração de H+Al (Figura 9f) do solo com ajuste linear em função da aplicação das doses dos materiais corretivos, bem como uma redução nas concentrações dos micronutrientes como B (Figura 10a), Cu (Figura 10b), Fe (Figura 10c) e Mn (Figura 10d).

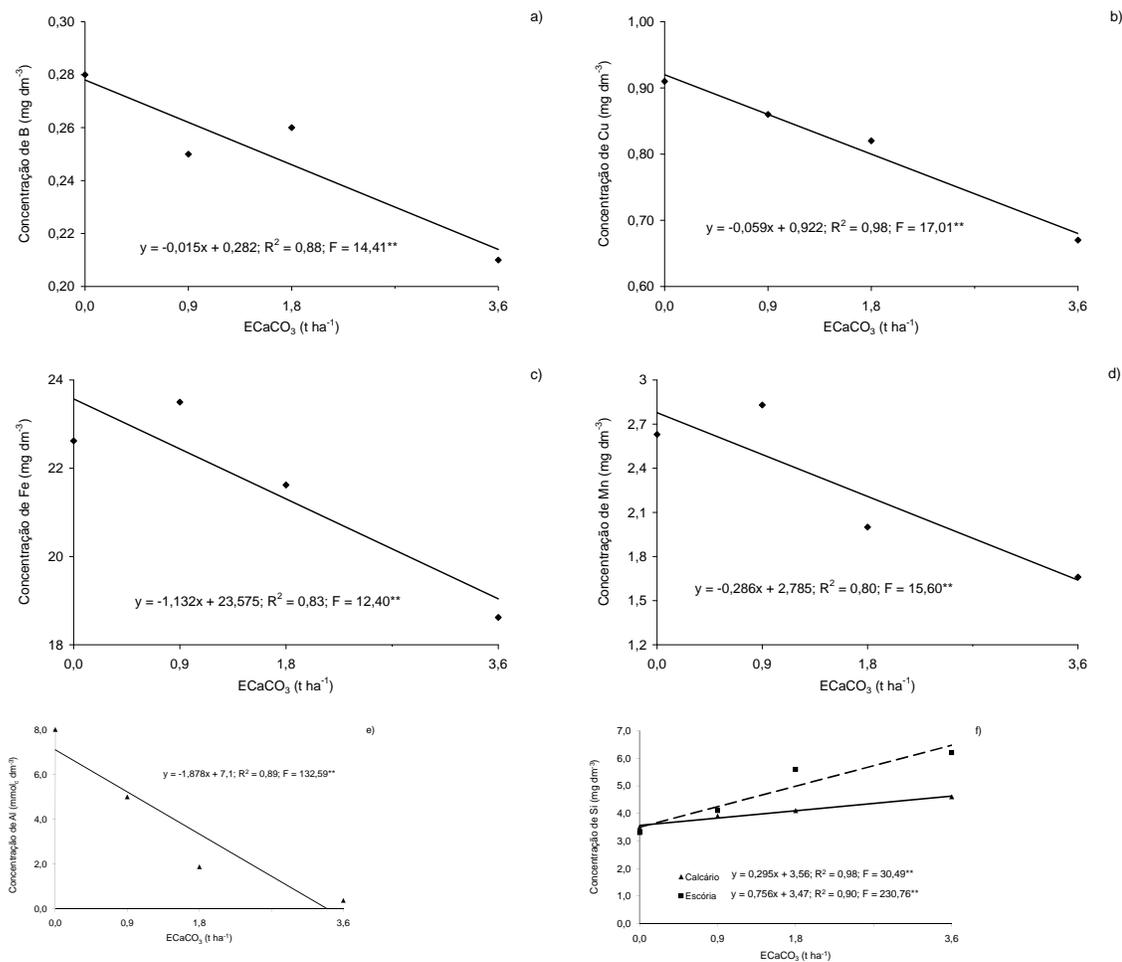


Figura 10. Concentrações de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d), Al (e) (médias das duas fontes) e do Si (f) no solo, em função da aplicação de doses do material corretivo, aos seis meses após o plantio da cana-planta, na camada de 0-10 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009.

Observou-se um incremento com ajuste linear na concentração de Si no solo (Figura 10f) em função das fontes e doses dos materiais corretivos aplicados, visto

que a escória proporcionou maior incremento, enquanto que o calcário, embora tenha provocado aumento significativo, essa variação foi bastante pequena.

Esse fato pode ser melhor observado quando se analisa o coeficiente angular da reta (Calcário 0,295x e Escória 0,756x), onde implica que a aplicação da escória de siderurgia foi 61% superior ao calcário ao provocar incremento na concentração de Si no solo.

Com base nos resultados obtidos na camada de 10-20 cm de profundidade, pôde-se perceber que houve um incremento com ajuste linear no valor de pH (Figura 11a) do solo, bem como nas concentrações de Ca (Figura 11c) e Mg (Figura 11d), refletindo nas soma de bases e na saturação por bases do solo em função da aplicação das doses dos materiais corretivos, indicando, mais uma vez, a semelhança entre os materiais ao afetar essas variáveis.

Observou-se interação entre fontes e doses de material corretivo para a acidez potencial e Si no solo, havendo uma redução com ajuste linear nas concentrações de H+Al (Figura 11e) e ainda um aumento na concentração de Si, onde a escória mostrou-se 65% superior ao calcário na elevação desse elemento (Figura 11f), como observado na amostragem na camada de 0-10 cm de profundidade.

Pôde-se verificar, na camada de 20-40 cm de profundidade, efeito das doses dos materiais corretivos aplicados, como um aumento com ajuste linear no valor de pH (Figura 12a) e uma redução com ajuste linear na concentração de H+Al (Figura 12e) do solo.

Observou-se interação entre as fontes e doses ao avaliar-se as concentrações de P (Figura 12b), Ca (Figura 12c), Mg (Figura 12d), com reflexo na soma de bases (Figura 12f) e na saturação por bases (Figura 12g) do solo, onde a escória demonstrou-se mais eficiente que o calcário ao afetar essas variáveis. Houve ainda um incremento na concentração de silício (Figura 12h) no solo em função do aumento das doses de escória, e não houve efeito quando aplicado calcário.

Na camada de 40-60 cm de profundidade, ainda pôde-se notar o efeitos das doses dos materiais corretivos sobre os atributos químicos do solo. Observou-se, com a interação das fontes e doses dos materiais corretivos, um incremento com

ajuste linear na concentração de P (Figura 13a) e Ca (Figura 13c); e também um aumento com ajuste linear na saturação por bases (Figura 13e) do solo em função da aplicação da escória, visto que com a aplicação do calcário esse incremento apresentou ajuste quadrático. Contudo, a escória demonstrou-se mais eficiente que o calcário ao afetar essas variáveis.

Houve ainda, uma redução moderada na concentração de K (Figura 13b) e um incremento com ajuste linear na soma de bases (Figura 13d) do solo em função da aplicação das doses do material corretivo.

Estes resultados, de modo geral, mostram que os corretivos incorporados na camada de 0-20 cm percolaram para a camada subsuperficial (40-60 cm) corrigindo a acidez e aumentando o V%, conforme visto na Figura 13.

Com relação à concentração de Si, notou-se um incremento com ajuste linear em função da aplicação das doses de escória (Figura 13f), ao passo que quando se aplicou calcário não se observou efeito expressivo na concentração do elemento no solo.

Considerando à amostragem realizada aos 15 meses, observou-se diferença significativa para todas as variáveis estudadas em função das profundidades analisadas (Tabela 5), demonstrando o efeito da ação dos materiais corretivos em profundidade. Sendo assim, realizou-se o estudo do efeito das fontes e doses dos materiais corretivos em cada profundidade separadamente.

Houve diminuição da matéria orgânica e da concentração de K com o aumento da profundidade do solo (Tabela 5), fato relatado na literatura (FARONI, 2008; COSTA et al., 2007) e esses efeitos se devem aos tratos culturais (adubação, calagem, culturas plantadas, sistema de cultivo, etc.) sobre o meio de cultivo.

Com base nos resultados obtidos das amostras da camada de 0-10 cm de profundidade, notou-se um aumento linear crescente no pH do solo (Figura 14a), Mg (Figura 14d) e na saturação por bases (Figura 14g) em função da aplicação das doses dos materiais corretivos, ficando clara a semelhança entre os materiais corretivos ao afetar essas características ao longo do tempo.

Pode-se perceber interação entre fontes e doses do material corretivo para a concentração de Ca (Figura 14c), com reflexo na soma de bases (Figura 14f), ambos com incremento com ajuste linear, bem como na concentração de H+Al (Figura 14e)

no solo, apresentando uma redução com ajuste linear. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos com uso de silicatos em experimentos em condições de vasos com emprego da fonte wollastonita (ARANTES, 1997; FARIA, 2000; MELO, 2005) e escória de siderurgia (PRADO & FERNANDES, 2000; FORTES, 2006) e também em experimentos de campo com escória de siderurgia (PRADO & FERNANDES, 2003).

Observou-se uma redução com ajuste linear na concentração de B (Figura 15a) em função da aplicação de calcário e uma redução com ajuste quadrático em função da aplicação de escória. Observou-se ainda, uma redução com ajuste linear nas concentrações de Cu (Figura 15b), Fe (Figura 15c) e Mn (Figura 15d) em função das doses dos materiais corretivos aplicados no solo.

Na camada de 10-20 cm de profundidade houve um aumento no valor do pH (Figura 16a) do solo com ajuste linear, bem como um aumento nas concentrações de Ca (Figura 16c), Mg (Figura 16d), refletindo na soma de bases (Figura 16f) e na saturação por bases (Figura 16g) do solo em função do aumento das doses dos materiais corretivos aplicados, houve ainda um aumento na concentração de Si (Figura 17h) no solo com ajuste linear.

Notou-se ainda, uma redução com ajuste linear nas concentrações de P (Figura 16b) e H+Al (Figura 16e) no solo em função da aplicação dos materiais corretivos. Essa redução na concentração de fósforo do solo pode ser atribuído à extração de P pela cultura ao longo do tempo, visto que o mesmo efeito foi observado na camada de 0-10 cm de profundidade.

Quanto aos micronutrientes, pode-se perceber uma redução com ajuste linear nas concentrações de B (Figura 17a), Cu (Figura 17b), e Mn (Figura 17d), e uma redução com ajuste quadrático na concentração de Fe (Figura 17e), em função da aplicação da escória. Houve ainda um incremento na concentração de zinco (Figura 17e) em função da aplicação de calcário no solo.

Analisando a camada de 20-40 cm de profundidade, a escória mostrou-se semelhante ao calcário na elevação do pH com ajuste linear (Figura 18a), bem como no incremento com ajuste linear na concentração de Ca (Figura 18c) e a um aumento com ajuste quadrático para o Mg (Figura 18d), refletindo na soma de bases (Figura 18g) e na saturação por bases (Figura 18h), e ainda, na redução da acidez

potencial (Figura 18e) e CTC (Figura 18f) do solo. Esse efeito da escória na correção da acidez do solo e no aumento de bases deve-se à presença de constituinte neutralizante (SiO_3^{2-}) e do Ca e Mg, respectivamente, como discutido anteriormente.

Pode-se observar efeito, com ajuste quadrático, na concentração de B em função dos materiais corretivos (Figura 19a) e na concentração de Fe, em função da escória (Figura 19c), bem como houve uma redução com ajuste linear em função da interação entre as fontes e doses na concentração de Cu (Figura 19b). Houve um aumento com ajuste quadrático na concentração de Mn em função da aplicação da escória (Figura 19d), e ainda, notou-se um incremento na concentração de Zn (Figura 19e), em função da aplicação do material corretivo.

Ainda aos quinze meses, também se avaliou a camada de 40-60 cm de profundidade, onde se percebeu o efeito da aplicação do material corretivo em profundidade ao observar um aumento com ajuste linear na concentração de P (Figura 20a), de Ca (Figura 20b), Mg (Figura 20c), soma de bases (Figura 20d) e saturação por bases (Figura 20f) e uma redução no H+Al (Figura 20e) do solo.

Com relação aos micronutrientes, notou-se que a interação entre as fontes e doses de material corretivo provocou uma redução nas concentrações de B (Figura 21a) e Mn com ajuste linear (Figura 21d), e um aumento com ajuste quadrático nas concentrações de Fe e Zn com aplicação da escória e ajuste linear em função da aplicação do calcário (Figuras 21c,e). Houve uma redução com ajuste linear na concentração de Cu (Figura 21b) em função do incremento das doses do material corretivo no solo.

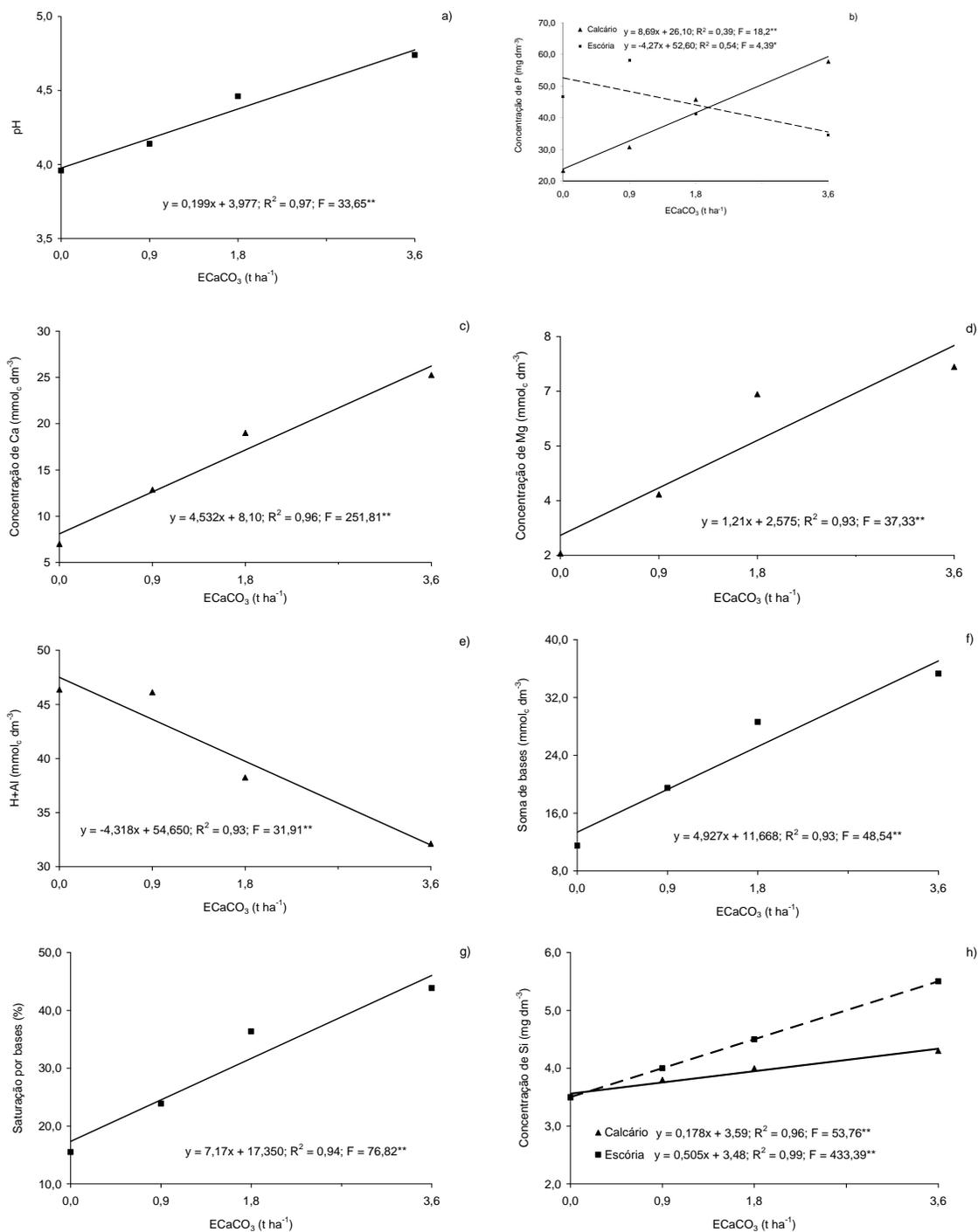


Figura 11. O pH do solo (a), as concentrações de P (b), Ca (c), Mg (d), H+Al (e), soma de bases (f), saturação por bases (g) (médias das duas fontes) e de Si (h), em função da aplicação do material corretivo, aos seis meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 10-20 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009.

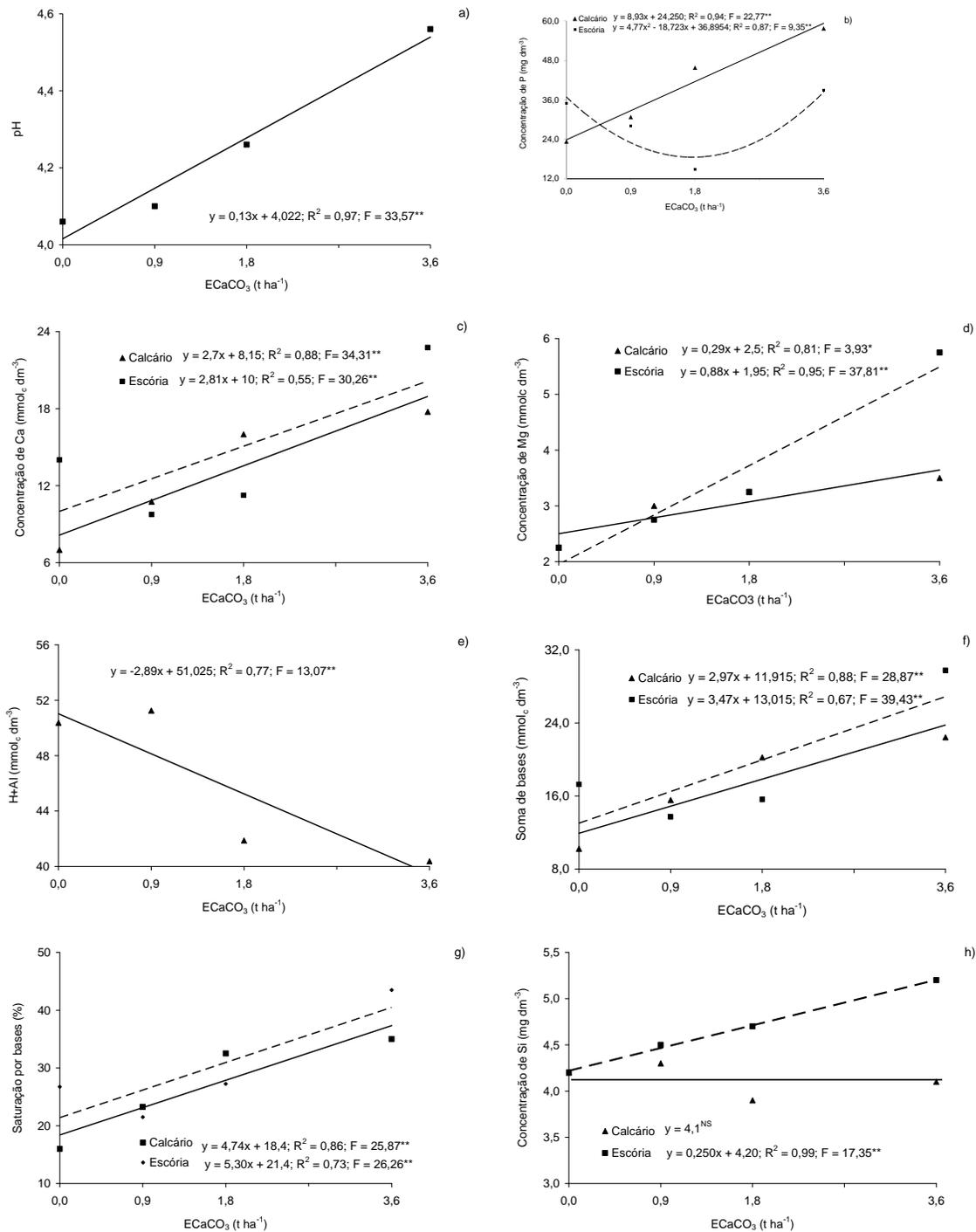


Figura 12. O pH do solo (a), as concentrações de P (b), Ca (c), Mg (d), H+Al (e), a soma de bases (f), a saturação por bases (g) e Si (h) no solo em função da aplicação do material corretivo, aos seis meses após o plantio da cana-planta, na camada de 20-40 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009.

