



**UFG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ADIÇÃO DE PÓ DE ACIARIA COMO FONTE DE  
MICRONUTRIENTES E DIFERENTES NÍVEIS DE  
CALAGEM EM SOLOS DE CERRADOS  
CULTIVADOS**

**ANÍBAL SEBASTIÃO ALVES FILHO**

Orientador:  
**Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro**

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**       Dissertação       Tese

### 2. Identificação da Tese ou Dissertação

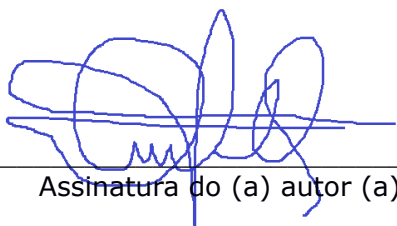
Nome completo do autor: **ANÍBAL SEBASTIÃO ALVES FILHO**

Título do trabalho: **ADIÇÃO DE PÓ DE ACIARIA COMO FONTE DE MICRONUTRIENTES E DIFERENTES NÍVEIS DE CALAGEM EM SOLOS DE CERRADOS CULTIVADOS**

### 3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento  SIM       NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do (a) autor (a)

Data: 23 / 06 / 2017

---

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

**ANÍBAL SEBASTIÃO ALVES FILHO**

**ADIÇÃO DE PÓ DE ACIARIA COMO FONTE DE  
MICRONUTRIENTES E DIFERENTES NÍVEIS DE CALAGEM EM  
SOLOS DE CERRADOS CULTIVADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:

**Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro**

Co-Orientador:

**Prof. Dr. Milton Sergio Dornelles**

Goiânia, GO – Brasil  
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

**A474a**      **Alves Filho, Aníbal Sebastião.**  
Adição de pó de aciaria como fonte de micronutrientes e diferentes níveis de calagem em solos de cerrados cultivados [manuscrito] / Aníbal Sebastião Alves Filho. - 2010.  
94 f., figs., tabs.

**Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro.**  
**Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,**  
**Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2010.**  
**Bibliografia.**

**1. Resíduo industrial – Micronutrientes – Cerrado. 2.**  
**Diferentes culturas – Pó-de-Aciaria. I. Título.**

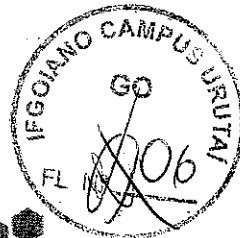
**CDU: 631.81.095.337**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO


UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS


PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

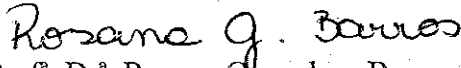


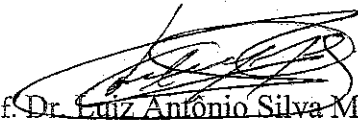
**ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE ANIBAL SEBASTIÃO ALVES FILHO** - Aos vinte e seis dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e dez (26/02/2010), às 14h00min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro – Orientador, Prof. Dr. Jácomo Divino Borges, Prof. Dr. Paulo Alcanfor Ximenes, Prof.ª Dr.ª Rosana Gonçalves Barros e Prof. Dr. Luiz Antônio Silva Menezes, para, sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na sala n.º. 18 do Pavilhão Central da EA/UFG, procederem à avaliação da defesa de tese intitulada: “**Adição de pó de aciaria como fonte de micronutrientes e diferentes níveis de calagem em solos de cerrados cultivados**”, em nível de **Doutorado**, área de concentração em **Produção Vegetal**, de autoria de **Anibal Sebastião Alves Filho**, discente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir foi concedida ao autor da tese que, em 40 minutos apresentou o seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinando, tendo-se adotado o sistema de diálogo seqüencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista o que consta na Resolução n.º. 658/2004 do CEPEC - Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura, que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronomia e procedidas às correções recomendadas, a tese foi **APROVADA** por unanimidade, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR EM AGRONOMIA**, na área de concentração em **PRODUÇÃO VEGETAL** pela Universidade Federal de Goiás. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGA da versão definitiva da tese, com as devidas correções. A Banca Examinadora recomenda a publicação de artigo científico, oriundo dessa tese em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de procedidas às modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades de pauta, às 19h15min a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de tese e, para constar eu, Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

  
Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro  
- Presidente - EA/UFG -

  
Prof. Dr. Jácomo Divino Borges  
- EA/UFG -

  
Prof. Dr. Paulo Alcanfor Ximenes  
- EA/UFG -

  
Prof.ª Dr.ª Rosana Gonçalves Barros  
- IF/Goiás -

  
Prof. Dr. Luiz Antônio Silva Menezes  
- IF/Goiano -

A Jesus Cristo,  
A Vera Lucia, Annelisa, Erica e Adriel,  
Ao meu querido pai,  
À memória de minha amada mãe,  
Aos meus irmãos de sangue e fé,  
Aos meus amigos.

A vocês, com gratidão,

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela graça e misericórdia incondicionais, as quais me permitiram ampliar meus horizontes profissionais e pessoais, superar meus limites e transpor barreiras;

Agradeço à minha família, em especial à minha esposa Vera Lúcia, pelo apoio irrestrito e pela paciência em suportar minhas ausências e minhas possíveis faltas em decorrência da inquietação que o processo me impôs;

Agradeço aos servidores do Instituto Federal Goiano - *Campus* Urutaí, na pessoa do seu Magnífico Reitor, meu amigo Prof. José Donizete Borges, que me acompanhou e apoiou minha jornada desde os tempos do Curso Técnico em Agropecuária;

Agradeço à Universidade Federal de Goiás, pelo apoio na realização dos experimentos de campo, ensaios em casa de vegetação e análises de laboratório e, de forma muito especial, ao meu amigo Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, pela orientação precisa, estímulo constante e auxílio em todas as etapas do trabalho;

Agradeço aos meus colegas servidores da Universidade Federal de Goiás e do Instituto Federal Goiano, *Campus* Urutaí, em especial aos professores Dr. Milton Dornelles, meu co-orientador, Jair Dias Monteiro, Carlos Alberto Gomes dos Santos, Edival Milhomem Borba, ao Tecnólogo Fernando Januário e aos alunos bolsistas, pelo auxílio na condução do experimento em estufa;

Agradeço aos amigos que me incentivaram durante os longos meses de dedicação, especialmente ao Fernando Augusto, Juliana Cristina, Maria Lucilene, Leigh Maria, Ednalva Macedo, Marcio Fernandes Silva, Sebastião Nunes, José Júnio, Anicézio Guimarães, João Pereira e Irislene Queiroz, Luis Almeida e Luciene Gonçalves;

Agradeço ao amigo e colega Eduardo Henrique Mendes dos Santos pelo companheirismo e apoio durante todo o processo;

A todos aqueles que intercederam pela minha vitória e se alegraram com esta grande bênção, meus sinceros agradecimentos.

*“Filho meu, se aceitares as minhas palavras e esconderes contigo os meus mandamentos, para fazeres atento à sabedoria o teu ouvido e para inclinares o coração ao entendimento, e, se clamares por inteligência, e por entendimento alçares a voz, se buscares a sabedoria como a prata e como a tesouros escondidos a procurares, então, entenderás o temor do SENHOR e acharás o conhecimento de Deus. Porque o SENHOR dá a sabedoria; da sua boca é que vem o conhecimento e o entendimento”*

*Provérbios Capítulo 2:1-6*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	8
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	11
<b>RESUMO GERAL</b> .....	12
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	13
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1 A EXPANSÃO AGRÍCOLA DOS CERRADOS .....	16
2.1.1 <b>Histórico da exploração</b> .....	16
2.1.2 <b>Entraves e desafios</b> .....	18
2.2 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO, SOJA E TOMATE INDUSTRIAL NOS CERRADOS .....	20
2.2.1 <b>A soja</b> .....	20
2.2.2 <b>O milho</b> .....	22
2.2.3 <b>O tomate industrial</b> .....	24
2.3 O USO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA.....	26
2.3.1 <b>Resíduos industriais</b> .....	26
2.3.2 <b>O uso agrônômico dos resíduos</b> .....	28
2.3.2.1 Os resíduos sólidos orgânicos .....	30
2.3.2.2 Os resíduos siderúrgicos .....	32
2.3.3 <b>Aspectos legislativos e ambientais</b> .....	35
2.4 REFERÊNCIAS .....	39
<b>3 USO DO PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA EM SOJA E MILHO CULTIVADOS EM ROTAÇÃO, EM DIFERENTES NÍVEIS DE CALAGEM</b> .....	47
RESUMO .....	47
ABSTRACT .....	47
3.1 INTRODUÇÃO .....	47
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	50
3.2.1 <b>Instalação do experimento</b> .....	50
3.2.2 <b>Tratamentos</b> .....	51
3.2.3 <b>Características avaliadas</b> .....	52
3.2.4 <b>Delineamento experimental</b> .....	53
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
3.3.1 <b>Produtividade</b> .....	53
3.3.2 <b>Teores foliares de micronutrientes</b> .....	58
3.3.3 <b>Teores foliares de metais tóxicos</b> .....	62
3.3.4 <b>Teores de micronutrientes e metais tóxicos no solo</b> .....	64
3.4 CONCLUSÕES .....	71
3.5 REFERÊNCIAS.....	71

<b>4</b>	<b>USO DE PÓ DE ACIARIA COMO FONTE DE MICRONUTRIENTES EM TOMATE INDUSTRIAL E SOJA CULTIVADOS EM SUCESSÃO EM DIFERENTES NÍVEIS DE CALAGEM, EM URUTAÍ-GO .....</b>	<b>75</b>
	RESUMO .....	75
	ABSTRACT .....	75
4.1	INTRODUÇÃO .....	76
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	79
<b>4.2.1</b>	<b>Localização do ensaio .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Tratamentos .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Características avaliadas .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Delineamento experimental .....</b>	<b>82</b>
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	83
4.4	CONCLUSÕES .....	88
4.5	REFERÊNCIAS .....	89
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>91</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b>	Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm antes da instalação do experimento (junho de 2002). Goiânia, GO.....	50
<b>Tabela 3.2.</b>	Caracterização dos teores de nutrientes e de metais pesados nas doses do PAE empregados nos ensaios com milho e soja. Goiânia, GO.....	52
<b>Tabela 3.3.</b>	Produção de grãos de milho e soja em rotação submetidas a diferentes doses de calcário e do pó de Aciaria Elétrica (PAE) com análise de variância. Goiânia-GO .....	54
<b>Tabela 3.4.</b>	Teores de Ca, Mg, Micronutrientes e metais tóxicos nas folhas de milho e soja em rotação submetidas a diferentes doses de com análise de variância.Goiânia-GO .....	59
<b>Tabela 3.5.</b>	Teores de vários metais encontrados no tecido vegetal.....	64
<b>Tabela 3.6.</b>	Variáveis na análise de solo, na profundidade de 0-20 cm, no ensaio com milho em rotação com soja submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE com análise de variância. Goiânia, GO .....	66
<b>Tabela 3.7.</b>	Variáveis na análise de solo, na profundidade de 0-20 cm, no ensaio com milho em rotação com soja submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE com análise de variância. Goiânia, GO .....	69
<b>Tabela 4.1.</b>	Atributos químicos do solo de substrato antes da montagem do experimento (Julho de 2008). Urutaí, GO .....	79
<b>Tabela 4.2.</b>	Caracterização dos teores de nutrientes e de metais pesados nas doses do PAE empregados nos ensaios com tomate industrial e soja. Urutaí, GO. 2008/2009 .....	82
<b>Tabela 4.3.</b>	Quantidade de frutos e peso médio dos frutos de tomate submetidos a diferentes doses de calcário e do PAE com análise de variância e teste de Tukey a 5%, Urutaí-GO, 2009. ....	83
<b>Tabela 4.4.</b>	Análise de variância, média e coeficiente de variação para variáveis na análise de solo submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE em vasos. Urutai, GO.....	87
<b>Tabela 4.5.</b>	Análise de variância, média e coeficiente de variação para variáveis na análise foliar de soja submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE em vasos. Urutai, GO. ....	88