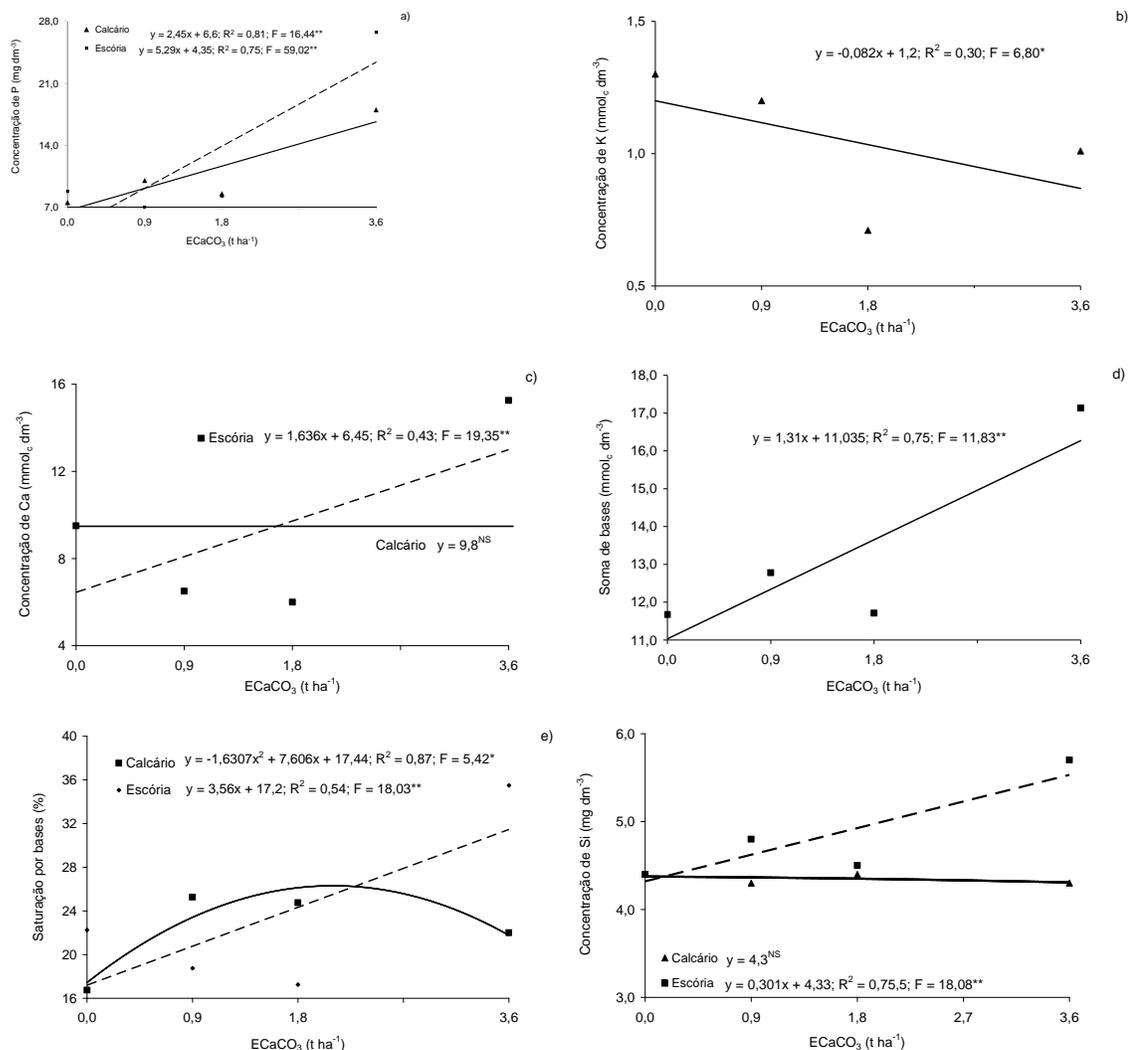


Figura 13. As concentrações de P (a), K (b), Ca (c), a soma de bases (d), a saturação por bases (e) e a concentração de Si (f) no solo, em função da aplicação do material corretivo, aos seis meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 40-60 cm de profundidade. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2009.

Tabela 5. Atributos químicos do solo, aos 15 meses após o plantio da cana-planta, em função da aplicação de duas fontes e quatro doses de material corretivo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade

Tratamentos (T)	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%			mg dm ⁻³					
F1D1	4,0	13,9	13,3	0,9	7	3	53	10,5	63,1	17	0,34	1,0	24	17,8	0,5	4,8
F1D2	4,2	14,0	11,2	0,9	9	3	43	13,6	57,0	24	0,30	1,1	24	15,1	0,6	4,7
F1D3	4,4	13,7	10,4	1,0	13	5	39	19,1	58,0	33	0,26	1,0	24	11,3	0,5	5,1
F1D4	4,5	14,0	10,7	1,0	18	5	36	23,8	59,6	39	0,26	0,8	22	13,0	1,2	5,0
F2D1	4,1	13,8	11,3	1,1	8	3	50	11,9	62,0	19	0,30	0,9	23	18,3	0,4	4,7
F2D2	4,1	14,2	12,6	1,1	10	3	47	14,0	57,0	23	0,29	1,1	24	16,8	0,6	5,0
F2D3	4,5	13,6	10,2	1,0	15	6	37	21,7	59,2	36	0,24	0,9	27	11,5	0,9	5,9
F2D4	4,6	13,6	9,9	1,0	18	7	34	24,9	58,5	42	0,27	0,8	22	12,4	0,8	6,1
Teste F	14,41**	0,16 ^{NS}	2,32 ^{NS}	0,49 ^{NS}	54,86**	25,63**	44,71**	46,41**	2,55*	67,34**	31,44**	13,97**	13,14**	79,89**	10,27**	8,45**
Profundidades (P)																
0-10 cm	4,5	16,5	17,2	1,3	17	5	43	23,5	66,1	36	0,30	0,8	23	14,4	0,9	5,2
10-20 cm	4,3	15,9	14,4	0,9	13	5	47	18,5	65,2	29	0,33	1,0	28	16,9	1,0	4,9
20-40 cm	4,2	12,6	7,9	0,9	10	4	42	13,8	56,1	25	0,28	1,0	24	13,5	0,6	5,0
40-60 cm	4,2	10,4	5,3	0,9	10	4	38	14,0	51,9	27	0,22	1,0	19	13,3	0,3	5,6
Teste F	26,05**	210,23**	230,34**	24,72**	93,0**	36,62**	38,08**	104,85**	107,42**	60,56**	146,46**	29,94**	375,45**	125,73**	40,79**	9,06**
Teste F																
T x P	2,84**	0,95 ^{NS}	3,69**	1,34 ^{NS}	9,46**	7,51**	7,04**	10,12**	2,02*	10,34**	7,19**	6,28**	28,68**	24,48**	7,18**	4,33**
C.V. (%)	5,4	16,7	27,6	32,0	18,5	28,1	9,9	19,0	8,8	16,0	8,6	13,5	7,1	8,7	45,7	14,6
	3,6	8,1	18,3	21,4	16,2	19,8	7,7	14,4	6,3	11,6	8,1	9,9	4,4	5,9	38,4	10,6

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente; F = fonte de material corretivo (F1- calcário; e F2- escória de siderurgia); D = dose de material de corretivo em ECaCO₃ (D1= 0; D2= 0,9; D3=1,8; e D4= 3,6 t ha⁻¹)

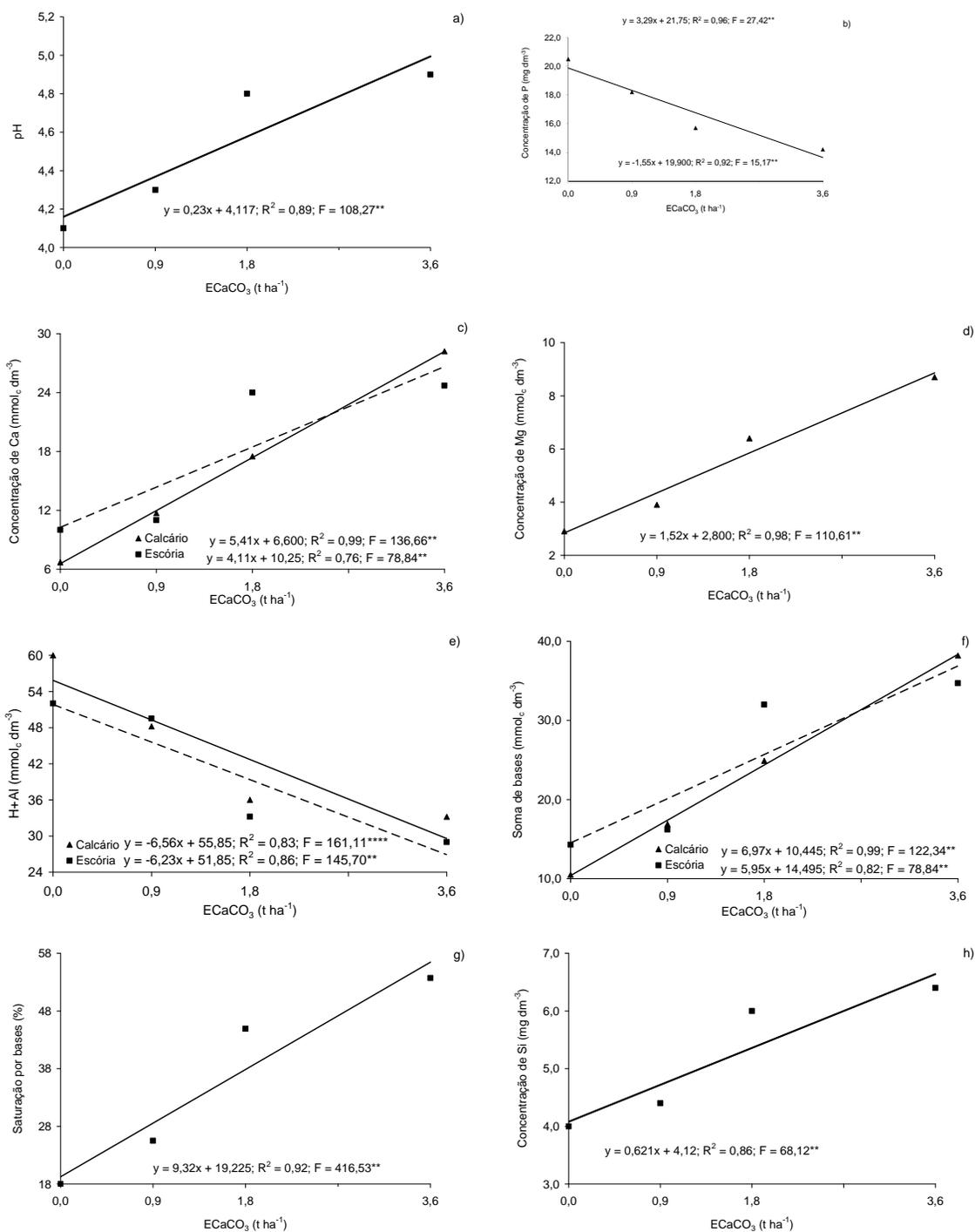


Figura 14. O pH do solo (a), as concentrações de P (b), Ca (c), Mg (d), H+Al (e), soma de bases (f), saturação por bases (g) e Si (h) no solo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 0-10 cm de profundidade.

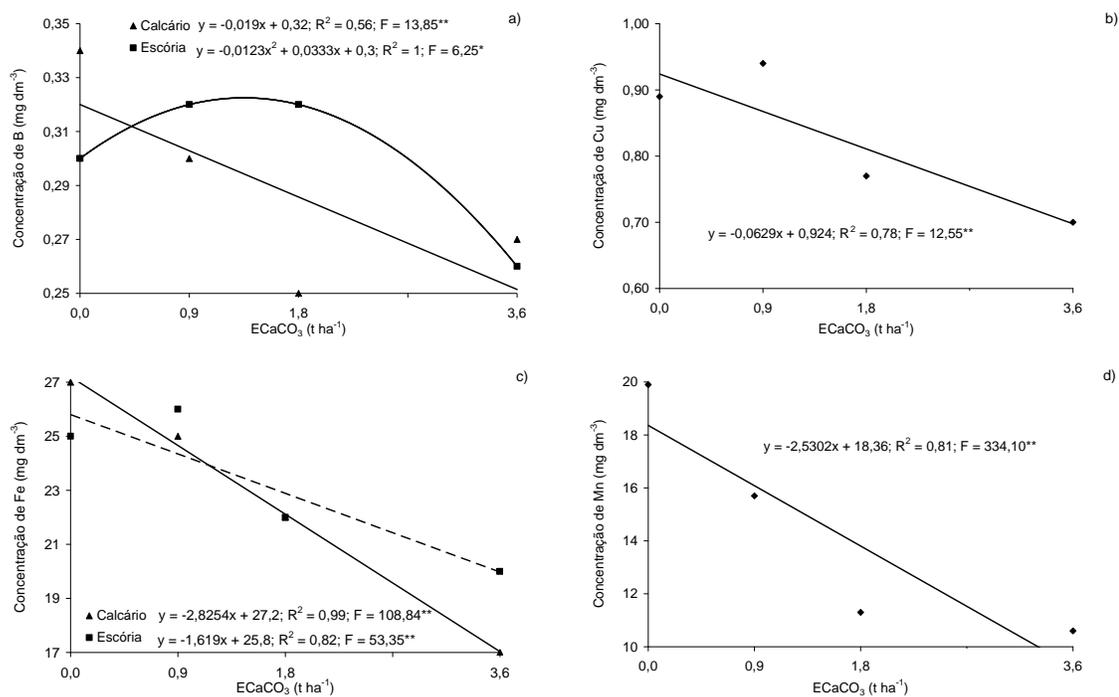


Figura 15. Concentrações de B (a), Cu (b), Fe (c) e Mn (d) no solo, em função da aplicação de doses do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 0-10 cm de profundidade.

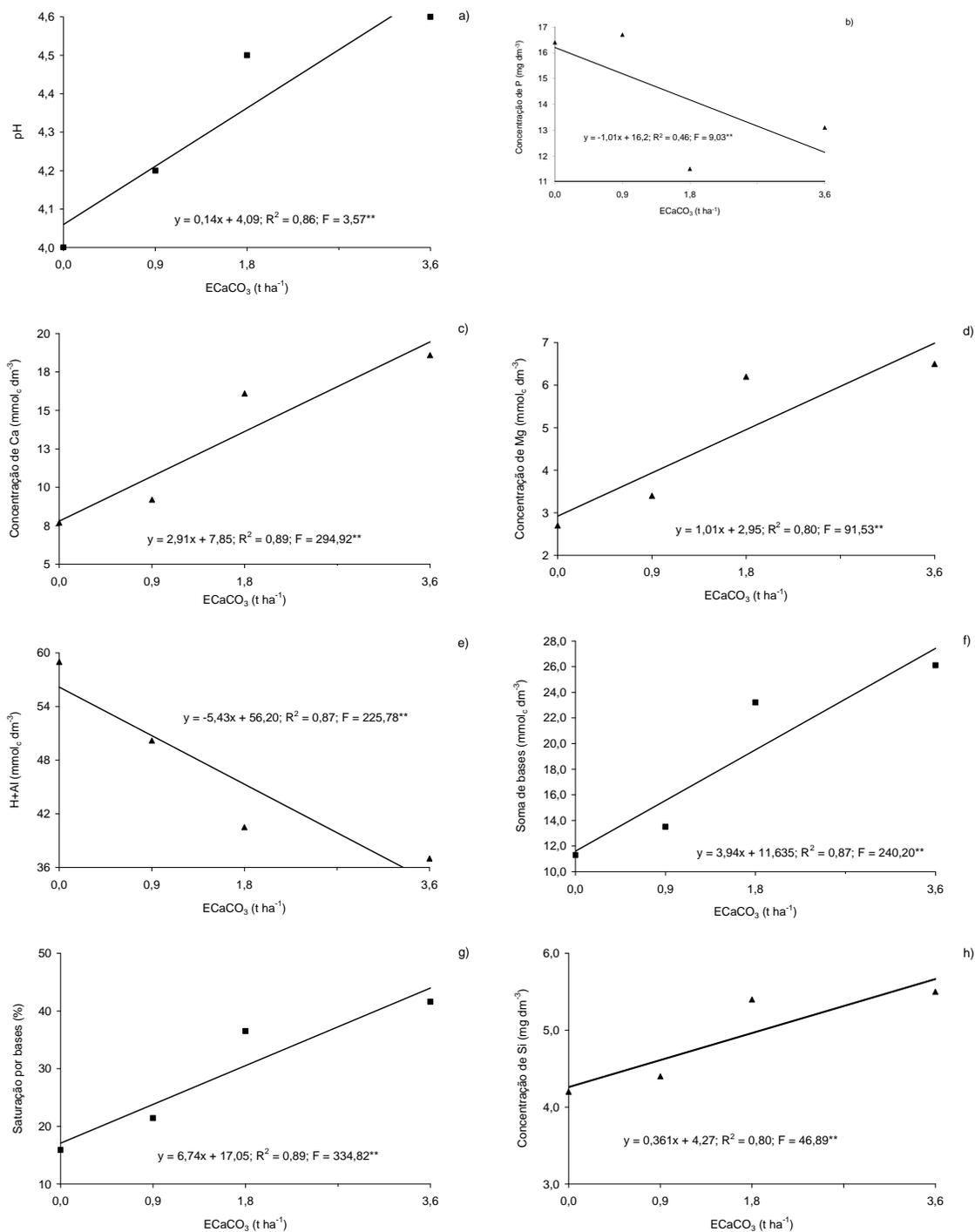


Figura 16. O valor de pH do solo (a), as concentrações de P (b), Ca (c), Mg (d), H+Al (e), soma de bases (f), saturação por bases (g) e a concentração de Si (h) no solo em função da aplicação do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 10-20 cm de profundidade.

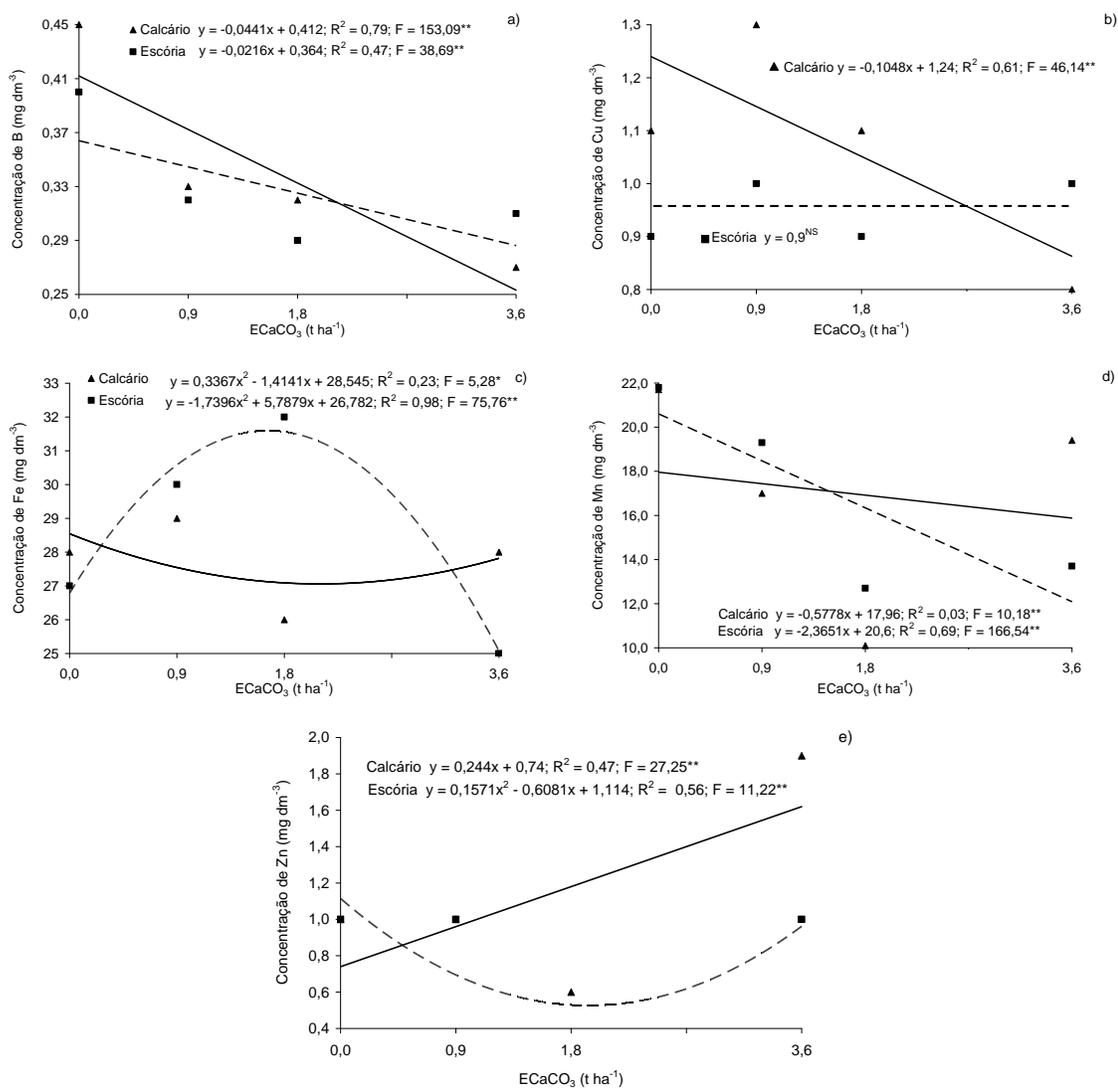


Figura 17. Concentrações de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) no solo, em função da aplicação das fontes e doses do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 10-20 cm de profundidade.