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b>	Produção relativa de grãos de milho e soja (%) em função das doses de Pó de Aciaria. As doses de aplicação foram: P0 - 0 kg ha <sup>-1</sup> de PAE; P1 - 25 kg ha <sup>-1</sup> de PAE; P2 - 50 kg ha <sup>-1</sup> de PAE e P3 - 100 kg ha <sup>-1</sup> de PAE. Goiânia, GO.....	56
<b>Figura 3.2.</b>	Figura 2.2 .Produção relativa de grãos de milho e soja (%) em função das doses de calcário. As doses de calcário foram: C0 – 0,0 t ha <sup>-1</sup> ; C1 - 0,77 t ha <sup>-1</sup> e C2 - 1,55 t ha <sup>-1</sup> e C3 - 3,10 t ha <sup>-1</sup> . Goiânia, GO.....	57
<b>Figura 3.3.</b>	Teste F e produção relativa de grãos de milho e soja (%) em função das doses de Pó de Aciaria. As doses de aplicação foram: P0 - 0 kg ha <sup>-1</sup> de PAE; P1 - 25 kg ha <sup>-1</sup> de PAE; P2 - 50 kg ha <sup>-1</sup> de PAE e P3 - 100 kg ha <sup>-1</sup> de PAE.Goiânia, GO.....	58
<b>Figura 3.4.</b>	Teor relativo de Zn na cultura do milho em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.....	60
<b>Figura 3.5.</b>	Teor médio foliar de Zn na soja em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.....	60
<b>Figura 3.6.</b>	Teor médio foliar de Cu na soja em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.....	61
<b>Figura 3.7.</b>	Teor médio foliar de Mn na soja em reação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.....	61
<b>Figura 3.8.</b>	Teores foliares em Soja em três cultivos em rotação com milho em relação a diferentes dosagens de calcário. As doses de calcário foram: C0 - 0,0 t ha <sup>-1</sup> ; C1 - 0,77 t ha <sup>-1</sup> e C2 - 1,55 t ha <sup>-1</sup> e C3 - 3,10 t ha <sup>-1</sup> Goiânia, GO.....	62
<b>Figura 3.9.</b>	Teores de Pb, Cr, e Cd em folhas de milho e soja (mg dm <sup>3</sup> ) em função das doses de PAE no terceiro ano de cultivo de milho e soja em rotação. Goiânia-GO.....	63
<b>Figura 3.10.</b>	Teores relativos (%) de Cu no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.....	69
<b>Figura 3.11.</b>	Teores relativos (%) de Zn no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.....	69
<b>Figura 3.12.</b>	Teores relativos (%) de Fe no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.....	70
<b>Figura 3.13.</b>	Teores relativos (%) de Manganês no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.....	71
<b>Figura 4.1.</b>	Instalação de ensaio com a cultura do tomate em casa de vegetação em Urutaí-GO.....	80
<b>Figura 4.2.</b>	Numero de frutos de tomate por vasos em função de diferentes dosagens de Pó de Aciaria (PAE) e níveis de calagem. Urutaí-GO.....	84

<b>Figura 4.3.</b>	Peso de frutos de tomate por vasos (kg) em função de diferentes dosagens de Pó de Aciaria (PAE) e níveis de calagem. Urutaí-GO.....	85
<b>Figura 4.4.</b>	Incidência de “fundo preto” em tomate. Urutaí, 2008.....	86
<b>Figura 4.5.</b>	Produção relativa de tomate e soja em sucessão em vasos em função de diferentes dosagens do PAE. Urutaí-GO.....	86
<b>Figura 4.6.</b>	Teores foliares de Mn em soja, em vasos, em função de diferentes dosagens calcáreo. Urutaí-GO.....	88

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b>	Teores de vários metais encontrados no tecido vegetal.....	92
<b>Anexo B.</b>	Valores limites de metais pesados tóxicos no solo em alguns países.....	92
<b>Anexo C.</b>	Valores máximos de adição de metais pesados tóxicos no solo em alguns países.....	93
<b>Anexo D.</b>	Concentrações totais máximas permitidas de metais potencialmente tóxicos por unidade de Zn (% , em peso), pela legislação dos EUA, em fertilizantes que contêm resíduos perigosos.....	93
<b>Anexo E.</b>	Concentrações máximas permitidas de metais em resíduo inorgânico e os limites no solo.....	93
<b>Anexo F.</b>	Número de aplicações de um pó de aciaria para atingir o teor de alerta de metais pesados no solo.....	94
<b>Anexo G.</b>	Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo.....	94

## RESUMO GERAL

ALVES FILHO, A. S. **Adição de pó de aciaria como fonte de micronutrientes e diferentes níveis de calagem em solos de cerrados cultivados.** 2010. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2010.<sup>1</sup>

A região dos cerrados alcançou destaque no desenvolvimento das culturas do milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.) e tomate industrial (*Lycopersicon esculentum* Mill.), em função da importância econômica e social destas culturas. Os problemas de solos ácidos e deficiência de nutrientes nos cerrados são comuns na maioria dos solos, mas uma vez superados estes entraves, as culturas apresentam desenvolvimento e produções satisfatórias. Cada vez mais torna-se necessário, pelo próprio dinamismo que a agricultura moderna apresenta, que mecanismos alternativos da reposição de nutrientes no solo sejam propostos, em função do alto custo dos fertilizantes e à alta extração destes elementos em cada ciclo das culturas. O uso de resíduos industriais, de várias origens, tem apresentado potencial de uso agrícola, para efeito de correção de acidez, adição de macro e micronutrientes ao solo ou mesmo como condicionadores físicos destes solos, sempre sob cuidadosos critérios de utilização visando a não contaminação ambiental. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do pó de aciaria elétrica (PAE) oriundo da indústria siderúrgica como fonte de micronutriente nas culturas do milho, soja e tomate industrial em diferentes níveis de calagem. Os ensaios foram desenvolvidos em dois locais. Um experimento foi conduzido a campo na Fazenda Experimental da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, no campus Samambaia, no município de Goiânia-GO e outro, em estufa, na Fazenda Palmital, município de Urutaí-GO, no campus do Instituto Federal Goiano. Foram avaliados durante três anos, no município de Goiânia-GO, o uso do pó de aciaria na cultura do milho em rotação com a cultura da soja e, em Urutaí-GO, durante sete meses, a cultura do tomate em sucessão com a cultura da soja. Os resultados em ambos os experimentos indicaram que os teores de metais pesados detectados no solo e nas folhas das plantas analisadas ficaram muito abaixo dos limites considerado tóxicos.

*Palavras-chave:* micronutrientes, tomate, milho, soja, resíduos industriais, pó de aciaria.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro – EA - UFG.

Co-orientador: Prof. Dr. Milton Sergio Dornelles – Instituto Federal Goiano, *campus* Urutaí-GO.

## GENERAL ABSTRACT

ALVES FILHO, A.S. **Addition of flue dust as a source of micronutrients and different levels of liming on soils of cultivated brazilian savannah**, Brazil. 2010. 93 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Crop Science) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 2010.<sup>1</sup>

The savannas reached prominence in the development of corn (*Zea mays* L.), soybean (*Glycine max* L.) and processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Depending on the economic and social importance of these crops. The problems of acid soils and nutrient deficiency in the savannas are common in most soils, but once overcome these obstacles, the cultures exhibit satisfactory development and production. Increasingly it becomes necessary, by the dynamism that modern agriculture provides that alternative mechanisms of replenishment of nutrients to the soil are offered, due to the high cost of fertilizer and high extraction of these elements in each cycle of crops. The use of industrial waste from various sources has shown potential for agricultural use, for purposes of correction of acidosis, addition of macro and micronutrients to the soil or even physical conditioning of the soil, always under careful criteria used to avoiding the environmental contamination. The aim of this study was to evaluate the effect of the electric arc furnace dust coming from the steel industry as a source of micronutrients in crops of corn, soybean and tomato at different levels of liming. The tests were conducted in two locations. A field experiment was conducted at the experimental farm of the School of Agronomy and Food Engineering, Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, in Goiânia-GO, Brazil and other, in a greenhouse at Palmital Farm, municipality of Urutaí-GO, in campus of the Instituto Federal Goiano. During three years, were evaluated in Goiânia-GO, the use of steelmaking dust in corn in rotation with soybean and, in Urutaí-GO, for seven months, the tomato crop in succession with soybeans. The results in both experiments indicated that the levels of heavy metals detected in soil and leaves of the plants analyzed were below the limits considered toxic.

*Key words:* micronutrients, tomato, corn, soybeans, industrial waste, flue dust.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro – EA - UFG.

Co-adviser: Prof. Dr. Milton Sergio Dornelles – Instituto Federal Goiano, *campus* Urutaí-GO.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A região dos cerrados assume importância estratégica para o desenvolvimento de culturas como milho, soja e tomate industrial no Brasil. Sua contribuição para a produção nacional é crescente e determinante para a posição alcançada no cenário internacional. Segundo o IBGE (2009), a projeção da produção brasileira de soja para a safra 2009/2010, com acréscimo de 14,4% em relação à safra anterior, é de 65.000.000 t. Para o milho, de mais de 32.000.000 de t de grãos na primeira safra. Das 3.867.655 t de tomate produzidas no Brasil em 2008 (61.025 ha), o Centro-Oeste contribuiu com 1.176.091 t (13.391 ha) e o estado de Goiás, com 1.148.695 t (12.849 ha). Desta forma, o estado de Goiás, maior produtor nacional de tomate, responde por 30% da produção do país.

É interessante destacar que a evolução, por exemplo, da cultura da soja e do milho na região dos cerrados se deu em uma velocidade surpreendente, sendo estas culturas, em grande parte, responsáveis pela expansão agrícola neste bioma, iniciada com os incentivos governamentais a partir da década de 1970 (Prodoeste, Polocentro, etc.) e ao desenvolvimento de tecnologias capazes de solucionar as adversidades edáficas. O Brasil obteve 133,8 milhões de toneladas de grãos em 2009. O Estado de Goiás é o 4º produtor de grãos no país, com 9,9 % deste total, atrás do Mato Grosso (21,1 %), Paraná (18,2 %) e Rio Grande do Sul (16,7%) (IBGE, 2009). O destaque do Estado no cenário nacional não é só consequência dos volumes de soja e milho que produz, mas também das altas produtividades e a infra-estrutura para armazenamento desses grãos. Isto foi possível devido à agricultura comercial centrada em moldes empresariais, com a utilização de tecnologia moderna.

Dentre os principais problemas para a produção de culturas, na região de cerrado, estão a utilização de dosagens subótimas de adubação, especialmente micronutrientes e a ausência da calagem. Normalmente, na região de cerrados, problemas de solos ácidos e deficiência de Zn são comuns na maioria dos solos. Outro aspecto importante é que, na maioria das vezes, os produtores da região não levam em consideração, por ocasião da realização da adubação, a elevada extração de nutrientes relacionada nestes cultivos. Assim, dosagens inadequadas de adubação de plantio e de cobertura são utilizadas, levando a um menor desempenho nas lavouras destinadas para este fim, além de não proporcionarem a reposição adequada de nutrientes extraídos do solo.

Com a intensificação do reaproveitamento de resíduos, subprodutos ou produtos secundários oriundos de diferentes setores da sociedade, atualmente é possível identificar a presença de substâncias tóxicas nos diversos compartimentos do ambiente. A presença dessas substâncias no solo e em águas subterrâneas está normalmente associada ao uso inadequado destes resíduos, à incorreta manipulação e armazenamento durante sua produção, assim como a acidentes ocorridos no seu transporte entre as unidades de produção, ou para os consumidores finais. Por outro lado, a presença de elementos essenciais nesses produtos os tornam uma importante alternativa para o suprimento desses elementos às plantas cultivadas em solos pobres, além de dar uma destinação adequada ao que até pouco tempo era tratado simplesmente como lixo, geralmente depositados a esmo na natureza, gerando enormes passivos ambientais.

O pó de aciaria elétrica (PAE) é um resíduo gerado em indústrias siderúrgicas que utilizam o forno elétrico a arco (FEA) na maioria dos casos, e é composto por diferentes óxidos metálicos, entre eles Zn, Cr, Pb e Cd. Tem mostrado resultados controversos quanto ao seu emprego na agricultura como fonte de micronutrientes para as culturas (Aciolly et al., 2000). De qualquer forma, o uso de resíduos de qualquer natureza na agricultura tem chamado a atenção para os riscos ambientais, principalmente a adição de metais tóxicos e patógenos ao solo (Melo & Marques, 2000) e seu conseqüente ingresso na cadeia alimentar.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do pó de aciaria elétrica (PAE) da indústria de siderurgia como fonte de micronutriente em atributos químicos do solo cultivado com milho e soja em rotação (campo), tomate e soja em sucessão (vasos), ambos ensaios em diferentes níveis de calagem.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A EXPANSÃO AGRÍCOLA DOS CERRADOS**

#### **2.1.1 Histórico da exploração**

Até a década de 1960, os solos de cerrados eram cultivados principalmente com arroz de sequeiro, pastagem, feijão, milho e mandioca, em pequenas extensões de áreas férteis, com foco quase exclusivo na agricultura familiar ou de subsistência. Segundo Couto (1997), a determinação política do Governo Federal de incorporar os cerrados ao processo intensivo de produção de alimentos ficou expressa com a criação dos programas governamentais de incentivo. Estes programas visavam o desenvolvimento integrado da região dos cerrados, com aplicação de recursos específicos de crédito agrícola, entre 1975 e 1984, visando a ampliação da fronteira agrícola e o aumento da produtividade. Ainda, segundo esse autor, a ampliação da fronteira se deu em função da utilização de tecnologias poupadoras de mão de obra e dependente de energia, visando atender a vasta área mecanizável como compensar a baixa densidade demográfica. Um aspecto importante na ocupação dos cerrados foi a intervenção estatal. Ela começou a acontecer ainda na década de 1940, no Governo Vargas, através do projeto de colonização nos cerrados, com o estabelecimento de colônias agrícolas em Dourados no Mato Grosso do Sul e em Ceres em Goiás (Shiki, 1997).

Uma ousada tentativa de incorporar aproximadamente 3,7 milhões de hectares de cerrados, mobilizou a destinação de diversos recursos políticos e financeiros no programa denominado Polocentro (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), a lavouras, pecuária e florestamento-reflorestamento. A área de atuação deste programa abrangia os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (Ferreira, 1985). O Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados – Prodecet, foi implantando no início dos anos 1980, logo após a desativação do Polocentro.

Um incremento efetivo na modernização agrícola ocorrida no Cerrado, aconteceu em função da adoção dos pacotes tecnológicos da chamada “Revolução Verde”, estimulada pelos governos militares na década de 1960 e 1970. Nessa época, estabeleceu-se o Programa

de Garantia da Atividade Agropecuária, o PROAGRO.

O movimento de ocupação das áreas de cerrado se deu em virtude também de questões relacionadas ao preço das terras. Desta forma, a expansão da agricultura moderna para o Estado de Goiás, por exemplo, a partir de meados da década de 1970, configura uma intensificação no uso do solo, explorando o fato de que o mesmo apresentava preços mais baixos na região, possivelmente em função de sua localização fora dos eixos tradicionais e já capitalizados (Rezende, 2002).

Queiroz & Pereira (1993), referindo-se especificamente à ocupação do cerrado no estado de Goiás, referenciam a exploração do cerrado em três períodos distintos: No período de 1950 a 1966, quando os produtores se valeram de resultados experimentais obtidos para as regiões de São Paulo e Minas Gerais. No período compreendido entre 1967 e 1973, a experimentação no cerrado apresentava os primeiros resultados efetivos, notadamente na aplicação de fertilizantes, testes com sementes de capins e cultivares, avaliação de espaçamentos, densidades e épocas de plantio. O período iniciado a partir de 1974, segundo esses autores, trouxe a intensificação da ocupação, em função dos diversos programas governamentais em nível estadual e federal e a disponibilização de crédito rural.

Um aspecto que deve ser reiterado é o papel importante e eficiente do Estado na indução da pesquisa tecnológica que promoveu expansão do cultivo no cerrado brasileiro. De acordo com Silva (2000), a atuação do Estado foi decisiva para que houvesse a ocupação agrícola deste bioma. Conforme essa autora, a criação da Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, trouxe grande contribuição para a geração de tecnologias agrícolas aptas para as características específicas do Cerrado, com seus diversos centros e unidades de pesquisas regionais, em particular o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, atualmente designada Embrapa - Cerrados.

Segundo Cunha (1997), a agricultura convencional nos cerrados pode ser caracterizada pela grande escala de produção, pela mecanização intensa e pelo uso intensivo de capital, de fertilizantes químicos e de pesticidas. Esse sistema de exploração gerou sérios problemas ambientais que motivaram questionamentos sobre a sustentabilidade das técnicas agrícolas tradicionais em um ecossistema frágil como os cerrados brasileiros (Shiki, 1997).

Com a contínua degradação do ambiente produtivo, a preocupação ambiental tomou corpo, levando os produtores do cerrado a adotarem medidas preservacionistas, dentre as quais, destacam-se a integração lavoura-pecuária e o sistema de plantio direto (SPD).

Entende-se por plantio direto, uma “prática agrônômica inovadora, que movimentava menos o solo e permite um eficiente controle da erosão, pela manutenção de uma

cobertura morta (palha) sobre o solo” (Rodrigues, 2004). Essa forma de plantio foi introduzida no Brasil no ano de 1969, como reação à forma fortemente mecanizada, então crescentemente adotada na agricultura, causadora de grande degradação do solo.

De acordo com Cunha et al. (2008), para atender, principalmente ao mercado internacional, tem sido adotado na área do Cerrado o modelo de ocupação do espaço e de produção desenvolvido pelo agronegócio nos países industrializados, favorecendo a produção em larga escala, intensiva em tecnologia, mas descuidando-se em relação aos impactos ambientais.

A questão da adoção da monocultura, como é o recente caso da expansão da área cultivada com soja e com cana-de-açúcar, a despeito de ser objeto de recente zoneamento agrícola, traz no seu bojo as evidentes questões ambientais. Marques (2001) salientou que, mesmo adotando-se tecnologia compatível com a monocultura, resultando em produtos padronizados e lucro certo, torna-se, todavia, frágil em relação às pragas e doenças, promovendo maior risco ambiental.

### **2.2.2 Entraves e desafios**

A expansão da agricultura no cerrado se deu mediante a superação de entraves que antes colocavam o cerrado como uma região de improvável uso agrícola, notadamente em função de suas características pedológicas indesejáveis. A extensa região central do Brasil, como se sabe, compõe-se de um mosaico de tipos de vegetação, solo, clima e topografia bastante heterogêneos. O Cerrado é a segunda maior formação vegetal brasileira, superado apenas pela Floresta Amazônica. São dois milhões de quilômetros quadrados distribuídos por dez estados, ou 23,1% do território brasileiro. O Cerrado é uma savana tropical na qual a vegetação herbácea coexiste com mais de 420 espécies de árvores e arbustos esparsos. O solo, antigo e profundo, ácido e de baixa fertilidade, tem altos níveis de ferro e alumínio (WWF, 2009).

No que se refere a questões topográficas, Ferreira (2009) afirma que a partir de uma primeira análise do relevo em Goiás, associada ao atual mapa de uso da terra, constatou-se que 79% do estado encontram-se em terrenos com declividade menor que cinco graus, enquanto 14% está situado entre cinco e dez graus. Ou seja, praticamente 93% dos terrenos estão em até dez graus, indicando, por exemplo, um excelente potencial de utilização agropecuário. Quanto ao uso da terra propriamente dito, 93% da agricultura ocorrem em terrenos com declividades de até cinco graus, enquanto outros 6% encontram-se

em áreas entre cinco e dez graus. Assim, a questão topográfica não representa um entrave para o uso agrícola desses solos.