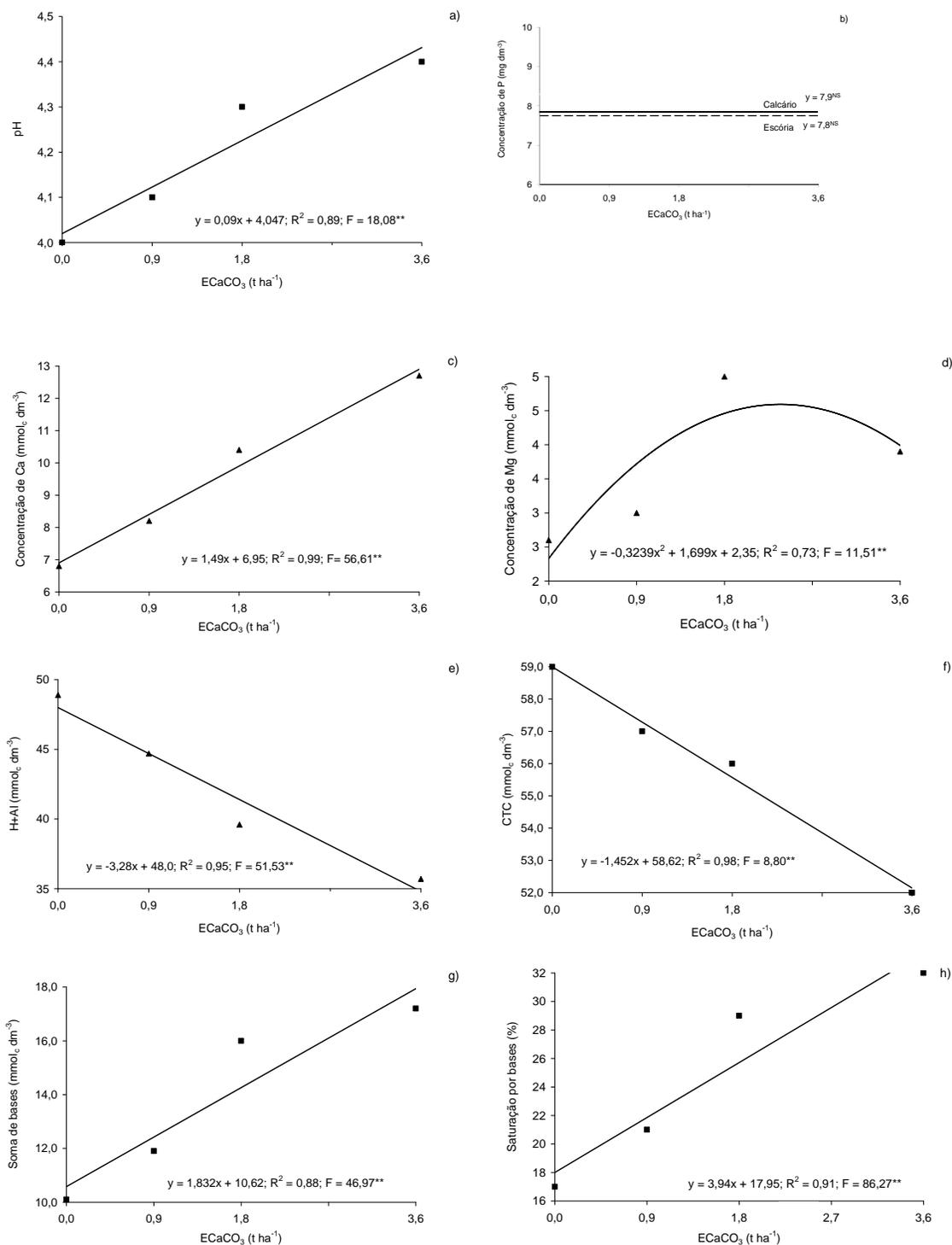


Figura 18. O pH do solo (a), as concentrações de P (b), Ca (c), Mg (d), H+Al (e), a CTC (f), a soma de bases (g) e a saturação por bases (h) no solo em função da aplicação das doses do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 20-40 cm de profundidade.

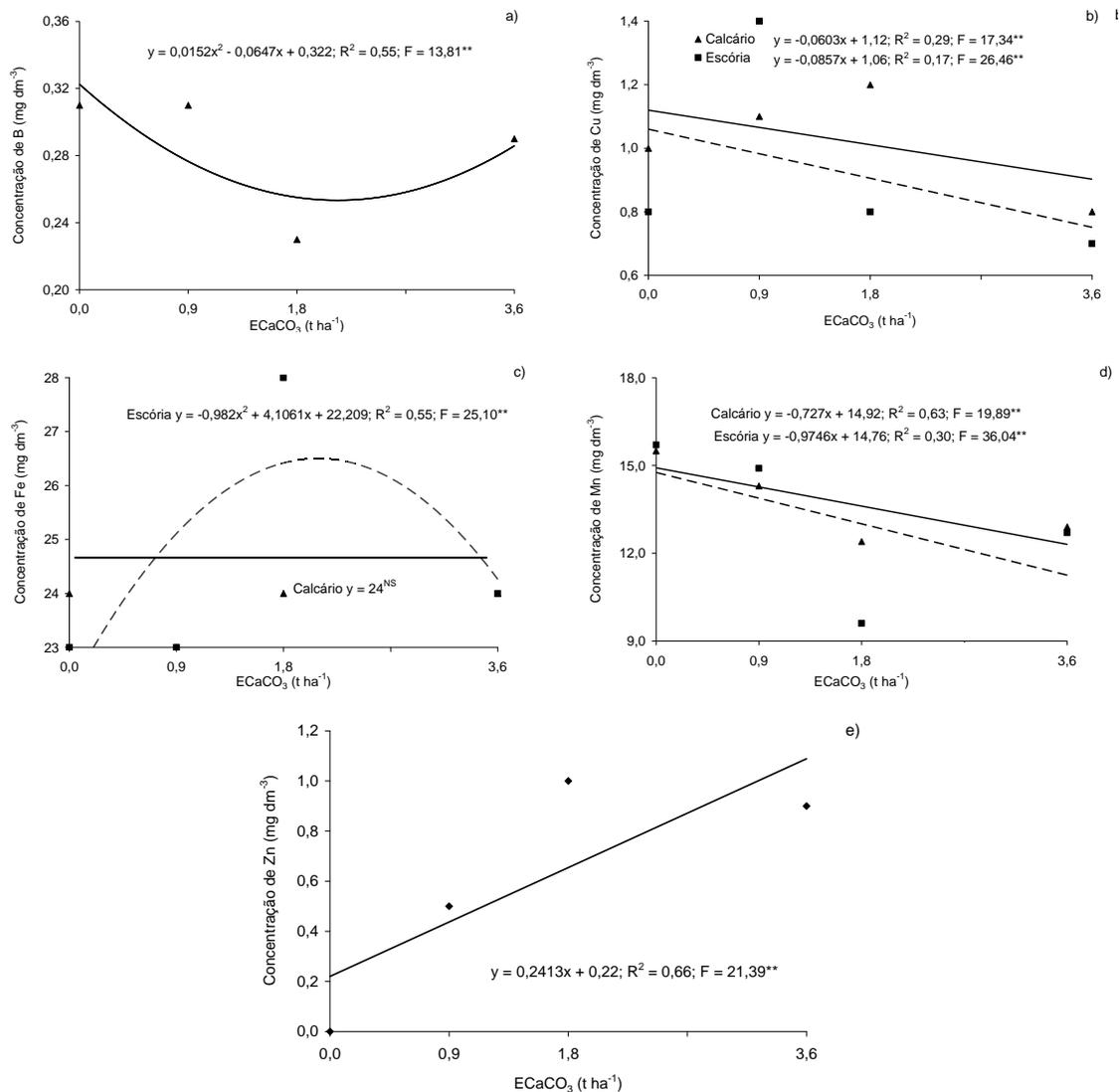


Figura 19. Concentrações de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) no solo, em função da aplicação do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 20-40 cm de profundidade.

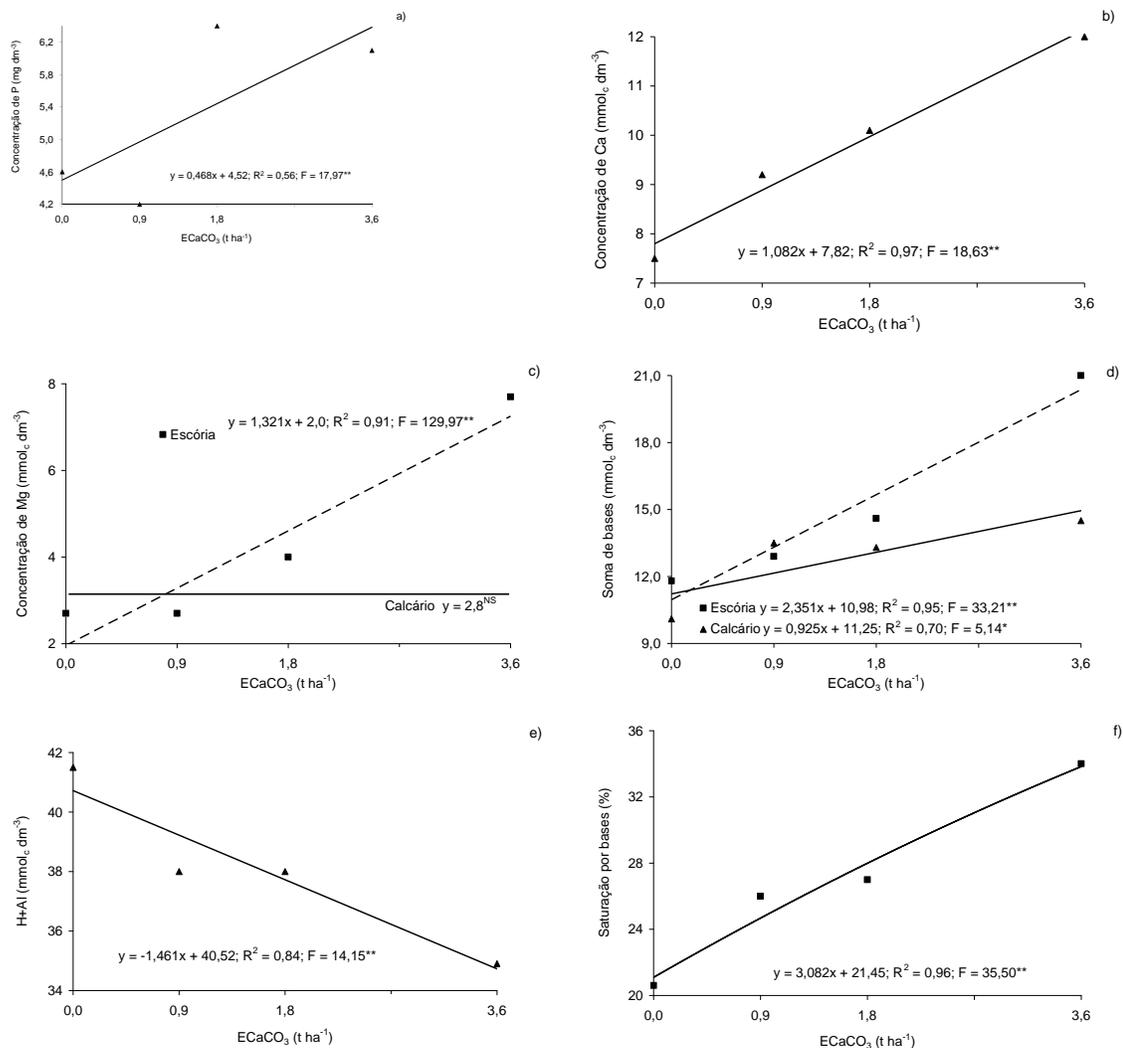


Figura 20. As concentrações de P (a), Ca (b), Mg (c), a soma de bases (d), H+Al (e) e a saturação por bases (f) do solo, em função da aplicação do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 40-60 cm de profundidade.

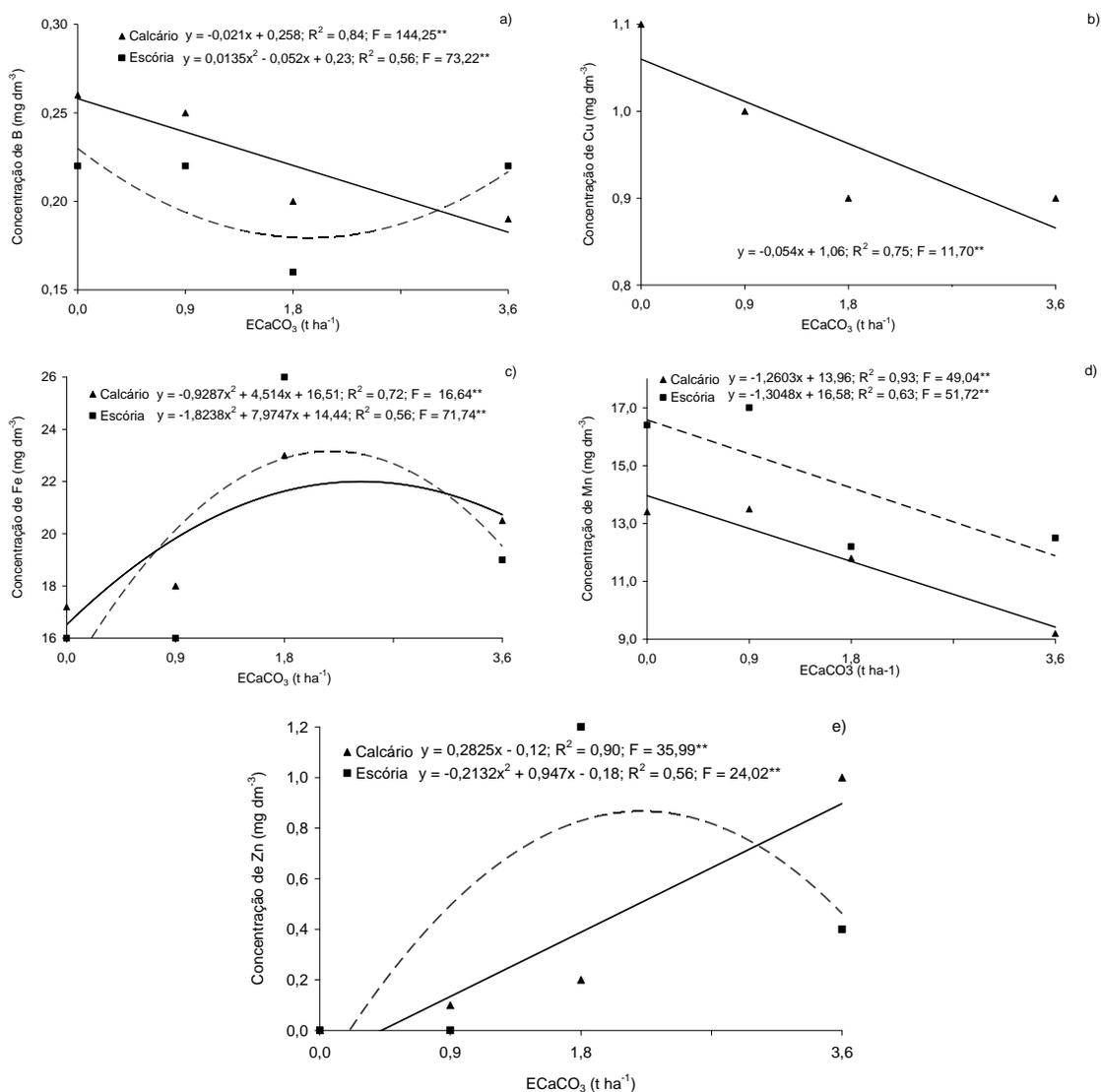


Figura 21. Concentrações de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) no solo, em função da aplicação de doses do material corretivo, aos quinze meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 40-60 cm de profundidade.

5.2 Efeitos da aplicação da escória de siderurgia nos teores de metais pesados no solo

Observou-se que a aplicação da escória de siderurgia no solo proporcionou efeito significativo na concentração de Cd e Ni aos seis meses, e para Cd, Cr, Pb e Ni aos 15 meses após a aplicação do material corretivo (Tabela 6).

Observou-se um efeito com ajuste quadrático na concentração de Cd, Cr, Pb e Ni, extraídos pelo método da USEPA, em função do aumento das doses de escória (Figuras 22 a,b,c,d). Esse fato pode ser explicado pelo fato de que a disponibilidade desses elementos tóxicos diminui com o aumento do pH, com a formação de carbonatos e maior concentração orgânica no solo, conforme PIAU (1991).

CORRÊA et al. (2008) observaram que o aumento da CTC, associado à elevação do pH, possibilitou maior adsorção dos metais pesados catiônicos pelos colóides do solo, e a ligação do tipo covalente aos colóides, o que ajuda a explicar a baixa disponibilidade de metais pesados no solo.

A concentração de Cd varia entre 0,07 e 1,1 mg kg⁻¹ (PIAU, 1991), o Cr varia até 120 mg kg⁻¹ (BARTLET, 1976), e o limite aceitável de Pb no solo é 70 mg kg⁻¹, porém esta variação está entre 0,1 e 10 mg kg⁻¹ (DAVIES, 1977), valores que corroboram os obtidos nesse trabalho. Contudo, os valores obtidos de Ni no solo encontram-se acima dos observados por PIAU (1991), onde não ultrapassaram 0,2 mg kg⁻¹ quando se incubou escória de auto-forno, forno elétrico de redução, pré-cal e calcário, por 90 dias.

Tabela 6. Concentração de Cd, Cr, Pb e Ni no solo, extraídos pelo método da USEPA, aos 6 e aos 15 meses após o plantio da cana-de-açúcar, na camada de 0-10cm de profundidade, em função da aplicação da escória de siderurgia

Doses de escória (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	Cd	Cr	mg kg ⁻¹		Ni
			6 meses		
0	0,59	66,26	11,46		6,93
0,9	0,69	71,07	12,52		7,79
1,8	0,68	75,23	12,76		8,62
3,6	0,63	64,05	12,38		7,78
Teste F	6,32*	1,66 ^{NS}	2,06 ^{NS}		5,93*
C.V. (%)	5,6	11,2	6,4		7,2
			15 meses		
0	0,54	58,76	10,41		5,9
0,9	0,59	69,27	11,87		6,7
1,8	0,54	68,94	12,84		7,2
3,6	0,53	62,67	12,34		6,1
Teste F	21,08**	8,82**	42,70**		9,35**
C.V. (%)	2,1	5,3	2,7		5,6

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

Com relação às concentrações de Cr, Pb e Ni no solo, extraídos com as soluções de HCl, Mehlich 3 e DTPA, comparadas às concentrações resultantes da extração pelo método da USEPA, esses valores apresentaram-se bastante inferiores. É difícil haver um extrator que tenha boa correlação com as quantidades fitodisponíveis para todos os metais pesados no solo (Mattiazzo et al., 2001), no entanto, o DTPA pode ser mais eficiente que os extratores Mehlich 1 e 3 para a avaliação da disponibilidade desses elementos tóxicos no solo (Mantovani et al., 2004), e o USEPA, considerado um extrator “semi-total” tende a ser mais eficiente que o HCl, Mehlich 3 e DTPA.

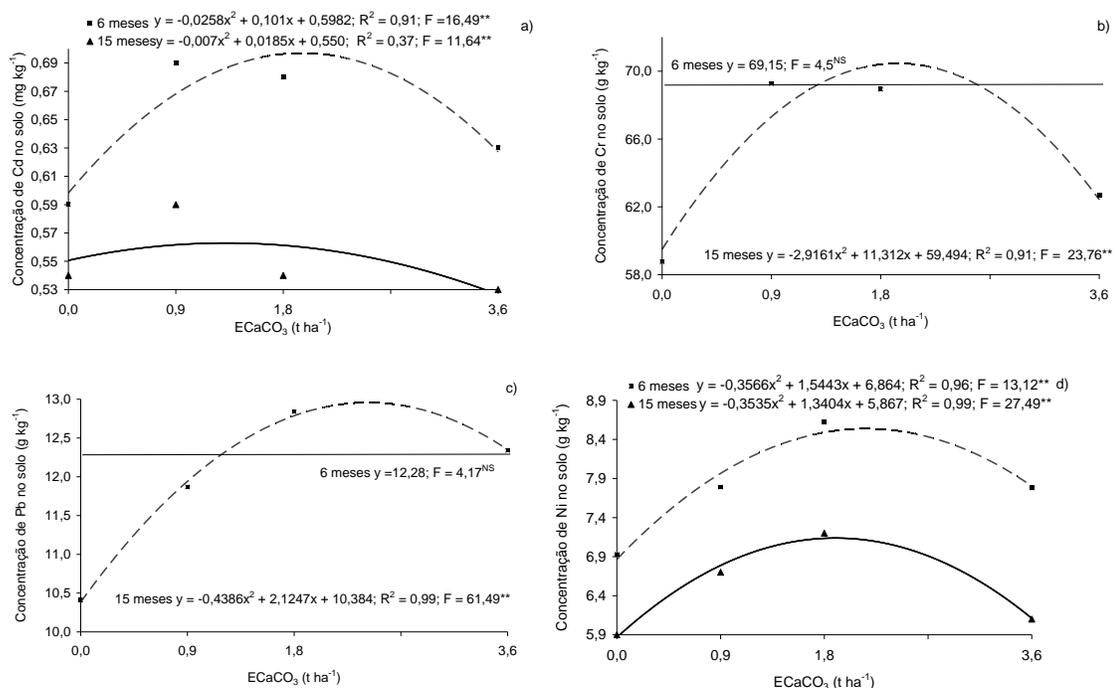


Figura 22. Concentração de Cd (a), Cr (b), Pb (c) e Ni (d) no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, em função da aplicação da escória de siderurgia, extraídos pelo método da USEPA.

Todavia, ainda foi possível observar um aumento, com ajuste linear nas concentrações de Cr, Pb e Ni no solo, com uso da solução extratora de HCl, em função da aplicação da escória de siderurgia (Figuras 23 a, b e c, respectivamente), bem como houve uma redução com ajuste linear na concentração de Cr, quando extraído utilizando a solução Mehlich 3 (Figura 23d).

Notou-se também que, quando utilizou-se a solução extratora DTPA, houve uma redução, com ajuste linear, na concentração de Pb no solo, aos 6 meses, e um aumento desse elemento aos 15 meses, em função da aplicação da escória de siderurgia (Figura 24a). Para a concentração de Cr no solo, pôde-se verificar efeito, com ajuste linear, em função da aplicação da escória (Figura 24b).

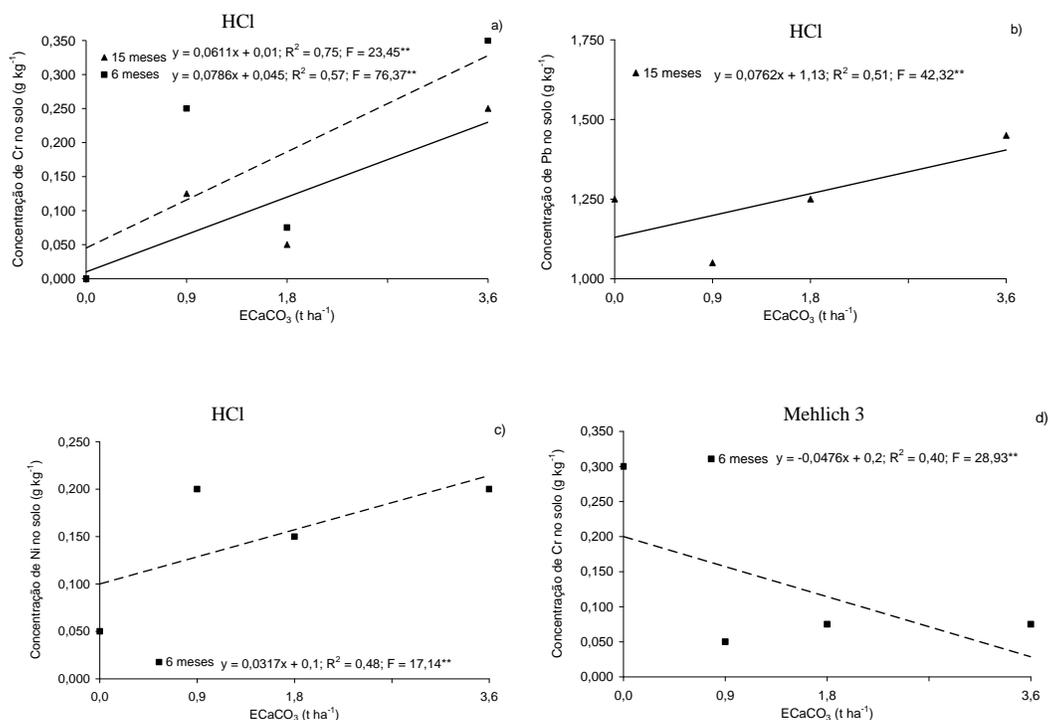


Figura 23. Concentração de Cr (a), Pb (b), Ni (c), extraídos por meio da solução HCl, e Cr extraído pela solução Mehlich 3 (d), na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, em função da aplicação da escória de siderurgia.

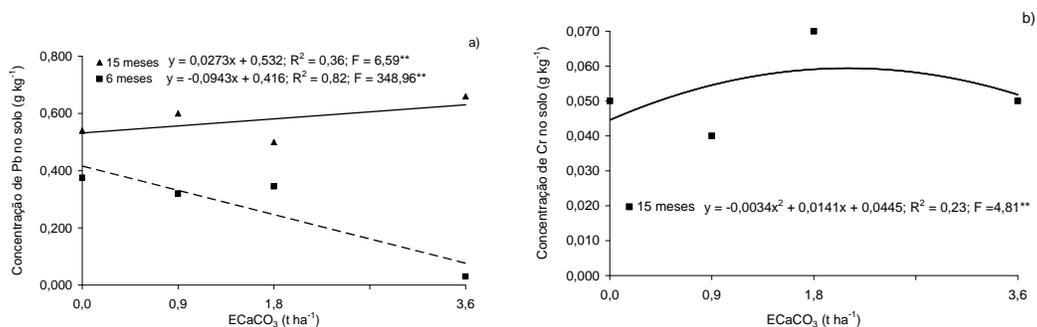


Figura 24. Concentração de Pb (a) e Cr (b) no solo, extraídos por meio da solução DTPA, na camada de 0-10 cm de profundidade, em função da aplicação da escória de siderurgia.

Com relação à concentração de Cd no solo, com utilização das soluções HCl, Mehlich 3 e DTPA, não foi possível detectar a presença do elemento, aos seis e aos

quinze meses após a aplicação da escória de siderurgia, mostrando a necessidade de se utilizar equipamentos de maior precisão nas leituras, como por exemplo o ICPMS, ao invés da absorção atômica, utilizada no presente trabalho.

Contudo, o incremento da escória de siderurgia no solo não foi suficiente para elevar as concentrações dos metais pesados (Cd, Cr, Pb e Ni) a níveis tóxicos segundo o CONAMA 375 (CONAMA, 2006).

5.3. Efeitos dos tratamentos na planta

5.3.1 Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento da cana-planta

O uso das fontes e doses dos materiais corretivos aplicados no solo não afetou significativamente a altura, o número de colmos e o diâmetro do colmo, tanto aos 120, 270 e 360 dias após a brotação (DAB) da cana-planta, bem como não houve interação entre elas. Contudo, pôde-se observar o desenvolvimento da cultura ao longo das avaliações (Tabela 7).

A ausência de efeito da aplicação de fontes e doses de material corretivo no desenvolvimento da cana-planta já era esperado, visto que se trata de uma cultura semiperene, a qual poderá vir a expressar resultados mais tardios. Ressalta-se ainda, que a cultivar utilizada, RB855156 encontra-se na faixa de classificação caracterizada como pouco exigente em termos de fertilidade do solo (ROSSETO et al., 2008), sendo assim, a cultura desenvolve-se bem mesmo em solos ácidos, justificando a falta de resposta da testemunha em relação aos tratamentos com corretivo da acidez do solo.

O número de colmos médio aos 120 e 360 DAB foi de 25 e 16 colmos, respectivamente, ocorrendo uma redução de 36%. Esse mesmo comportamento foi observado por IDO (2003), onde em cana-planta ocorreu um aumento de perfilhamento na fase inicial de desenvolvimento, e então, iniciou-se uma redução no número de perfilhos, que se estabilizou por volta dos 350 dias após o plantio. OLIVEIRA et al. (2004), observaram que o máximo de perfilhamento ocorreu por volta dos 182 DAP, estabilizando aos 377 DAP.

Tabela 7. Variáveis de crescimento da cana-planta, em função da aplicação do material corretivo no solo, aos 120, 270 e 360 dias após a brotação

Tratamentos (T)	Altura (cm)	Número de colmos	Diâmetro do colmo (mm)
120 dias			
Fontes (F)			
Calcário Dolomítico	23,4	27	20,4
Escória de Siderurgia	22,9	24	20,3
Teste F	0,75 ^{NS}	1,70 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Doses (D)			
0 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	23,7	26	20,2
0,9 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	22,5	24	20,2
1,8 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	23,5	25	20,9
3,6 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	22,9	26	20,2
Teste F	1,07 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,80 ^{NS}
----- Teste F -----			
(F) x (D)	0,22 ^{NS}	1,16 ^{NS}	0,50 ^{NS}
C.V. (%)	6,6	20,3	5,4
270 dias			
Fontes (F)			
Calcário Dolomítico	113,6	23	25,0
Escória de Siderurgia	104,5	22	25,6
Teste F	0,22 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,37 ^{NS}
Doses (D)			
0 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	110,9	22	25,6
0,9 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	113,4	21	25,5
1,8 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	101,9	22	24,4
3,6 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	110,1	23	25,4
Teste F	0,71 ^{NS}	0,87 ^{NS}	0,37 ^{NS}
----- Teste F -----			
(F) x (D)	0,51 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,54 ^{NS}
C.V. (%)	18,8	22,6	6,7
360 dias			
Fontes (F)			
Calcário Dolomítico	252,7	16,6	28,1
Escória de Siderurgia	244,2	15,7	28,3
Teste F	0,3 ^{NS}	1,1 ^{NS}	0,15 ^{NS}
Doses (D)			
0 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	256,0	17,9	28,2
0,9 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	258,9	15,7	28,2
1,8 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	224,8	14,7	27,8
3,6 (t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	254,1	16,4	28,4
Teste F	1,0 ^{NS}	2,4 ^{NS}	0,47 ^{NS}
----- Teste F -----			
(F) x (D)	1,0 ^{NS}	2,0 ^{NS}	2,73 ^{NS}
C.V. (%)	17,8	14,8	5,5

^{NS} - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O colmo apresentou um diâmetro médio máximo de 28,1 mm, aos 360 DAB. Resultado semelhante ao de OLIVEIRA et al. (2004) que, ao trabalharem com

cultivares de cana-de-açúcar, observaram um diâmetro do colmo médio de 28,8 mm aos 377 dias após o plantio.

Com relação à altura do colmo, observou-se que houve um aumento de 139,3 cm entre 270 e 360 DAB (90 dias). Contudo, OLIVEIRA et al. (2004) puderam observar que o maior crescimento ocorreu, em média, entre os 280 e 380 dias após o plantio. Entretanto, verificou-se um aumento da altura das plantas nos meses mais quentes do ano, entre outubro e março; corroborando os resultados observados por SUGUITANI (2000) e MIOCQUE (1999) que observaram maiores alturas de novembro a março.

5.3.2 Efeitos dos tratamentos na nutrição da cana-planta

Com base nos resultados obtidos a partir da análise química foliar, aos nove meses após o plantio, observou-se que não houve interação entre as fontes e doses de material corretivo utilizadas, exceto para Mg, Fe, Mn, Zn, B e Si (Tabela 8).

Com relação às fontes dos materiais corretivos utilizadas houve diferença para os teores de K, Ca, Mn, Zn e Si. Com o aumento das doses dos materiais corretivos observou-se diferença nos teores de S, de todos os micronutrientes avaliados e de Si (Tabela 8). Com relação ao tipo de folha analisada houve diferença significativa estatisticamente para todos os nutrientes e Si, exceto para P e B.

Contudo, a variação que ocorreu foi bastante pequena, não apresentando diferença significativa agronomicamente, visto que mesmo variando, os teores dos nutrientes continuam próximos da faixa tida como adequada para a cultura da cana-de-açúcar descrita na literatura, considerando ainda o fato de que essas faixas são bastante largas, principalmente para os micronutrientes.

Nota-se que vários fatores podem afetar o teor foliar dos nutrientes na cana-de-açúcar, o que contribui para pequenas diferenças nos teores dos nutrientes relatados na literatura.

Tabela 8. Teores foliares de macro e micronutrientes em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo, e do tipo de folha (+1 e +3), aos quatro meses após o plantio da cana-de-açúcar

Tratamentos (T)	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					Si g kg ⁻¹
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
FONTES (F)												
Calcário	23,4	2,1	12,3	6,8	2,3	1,5	84	135	14	8	55	12,5
Escória	23,3	2,1	12,7	6,1	2,3	1,5	85	117	12	8	55	13,6
Teste F	0,12 ^{NS}	0,50 ^{NS}	7,0*	32,7**	0,28 ^{NS}	0,14 ^{NS}	3,82 ^{NS}	294,09**	23,99**	2,45 ^{NS}	1,65 ^{NS}	7,76**
DOSES (D) (t ha⁻¹)												
0	23,3	2,1	12,7	6,3	2,3	1,4a	83	145	12	8	55	12,4
0,9	23,8	2,1	12,5	6,5	2,2	1,6b	85	146	12	8	55	14,1
1,8	23,2	2,1	12,6	6,5	2,4	1,6b	83	118	13	7	55	12,8
3,6	23,1	2,1	12,3	6,5	2,4	1,4a	88	95	16	8	55	12,9
Teste F	1,32 ^{NS}	1,39 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,66 ^{NS}	1,78 ^{NS}	4,23*	10,34**	533,51**	22,11**	7,63**	3,92*	4,12**
FOLHAS (FL)												
+1	23,0	2,1	13,5	5,7	2,2	1,7	79	111	15	8	55	12,3
+3	23,7	2,0	11,5	7,2	2,4	1,3	90	141	11	7	56	13,8
Teste F	6,10*	4,63 ^{NS}	141,2**	157,2**	13,64**	71,55**	212,29**	856,27**	100,67**	6,25*	1,86 ^{NS}	17,01**
Teste F												
F x D	0,30 ^{NS}	0,28 ^{NS}	1,47 ^{NS}	6,01**	3,73*	0,56 ^{NS}	17,09**	78,31**	33,32**	1,14 ^{NS}	14,89**	6,12**
F x FL	0,04 ^{NS}	0,05 ^{NS}	2,50 ^{NS}	0,80 ^{NS}	0,16 ^{NS}	3,07 ^{NS}	3,02 ^{NS}	5,14*	2,09 ^{NS}	7,45**	5,79*	0,86 ^{NS}
D x FL	0,90 ^{NS}	0,08 ^{NS}	1,76 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,95 ^{NS}	27,32**	18,0**	7,25**	8,76**	7,11**	0,31 ^{NS}
F x FL x D	0,30 ^{NS}	0,11 ^{NS}	1,43	0,47 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,92 ^{NS}	10,14**	9,82**	10,36**	0,34 ^{NS}	5,88**	1,09 ^{NS}
C.V. (%)	4,8	8,1	5,4	7,8	8,2	11,0	3,6	3,3	10,8	6,9	3,9	11,3

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.

Outro fator que pode vir a influenciar o estado nutricional é a idade da cultura, bem como variações climáticas (especialmente nebulosidade) e até a hora do dia, a qual indica como ideal das 6 às 8 horas da manhã, conforme relatado por GOMEZ ALVAREZ (1974).

Tabela 9. Estudos de regressão sobre o efeito de doses e fontes de material corretivo aplicadas no solo, e do tipo de folha (+1 e +3), para os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e B em cana-planta aos quatro meses após a brotação

Nutriente	Fonte	Folha	F	R ²	Equação
Ca	C	Folhas+1 +3	7,35**	0,47	$Y = 0,162x + 6,54$
Ca	E	Folhas+1 +3	2,14 ^{NS}	0,48	---
Mg	C	Folhas+1 +3	0,23 ^{NS}	---	---
Mg	E	Folhas+1 +3	8,87**	0,84	$Y = 0,067x + 2,17$
Cu	C e E	Folha +1	7,52**	0,72	$y = 0,1463x^2 - 0,657x + 8,26$
	C e E	Folha +3	15,31**	0,44	$y = 0,2088x^2 - 0,792x + 7,24$
Fe	C	Folha +1	83,36**	0,93	$Y = 4,73x + 70,8$
	C	Folha +3	9,17**	0,65	$y = 1,3091x^2 - 4,404x + 89,75$
	E	Folha +1	7,86**	0,99	$y = -1,2125x^2 + 4,477x + 77,78$
	E	Folha +3	12,54**	0,98	$y = 2,7471x^2 - 12,169x + 98,62$
Mn	C	Folha +1	486,22**	0,99	$y = -15,523x + 145,66$
	C	Folha +3	352,19**	0,79	$y = -13,2114x + 174,44$
	E	Folha +1	281,35**	0,59	$y = -11,8086x + 123,66$
	E	Folha +3	372,84**	0,74	$y = -13,5936x + 154,89$
Zn	C	Folha +1	39,85**	0,48	$y = 1,522x + 13,43$
	C	Folha +3	78,35**	0,71	$y = 2,134x + 8,26$
	E	Folha +1	23,63**	0,98	$y = -0,9778x^2 + 3,880x + 12,17$
	E	Folha +3	1,52 ^{NS}	---	---
B	C	Folha +1	8,85**	0,70	$y = 1,0971x + 53,20$
	C	Folha +3	26,49**	0,78	$y = -1,2074x^2 + 4,899x + 52,32$
	E	Folha +1	1,02 ^{NS}	---	---
	E	Folha +3	8,27**	0,75	$y = -1,061x + 58,42$

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. C = calcário; E = escória

Ao avaliar-se os teores foliares de N, P, Mg e S, notou-se que a escória não diferiu do calcário (Tabela 10). Essa semelhança de resultados entre os materiais corretivos quanto aos teores foliares de macronutrientes da cana-de-açúcar, também foi constatada por PRADO & FERNANDES (2000) e PRADO et al. (2002b), na cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação, em cana-planta. Observa-se ainda,

que a escória de siderurgia apresentou-se teores de Mn e Zn foliar menor que o calcário (Tabela 10).

Com relação aos teores nas folhas +1 e +3 (Tabela 10), pôde-se observar que existe uma estreita relação entre o teor de nutrientes na folha e sua mobilidade na planta. Observou-se para os nutrientes que apresentam maior mobilidade na planta, os teores foram maiores na folha mais nova (folha +1), do que na mais velha (folha +3), como é o caso do P, K e Mg. Enquanto, os macronutrientes Ca e S e os micronutrientes Zn, Fe e B apresentaram maior teor na folha mais velha, o que poderia indicar restrição na mobilidade desses nutrientes na planta.

O efeito da aplicação dos materiais corretivos na correção da acidez do solo e aumento das bases do solo, refletiu-se na planta, havendo um incremento nos teores foliares de Ca e também do P, bem como uma redução no teor de Zn (Tabela 10). Esses resultados discordam dos observados por PRADO et al. (2002b) que não observaram alteração nos teores desses nutrientes na folha +3, em função da aplicação de 3,8t ha⁻¹ de ECaCO₃. Possivelmente, essa diferença deveu-se a época de amostragem foliar, pois no presente trabalho ocorreu aos nove meses após a brotação, e no trabalho realizado por PRADO et al. (2002b) foi feita aos três meses após a brotação em cana-planta.