Ao longo dos anos, paradigmas foram sendo quebrados, à medida que a pesquisa passou a produzir respostas aos desafios propostos pela ocupação dos cerrados. De acordo com Ferreira (2009), as terras com cobertura vegetal mais densa, de fisionomia florestal, mesmo em menor quantidade, foram originalmente as mais procuradas por agricultores, por oferecerem um maior suporte nutricional aos plantios. Entretanto, nas últimas décadas, a fertilidade vem deixando de ser um fator limitante à ocupação do Cerrado, devido à incorporação de novas técnicas de plantio, calagem e adubação. No que se refere a questões climáticas, esse autor afirma que com o avançado estágio de conversão do bioma, somado ao uso de técnicas apropriadas de irrigação, a dependência à precipitação seja cada vez menor, em comparação com o início da década de 1970.

Todo este movimento de expansão e ocupação do cerrado ao longo das décadas, trouxe aos dias atuais algumas preocupações. Uma delas é a questão hídrica. Como é considerado de grande importância para o fornecimento de recursos hídricos para as diversas regiões do país exatamente por comportar parte das cabeceiras de algumas das principais bacias hidrográficas do território nacional (Lima & Silva, 2007), a conversão de sua vegetação natural em pastagens e cultivos agrícolas (Felfili & Silva Jr., 2005) passa a merecer especial atenção. Cerca de 80% de sua área natural foi convertida para ocupação urbana ou de atividades agrícolas, implicando em degradação de mananciais (Resende, 2002).

A expansão da agropecuária tem sido feita com uso intensivo de agrotóxicos, fertilizantes e corretivos; irrigação sem controle; pisoteio excessivo de animais; monocultura e cultura em grande escala; uso inadequado de fatores de produção, traduzido, no caso específico, no emprego de alta tecnologia química e pesada mecanização (Cunha et al., 2008). Todas estas práticas, nem sempre feitas com os devidos critérios, tem comprometido a biodiversidade do ecossistema.

Um fato que tem chamado a atenção é o desmatamento dos cerrados. De acordo com Desidério (2009), o Cerrado mantém 51,2% de sua extensão original. Os outros 995.220 km<sup>2</sup> cederam lugar para pasto, soja, algodão, cana e carvão vegetal, a partir de 1970. Em números absolutos, o Estado que mais desmatou o bioma na história foi Goiás, com 212.600 km<sup>2</sup>. Nos últimos seis anos, enquanto a taxa de desmatamento na Amazônia caiu 50%, o desmate do Cerrado continuou no mesmo ritmo, com média de 21.000 km<sup>2</sup> ao ano. A área degradada neste bioma passou de 41,9% do original, em 2002, para 48,2% em 2008.

Problemas comuns dos latossolos, como alta susceptibilidade a erosão, compactação do solo e baixa capacidade de armazenamento de água, aliados a questões de manejo e tratos culturais mal conduzidos, como super ou sub-irrigação, inadequação de amostragem e adubações, a variabilidade espacial dos atributos do solo são gargalos a serem superados. Muitos deles já contam com um denso volume de informações e respostas advindas da pesquisa e experimentação agrícola, a qual, por sua vez, necessita se traduzir em respostas práticas para o agricultor. De qualquer forma, apesar das restrições edáficas e hídricas, aliadas a outras inferências que extrapolam ou tangem a expansão da fronteira agropecuária, como construção de barragens e estradas, a mineração e a própria expansão urbana, o cerrado é reconhecido como a última grande fronteira agrícola do mundo.

## 2.2 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO, SOJA E TOMATE INDUSTRIAL NOS CERRADOS

### 2.2.1 A soja

A soja tem sido amplamente cultivada no Brasil, principalmente na região centro-sul, por sua importância alimentar e econômica, nos moldes empresariais da agricultura tecnificada e se valendo da estrutura de armazenamento disponível. Soma-se a isto o desempenho na balança comercial brasileira e divulgação da sua versatilidade industrial.

O complexo soja foi o setor responsável pelo maior valor das exportações agrícolas, sendo US\$ 18 bilhões em 2008 ou 30,8% do total das exportações agrícolas. Este setor, em valor exportado, manteve, neste ano, praticamente a mesma participação no total do valor exportado que detinha em 1998 (Mapa, 2010).

Um aspecto importante que promove sua expansão é a utilização de óleos vegetais como fonte de energia, principalmente, na substituição de óleo diesel com destino ao setor de transporte. No Brasil, a soja é um importante ingrediente neste mercado, a exemplo do que acontece nos Estados Unidos, onde é a principal matéria-prima utilizada é a soja. A vigoração da Lei 11.097/2005 que prevê a adoção gradual do óleo vegetal na composição do combustível brasileiro, começando com 2,0% em 2008 até chegar a 5,0% em 2013 deve chamar ainda mais a atenção para o cultivo desta importante oleaginosa.

De acordo com Pinazza (2007), desde 1990 a participação da produção de soja oriunda do hemisfério Sul cresceu de um patamar de 30% do total mundial para o nível expressivo de 47,8%. Nesse período, a produção adicional de soja na escala mundial foi de

114,4 milhões de toneladas. Desse total, o hemisfério Sul contribuiu com 73,9 milhões de toneladas. No hemisfério Sul, Brasil e Argentina, sozinhos, responderam por 91,8% da soja adicional ofertada no mercado mundial. Pelo hemisfério Norte, os Estados Unidos e a China responderam por 92% do excedente de soja criado nesses últimos dezessete anos.

De acordo com a Embrapa (2010), a produção mundial de soja na safra 2008/2009 foi de 210,6 milhões de toneladas, em 96,3 milhões de hectares plantados, sendo que os Estados Unidos, o maior produtor mundial do grão, contribuiu com 80,5 milhões de toneladas, com 30,2 milhões de hectares e uma produtividade média de 2.666 kg ha<sup>-1</sup>. Segundo a CONAB, mencionada no sítio institucional da fonte citada, o Brasil, segundo maior produtor mundial do grão, produziu 57,1 milhões de toneladas, plantou 21,7 milhões de hectares e alcançou uma produtividade média de 2.629 kg ha<sup>-1</sup>.

A estimativa da área cultivada com soja no Brasil, na safra 2009/2010, ultrapassa 20 milhões de hectares, sendo mais de 90% no Centro-Sul. A região Centro-Oeste produz, aproximadamente, 50% da soja no Brasil, sendo que o Estado do Mato Grosso é o maior produtor do Brasil, com estimativa acima de 6 milhões de hectares em 2010, quase três vezes o previsto para o Estado de Goiás (Conab, 2009). O IBGE (2009) divulgou que a projeção nacional, comparando a produção de soja em 2009 e as projeções para 2010, teve um incremento de 14%, atingindo 65.225.407 toneladas.

O crescimento da produção e o aumento da capacidade competitiva da soja brasileira sempre estiveram associados aos avanços científicos e à disponibilidade de tecnologias ao setor produtivo (Embrapa, 2004).

Ao longo dos anos, limitações produtivas foram sendo superadas, sendo uma delas a ausência de cultivares geneticamente melhoradas. Diversos programas de melhoramento genético contribuíram para o desenvolvimento de cultivares de alto rendimento, adaptadas às diferentes condições agroclimáticas do país (Priolli et al., 2004)

Conforme dados da Embrapa (2002), cultivares melhoradas, portadoras de genes de expressão no rendimento, ampla adaptação e resistência a fatores bióticos ou abióticos, contribuem para o aumento da eficiência do setor produtivo, maior que 1% ao ano. O desenvolvimento de cultivares de soja adaptada ao Cerrado e às baixas latitudes tem propiciado a expansão da fronteira agrícola brasileira, como verificado nas últimas três décadas.

A cultura da soja, nos sistemas de produção agrícolas, apresenta uma característica de multifuncionalidade. Além de gerar produto de elevado valor biológico, como o teor de cerca de 40% de proteína dos grãos (Hungria et al., 1994), apresenta

capacidade de fixar biologicamente elevadas quantidades de nitrogênio ao solo, beneficiando o sistema produtivo como um todo. Uma vez que a região do cerrado apresenta características adequadas para a atividade agrícola, onde, pelo menos 112 milhões de hectares de terras apresentam potencial para o cultivo (Peres et al., 1992), esta cultura tem se apresentado como excelente alternativa para a potencialização do uso desses solos.

Uma vez que o sistema plantio direto é uma realidade consistente na região dos cerrados, apesar das dificuldades com manutenção de palhadas e adoção sistemática de rotação de culturas, a soja é, dentre as principais culturas, uma das que melhor se adaptam ao sistema de plantio direto. De um modo geral, os resultados de literatura indicam que os rendimentos desta cultura, ao se considerar o efeito médio de várias safras, geralmente se equivalem nos diferentes sistemas de manejo do solo, com pequena vantagem para o plantio direto (Muzilli, 1981; Landers, 1995).

Dentre as principais preocupações com o cultivo da soja, atualmente, podem-se destacar a infestação por nematóides, os altos custos dos fertilizantes, o manejo da fertilidade dos solos, a agressividade da ferrugem asiática, notadamente em ambientes mais quentes e úmidos. O aumento de mofo branco em lavouras de soja nas últimas safras, bem como a dificuldade de controle de doenças de final de ciclo, também tem sido preocupantes. Soma-se a isto a constante busca de estratégias de controle de novas pragas, como por exemplo, o aparecimento de uma nova praga que ataca as hastes da planta, ocorrida nos estados do Maranhão e Tocantins e focos no Rio Grande do Sul, citada por Zanella (2007), com prejuízo alarmante de até 60% da produção.

### **2.2.2 O milho**

A importância econômica do milho baseia-se nas suas diversas formas de utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Por ser uma cultura que apresenta grande capacidade de implementar sistemas de produção competitivos e ajustados para condições variadas, a cultura se torna de grande importância para os cerrados, notadamente para o agronegócio, constituindo-se uma das principais culturas no complexo agroindustrial, sendo favorecida pelo uso crescente de tecnologias, melhoramento genético, técnicas corretas no uso e manejo do solo.

Estudos da Conab (2009), apresentando os resultados da cultura do milho para as safras 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009 em dezesseis países e as perspectivas para 2009/2010, com base em informações próprias e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), afirmam que, atualmente, o Brasil é o quarto produtor mundial

deste grão. As safras analisadas indicam a liderança isolada dos EUA como o grande produtor mundial de milho, sendo que o auge norte-americano foi entre 2007/2008, quando a colheita alcançou 331.177 milhões de toneladas do grão. No mesmo período, a China, que tradicionalmente é o segundo maior produtor, colheu menos da metade, 152.300 milhões de toneladas. O estudo mostra o Brasil como o quarto do mundo nas safras 2006/2007, 2008/2009 e deve manter esse resultado em 2009/2010. A produtividade média prevista para a safra 2009/2010 deve ficar em 3.906 kg ha<sup>-1</sup>, 7,6% maior que a alcançada na safra 2008/2009 (Conab, 2010).