Houve um incremento linear nos teores foliares de P em função das doses de material corretivo aplicadas, independente da fonte de material corretivo utilizada. Houve, também, um incremento nos teores de Ca, na folha +3, com ajuste quadrático, apresentando um ponto máximo de 4,8 e 4,2 g kg⁻¹, na dose de 0,4 e 0,7 t ha⁻¹ de ECaCO₃, em função da aplicação do calcário e da escória, respectivamente (Tabela 11).

Para os teores de Mg, observou-se incremento com ajuste quadrático na folha +1, com ponto máximo de 1,5 e 1,4 g kg⁻¹ na testemunha, aplicando calcário e escória, respectivamente (Tabela 11). Observou-se ainda, um ponto máximo de 4 mg kg⁻¹ de Cu na folha +3, com a dose de 0,8 t ha⁻¹ de ECaCO₃ de escória; e de 11 mg kg⁻¹ de Mn na folha +3, com a dose de 1,40 t ha⁻¹ de ECaCO₃ de calcário (Tabela 11).

Tabela 10. Teores foliares de macro e micronutrientes em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo, e do tipo de folha (+1 e +3), aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	Fe	B	Si
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹
Fontes (F)												
Calcário	13,7	1,3	11,1	4,1	1,5	0,7	4	17	50	86	10	11,7
Escória	13,2	1,3	11,6	3,7	1,5	0,7	4	15	48	88	9	11,9
Teste F	1,88 ^{NS}	0,52 ^{NS}	7,13*	23,53**	0,06 ^{NS}	1,47 ^{NS}	12,90**	28,95**	11,53**	4,30*	19,88**	0,15 ^{NS}
Doses (D)												
0,0 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	13,4	1,3	11,8	4,1	1,5	0,7	4	13	50	94	11	11,7
0,9 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	13,1	1,3	11,0	3,8	1,5	0,6	4	14	47	85	10	13,1
1,8 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	13,8	1,4	11,4	3,6	1,5	0,7	4	17	51	77	9	11,1
3,6 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	13,7	1,4	11,1	4,1	1,5	0,7	5	20	47	91	9	11,2
Teste F	0,80 ^{NS}	4,40**	3,57*	15,0**	0,12 ^{NS}	1,33 ^{NS}	9,03**	68,36**	13,07**	36,63**	21,58**	5,27**
Folhas (FL)												
+1	13,7	1,4	12,0	3,3	1,4	0,6	5	19	43	62	9	9,6
+3	13,2	1,3	10,7	4,5	1,5	0,7	4	13	54	112	10	13,9
Teste F	1,88 ^{NS}	5,51*	43,5**	395,92**	7,57**	8,33**	30,18**	248,05**	419,06**	169,35**	53,70**	111,18**
Teste F												
F x D	0,79 ^{NS}	2,24 ^{NS}	1,43 ^{NS}	10,61**	3,40*	2,09 ^{NS}	2,57 ^{NS}	18,79**	87,99**	3,87*	12,77**	2,33 ^{NS}
F x FL	0,64 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,25 ^{NS}	10,03**	0,17 ^{NS}	1,05 ^{NS}	3,15 ^{NS}	113,29**	27,35**	3,94 ^{NS}	3,30 ^{NS}	0,15 ^{NS}
D x FL	0,16 ^{NS}	1,23 ^{NS}	1,73 ^{NS}	22,82**	0,19 ^{NS}	0,03 ^{NS}	9,43**	13,02**	5,12**	9,96**	34,40**	0,67 ^{NS}
F x FL x D	1,12 ^{NS}	0,76 ^{NS}	3,10 ^{NS}	7,01**	5,37**	0,66 ^{NS}	7,49**	45,92**	37,08**	2,49 ^{NS}	7,54**	2,04 ^{NS}
C.V. (%)	10,4	10,3	7,0	6,5	10,1	19,8	13,8	9,8	4,7	5,5	9,2	13,8

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. F = fonte de material corretivo; D = dose de material de corretivo.

Notou-se uma diminuição com ajuste linear nos teores de zinco nas duas folhas analisadas, em função da aplicação da escória; uma diminuição com ajuste quadrático nos teores de Fe tanto na folha +1 como na +3, com um ajuste quadrático para calcário e escória, ponto máximo de 87 e 86 mg kg⁻¹, respectivamente; e ainda houve uma redução no teor de B, apresentando um ponto máximo de 11 mg kg⁻¹ na folha +3, com a dose de 3,6 t ha⁻¹ de ECaCO₃ de calcário (Tabela 11).

Tabela 11. Estudos de regressão sobre o efeito de doses e fontes de material corretivo aplicadas no solo, e do tipo de folha (+1 e +3), para os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, Fe e B em cana-planta aos nove meses após a brotação

Nutriente	Fonte	Folha	F	R ²	Equação
P	C e E	Folhas +1 e +3	8,40**	0,64	$y = 0,034x + 1,28$
K	C e E	Folhas +1 e +3	3,63 ^{NS}	—	—
	C	Folha +1	7,90**	0,66	$y = 0,120x + 3,11$
Ca	C	Folha +3	40,12**	0,99	$y = 0,2256x^2 - 0,848x + 5,08$
	E	Folha +1	27,43**	0,68	$y = -0,224x + 3,61$
	E	Folha +3	66,20**	0,95	$y = 0,2897x^2 - 1,195x + 4,84$
	C	Folha +1	7,52**	0,99	$y = 0,0579x^2 - 0,193x + 1,47$
Mg	C	Folha +3	3,68 ^{NS}	—	—
	E	Folha +1	4,62*	0,97	$y = -0,0454x^2 + 0,135x + 1,41$
	E	Folha +3	1,91 ^{NS}	—	—
Cu	C	Folha +1	17,46**	0,74	$y = 0,418x + 3,55$
	C	Folha +3	2,49 ^{NS}	—	—
	E	Folha +1	15,32**	0,38	$y = 0,391x + 4,39$
	E	Folha +3	12,54**	0,90	$y = 0,2954x^2 - 1,395x + 4,89$
Mn	C	Folha +1	338,86**	0,96	$y = 4,951x + 13,83$
	C	Folha +3	4,37*	0,88	$y = 0,4693x^2 - 1,463x + 12,10$
	E	Folha +1	21,96**	0,99	$y = -1,052x^2 + 4,674x + 13,47$
	E	Folha +3	49,26**	0,95	$y = 1,89x + 10,79$
Zn	C	Folha +1	38,06**	0,80	$y = -1,9693x^2 + 8,564x + 40,60$
	C	Folha +3	39,82**	0,56	$y = -2,414x + 58,10$
	E	Folha +1	43,99**	0,47	$y = -2,538x + 44,81$
Fe	E	Folha +3	42,94**	0,76	$y = 2,507x + 50,52$
	C	Folhas +1e+3	62,22**	1,00	$y = 3,7602x^2 - 15,035x + 92,32$
	E	Folhas +1e+3	42,55**	0,82	$y = 3,1094x^2 - 14,206x + 96,76$
B	C	Folha +1	83,47**	0,73	$y = -1,359x + 11,48$
	C	Folha +3	52,84**	0,92	$y = 0,9023x^2 - 3,747x + 12,94$
	E	Folha +1	26,49**	0,78	$y = -0,766x + 9,86$
	E	Folha +3	7,18**	0,60	$y = 0,399x + 9,04$

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. C = calcário; E = escória.

Com relação aos teores nas folhas da cana-de-açúcar, no momento da colheita (aos 15 meses após o plantio), verificou-se interação entre as fontes e as doses dos materiais corretivos aplicados para P, Ca, S, Mn, Zn, Fe, B e Si e não houve diferença entre o calcário e a escória de siderurgia ao afetar os teores de N, Ca, Mg e Cu, corroborando a semelhança entre os dois materiais (Tabela 12).

Houve diferença com relação às doses de material corretivo utilizadas para todos os nutrientes analisados nas folhas da cana-planta, exceto para Cu (Tabela 12). Salienta-se que a variação observada com relação aos teores nutricionais apresenta pouca importância agronomicamente, como já foi discutido anteriormente.

Houve efeito das fontes e doses do material corretivo aplicado sobre os teores de N, apresentando um ajuste quadrático para calcário e um ajuste linear para escória; para P que apresentou um ajuste linear para ambos os corretivos; bem como para Ca, S, Fe, Mn, Zn, B e Si (Tabela 13). Observou-se efeito das doses sobre os teores de K e Mg, com um ajuste quadrático e linear, respectivamente (Tabela 13).

Com relação aos teores nutricionais do colmo da cana-planta, observou-se efeito da aplicação das fontes e doses dos materiais corretivos para todos os nutrientes analisados, exceto para Ca, Cu e para Si, contudo houve diferença entre o calcário e a escória ao afetar os teores de N, K, Ca, Mg, Mn, Zn e Si (Tabela 14). Com o aumento das doses observou-se variação nos teores de todos os nutrientes e Si contidos no colmo da cana-planta, exceto para P, Cu e Mn (Tabela 14).

Notou-se um efeito com ajuste linear nos teores de N e P, e um ajuste quadrático para os teores de K em função da interação entre fontes e doses (Tabela 15). Houve ainda um efeito com ajuste linear sobre os teores de Ca e Si em função das doses dos materiais corretivos, bem como para Mg, S, Fe, Zn e B em função da interação entre o calcário e a escória (Tabela 15).

Tabela 12. Teores de macro e micronutrientes nas folhas da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após a brotação

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	Fe	B	Si
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹
Fontes (F)												
Calcário	4,8	0,8	5,1	4,0	1,6	1,4	1	191	16	643	14	9,4
Escória	4,7	0,6	6,0	4,1	1,7	1,0	1	203	19	559	15	10,6
Teste F	1,63 ^{NS}	29,21**	26,6**	0,17 ^{NS}	0,65 ^{NS}	58,55**	0,12 ^{NS}	1,69 ^{NS}	19,47**	12,64**	15,24**	6,08*
Doses (D)												
0,0 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	4,5	0,7	4,8	3,4	1,3	1,6	1	218	15	557	18	10,7
0,9 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	4,2	0,6	5,8	4,3	1,5	0,9	1	206	16	540	12	9,5
1,8 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	5,3	0,8	6,3	4,3	1,9	1,3	1	168	21	406	13	9,9
3,6 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	5,0	0,7	5,5	4,1	1,9	1,1	1	198	28	900	15	11,0
Teste F	19,24**	4,75**	13,94**	8,64**	17,72**	25,33**	0,12 ^{NS}	5,23**	23,86**	78,19**	37,59**	6,76**
Teste F												
F x D	47,78 ^{NS}	13,76**	0,68 ^{NS}	12,14**	0,88 ^{NS}	14,27**	0,12 ^{NS}	5,63**	7,55**	69,18**	3,47*	4,24*
C.V. (%)	6,4	10,0	8,9	9,6	13,1	14,0	39,6	13,1	9,3	11,2	8,7	7,3

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. F = fonte de material corretivo; D = dose de material de corretivo.

Tabela 13. Estudos de regressão sobre o efeito de doses e fontes de material corretivo aplicadas no solo nos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B e Si nas folhas da cana-planta

Nutriente	Fonte	F	R ²	Equação
N	C	35,83**	0,97	$y = -0,2574x^2 + 0,959x + 4,49$
	E	77,93**	0,49	$y = 0,455x + 3,88$
P	C	13,25**	0,78	$y = -0,044x + 0,86$
	E	26,70**	0,69	$y = 0,063x + 0,54$
K	C e E	36,82**	0,99	$y = -0,3026x^2 + 1,386x + 4,76$
Ca	C	43,58**	0,99	$y = -0,3625x^2 - 1,522x + 3,24$
	E	9,36**	0,51	$y = 0,201x + 3,71$
Mg	C e E	40,27**	0,76	$y = 0,166x + 1,37$
S	C	46,54**	0,41	$y = -0,197x + 1,79$
	E	1,17 ^{NS}	---	---
Fe	C	267,09**	0,62	$y = 186,128x + 317,65$
	E	8,47**	0,98	$y = 27,6591x^2 - 129,909x + 640,82$
Mn	C	0,74 ^{NS}	---	---
	E	11,52**	0,54	$y = 12,4318x^2 - 61,132x + 233,21$
Zn	C	25,17**	0,71	$y = 1,393x + 14,00$
	E	49,91**	0,94	$y = -1,6363x^2 + 7,436x + 14,58$
B	C	33,45**	0,70	$y = 1,0341x^2 - 4,284x + 15,82$
	E	64,66**	0,98	$y = 1,4375x^2 - 6,612x + 19,52$
Si	C	23,68**	0,99	$y = 0,5165x^2 - 2,009x + 10,75$
	E	2,68 ^{NS}	---	---

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. C = calcário; E = escória.

Tabela 14. Teores de macro e micronutrientes no colmo da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após a brotação

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	Fe	B	Si
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹
Fontes (F)												
Calcário	2,3	0,5	3,9	0,8	1,0	0,8	1	55	18	162	10	0,5
Escória	2,2	0,5	4,8	0,7	1,1	0,8	1	62	22	179	11	1,0
Teste F	5,36*	0,08 ^{NS}	25,46**	4,95*	7,77**	0,12 ^{NS}	3,00 ^{NS}	11,85**	38,29**	3,45 ^{NS}	1,30 ^{NS}	12,79**
Doses (D)												
0,0 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	2,4	0,5	4,5	3,4	0,9	0,9	1	57	17	146	9,9	0,5
0,9 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	2,1	0,5	4,9	4,3	1,0	0,7	1	60	15	182	9,2	0,5
1,8 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	2,3	0,5	4,2	4,3	1,2	0,8	1	57	23	173	12,1	1,0
3,6 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	2,1	0,5	3,7	4,1	1,1	0,8	1	60	26	180	11,5	1,1
Teste F	33,86**	1,19 ^{NS}	7,37**	15,58**	14,01**	5,07**	3,00 ^{NS}	1,03 ^{NS}	66,67**	3,55*	9,43**	4,37**
Teste F												
F x D	15,21**	10,26**	11,68**	2,84 ^{NS}	6,77**	5,51**	3,00 ^{NS}	14,01**	35,00**	7,18**	18,32**	2,68 ^{NS}
C.V. (%)	3,4	11,5	12,4	10,4	10,4	12,7	19,2	9,1	8,8	14,6	11,6	6,9

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. F = fonte de material corretivo; D = dose de material de corretivo.

Observou-se efeito da aplicação de fontes e doses dos materiais corretivos nos teores de todos os nutrientes analisados no palmito da cana-de-açúcar, exceto para Ca e Cu, e para Si (Tabela 16). Verificou-se semelhança entre o calcário e a escória de siderurgia quando se analisou os teores de P, S e Zn, e houve efeito da aplicação das doses do material corretivo nos teores de todos os nutrientes, não havendo efeito sobre o teor de Si no palmito (Tabela 16).

Observou-se efeito da interação entre fontes e doses dos materiais corretivos com ajuste linear sobre os teores no palmito de N, P, S, Mn e Zn (Tabela 16), bem como houve efeito com ajuste linear em função da aplicação das doses de calcário e escória nos teores de Ca e Cu, com um ajuste linear (Tabela 17).

Tabela 15. Estudos de regressão sobre o efeito de doses e fontes de material corretivo aplicadas no solo nos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B e Si no colmo da cana-planta

Nutriente	Fonte	F	R ²	Equação
N	C	9,95**	0,52	$y = - 0,041x + 2,34$
	E	30,00**	0,45	$y = - 0,071x + 2,33$
P	C	9,60**	0,58	$y = 0,032x + 0,47$
	E	10,04**	0,56	$y = - 0,033x + 0,59$
K	C	8,59**	0,99	$y = - 0,2244x^2 - 1,112x + 4,65$
	E	24,42**	0,85	$y = - 0,3785x^2 + 1,233x + 4,69$
Ca	C e E	30,99**	0,66	$y = 0,053x + 0,67$
Mg	C	2,70 ^{NS}	---	---
	E	28,00**	0,48	$y = 0,096x + 0,92$
S	C	1,31 ^{NS}	---	---
	E	1,08 ^{NS}	---	---
Fe	C	15,46**	0,93	$y = 16,578x + 133,30$
	E	3,79 ^{NS}	---	---
Mn	E	8,95**	0,47	$y = 2,700x + 50,65$
	C	9,15**	0,47	$y = - 2,2784x^2 + 7,853x + 60,09$
Zn	C	460,83**	0,92	$y = 3,628x + 11,90$
	E	26,07**	0,58	$y = 1,528x + 19,45$
B	C	45,87**	0,59	$y = 1,421x + 7,95$
	E	2,78 ^{NS}	---	---
Si	C e E	7,58**	0,58	$y = 0,014x + 0,5$

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. C = calcário; E = escória.

Tabela 16. Teores de macro e micronutrientes no palmito da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	Fe	B	Si
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					g kg ⁻¹
Fontes (F)												
Calcário	7,8	1,9	27,3	3,5	2,3	2,3	3	235	52	322	11	38,5
Escória	7,5	1,8	33,0	3,8	2,5	2,3	4	211	54	377	13	51,6
Teste F	5,76*	0,82 ^{NS}	88,62**	9,82**	6,49*	0,33 ^{NS}	23,25**	8,36**	0,64 ^{NS}	19,17**	21,85**	34,40**
Doses (D)												
0,0 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	8,1	2,1	32,7	3,2	2,2	2,5	3	245	50	352	12	42,5
0,9 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	7,8	2,0	28,6	3,6	2,2	2,3	4	255	48	346	11	42,7
1,8 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	7,9	1,7	30,3	3,7	2,9	2,6	4	199	57	382	14	47,6
3,6 t ha ⁻¹ ECaCO ₃	6,8	1,6	29,0	3,9	2,3	1,8	5	194	57	317	10	47,4
Teste F	14,84**	30,90**	9,52**	8,43**	27,47**	42,41**	13,81**	14,72**	10,00**	4,37**	14,06**	1,59 ^{NS}
Teste F												
F x D	5,73*	6,94**	40,46**	2,38 ^{NS}	11,26**	14,64**	0,94 ^{NS}	3,37**	5,83**	18,67**	11,32**	2,78 ^{NS}
C.V. (%)	5,8	6,3	5,6	7,6	7,2	6,6	15,7	10,2	7,9	10,3	10,2	14,0

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. F = fonte de material corretivo; D = dose de material de corretivo.

Tabela 17. Estudos de regressão sobre o efeito de doses e fontes de material corretivo aplicadas no solo nos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B no palmito da cana-planta

Nutriente	Fonte	F	R ²	Equação
N	C	26,35**	0,94	$y = - 0,384x + 8,51$
	E	11,65**	0,74	$y = - 0,255x + 7,91$
P	C	31,88**	0,51	$y = - 0,111x + 2,07$
	E	49,30**	0,96	$y = - 0,138x + 2,08$
K	C	46,07**	0,99	$y = 1,6176x^2 - 5,705x + 28,83$
	E	67,45**	0,79	$y = - 2,346x + 37,07$
Ca	C e E	21,92**	0,87	$y = 0,155x + 3,36$
	C	34,77**	0,44	$y = 0,173x + 2,03$
Mg	E	14,87**	0,53	$y = - 0,0943x^2 + 0,324x + 2,42$
	C	35,59**	0,67	$y = - 0,154x + 2,595$
S	E	40,01**	0,99	$y = - 0,163x + 2,58$
	C e E	37,08**	0,89	$y = 0,454x + 3,17$
Fe	C	7,29*	0,55	$y = - 16,478x + 350,40$
	E	7,89*	0,69	$y = - 14,3011x^2 + 60,526x + 346,60$
Mn	C	4,72*	0,73	$y = - 8,393x + 249,75$
	E	31,89**	0,63	$y = - 21,821x + 249,50$
Zn	C	8,34**	0,45	$y = 2,05x + 48,85$
	E	13,56**	0,47	$Y = 2,614x + 49,05$
B	C	8,20**	0,84	$y = - 0,586x + 11,90$
	E	19,91**	0,61	$Y = - 0,7631x^2 + 3,311x + 11,08$

*, ** e NS - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. C = calcário; E = escória.

Apesar dos tratamentos terem influenciado os teores dos nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, é sabido que esses valores não expressam as quantidades absorvidas pela planta, pois é obtida pelo acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta, a partir do cálculo dos teores desses nutrientes e a respectiva massa de matéria seca. A partir dessas informações pode-se estimar a quantidade de nutriente exportada pela cultura, ou seja, a quantidade acumulada nos diferentes órgãos da planta (Tabelas 18, 19, 20 e 21).

O nutriente mais extraído pelo colmo da cana-de-açúcar foi o K, seguido do N, e em terceiro lugar ficou o Si, onde, observou-se uma exportação de 51,6 kg ha⁻¹ no tratamento com a escória de siderurgia (Tabela 19). Cultivando doze variedades de cana-de-açúcar sem o uso da despalha a fogo em dois solos observou exportação pelo colmo (em kg ha⁻¹) variando de 34,4 a 104,9 para o N (com uma produção de 29 e 54 t ha⁻¹), de 2,2 a 9,5 para o P (com uma produção de 42 e 54 t ha⁻¹) e de 47,5 a 285,5 para o K (com uma

produção de 29 e 79 t ha⁻¹), portanto verifica-se que a variação de acúmulo de nutrientes é muito grande, pois depende do solo, do ano agrícola, das práticas culturais e da sua adaptabilidade ao ambiente (GOMES, 2003).

Contudo, a ordem de extração de nutrientes e de Si pela parte aérea e pelo colmo da cana-planta observada no presente experimento foi: K > Si > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu e K > N > Si > Mg > Ca > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu, para os tratamentos com calcário e escória, respectivamente. Ressalta-se que é difícil propor valores para exportação de K nos colmos, pois há grande ocorrência de consumo de luxo desse nutriente em condições de alta disponibilidade (DILLEWIJN, 1952). Existem relatos na literatura de que as exportações de K variam até 380 kg 100 t⁻¹ de colmos (BEAUCLAIR, 1994), portanto o valor observado no presente trabalho foi de 244 até 326 kg ha⁻¹, diferença em função do material corretivo utilizado, encontrando-se dentro desta amplitude.

Segundo MALAVOLTA (2004) a extração de nutrientes pela cana-de-açúcar obedece, de forma geral, a seguinte ordem decrescente: Si, K, N, P, Ca, S, Mg, Cl, Fe, Zn, Mn, Cu, B e Mo.

VALE (2009) observou que a ordem de extração dos nutrientes pela parte aérea da cana, cultivar SP 83-2847, seguiu a seguinte ordem decrescente: N, K, Mg, Ca, S, P, Fe, Mn, B, Zn e Cu.

Tabela 18. Acúmulo de macro, micronutrientes e silício, nas folhas da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Si
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					kg ha ⁻¹
FONTES (F)												
Calcário	70,4	11,6	75,3	58,3	23,4	20,7	9763,6	2978,2	237,1	14,6	199,4	147,2
Escória	67,8	9,6	88,5	59,1	24,7	14,4	8034,1	2763,9	270,0	14,4	224,0	151,3
Teste F	0,85 ^{NS}	14,07**	18,02**	0,07 ^{NS}	0,58 ^{NS}	37,42**	14,30**	1,61 ^{NS}	7,47**	0,13 ^{NS}	9,91**	0,39 ^{NS}
DOSES (D) (t ha ⁻¹)												
0	65,3	10,9	70,0	50,5	18,6	23,6	8136,2	3196,4	213,4	14,5	263,2	155,8
0,9	71,8	10,8	95,0	71,6	24,8	15,6	8913,5	3367,2	267,6	16,5	198,0	156,6
1,8	65,1	9,2	81,1	51,9	24,0	15,1	4990,0	1939,5	255,7	11,9	150,6	119,5
3,6	74,2	11,4	81,6	60,7	28,8	15,9	13555,6	2981,1	277,5	15,0	235,0	165,1
Teste F	2,78 ^{NS}	3,07*	10,82**	12,41**	6,49**	15,32**	59,84**	14,38**	5,51**	13,81**	38,98**	9,41**
Teste F												
F x D	37,48**	12,61**	12,02**	6,22**	1,16 ^{NS}	11,27**	46,76**	0,44 ^{NS}	6,74**	8,35**	1,78 ^{NS}	7,40**
C.V. (%)	11,3	14,6	10,7	13,3	19,4	16,6	14,5	16,6	13,4	10,1	10,4	12,5

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

A aplicação de fontes e doses de material corretivo proporcionou diminuição (calcário) e aumento (escória), ambos com ajuste linear, no acúmulo de N (Figura 25a) e P (Figura 25b) nas folhas da cana-planta.

O aumento no acúmulo de P na planta deve-se a maior absorção pelo elemento em função do aumento da sua disponibilidade com a aplicação do material corretivo. PRADO e FERNANDES (2001c) relatam que o efeito linear da escória de siderurgia no P disponível do solo, em contraste com a ausência de relação quando se aplicou calcário, indica que o efeito positivo da escória de siderurgia se deve mais ao efeito do silicato, de saturar os sítios de adsorção de P, do que ao efeito de aumento do pH. Por outro lado, LOPES (1977) ressalta que a eficiência do silicato em aumentar o P disponível do solo não está na capacidade de troca dos ânions silicato pelo fosfato no solo e, sim, na saturação ou bloqueio destes sítios de adsorção de P pelo ânion silicato.

Houve ainda efeito da interação entre os materiais corretivos para o acúmulo de K (Figura 25c), com ajuste quadrático para a escória e não significativo para o calcário; Ca, com ajuste quadrático para calcário e linear crescente para a escória (Figura 25d); uma redução com ajuste linear no acúmulo de S para calcário e não significativo para escória (Figura 25f), bem como houve um aumento, com ajuste linear pra calcário e ajuste quadrático para escória, no acúmulo de Fe (Figura 25g) e Zn (Figura 25h).

Com relação ao acúmulo de Si, observou-se um acúmulo médio de 151,3 kg ha⁻¹ pela folha da cana-planta em função da aplicação da escória, e um efeito com ajuste quadrático em função da aplicação do calcário (Figura 25i).

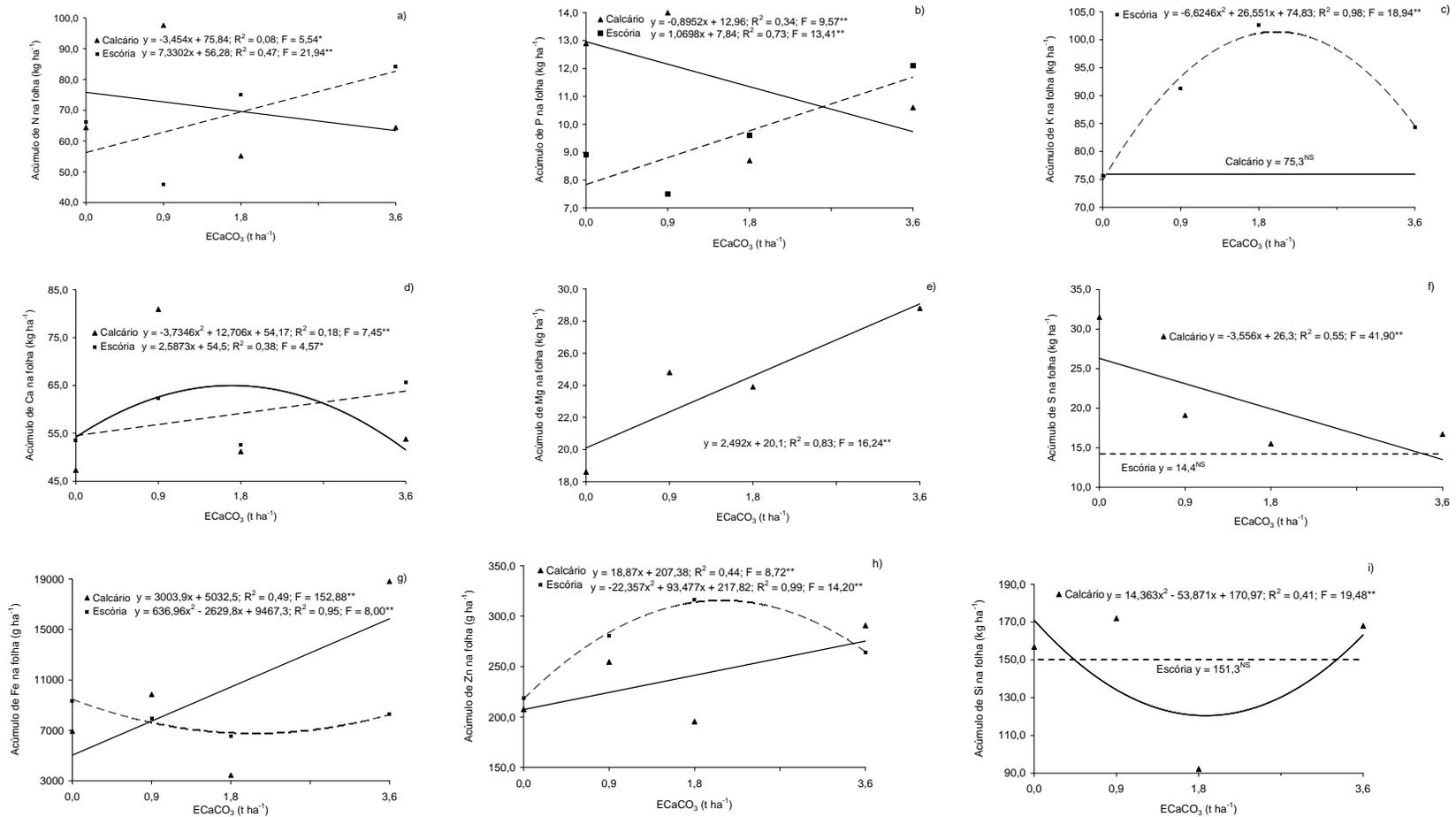


Figura 25. Acúmulo de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), Fe (g), Zn (h) e Si (i) na folha da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio.

Tabela 19. Acúmulo de macro, micronutrientes e silício, no colmo da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Si
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					kg ha ⁻¹
FONTES (F)												
Calcário	75,0	17,8	127,9	27,0	33,0	26,8	5555,4	1872,9	626,1	37,7	356,7	23,3
Escória	82,0	20,1	181,0	27,8	41,7	29,1	6699,4	2327,5	842,2	37,5	409,1	51,6
Teste F	3,52 ^{NS}	5,43*	58,07**	0,30 ^{NS}	24,19**	1,68 ^{NS}	8,35**	11,45**	31,68**	0,01 ^{NS}	4,82*	32,64**
DOSES (D) (t ha ⁻¹)												
0	69,9	16,4	131,4	17,4	26,1	25,0	4279,6	1647,9	511,2	28,9	291,0	10,1
0,9	73,5	19,1	174,5	27,8	33,4	24,3	6423,6	2151,2	514,7	35,0	324,0	23,5
1,8	85,4	18,5	163,9	30,3	46,8	31,3	6572,2	2184,2	884,5	46,5	455,7	39,7
3,6	85,2	21,8	148,1	34,1	42,9	31,1	7233,9	2417,5	1026,1	40,0	460,9	76,6
Teste F	4,56**	5,07**	7,31**	21,44**	28,00**	4,42**	10,47**	5,82**	46,53**	7,30**	13,61**	33,67**
Teste F												
F x D	0,36 ^{NS}	7,93**	14,77**	1,49 ^{NS}	5,70**	1,70 ^{NS}	5,02**	4,48**	16,14**	1,57 ^{NS}	6,39**	2,00 ^{NS}
C.V. (%)	13,5	14,8	12,8	15,9	13,4	18,4	18,3	18,1	14,8	20,8	17,6	37,4

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

Observou um aumento com ajuste linear no acúmulo de N (Figura 26a), Ca (Figura 26d), S (Figura 26f) e Si (Figura 26i) no colmo da cana-planta em função da aplicação das doses dos materiais corretivos.

Houve efeito da interação entre as fontes e doses dos materiais corretivos aplicados no acúmulo de P, com ajuste quadrático em função do calcário e ajuste não significativo ($y = 127,9 \text{ kg ha}^{-1}$) para escória (Figura 26b) e um efeito com ajuste quadrático no acúmulo de K em função da aplicação da escória e ajuste não significativo quando aplicado calcário (Figura 26c). Houve ainda, um aumento com ajuste linear no acúmulo de Mg (Figura 26e) e Zn (Figura 26g); e um aumento com ajuste quadrático e linear no acúmulo de Mn, em função da aplicação do calcário e da escória de siderurgia, respectivamente (Figura 26h).

Com relação ao acúmulo no palmito, houve interação entre fontes e doses dos materiais corretivos aplicados para N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe e Si, com ajuste linear crescente quando aplicado calcário e ajuste linear decrescente ou não significativo quando aplicado escória de siderurgia, Figuras 27 a, b, c, d, e, f, g, h e i, respectivamente.

Observou-se efeito da interação entre as fontes e doses dos materiais corretivos no acúmulo de todos os nutrientes analisados e Si na parte aérea da cana-planta (Tabela 21), exceto para o fósforo (Figura 28b) e Cu (Figura 28h), que apresentaram um incremento com ajuste linear em função das doses dos materiais corretivos.

Com base no coeficiente angular da reta (Calcário $12,613x$ e escória $27,644x$), pôde-se notar que a escória foi 54% superior ao calcário ao promover aumento na absorção de Si pela cana-planta (Figura 28i).

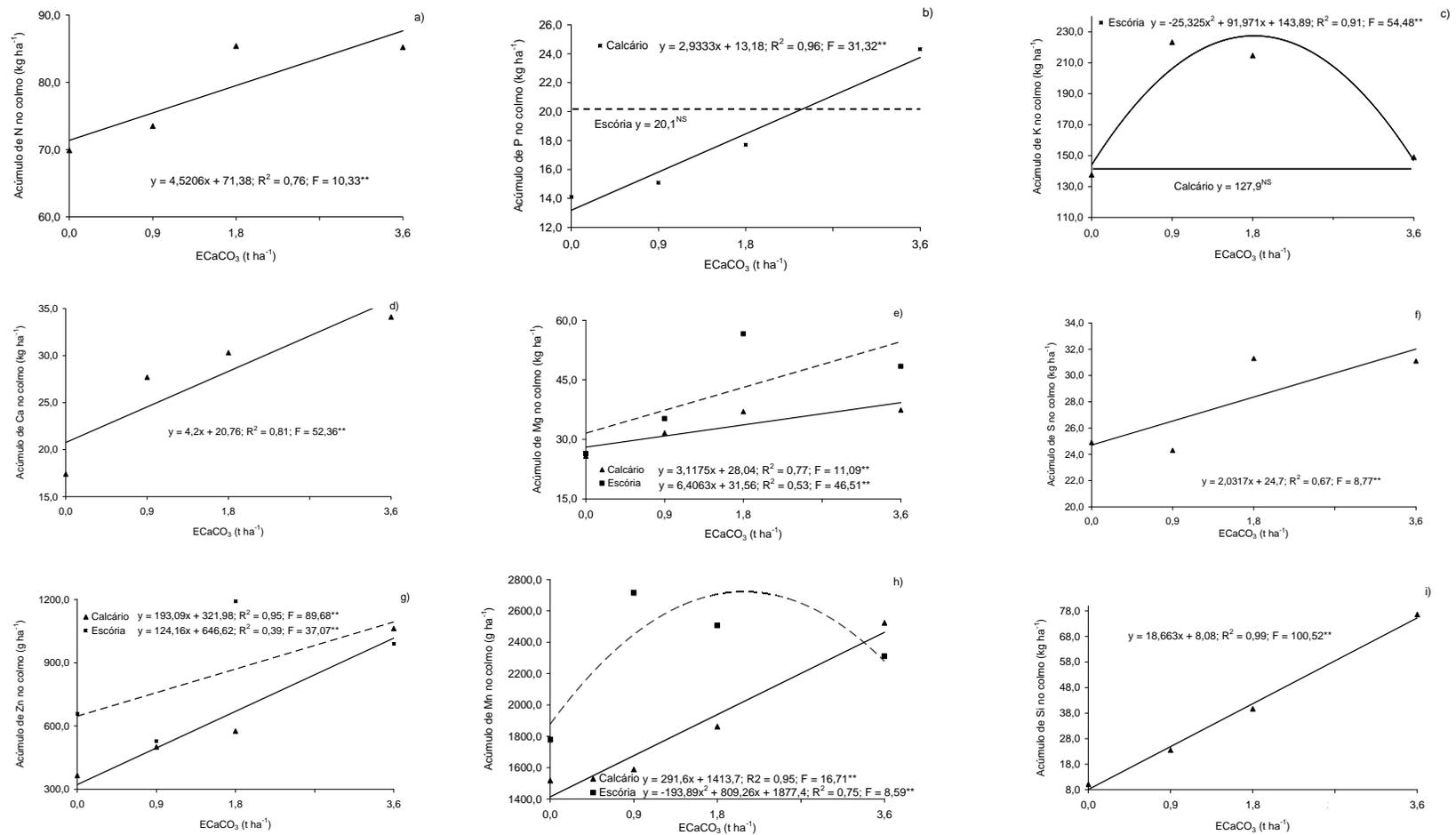


Figura 26. Acúmulo de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), Zn (g), Mn (h) e Si (i) no colmo da cana-planta em função da aplicação do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio.

Tabela 20. Acúmulo de macro, micronutrientes e silício, no palmito da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Si
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹					kg ha ⁻¹
FONTES (F)												
Calcário	12,4	3,0	41,0	5,3	3,5	3,6	492,2	370,9	78,7	5,1	17,4	5,8
Escória	12,9	3,2	56,8	6,6	4,3	4,0	665,6	367,9	94,1	8,0	22,2	9,2
Teste F	1,50 ^{NS}	1,83 ^{NS}	71,72**	44,10**	30,94**	3,39 ^{NS}	43,37**	0,02 ^{NS}	23,61**	54,72**	23,04**	66,53**
DOSES (D) (t ha ⁻¹)												
0	12,9	3,3	51,9	5,1	3,5	4,0	566,5	393,9	79,8	4,7	19,0	6,8
0,9	16,5	4,2	58,9	7,7	4,6	4,8	705,1	533,7	100,9	8,2	23,6	8,8
1,8	11,2	2,4	43,2	5,2	4,0	3,6	537,7	276,5	80,1	5,6	20,1	6,8
3,6	10,0	2,3	41,2	5,9	3,4	2,8	506,4	273,2	84,7	7,6	16,6	7,7
Teste F	38,17**	40,96**	18,88**	34,78**	13,61**	21,65**	11,08**	41,86**	9,72**	17,97**	8,44**	5,60**
Teste F												
F x D	44,87**	21,34**	11,81**	62,61**	15,91**	19,31**	35,82**	10,18**	46,76**	15,62**	32,95**	28,69**
C.V. (%)	10,3	12,7	10,8	9,4	10,8	13,2	12,9	14,6	10,4	16,7	14,3	15,1

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

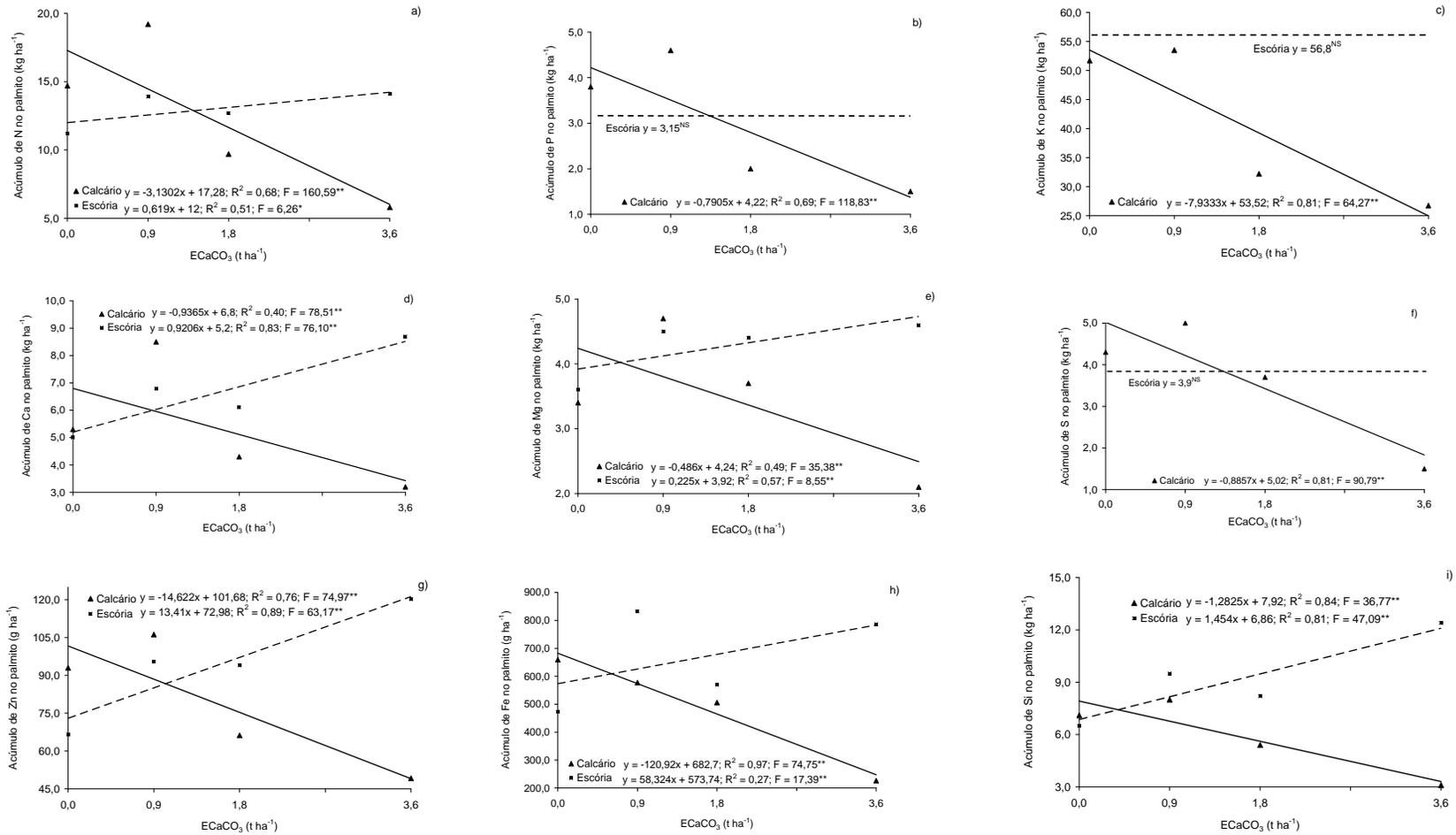


Figura 27. Acúmulo de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), Zn (g), Fe (h) e Si (i) no palmito da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio.