Sendo cultivado praticamente em todos os Estados do Brasil e em quase todas as propriedades agrícolas, tanto na agricultura familiar onde tem sido a base de sustentação de inúmeras pequenas propriedades, quanto na de exportação, a cultura do milho está presente em todas as cadeias produtivas animais, por ser uma cultura de grande e diversificada utilização na sociedade moderna. Em termos de área cultivada e de produção de grãos é, atualmente, o segundo cereal de maior importância no Brasil.

O cultivo de safrinha (sequeiro plantado em fevereiro ou março quase sempre após a soja precoce) tem sido uma importante forma de cultivo do milho em Goiás. Este fato acaba por acarretar um decréscimo na área plantada no período da primeira safra, em decorrência da concorrência com a soja (Embrapa, 2006). Realmente, os dados recentes mostram que o milho tem perdido espaço para a soja na última safra em relação a dados de 2009. A soja apresenta crescimento de 6,1% na área a ser cultivada, que representa um incremento de 1.319,5 mil hectares. O menor custo por hectare, comparativamente ao do milho, a maior liquidez no mercado e maior resistência à estiagem, são fatores que justificam a substituição do milho pela oleaginosa (Conab, 2010).

Segundo o IBGE (2009), a área cultivada com milho no Brasil, em 2008, foi de 14.747.249 hectares, sendo 3.774.558 na região Centro Oeste. O estado de Goiás contribui com cerca de 24%, num total de 905.710 hectares cultivados. As projeções de área cultivada e produção para a primeira safra de 2010 foram de 8.400.299 toneladas, com acréscimo de 7,2%. Por ser uma cultura de relevada importância no Brasil, do ponto de vista econômico e social, esforços vêm sendo envidados no sentido de promover a potencialização de seu cultivo. O aumento do rendimento potencial do milho tem sido atribuído ao lançamento de cultivares com maior vigor híbrido e às modificações nas práticas culturais, tais como melhor controle de pragas, doenças e plantas invasoras, maior utilização de fertilizantes nitrogenados, aumento na densidade de plantas (Tollenaar et al., 1994) e redução do espaçamento entre linhas (Argenta et al., 2001).

Em termos de mercado, em 2007, o alto volume de exportações de milho (10,8 milhões de toneladas), o aumento do consumo interno, baixos estoques do governo em 2008 em função de atrasos no início da colheita da safra e provável impacto negativo do fenômeno climático “la niña” sobre a produção na época (Conab, 2009), trouxeram oscilações no mercado interno, mostrando o impacto que mudanças no fluxo produtivo e comercial desta cultura tem sobre a economia nacional.

Para 2010, para o milho de primeira safra, espera-se uma produção de 32,8 milhões de toneladas, 3,2% inferior à verificada em 2009, refletindo a retração na área total cultivada (10,2%), permanece o quadro desfavorável para o produto, decorrente das baixas cotações praticadas no mercado, haja vista os elevados volumes atualmente estocados (IBGE, 2010).

Diante destas tendências, tem sido necessário reavaliar as recomendações de práticas de manejo para a cultura, com especial atenção às exigências nutricionais, devido, principalmente, ao alto custo de produção. Neste aspecto, a obtenção de normas regionais, no tocante à nutrição mineral da cultura, tem sido desenvolvidos e divulgados. Existem inúmeros trabalhos publicados sobre nutrição mineral, produtividade, produção de fitomassa, espaçamentos, genética e melhoramento, dentre outros. Ultimamente, trabalhos empregando fontes alternativas de mineração de elementos minerais ao solo no cultivo do milho tem se destacado. Alguns exemplos são os estudos da viabilidade técnica do uso de pó de aciaria como fonte de Zinco (Accioly et al., 2000, Santos et al., 2002), partindo da premissa de que o emprego de alguns resíduos siderúrgicos como fertilizantes e corretivos agrícolas tem-se mostrado uma alternativa viável para o aproveitamento dos subprodutos de siderurgia, uma vez que esses resíduos apresentam, geralmente, teores elevados de micronutrientes (Malavolta, 1994).

### **2.2.3 O tomate industrial**

O tomateiro para processamento é a hortaliça de maior importância econômica na região do Cerrado goiano, com grandes áreas cultivadas. Consiste, portanto, em uma cadeia produtiva significativa, integrada ao complexo industrial. O setor produtivo conta com setores industriais organizados que objetivam o abastecimento dos mercados interno e externo e são atuantes nas fases distintas de processamento (Camargo et al., 2006).

O tomate tem seu emprego em diversas formas culinárias, desde a forma *in natura* até a forma industrializada, apresentado na forma de extrato, molhos, polpas, dentre

outras. Já em 2005, num passado recente, o Brasil se destacou como o nono produtor mundial de tomate, com produção de cerca de 3,2 milhões de toneladas em, aproximadamente, 61 mil hectares, sendo o maior produtor da América do Sul (Agrianual, 2006).

No período de 1990 a 2005, a produção de tomate no Brasil aumentou em 44,5%, a área média cultivada oscilou em torno de 60 mil hectares e a produtividade passou de 37,1 mil kg ha<sup>-1</sup> para 56,7 mil kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2009).

Um dos entraves para o incremento da produção do tomate industrial tem sido a falta de pesquisa no setor. O Sistema de Plantio Direto (SPD), por exemplo, vem sendo adotado na região do Cerrado em razão dos benefícios que oferece. Todavia, em consequência da escassez de pesquisas específicas sobre tomateiro para processamento, as práticas de cultivo utilizadas são, em geral, as mesmas recomendadas para o sistema de plantio convencional.

Para Marouelli et al. (2006), ao estudar aspectos da irrigação do tomateiro industrial em SPD, observaram que o tomateiro para processamento proporciona maior produtividade de frutos, com menor quantidade de água aplicada e tem, portanto, maior eficiência no uso da água, sendo que a economia de água no SPD ocorre, basicamente, durante a primeira metade do ciclo do tomateiro, quando a cultura ainda não cobre toda a superfície do solo.

De qualquer forma, o tomateiro cultivado em todas as regiões brasileiras, é uma cultura considerada de alto risco, em virtude da infestação por diversas pragas, tanto nas lavouras destinadas ao consumo *in natura*, como para a indústria (Souza & Reis, 2003).

Em virtude de sua grande importância para a economia em estados abrigados pelo bioma cerrado, incluindo Goiás, a cultura do tomateiro tem despertado a atenção de muitos pesquisadores, com vistas a otimizar sua produção.

Das 3.867.655 toneladas de tomate produzidas no Brasil em 2008 (61.025 hectares cultivados), o Centro-Oeste contribuiu com 1.176.091 (13.391 ha) e o estado de Goiás, com 1.148.695 toneladas (12.849 ha). Desta forma, o estado de Goiás, maior produtor nacional de tomate, responde por 30% da produção do país (IBGE, 2009).

A cadeia agroindustrial do tomate, hoje, se posiciona entre as mais importantes no contexto do agronegócio no Centro-Oeste, como matéria-prima para as indústrias processadoras de derivados. O tomate para processamento representa a principal atividade geradora de renda para um grande número de produtores, tornando-se significativa fonte de renda regional. Nos últimos trinta anos, esta atividade experimentou notável crescimento na

produção agrícola e industrial, em particular na década de 1990 (Brandão & Lopes, 2001).

O avanço da cultura nos cerrados trouxe preocupações quanto aos sistemas de cultivo e gerou demandas de pesquisas e adaptações. Melo & Vilela (2005) observaram que, na região dos cerrados, os sistemas de produção de plantio direto avançaram em termos de área plantada. Notaram, também, que as máquinas e equipamentos empregados, ainda não estavam totalmente adaptados para esses sistemas, sendo as mesmas utilizadas nos sistemas convencionais, incompatíveis com a lógica dos sistemas de plantio direto.

Dada sua importância, um dos aspectos mais estudados para a cultura do tomateiro é sua nutrição, uma vez que o tomateiro é uma planta bastante exigente em nutrientes (Fontes, 2000). A literatura é vasta quanto a trabalhos sobre N, P, K e Ca para a cultura do tomateiro, dadas suas exigências nutricionais principais, porém raros são com micronutrientes, em especial usando resíduos industriais como fontes.

A pesquisa agrônômica em tomate, muitas vezes, tem se restringido a questões fitossanitárias, condução da cultura, calagem, espaçamento, melhoramento genético, técnicas de colheita, dentre outros aspectos. No que se refere ao uso de fertilizantes para a cultura do tomate, além dos trabalhos habituais envolvendo o estudo de macronutrientes, principalmente Ca, poucos trabalhos estão disponíveis estudando micronutrientes para o tomateiro. Quando ocorrem, estão relacionados a tomates de mesa. Fiori (2006), estudando o comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido, concluiu que a utilização de escória agrícola, rica em silicato de cálcio, resultou em aumento da produtividade de frutos de tomate, cultivares Carmen e Colibri, e que os resultados benéficos obtidos foram proporcionais à quantidade de escória agrícola aplicada. Nesse mesmo trabalho, entretanto, a autora concluiu que o uso da escória culminou em aumento da incidência de frutos com podridão apical.

## 2.3 O USO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA

### 2.3.1 Resíduos industriais

A produção de resíduos no mundo moderno é cada vez maior, em virtude do crescimento da população mundial e das atividades industriais de toda sorte, gerando expectativas entre estudiosos, pesquisadores, empresários, governos e sociedade em geral sobre que destinação dar a este considerável volume de “lixo”. A deposição destes resíduos na natureza tem sido a saída freqüente, uma vez que apenas uma pequena parte é

transformada em subprodutos prontamente utilizáveis, os quais, por sua vez, terminarão por gerar novos resíduos. Os riscos de contaminação dos recursos naturais, os altos custos de reciclagem, a ausência ou ineficiência de políticas ambientais são causas constantes de debates e preocupações em todo o mundo, inclusive no Brasil.

Os resíduos são provenientes de processamento de produtos de atividades diversas, sendo elas agrícolas, industriais (incluindo as agroindustriais) e urbanas (inclusive domésticas). Muitas destas atividades representam risco à saúde humana e animal, bem como à preservação do meio ambiente. Na maioria das vezes, estes resíduos são destinados aos tradicionais sistemas de tratamentos ou aos depósitos denominados “lixões”.

De acordo com estimativa da ABETRE (2008), Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos, o Brasil gera, anualmente, cerca de 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos por ano, e cerca de 28% destes resíduos têm destinação conhecida. A maior parte, como se sabe, fica exposta às intempéries, ocasionando contaminações diversas, inclusive do solo e do lençol freático. Somente cerca de 22% (600 mil toneladas) recebem tratamento adequado.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) é o órgão com competência para estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais. O Conama, órgão consultivo e deliberativo, foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90.