Notou-se diferença entre o calcário e a escória de siderurgia quando se analisou o acúmulo de K, Mg, Zn, B e Si, bem como houve efeito das doses dos materiais corretivos sobre o acúmulo todos os nutrientes analisados e Si, exceto para N e S (Tabela 21).

Observou-se um acúmulo de N na parte aérea variando de 158 para 163 kg ha⁻¹ na parte aérea (colmo + folha + palmito), valores bastante próximos dos obtidos por Malavolta et al. (1997) que observaram uma extração de 150kg ha⁻¹ de N (colmo+folha).

Para fósforo, a extração foi de 32 kg ha⁻¹, apresentando-se acima do acúmulo observado por Malavolta et al. (1997) que foi de 30 kg ha⁻¹. A extração de Ca foi de 90 a 93 kg ha⁻¹, valores próximos ao encontrado pelos mesmos autores, 100 kg ha⁻¹ na parte aérea, assim ocorreu para Mg e S. Para a extração de micronutrientes pela parte aérea, a variação foi um pouco maior quando comparada à observada por Malavolta et al. (1997), onde os autores observaram os seguintes acúmulos: B=300, Zn=720, Mn=5700, Fe=8890 e Cu=270 g ha⁻¹. De forma que, neste trabalho, os valores acumulados na parte aérea da cana-planta apresentaram-se acima para B, Zn e Fe, abaixo para Cu e corroborou o acúmulo de Mn.

Tabela 21. Acúmulo de macro, micronutrientes e silício, na parte aérea da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Si
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				kg ha ⁻¹	
FONTES (F)												
Calcário	157,8	32,4	244,3	90,6	59,9	51,1	15811,4	5221,9	941,8	57,4	573,6	176,4
Escória	162,8	32,8	326,3	93,5	70,6	47,5	15399,1	5459,2	1206,2	59,9	655,5	212,1
Teste F	0,92 ^{NS}	0,13 ^{NS}	123,41**	0,66 ^{NS}	11,27**	2,25 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,87 ^{NS}	40,74**	0,68 ^{NS}	9,38**	15,42**
DOSES (D) (t ha ⁻¹)												
0	148,2	30,7	253,3	73,1	48,2	52,6	12982,5	5238,3	804,3	48,4	573,5	172,8
0,9	161,8	34,1	328,4	107,0	62,8	44,7	16042,5	6052,1	883,4	59,8	545,6	188,9
1,8	161,8	30,1	288,3	87,3	74,8	50,1	12100,2	4400,2	1220,2	63,8	626,5	166,0
3,6	169,4	35,5	271,2	100,8	75,1	49,8	21295,9	5671,7	1388,2	62,7	712,4	249,4
Teste F	2,83 ^{NS}	4,50**	18,85**	17,64**	15,72**	1,92 ^{NS}	40,14**	7,80**	44,50**	5,41**	7,53**	17,44**
Teste F												
F x D	11,61**	0,78 ^{NS}	19,76**	6,56**	3,46*	2,83 ^{NS}	29,15**	0,79 ^{NS}	18,70**	0,90 ^{NS}	4,93**	4,78**
C.V. (%)	9,3	10,7	7,3	11,0	13,9	13,9	11,9	13,5	10,9	14,6	12,3	13,2

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

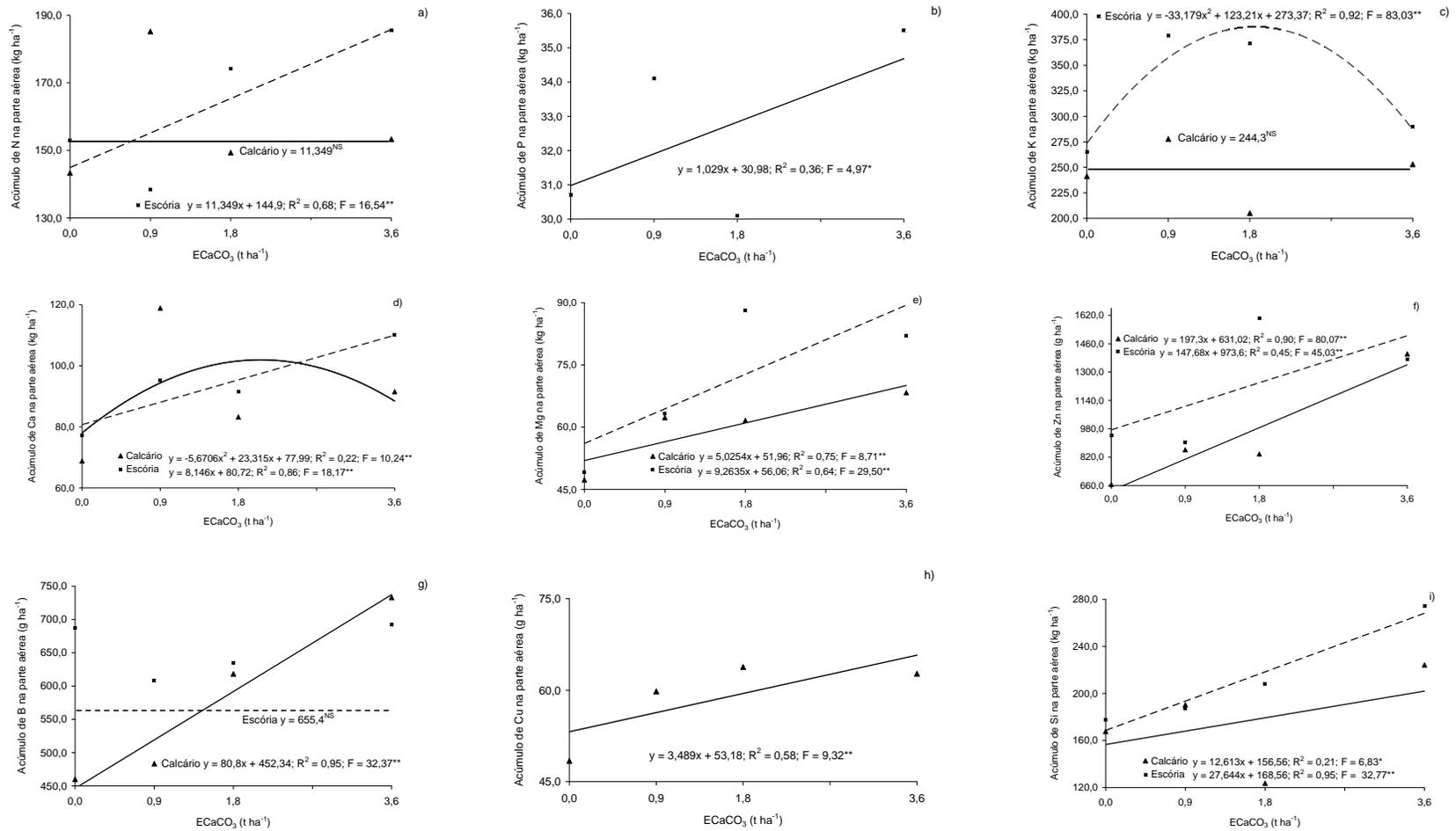


Figura 28. Acúmulo de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), Zn (f), B (g), Cu (h) e Si (i) na parte aérea da cana-planta em função da aplicação de fontes e doses do material corretivo no solo aos 15 meses após o plantio.

Com relação à concentração dos metais pesados na parte aérea da cana-de-açúcar observou-se um efeito significativo para Cr, Pb e Ni e, mais uma vez, não foi possível detectar a presença do Cd (Tabela 22).

Os teores de Cd geralmente variam de 0,1 a 5 mg kg⁻¹ na matéria seca das plantas (KABATA & PENDIAS, 1984; TISDALE et al., 1985), contudo observou-se que as doses de escória não foram suficientes para proporcionar tais incrementos na planta.

Tabela 22. Concentração de Cd, Cr, Pb e Ni na folha, colmo, palmito e na parte aérea da cana-de-açúcar em função da aplicação da escória de siderurgia

Doses t ha ⁻¹ (ECaCO ₃)	Cd	Cr	Pb	Ni
mg kg ⁻¹				
Folha				
0	Nd	2,06	1,07	0,92
0,9	Nd	1,09	1,69	0,26
1,8	Nd	0,43	1,06	0,86
3,6	Nd	1,01	1,56	0,78
Teste F	--	27,92**	60,48**	64,77**
C.V. (%)	--	22,3	6,2	10,6
Colmo				
0	Nd	0,26	0,17	0,67
0,9	Nd	0,36	0,31	0,36
1,8	Nd	0,00	0,00	0,11
3,6	Nd	0,00	0,54	0,05
Teste F	--	66,53**	22,52**	49,55**
C.V. (%)	--	28,8	37,8	26,9
Palmito				
0	Nd	0,45	1,67	0,90
0,9	Nd	0,38	1,69	1,42
1,8	Nd	1,95	2,44	1,55
3,6	Nd	0,37	1,70	0,84
Teste F	--	828,99**	36,08**	75,31**
C.V. (%)	--	6,8	6,7	7,0
Parte aérea				
0	Nd	2,76	2,91	2,49
0,9	Nd	1,83	3,69	2,05
1,8	Nd	2,38	3,51	2,52
3,6	Nd	1,38	3,80	1,67
Teste F	--	17,75**	13,38**	19,89**
C.V. (%)	--	13,9	6,2	8,3

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. (nd = não detectado)

O teor de Cr na parte aérea da cana-planta diminuiu com o aumento das doses do material corretivo (Figura 29a). Isso pode ser explicado devido ao fato de que houve redução da concentração do elemento no solo, devido ao aumento do pH ou formação de carbonatos no solo, como discutido anteriormente.

Houve aumento do teor de Pb na parte aérea em função do aumento do elemento no solo, com as doses de escória de siderurgia (Figura 29b).

O teor de Ni varia de 1 a 300 mg kg⁻¹ na matéria seca das plantas (KABATA & PENDIAS, 1984; TISDALE et al., 1985), sendo assim, os valores encontrados neste trabalho encontram-se bastante pequenos, reduzindo linearmente com a aplicação da escória de siderurgia (Figura 29c). Resultados estes que corroboram os de PIAU (1995), onde três tipos de escória não incrementaram a absorção de Ni pelas plantas de milho.

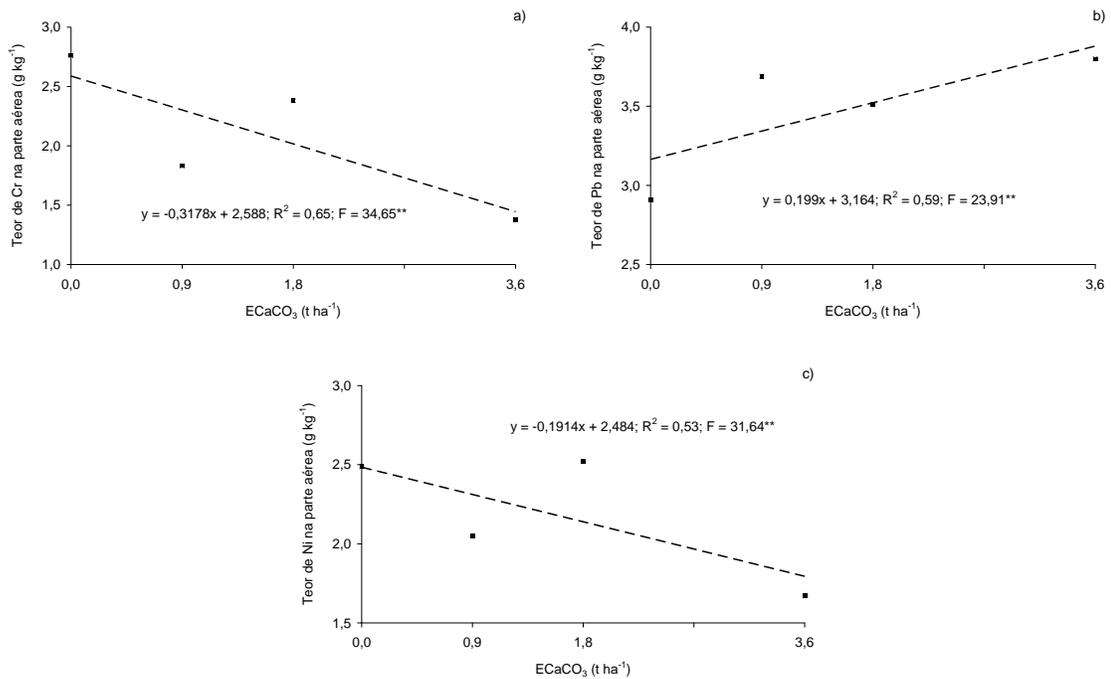


Figura 29. Teor de Cr (a), Pb (b) e Ni (c) na parte aérea da cana-de-açúcar em função da aplicação da escória de siderurgia, aos quinze meses após o plantio.

5.3.3. Efeitos dos tratamentos na produção e na qualidade da cana-planta

Não se observou diferença na produtividade da cana-de-açúcar em função das fontes ($F = 0,67^{NS}$), doses ($F = 2,19^{NS}$) e da interação ($F = 0,31^{NS}$) entre os materiais corretivos aplicados, apresentando uma produção média de colmos de $131,28 \text{ t ha}^{-1}$. Assim, observou-se que os tratamentos não afetaram a produtividade da cana-planta, devido ao fato de que também não houve diferença quanto às variáveis de crescimento da cultura, discutidos.

Em seis experimentos instalados em diversas regiões produtoras do Estado de São Paulo, observou-se resposta da cana-de-açúcar à aplicação de calcário em apenas dois experimentos, com acréscimos de produtividade de cana de 8 e 13 t ha^{-1} , o que confirma a adaptação das cultivares plantadas em solos ácidos e de baixa fertilidade (ROSSETTO et al., 2004).

Entretanto, PRADO & FERNANDES (2001a) observaram efeito dos materiais corretivos sobre a produtividade da cana-de-açúcar, trabalhando com a variedade SP 80-1842.

Contudo, a produtividade da cana-planta obtida neste trabalho encontra-se acima da produtividade média do Estado de São Paulo que é de $87,9 \text{ t ha}^{-1}$ (AGRIANUAL, 2009).

A ausência da resposta da cana-planta submetida à aplicação dos materiais corretivos, provavelmente deve-se à cultivar utilizada, pois é classificada como pouco exigente em termos de fertilidade do solo, segundo ROSSETTO et al. (2008) e ainda pelo fato que o teor foliar de Ca obtidos neste trabalho encontrou-se na faixa classificada como adequada para a cultura da cana-de-açúcar, sugerida por RAIJ & CANTARELLA (1997), que varia de 2 a 8 g kg^{-1} .

Porém, quando se confrontou os teores de N, P, S, Mn, Cu e B, na folha +1, com a faixa classificada como adequada por RAIJ & CANTARELLA (1997): $N=18-25$; $P=1,5-3,0$; $S=1,5-30$; $Mn=25-250$; $Cu=6-15$; $B=10-30 \text{ mg kg}^{-1}$; esses apresentaram-se abaixo da mesma. Já os teores de Ca, K, Mg, Fe e Zn encontraram-se na faixa adequada segundo os mesmos autores, porém os teores de Mg e Fe apresentam-se abaixo da faixa adequada segundo MALAVOLTA et al. (1997), onde variam de $2-3 \text{ g kg}^{-1}$ e de $200-500 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

Nota-se que as faixas indicadas como adequadas variam bastante, principalmente em relação aos micronutrientes, e os valores observados neste trabalho apresentam-se bem próximos das mesmas. Entretanto, apesar de se ter observado diferença com relação aos teores foliares de P, K, Ca, Cu, Mn, Zn, Fe e B em função das doses dos materiais corretivos, essa variação foi muito pequena e foi pouco importante agronomicamente, pois não foi suficiente para influenciar a produtividade da cana-de-açúcar.

Outro fator a ser levado em consideração é a alta tolerância da cultura à acidez do solo quando bem suprida em Ca, por exemplo, segundo ROSSETTO et al. (2004). Neste contexto, podemos destacar que a exigência nutricional por cálcio foi de 3 kg t^{-1} (total de Ca acumulado na parte aérea/ massa seca do colmo) no presente trabalho, diferindo da exigência observada por MALAVOLTA et al. (1997), que foi de 1 kg t^{-1} .

Contudo, ressalta-se que a avaliação dos materiais corretivos ocorreu na fase da cana-planta (1º corte), e como se trata de uma cultura semiperene (média de 6 cortes), espera-se que os efeitos dos tratamentos na planta sejam mais lentos e pronunciados a medida que avança o ciclo da cultura. Houve diferença no teor de AR da cana-de-açúcar em função das fontes dos materiais corretivos aplicados, efeito não observado para as demais variáveis tecnológicas analisadas (Tabela 23).

Com relação ao efeito das doses dos materiais corretivos pôde-se perceber um efeito sobre todas as variáveis analisadas, exceto para P_{Bu} e teor de fibra (Tabela 23), não havendo interação entre as fontes e doses em função da aplicação das fontes e doses dos materiais corretivos.

Tabela 23. Análise tecnológica da cana-planta, cultivar RB855156, açúcares redutores (AR), °Brix, teor de sacarose (Pol % cana), peso do bolo úmido (PBU), pureza do caldo, quantidade de açúcar contida nos colmos (PC) e % de fibra em função da aplicação do material corretivo no solo, aos 15 meses após a brotação

Tratamentos	AR	BRIX	POL	PBU	Pureza	PC	Fibra
Fontes (F)	%						
Calcário	1,6	17,1	14,0	140,0	81,7	11,8	12,1
Escória	1,3	17,2	14,1	140,8	82,2	11,9	12,1
Teste F	5,12*	0,33 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,80 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,09 ^{NS}
Doses (D)							
0 (t ha ⁻¹)	1,3	17,4	14,3	144,6	82,4	12,1	12,4
0,9 (t ha ⁻¹)	1,2	17,3	14,4	138,4	83,0	12,2	11,9
1,8 (t ha ⁻¹)	1,0	17,2	14,1	141,8	81,9	11,9	12,2
3,6 (t ha ⁻¹)	3,7	16,6	13,4	136,9	80,5	11,3	11,8
Teste F	6,01**	4,41**	4,28*	1,64 ^{NS}	3,62*	4,47**	1,62 ^{NS}
(F) x (D)	Teste F						
	0,69 ^{NS}	2,24 ^{NS}	2,21 ^{NS}	2,62 ^{NS}	1,92 ^{NS}	1,86 ^{NS}	2,63 ^{NS}
C.V. (%)	13,2	2,9	4,6	5,5	2,0	4,1	5,1

*, ** e ^{NS} - Significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

Em relação ao acúmulo de massa seca pela cana-planta, pode-se observar diferença entre os materiais corretivos para massa seca acumulada no colmo, palmito e na parte aérea (Tabela 24).

Tabela 24. Massa de matéria seca (MS) da cana-planta, em função da aplicação do material corretivo no solo no momento da colheita

Tratamentos	MS folha	MS colmo	MS palmito	MS parte aérea
Fontes (F)	t ha ⁻¹			
Calcário Dolomítico	14,7	33,5	1,5	49,7
Escória de Siderurgia	14,3	37,5	1,7	53,6
Teste F	0,56 ^{NS}	6,26*	16,10**	4,25*
Doses (D)				
0 (t ha ⁻¹)	14,6	29,0	1,6	45,2
0,9 (t ha ⁻¹)	16,6	35,0	2,1	53,7
1,8 (t ha ⁻¹)	11,9	37,9	1,4	51,2
3,6 (t ha ⁻¹)	14,9	40,0	1,5	56,6
Teste F	15,76**	8,62**	36,49**	6,42**
(F) x (D)	Teste F			
	8,60**	0,34 ^{NS}	58,58**	1,28 ^{NS}
C.V. (%)	9,5	13,0	8,8	10,4

*, **, ^{NS} - Significativo a 5 e a 1%, e não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F.

Observou-se efeito das doses sobre o acúmulo de massa seca nas folhas, colmo e palmito, e ainda houve efeito da interação entre as fontes e doses de material corretivo aplicados para o acúmulo de massa seca nas folhas, no colmo, bem como na parte aérea (Tabela 24).

Houve efeito da aplicação das fontes e doses do material corretivo no acúmulo de massa seca nas folhas da cana-planta, com ajuste quadrático para o calcário e um efeito menos pronunciado para escória (Figura 30a). Observou-se um aumento, com ajuste linear, no acúmulo de massa seca no colmo e na parte aérea da cana-planta em função das doses dos materiais corretivos aplicados (Figuras 30 b,d). Observou efeito da interação entre fontes e doses dos materiais corretivos no acúmulo de massa seca no palmito, apresentando um aumento e uma diminuição, ambos com ajuste linear, para a escória e o calcário, respectivamente (Figura 30c).

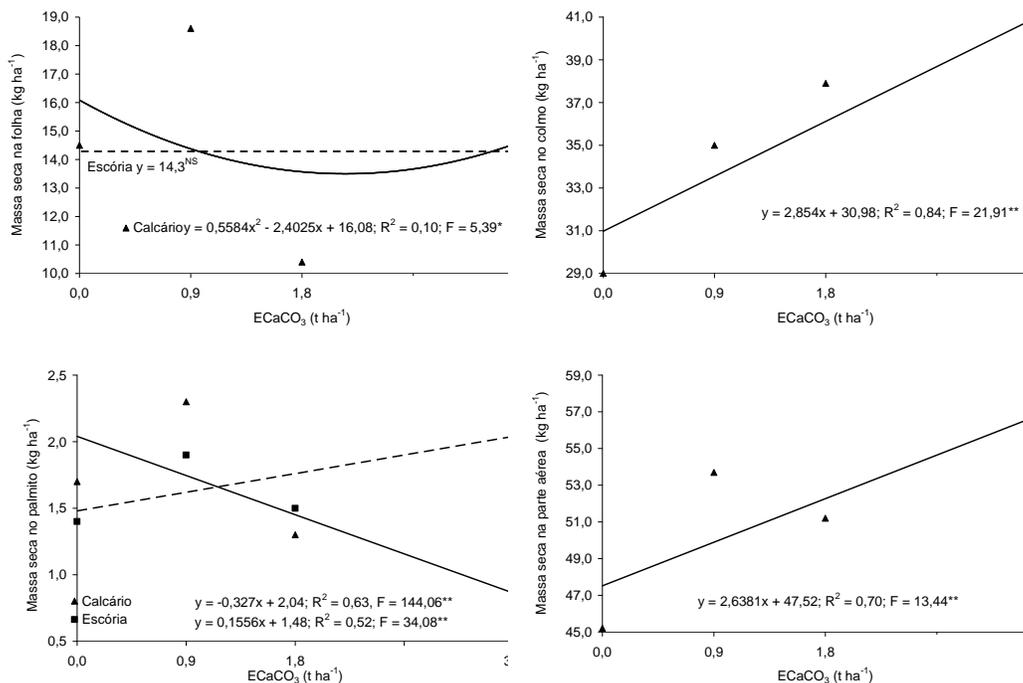


Figura 30. Massa seca da folha (a), do colmo (b), do palmito (c) e da parte aérea (d) da cana-planta em função da aplicação dos materiais corretivos no solo.

6. CONCLUSÕES

1. A escória de siderurgia mostra-se semelhante ao calcário na elevação do pH do solo, na neutralização da acidez potencial e na elevação da saturação por bases do Latossolo Vermelho distrófico;
2. A aplicação do material corretivo não afeta o crescimento e a produção da cana-planta;
3. As fontes e doses dos materiais corretivos influenciam a nutrição da cultura, afetando os teores foliares, especialmente Ca, Mn e Zn, independente do tipo de folha coletada (+1 e/ou +3);
4. A aplicação da escória de siderurgia não foi suficiente para provocar incrementos a níveis tóxicos nas concentrações de metais pesados no sistema solo-planta.

7. AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de mestrado e à FAPESP pelo auxílio financeiro concedido (Processo 2007/54942-6).

8. REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A. de; ABREU, M.F. de; SOARES, L.H.; ANDRADE, J.C. The effects of the DTPA extraction conditions on the determination of micronutrients in Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.28, p.1-11, 1997.
- AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P.T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v.1, p.89-95, 1998.
- AGRIANUAL 2009: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2008.
- AYRES, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Science**, v.101, p.216-227, 1966.
- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim Técnico, 6).

ANDERSON, D.L.; JONES, D.B.; SNYDER, G.H. Response of a rice and sugar cane relation to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, v.79, p.531-535, 1987.

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, v.83, p.870-874, 1991.

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H. El sílice en el suelo y la planta (Parte III). **The Sugar Journal**, v.58, p.12-13, 1995.

ANDO, J.; OWA, N.; ASANO, M. Studies on structure, solubility, and agronomic response of industrial slag. Effects of alumina on solubility and agronomic response of slags. **Japan Journal Soil Science Plant Nutrition**, v.59, p.27-32, 1988.

ANJOS, A.R.M. **Lixiviação de espécies químicas em latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho**. 1999. 191 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ARANTES, V.A. **Aplicação de sílcio para arroz de sequeiro cultivado em material de quatro solos fase cerrado**. 1997. 42f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1997.

BARBER, D.A.; SHONE, M.G.T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, v.17, p.569-578, 1966.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p.

BERTONCINI, E.I. **Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto**. 1997. 90f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba.

BRADY, N. C. **Natureza e Propriedades dos Solos**, 7.ed. New York: John Wiley, 1989. 898 p.

BEAUCLAIR, E.G.F. **Relações entre algumas propriedades químicas do solo e a produtividade da cana-de-açúcar através de regressão linear**

múltipla. 1994. 90 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

CATANI, V.L., SOUZA, L.F. Aplicações e mercado de rejeitos siderúrgicos da Companhia siderúrgica nacional. In: SEMINÁRIO DE RECUPERAÇÃO DE REJEITOS DA ÍNDÚSTRIA METALÚRGICA, 1989, Volta Redonda. **Anais...** Volta Redonda: CORENE; ABM, 1989, p.131-149.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M. SILVA, R.H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1323-1328, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 375**: Uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados: critérios para projeto e operação. Brasília, 2006. 31p.

COPERSUCAR. **Manual de análise de cana-de-açúcar**. Laboratório de análises. São Paulo, Copersucar, 1989, 49p.

CORREA, J.C.; BULL, L.T.; PAGANINI, W.S.; GUERRINI, I.A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.411-419, 2008.

COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1503-1514, 2007.

CRANE, F.H. A comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on acid soil. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.22; p.968-973, 1930.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 403p.

DAVIES, L.E.; Heavy metal pollution of British agricultural soils with special reference to the role of lead and copper mining. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOIL ENVIRONMENT AND FERTILIZER, 1977. **Proceedings**.

- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, v.34, p.733-737, 1994.
- DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306p.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999.
- ELLIOTTI, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave: induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, p.1118-1119, 1991.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.
- FARONI, C.E. **Eficiência agronômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190f. Tese (Doutor em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: **Resumos... REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA**, 45^a, 2000, São Carlos. p.255-258.
- FONSECA, I.M.; PRADO, R.M.; VIDAL, A.A.; NOGUEIRA, T.A.R. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, v.68, p.221-232, 2009.
- FORTES, J.L.O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993. 66p.
- GATTO, R.H. **Lodo de esgoto e vinhaça como fonte de cálcio, magnésio e potássio para a cultura da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em

Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003, 107p.

GOMES, J.F.F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2003. 75f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GOMES, M.A.F.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.M. Influência de ferro e alumínio amorfos do solo na reatividade de quatro corretivos de acidez. **Ceres**, v.43, p.444-453, 1996.

GOMEZ-ALVAREZ, F. Correlacion entre algunos niveles de nutrientes El La loja de La cana de azucar. **Revista de La Facultad de Agronomia**, v.7, p.5-12, 1974.

IBS - INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Ano de recordes na siderurgia brasileira**. Disponível em: <<http://www.ibs.org.br/mercado.asp>>. Acesso em: 19 maio 2009.

IDO, O.T.; **Desenvolvimento radicial e caulinar, de três variedades de cana-de-açúcar, em Rizotron, em dois substratos**. 2003. 141f. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, v.34, p.197-224, 1981.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILL, H.A. **Plant analysis handbook, a practical samplig, preparation, analysis, and interpretation guide**. Anthens: Micro-Macro, 1991. p.144.

JONES, L.H.P. & HANDRECK, K.A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149, 1967.

KABATA, A.L.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. Boca Raton, CRC Press, 1984. 315p.

KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.21, p.6-9, 2002.

KORNDÖRFER, G.H.; RAMOS, L.A. Diagnose foliar em cana-de-açúcar. In: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R.; SOUZA, H.A. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: CAPES/FUNDUNESP/FCAV, 2008. p.211-220.

KORNDÖRFER G.H; DATNOFF L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana de açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, v.70, p.1-3, 1995.

LAKE, D.L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. Heavy metals in wastewater and sludge treatment process. **Boca Raton: CRC Press**, v.2, p.91-130, 1987.

LEITE, P.C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997, 87p.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G. de; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, n. 87, 1999. 12p. (Encarte técnico)

LINDSAY, W.L.; NORWELL, W.A. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.421-428, 1978.

LINDSAY, W.L. **Chemical Equilibria in Soils**. New York, Chichester, Brisbane, Toronto. John Wiley & Sons. Inc. 1979. 449p.

LOPES, M.S. **Relações entre o pH e a adsorção de fósforo e silício em solos**. 45 p. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 1977.

LOPES, A.S., SILVA, M.C., GUILHERME, R.L.G. Acidez do solo e calagem. São Paulo, ANDA 1990. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

MALAVOLTA, E. Importância da adubação na qualidade dos produtos – função dos nutrientes na planta. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Editora Ícone, 1994. p.19-44.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Ceres, 1992.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; ALVES, W.L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.371-378, 2004.
- MARINHO, M.L.; ALBUQUERQUE, G.A.C. Calagem. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar e no Brasil**. Piracicaba: Planalsucar, 1983. p.179-208.
- MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; BELLINGIERI, P.A.; MARRETO, G.H.; KANESIRO, M.A.B.; MARQUES, T.A.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Heavy metals in soil and sugarcane as affected by sewage sludge. In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 1998, 16p.
- MARTINÉZ, C.E.; McBRIDE, M.B. Solubility of Cd²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, and Zn²⁺ in aged coprecipitates with amorphous iron hydroxides. **Environmental Science and Technology**, v.32, p.743-748, 1998.
- MARTINS, C.E. **Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo**. EMBRAPA Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. 2005.
- MATTIAZZO, M.E.; BERTON, R.S.; CRUZ, M.C.P. Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos. In: FERREIRA, M.E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq: Fapesp: Potafos, 2001. 599p.
- MELO, S.P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- MEHLICH, A. Mehlich n^o 3 soil test extractant: a modification of Mehlich n^o 2. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.15, p.1409-1416, 1984.
- MENDES, L.C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bem: International Postash Institute, 1987. 687p.

MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana-de-açúcar na região de Araraquara – SP. **Revista STAB**, v.17, p.45-47, 1999.

NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18; p.55-62, 1994.

OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S., COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21; p.65-70, 1997.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHLER, H.S.; SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v.5, p.87-94, 2004.

PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.F. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: ASA; SSSA, 1982. 1159p.

PIAU, M.C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivos e fertilizantes**. 1991. 99f. Dissertação (Mestrado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

PIAU, W.C. **Efeitos das escórias de siderurgia em atributos químicos de solo e na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1995. 124p. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

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, p.739-744, 2000.

PRADO, R.M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória silicatada como corretivo de acidez do solo.** 2000. 97f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo: estudos na cultura da cana-de-açúcar.** Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Medicina Veterinária, Agronomia e Zootecnia, 2001. 67p.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Latossolo Vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.19, p.26-29, 2001a.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.201-209, 2001b.

PRADO, R.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, p.1199-1204, 2001c.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.539-546, 2002a.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.59, p.129-135, 2002b.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.287-296, 2003.

PRADO, R.M.; CORREA, M.C.M.; CINTRA, A.C.O. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.160-163, 2003.

- PRADO, R.M.; NATALE, W.; FERNANDES, F.M.; CORRÊA, M.C.M. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.197-205, 2004.
- QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A., BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico do cerrado. II. Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.113-118, 1982.
- RAID, R.N.; ANDERSON, D.L.; ULLA, M.F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. **Crop Protection**, v.11, p. 84-88, 1992.
- RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997, p.233-243. (Boletim, 100).
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, p.223-31, 1973.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A.. (Org.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, v.1, p.221-237, 2008.
- ROSS, L.; NABABSING, P; WONG YOU CHEONG, Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. In: INTERNATIONAL CONG. THE SOC. SUGAR CANE TECHNOL. 15, Durban, **Proceedings...**, v.15, p.539-542, 1974.
- ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de potássio. **Bragantia**, v.63, p.105-119, 2004.

SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon nutrition and sugarcane production: A review **Journal of Plant Nutrition**, v.12, p.1853-1903, 1999.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2010.

SCHMEL, W.R.; HUMBERT, R.P. Nutrient deficiencies in sugar cane crops. In: SPRAGUE, B.H. (Ed.). **Hunger signs in crops: a symposium**. 3.d. New York: David McKay, 1964. p.145-150.

SISVAR: **Programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos**. Versão 5.0, 2003.

SOUZA, C.M. **Uso Agrícola da Escória**. UFV & PARCERIAS, v.4, p.18-20, 2002.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.van.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H. MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: 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. rev. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.237-239.(Boletim técnico, 100).

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. 79f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. **Análise foliar: amostragem e interpretação**. Campinas, Fundação Cargill, 1983.18p.

TISDALE, S.L.; NELSON; W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York, Macmillan Publisching, 1985. 754p.

ÚNICA – 2008. **União da Agroindústria Canavieira de São Paulo**. Cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.unica.com.br/pages/cana> Acesso em 21/12/2008.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Test method for evaluating solid waste**. Report number SW-846. Washington. DC. 1986. 152p.

VALADARES, J.M.A.S.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. Estudos de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo. Determinação de Mo, Co, Cu, Zn e Fe. **Bragantia**, v.33, p.147-152, 1974.

VALE, D.W. do. **Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar**. 2009. 120f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agriculture and Science**, v.15, p.1-58, 1975.

YOSHIDA, S.; NAVESAR, S.A.; RAMIREZ, E.A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of rice plant. **Plant and Soil**, v.31, p.48-56, 1969.

ZAMBELLOJUNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, v.5, p.5-26, 1981.

9. APÊNDICE

TABELA A. Dados meteorológicos mensais da Fazenda de Ensino e Pesquisa da FCAV-UNESP no período da condução do experimento

2007								
Mês	Pressão	Tmax	Tmin	Tmed	UR	Precipitação	ND	Insolação
	hPa	°C			%	mm		h
novembro	941,1	30,3	18,5	23,7	72,0	137,5	16	196,4
dezembro	940,9	31,5	20,0	24,8	71,7	204,4	13	233,2
Ano	944,0	30,0	17,4	22,8	69,7	1585,7	107	2875,7
2008								
janeiro	941,2	29,2	20,1	23,5	83,7	325,0	22	152,5
fevereiro	941,9	30,3	19,8	23,9	81,9	302,7	20	187,4
março	942,2	29,6	18,8	23,2	79,1	108,4	14	223,3
abril	942,2	28,8	18,1	22,3	82,3	131,4	13	184,6
maio	945,7	26,1	14,2	19,1	74,7	73,1	4	224,9
junho	946,9	27,0	14,0	19,4	74,3	11,3	4	234,2
julho	948,2	28,2	12,3	19,1	57,7	0,0	0	282,5
agosto	945,2	30,1	15,4	21,8	58,4	24,2	05	271,8
setembro	945,0	30,2	14,9	21,8	59,6	15,1	8	250,1
outubro	943,9	31,6	19,2	24,6	68,3	60,5	11	192,3
novembro	941,4	32,1	18,8	24,3	71,4	81,8	14	266,6
dezembro	940,4	31,0	19,1	23,9	77,0	278,9	14	231,3
Ano	943,7	29,5	17,1	22,2	72,4	1412,4	129	2701,5
2009								
janeiro	942,0	29,7	19,8	23,8	80,4	238,0	18	180,2
fevereiro	941,9	31,2	20,6	24,7	80,9	190,6	16	204,3
março	941,7	31,0	20,2	24,4	80,4	217,9	16	191,3
abril	944,2	29,5	17,2	22,2	74,9	70,8	05	248,7

Pressão: pressão atmosférica; Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; ND: número de dias com chuva. Fonte: Departamento de Ciências Exatas, Estação Agroclimatológica – UNESP-FCAV

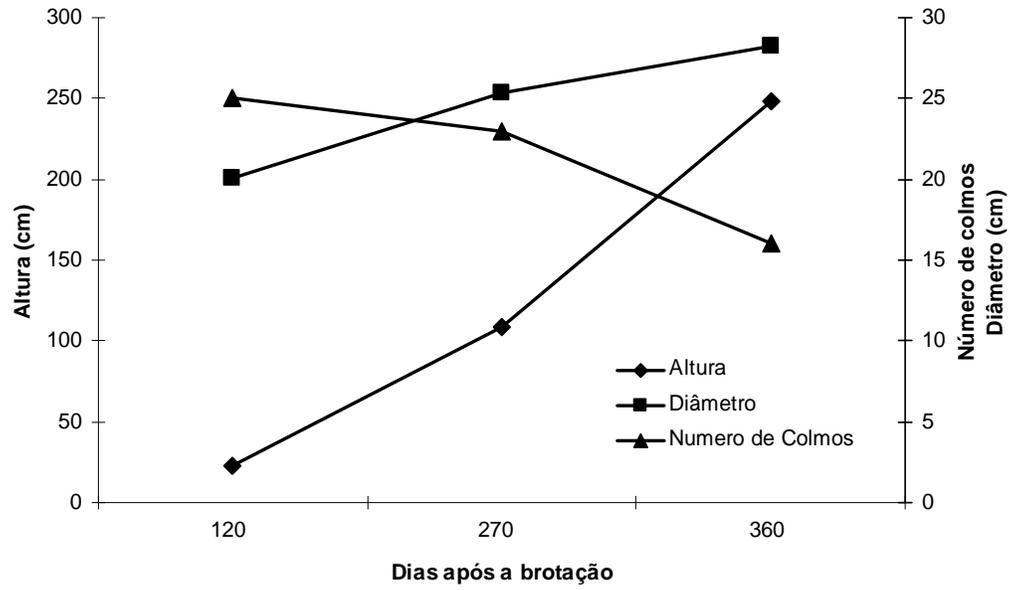


Figura A. Variáveis de crescimento da cana-planta ao longo do cultivo.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)