A Resolução Federal nº 313, de 29 de outubro de 2002, estabelece que resíduo sólido industrial é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. Tendo como critérios os riscos potenciais ao meio ambiente, de acordo com a NBR 10.004 (2004), os resíduos podem ser classificados em Classes I, II e III, a saber:

Classe I – Perigoso: quando apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente. As características que conferem periculosidade a um resíduo são: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. Exemplos: alguns resíduos industriais e resíduos gerados na área da saúde.

Classe II - Não-inertes: podem ter propriedades como: combustibilidade,

biodegradabilidade, solúveis em água, dentre outros. Exemplos: resíduos domésticos.

Classe III - Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa referente à amostragem de resíduos - quando o mesmo for submetido a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os padrões de aspectos, cor, turbidez e sabor. Exemplos: rochas, entulhos, tijolos, vidros, dentre outros.

O resíduo sólido do tipo pó de aciaria é incluído na Classe I sendo, portanto, perigoso.

### **2.3.2 O uso agronômico de resíduos**

O uso agronômico de resíduos urbanos, rurais ou industriais ou o aproveitamento dos mesmos na geração de energia e até mesmo de novos materiais através da reciclagem, podem ou não serem alternativas sustentáveis do ponto de vista econômico e ambiental. Atualmente, a utilização de muitos destes resíduos na agricultura é seguramente a maneira mais promissora de promover um fim adequado a esses materiais, desde que não prejudiquem o meio ambiente e realizem sua função de modo adequado e sustentável. Esta prática vem sendo adotada em diversos países do mundo (Bettioli & Camargo, 2006).

A utilização de resíduos industriais, por exemplo, sob rigorosos critérios técnicos, poderá resultar em um produto com características favoráveis ao seu aproveitamento para a atividade agrícola, por apresentarem, muitos deles, características como condicionadores das propriedades físicas do solo e, ou, como fonte de nutrientes para as plantas (Malavolta, 1994). O alto custo dos fertilizantes comerciais frente à crescente necessidade de incremento na fertilidade dos solos leva, muitas vezes, à tentativa de aproveitamento destes resíduos do ponto de vista econômico (Mesquita, 2002). A questão da sustentabilidade ambiental jamais pode ser sublimada, pois, a despeito dos benefícios que podem ser alcançados quanto à melhoria das propriedades físicas e, ou, químicas dos solos, com influência direta na produção e produtividade agrícolas, uma possível contaminação com metais pesados, patógenos e outros compostos com alta persistência no complexo solo pode ser inevitável.

Os compostos destinados à adição de nutrientes ao solo ou à regeneração de áreas quimicamente degradadas precisam ser caracterizados quanto ao teor de matéria

orgânica, biodegradabilidade, carga em metais pesados, micropoluentes orgânicos e agentes patogênicos. Desta forma, sua eficiência agrônômica, uma vez comprovada, os tornarão apropriados para o efeito desejado. Muitos desses resíduos apresentam contaminantes como patógenos e metais pesados (Barreto, 1995; Melo & Marques, 2000) ou altas concentrações de sais em biossólidos (Aquino Neto & Camargo, 2000; Costa et al., 2001) e das águas residuárias (Yagi et al., 2003).

A aplicação de resíduos urbanos e industriais no solo pode ser recomendada como corretivo ou fertilizante quando apresentam características correspondentes (Carvalho-Popatto et al., 2003; Corrêa et al., 2008), uma vez que a macro e microbiota do solo apresentam alta capacidade de decomposição de materiais, notadamente orgânicos. Torna-se necessário estudar todas as alterações nas propriedades do solo e a resposta dos vegetais para confirmar, ou não, seu potencial de uso, bem como avaliar a possível contaminação do ambiente por metais pesados (Ferreira et al., 2003). Segundo Corrêa (2005), os resíduos urbanos e industriais promovem alterações nos principais atributos químicos do solo, com reflexo sobre suas propriedades físicas e biológicas.

Para muitos resíduos urbanos, agrícolas e industriais, a solução mais viável é sua reciclagem ou reutilização por meio da disposição em solos agrícolas ou florestais, como fertilizantes orgânicos e, ou, minerais (Mello & Vitti, 2002; Nascimento et al., 2004) ou sua utilização como condicionadores das estruturas de solos, como sugerem pesquisas com lodo. Essa prática promove melhorias nas características físicas, químicas e biológicas, propiciando um incremento na produção e produtividade, bem como significando, muitas vezes, uma redução considerável nos custos de produção. De qualquer sorte, seu uso exige um contínuo monitoramento sob a ótica da sustentabilidade ambiental.

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (Cetesb, 1999), uma das preocupações mais constantes é a possibilidade de contaminação dos solos e dos lençóis subterrâneos com metais pesados. Isto fez com que muitos países estabelecessem limites máximos dos metais no lodo de esgoto e a própria taxa de aplicação nos solos. O lodo doméstico possui baixos teores de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, Mn, Fe e Cr. Quando os efluentes industriais predominam no esgoto, sabe-se que o lodo pode apresentar teores elevados de metais pesados, acima da faixa permitida e, por esse motivo, serem proibidos para o uso agrícola.

Sabe-se que uma das limitações para a produção agrícola é a deficiência de micronutrientes. O problema, conforme Bataglia & Raij (1989), é agravado pela baixa fertilidade dos solos, pela remoção dos micronutrientes nas colheitas e pelo uso crescente de

calcário e adubos fosfatados, que contribuem para uma menor solubilidade dos micronutrientes. Uma vez que as necessidades de micronutrientes pela cultura são normalmente pequenas, a adição de metais pesados através destes resíduos pode, ou não, ser inexpressiva, dependendo da composição destes materiais empregados.

No Brasil, de acordo com a Cetesb (2001), os valores totais orientadores para os metais pesados em solos agrícolas são: 100 mg kg<sup>-1</sup> para Cu e 500 mg kg<sup>-1</sup> para Zn.

A utilização de resíduos industriais como insumo agrícola deve-se pautar pela rigorosa fixação de critérios, considerando as restrições convenientes, de forma a evitar efeitos indesejáveis na natureza e, conseqüentemente, na vida humana e animal.

### 2.3.2.1 Os resíduos sólidos orgânicos

Na busca de alternativas para diminuição de custos de produção ou redução de uso de fertilizantes industriais por razões diversas, inclusive ambientais, muitos resíduos urbanos têm sido testados como substitutivos, complementares, enfim, como formas diferenciadas de fornecimento de macro e micronutrientes ao solo, outras vezes como corretivos de acidez ou mesmo como condicionadores físicos da estrutura do solo. Dentre estas alternativas estão o uso de compostos oriundos de processos de compostagem de lixo urbano ou agrícola, resíduos orgânicos da indústria farmoquímica, vinhaça, subprodutos de processamento agroindustrial, florestal, moveleira, dentre outros.

Ensaio utilizando bio-sólidos demonstraram seus benefícios para diversas culturas e para algumas características químicas e propriedades físicas do solo (Berton et al., 1989; Melo et al., 1994; Oliveira et al., 2002).

Em um ensaio utilizando lodo de esgoto no cultivo de milho e feijão, Nascimento et al. (2004) observaram que o incremento de metais pesados por esse material esteve abaixo dos limites tóxicos, de modo que não se observaram sintomas de fitotoxicidade em nenhum dos tratamentos. O zinco (Zn), nessa pesquisa, foi o elemento que apresentou o maior incremento na absorção com o aumento das doses, para ambas as culturas estudadas, em dois solos distintos. Os autores concluíram que isto foi devido à alta concentração desse elemento no resíduo empregado e, por conseguinte, da sua maior biodisponibilidade no solo. Os autores observaram, ainda, um aumento importante no teor de N total nas amostras de solo com as doses de lodo de esgoto, indicando a sua eficiência no suprimento desse nutriente para o crescimento vegetal.

Conforme Machado et al. (2004), a produção estimada de lodo produzido no

Brasil é de 33 g de sólidos solúveis totais por habitante por dia, e cerca de 50% tem destino final em aterro sanitário, 15% na agricultura e 35% têm destino indefinido. Lemainsk et al. (2006), procurando definir parâmetros técnicos e econômicos do uso de biossólido como fertilizante para a soja, observaram que a eficiência agronômica dos tratamentos com biossólido, em média, foi 18% superior aos tratamentos com fertilizante mineral. Os resultados mostraram a viabilidade agronômica e econômica do uso do biossólido em substituição ao fertilizante mineral, na produção de soja.

Ultimamente, o lodo residual proveniente do processamento do couro (lodo de curtume) tem sido estudado como fonte de melhorias para o solo. Cada pele processada gera um subproduto ou resíduo com características muito variadas, devido o tipo, a tecnologia no processamento e o sistema de estação de tratamento de efluentes (ETE) adotado pela indústria (Martines, 2005). Conforme esse mesmo autor, o mercado de peles para curtume e acabamento está em franca expansão, comercializando cerca de 35 milhões de unidades por ano. Para cada pele processada, são gerados aproximadamente 12 kg de lodo residual.

Conforme Ferreira et al. (2003), a utilização do lodo oriundo de estações de tratamento de despejos de curtume, como fonte de matéria orgânica e nutrientes no solo, pode ser recomendada pelo valor corretivo e fertilizante que estes apresentam, bem como pela capacidade da macro e microbiota do solo de decompor os materiais orgânicos. Todavia, mesmo após o tratamento recebido na ETE, o lodo de curtume contém consideráveis cargas orgânicas e inorgânicas, como ácidos, fenóis, sulfatos, sulfetos e, principalmente, o metal tóxico cromo, que é utilizado durante o processo de curtimento (Souza et al., 2005).

Segundo Borges (2003), ao avaliar os efeitos do lodo de curtume e de seus componentes fertilizantes no desenvolvimento, na produção de fitomassa verde, de fitomassa seca e de grãos em plantas de milho, cultivadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificou que a associação lodo de curtume ( $144.000 \text{ L ha}^{-1}$ ) e a adubação química ( $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de NPK 4-30-16 + Zn), proporcionou resultados favoráveis para a produção da cultura do milho, em todas as variáveis analisadas, sugerindo que esta forma de uso do lodo de curtume é viável, podendo substituir, em parte, o adubo químico. Nesse trabalho, o autor avaliou seis níveis de adição do lodo de curtume em três épocas antecedentes à semeadura do milho, obtendo um incremento de até 71% de nitrogênio nas folhas das plantas de milho.

Há necessidade do estabelecimento de critérios técnicos para a aplicação desse tipo de resíduo na agricultura, uma vez que esta prática, quando utilizada de forma inadequada, pode conduzir a elevados valores de pH (Selbach et al., 1991), sais solúveis

(Konrad & Castilhos, 2002) e cromo nos solos (Aquino Neto & Camargo, 2000), o que pode comprometer a sustentabilidade agrícola e o uso futuro dessas áreas.

Avaliando o efeito do lodo de curtume sobre a fertilidade do solo, na nodulação e rendimento de matéria seca do caupi, Teixeira et al. (2006) concluíram que o lodo de curtume elevou o pH e os teores de matéria orgânica, cálcio e sódio do solo, aumentando a salinidade do solo. Por outro lado, houve um incremento no rendimento de matéria seca com a adição do lodo de curtume, embora, em altas doses, o resíduo tenha diminuído a nodulação pela estirpe de *Bradyrhizobium* sp. inoculada.

### 2.3.2.2 Os resíduos siderúrgicos

Os subprodutos e resíduos industriais foram, por muitos anos, descartados em áreas próximas às indústrias e sua exposição tornou possíveis as contaminações ambientais. A procura de alternativas para o descarte e a reciclagem desses materiais, por força de legislações ambientais, passou a ser uma preocupação das indústrias, sendo o seu aproveitamento na agricultura uma das alternativas estudadas, pois muitos desses materiais contêm nutrientes úteis às plantas, apesar de poderem conter, também, contaminantes.

No Brasil, as indústrias geradoras de matéria prima para as formuladoras de fertilizantes, tem encontrado dificuldades na sua aquisição devido à sua escassez e alto custo. Desta forma, estes resíduos ou sub-produtos tornam-se bastante atraentes, desde que o valor agrônômico e o risco de contaminação do solo pelo uso dessas fontes sejam bem avaliados antes de serem destinados ao uso agrícola.

O processo siderúrgico para a produção de aço utilizando forno de arco elétrico produz uma grande quantidade de resíduos sólidos. Durante o processo de fusão do aço, o forno de arco elétrico pode atingir temperaturas de 1.600°C ou mais altas e muitos componentes, como ferro, zinco e chumbo são volatilizados, entrando para a fase vapor. Uma grande quantidade de pó é gerada quando este vapor é resfriado e coletado. Este resíduo sólido é chamado pó de exaustão ou pó de aciaria elétrica (Vigano et al., 2004).

Trata-se de um produto muito fino, de cor marrom-escuro, sem odor, gerado no forno elétrico de aciaria. A quantidade gerada no processo siderúrgico pode atingir um volume expressivo. O pó de forno elétrico é classificado como perigoso, tendo como poluentes potenciais o Zn, o Pb e, em menor escala, o Cd. Pode ter aplicações na construção civil (blocos de concreto, argamassa, cerâmica), na indústria (pigmentos para tinta; recuperação de Zn e Pb) e, na agricultura, como fertilizante (Siderúrgica Mendes Júnior,

1988, citada por Acciolly et al. (2000).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Usepa, 2002), cerca de 50 mil toneladas anuais desses resíduos provenientes de indústrias de aço, de metais e de latão, são destinados à agricultura como fontes de Zn.

Os ensaios de campo utilizando este resíduo como fertilizante tem mostrado resultados controversos. Correa et al. (2008), avaliando alguns atributos químicos do solo e a disponibilidade de cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e arsênio (As), em consequência da aplicação superficial de escória de aciaria, concluíram que até a dose de  $8 \text{ mg ha}^{-1}$ , não aumenta a disponibilidade destes elementos no solo, quando são aplicados na superfície de Latossolo Vermelho distrófico, em sistema plantio direto, para as culturas de aveia preta e soja. Nessa mesma pesquisa, os autores observaram que houve aumento nos valores de pH, nos teores de Ca e de P e redução dos teores de Al no solo em todos os tratamentos.

Avaliando o pó de aciaria elétrica (PAE), como fonte de micronutrientes e contaminantes para o milho, em condições de casa-de-vegetação, Acciolly et al. (2000) concluíram que o produto atua como fonte de micronutrientes, especialmente do Zn e que a solubilidade do PAE é sensivelmente maior em condições de maior acidez do solo. Afirmam, ainda, que a presença de Cd e Pb no PAE limita seu uso agrícola, principalmente em doses elevadas.

Em trabalho objetivando avaliar os efeitos de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade do arroz de terras altas irrigado por aspersão, Garcia Carvalho-Pupatto et al. (2003) concluíram que, por meio da melhoria das condições químicas do solo, propicia aumento do comprimento e superfície radicular e redução do diâmetro radicular, além de aumentar os teores de silício no solo e na planta, mas doses acima de  $8.880 \text{ kg ha}^{-1}$  podem reduzir a disponibilidade de micronutrientes e, conseqüentemente, a produtividade.

Após o cultivo de milho onde utilizou pó de aciaria gerado pela empresa Mendes Junior, Acciolly (1996) avaliou o efeito residual desta resíduo na cultura de alface. Os teores de Zn, Cu, Mn, Fe, Cd e Pb na matéria seca foram bastante superiores aos observados no milho, confirmando as evidências de que a alface é uma planta acumuladora de metais. De qualquer forma, mesmo na dose maior do pó de aciaria, os teores de Cd e Pb não ultrapassaram a faixa considerada normal.

Visando avaliar os efeitos da escória de siderurgia e dos calcários magnesiano e dolomítico, na produção de matéria seca da alface, e as alterações na sua nutrição e em

alguns atributos químicos do solo, Prado et al. (2002) observaram que o alto teor de Mn na parte aérea da planta limita a produção quando se aplica a escória e que a mesma não é o corretivo mais apropriado para esta cultura.

Avaliando o efeito do pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho (*Zea mays* L.) e ainda seu efeito no acúmulo e disponibilidade de Cd, Cr, Ni e Pb no solo e nas plantas, Santos et al. (2002) relataram que a menor dose de Zn adicionada ao solo proporcionou teores desses elementos na parte aérea da planta superiores ao nível crítico para a cultura. As concentrações dos metais Cd, Cr, Ni e Pb, tanto na parte aérea da planta como no solo, foram menores que os níveis críticos para toxicidade. O pH alterou a disponibilidade do Zn, diminuindo a disponibilidade com seu aumento, concluindo que o pó-de-aciaria pode ser considerado potencial fonte de zinco para o milho, sem causar a contaminação do solo por metais pesados.

Foram comparados, por Santos (2001), um pó de aciaria gerado pela empresa Aços Villares S.A. e o sulfato de zinco usando milho como planta teste em experimento conduzido em vasos em três solos distintos. Em um dos solos não houve diferença significativa entre teores de Zn na parte aérea das plantas dos tratamentos com as doses de 0 mg kg<sup>-1</sup>, 5 mg kg<sup>-1</sup>, 15 mg kg<sup>-1</sup> e 25 mg kg<sup>-1</sup> de Zn na forma do pó de aciaria e do sulfato de zinco e do tratamento testemunha. O índice de eficiência do pó de aciaria em relação ao sulfato de Zn, calculado usando a concentração de zinco na matéria seca da parte aérea das plantas, variou de 45 a 85% nos outros dois solos estudados. Nesse ensaio, os teores de Zn na parte aérea das plantas ficaram dentro da faixa de 15 mg kg<sup>-1</sup> a 100 mg kg<sup>-1</sup>, considerada adequada para essa cultura, conforme Raij et al., (1996).

A questão da acumulação de metais no solo é também um aspecto preocupante, se esses materiais forem utilizados de forma sistemática. A literatura não compreende experimentos com amplitude suficiente para diagnosticar este efeito num extenso período. O trabalho de Santos (2001), além do que já foi descrito, envolveu também um experimento em vasos para avaliar o efeito acumulativo de Zn e Pb. As doses de 0 mg dm<sup>-3</sup>, 5 mg dm<sup>-3</sup>, 50 mg dm<sup>-3</sup> e 150 mg dm<sup>-3</sup> de Zn e de 0 mg dm<sup>-3</sup>, 0,47 mg dm<sup>-3</sup>, 4,70 mg dm<sup>-3</sup> e 14,10 mg dm<sup>-3</sup> de Pb aplicadas, foram equivalentes a zero, um, dez e trinta anos de aplicação do pó de aciaria. O sulfato de Zn e o nitrato de Pb foram usados em tratamentos nas mesmas doses para fins comparativos. Os autores relataram, ainda, que uma vez que as aplicações de Zn ocorreram quando o solo apresentou níveis deficientes para as plantas e que não houve diferença significativa na produção de matéria seca entre os tratamentos, nem acumulação excessiva.

### 2.3.3 Aspectos ambientais e legislativos

A despeito da enorme produção de resíduos oriundos dos diversos processos decorrentes da vida moderna, resíduos estes tanto de origem urbana quanto rural ou industrial, a grande pergunta que se faz é quanto à destinação deste passivo, que legislação regulamenta esta atividade e quem fiscaliza. De modo simplista, diz-se que os resíduos orgânicos podem ser destinados à compostagem e reuso e os inorgânicos, para a reciclagem. Quanto aos resíduos industriais decorrentes de processos de metalurgia e siderurgia, na maioria das vezes vistos como perigosos antes mesmos de serem manipulados, pouquíssimos trabalhos de pesquisa tem sido desenvolvidos no sentido de testar sua eficiência agrônômica.

De qualquer forma, é inegável a necessidade de se aprofundar os estudos sobre o impacto ambiental da utilização de quaisquer produtos ou sub-produtos contaminantes na agricultura, ainda mais quando se trata de produção de alimentos que entram diretamente na rota de consumo humano direto ou indireto. Uma substância é considerada contaminante quando constitui um risco para o ambiente, especialmente para os seres vivos (Baird, 2002). Qualquer adição à natureza, independente da finalidade, por ação antrópica, de compostos contendo metais pesados que possam ser bioacumulados, representam em si, um risco ambiental, até porque, a curto e médio prazos, alguns produtos podem causar alterações na composição normal do meio ambiente ao fornecerem quantidades consideráveis de metais traços (Silva et al., 2005), o que elevaria o problema a uma escala exponencial, uma vez que o meio natural é modificado.

Sabe-se que a contaminação do solo com metais tóxicos geralmente é resultado de atividades humanas, especialmente aquelas relacionadas à mineração, emissões industriais de várias naturezas, descarte ou vazamento de resíduos industriais, uso de adubos, fertilizantes e agrotóxicos. Em razão do potencial tóxico e da alta persistência dos metais, solos poluídos com estes elementos são um problema ambiental que requer uma solução efetiva, ainda que não definitiva.

Os teores de metais nas plantas podem ser variáveis, dependendo da espécie e das características do ambiente em que se encontram, principalmente no que se refere às concentrações de metais pesados no solo. Dentre os metais pesados usualmente mencionados como tóxicos, são comuns as referências ao Cd, Cr, Hg, Pb e As (Epstein & Bloom, 2006; Malavolta, 2006). Diversos trabalhos científicos têm demonstrado os teores gerais de metais em várias espécies de plantas, buscando, inclusive, estabelecer limites de tolerância ou normalidade para o conteúdo desses elementos no tecido vegetal (Anexo A).

O Anexo B apresenta os parâmetros de metais pesados tóxicos no solo de diversos países, inclusive do Brasil (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-Cetesb e Companhia de Saneamento do Paraná-Sanepar). De um modo geral, vê-se que o Cr e o Hg seriam os dois metais pesados tóxicos de maior fitotoxicidade potencial. O Ba, o Cr e o Pb seriam relativamente menos tóxicos. Nota-se, ainda, que as variações, no caso do Cd, em termos absolutos, vão de 0,4 mg kg<sup>-1</sup> a 4 mg kg<sup>-1</sup>, e no caso do Pb, vão de 17 mg kg<sup>-1</sup> a 450 mg kg<sup>-1</sup> (Malavolta & Moraes, 2006). O Anexo C mostra as adições máximas permitidas por hectare e por ano em diversos países e regiões.

Para o mercúrio, cuja fitotoxicidade é relativamente maior, a variação da adição é de 22 g ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Canadá) a 168 g ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Estados Unidos-Texas). Teores máximos permissíveis nos adubos não podem ser vistos simplesmente como tal, sendo necessário levar em conta as adições anuais e cumulativas no solo, o que é variável com os níveis de fertilidade e exigência das culturas.

No caso de presença de metais tóxicos em fertilizantes, a instrução normativa n° 27/2006, da Secretaria de Defesa Agropecuária, define que para os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e plantas daninhas. Este dispositivo legal estabelece também os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

No que se refere a lodos de esgoto, a resolução n° 375, do Conama, de 29 de agosto de 2006, define critérios e procedimentos, para seu uso agrícola, gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. A partir dessa data, portanto, os projetos e aplicações de lodo de esgoto precisam estar de acordo com os requisitos dessa legislação, sob pena de crime ambiental e sanções administrativas (Conama, 2006).

Uma vez que regras sejam respeitadas em relação às garantias dos benefícios na agricultura, como fertilizante ou condicionador de solo e a presença de contaminantes e teor de metais pesados sejam monitorados, o lodo de esgoto ou biossólido tem tido sua utilização permitida. Um monitoramento das áreas em que o lodo de esgoto será aplicado também tem sido uma exigência (Pires, 2006). Segundo esse mesmo autor, os estudos sobre os efeitos da aplicação de lodo de esgoto aos solos agrícolas nas condições edafo-climáticas brasileiras, em longo prazo, ainda são incipientes para servir como base para uma norma nacional. A normalização com base em resultados preliminares e normas de outros países, na falta de uma regulamentação mais apropriada, tem sido a única forma de prevenir graves reveses

ambientais.

No Brasil, conforme a Lei nº 6.938 de 1981, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) é o órgão com competência para estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais.

Não há nenhuma outra norma federal que estabeleça níveis de elementos potencialmente tóxicos em resíduos minerais para uso agrícola ou em fertilizantes. As empresas formuladoras de adubos argumentam que o uso desses resíduos se justifica pela dificuldade em adquirir matéria prima devido à escassez no mercado e ao custo elevado. Os pós de aciaria representam quase a totalidade da massa total de substâncias e, ou, elementos químicos passíveis de serem aproveitados dos materiais considerados como resíduos sólidos industriais. Em função disso, a Cetesb propôs um documento que procurava disciplinar o controle e fiscalização sobre a utilização de resíduos na formulação de micronutrientes (Cetesb, 1998).

Nos Estados Unidos da América (EUA), após muitos estudos, houve a liberação dos pós de aciaria, permitindo sua reciclagem e comercialização como fertilizantes, quando estudos comprovaram que esses materiais apresentavam concentrações de metais potencialmente tóxicos semelhantes e, muitas vezes, inferiores àquelas encontradas nos fertilizantes comerciais. A resolução da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, resultado de avaliações da disponibilidade de metais pesados, presentes em fertilizantes para algumas plantas cultivadas se referenciaram nos trabalhos de Mulla et al. (1980), Mortvedt (1985 e 1987), entre outros.

Foram estabelecidos limites de concentração de elementos potencialmente tóxicos em fertilizantes que contêm resíduos perigosos, que passaram a ser considerados a partir de 2003 (Anexo D, Usepa, 2002).

Os fatores propostos pelo Ministério Público do Estado de São Paulo, a partir de estudos deflagrados com base na tentativa da Cetesb de regulamentar o uso de pó de aciaria, são bem menos restritivos quanto aos níveis de metais em relação aos limites dos EUA. O Anexo E apresenta estes fatores, usados para calcular as concentrações desses metais no fertilizante formulado, utilizando o resíduo como matéria prima, e os limites nos fertilizantes que recebem materiais reciclados a partir de resíduos perigosos, de acordo com o documento do Ministério Público, em São Paulo, e com os limites estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental, nos EUA. No Anexo F são apresentados teores orientadores nos solos, publicados pela Cetesb (Casarini et al., 2001) e a partir destes teores foi calculada quantidade

de aplicações possíveis, para atingir o teor de alerta no solo, aplicando um pó de aciaria com teores normalmente verificados. Observa-se que um pó de aciaria contendo o teor máximo de Pb, poderia ser aplicado 468 vezes para que o solo atingisse o teor de alerta.

A Cetesb, através da Decisão de Diretoria nº 195, de 23 de novembro de 2005, dispôs sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. Com relação aos solos, alguns valores foram estabelecidos: O VRQ (Valor de Referência de Qualidade), O VP (Valor de Prevenção) e o VI (Valor de Intervenção).

O VRQ é a concentração de determinada substância no solo, que define um solo como é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos, devendo ser utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e de controle de áreas contaminadas. O VP é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos. Foi determinado para o solo com base em ensaios com receptores ecológicos. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida a nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder o monitoramento dos impactos decorrentes. O VI é a concentração de determinada substância no solo, acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário genérico de exposição.

Para o solo, foi calculado utilizando-se o procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição agrícola-área de proteção máxima - APM<sub>ax</sub>, residencial e industrial. O Anexo G mostra os valores extraídos do documento da Cetesb, referência para solos brasileiros, trazendo os valores extraídos desta proposta, mostrando os valores para os principais metais no solo.

A legislação mais recente é a Resolução Conama nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Esta resolução consolida as discussões propostas pela Cetesb através da Decisão de Diretoria nº 195, de 23 de novembro de 2005, corroborando os valores de referência de qualidade, prevenção e intervenção.

## 2.4 REFERÊNCIAS

ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Disponível em <[http://www.abetre.org.br/noticia\\_completa.asp?NOT\\_COD=373](http://www.abetre.org.br/noticia_completa.asp?NOT_COD=373)>. Acesso em: 29 Out. 2008.

ACCIOLY, A. M. A. **Pó de forno de siderurgia como fonte de micronutrientes e seu efeito no solo e na planta**. 1996.70p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1996.

ACCIOLY, A. M. A.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; FAQUIN, V. e GUEDES, G. A. A., . **Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e de contaminantes para plantas de milho**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p.1483-1491, 2000.

AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. Crescimento e acúmulo de cromo em alface cultivada em dois latossolos tratados com CrCl<sub>3</sub> e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 225-235, 2000.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORNSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 71-78, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - Classificação**. NBR-10.004. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

BAIRD, C. - Tradução Maria Angeles Lobo Recio; Luiz Carlos Marques Carrera. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman. 2002, 622 p.

BARRETO, M. C. V. **Degradação de carga orgânica de diferentes resíduos e seus respectivos efeitos em alguns atributos químicos e físicos do solo**. 1995, 106 p. Dissertação (Dissertação de Doutorado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 1995.

BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 205-212, 1989.

BERTON, R. S.; CAMARGO, A. O.; VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de biossólido a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 187-192, 1989.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25-36.

**BORGES, J. D. Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e do capim braquiarião [*Brachiaria brizantha* (HOCHST EX A. RICK) STAPF.] cultivar marandú em latossolo vermelho-amarelo**. Goiânia, 2003. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, p. 244. 2003.

BRANDÃO, A. S.; LOPES, M. R. Cadeia do tomate industrial no Brasil. In: VIEIRA, R. C. M.; TEIXEIRA FILHO, A. R.; OLIVEIRA, A. J.; LOPES, M. R. **Cadeias produtivas no Brasil: Análise da competitividade**, Brasília. Embrapa. Fundação Getúlio Vargas. 2001. 468 p.

CAMARGO, A. M. M. P. Desenvolvimento do sistema agroindustrial de tomate. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n. 6, p. 53-65, 2006.

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**. Brasília, v. 38, n. 11, 2003.

CASARINI, D. C. P.; DIAS, C. L.; LEMOS, M. M. G. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2001. 73 p. (Série Relatórios Ambientais).

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Resolução da Diretoria n. 195. (Documentos). São Paulo, 2005.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Resolução da Diretoria nº 028/98. Diário Oficial do Estado, 108 (97), 23 de maio de 1998, p. 30-31.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. NORMA P-4230 Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação: manual técnico, São Paulo, 1999. 33 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e água subterrâneas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2001. 232 p.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2009/2010. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4graos\\_07.01.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4graos_07.01.10.pdf)>. Acesso em: 2 Fev. 2010.

CONAB. O Mercado do Milho no Brasil. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/PR/AnalisedoMercadodoMilho2007-2008.pdf>> Acesso em 12 de Dezembro de 2009.

CONAB. Soja - Brasil: série histórica de área plantada: safras 1976/77 a 2009/10. Brasília, 2009. Disponível: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/SojaSerieHist.xls>>. Acesso em: 18 nov. 2009.

CONAMA. Resolução 375 de 29 de agosto de 2006. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; TECCHIO, M. A. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1209-1219, 2008.

CORREA, J. C.; BULL, L. T., CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M., PERES, M. G. M. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, 2008 .

COSTA, C. N.; CATILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C.; RODRIGUES, C. G. Efeito da adição de lodos de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e 90 absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 189-191, 2001.

COUTO, F. A. D. A. Adoção de novas tecnologias pelos agricultores da região do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7. 1989, Brasília. Estratégias de utilização: **anais**. 2. ed. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997.

COUTO, L.; RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. A Cultura do Milho Irrigado, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2003.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos cerrados, Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 46, n. 2, 2008.

DESIDÉRIO, M. Cerrado ao Meio. In: **Revista Cidades**. Ano IV, Ed. 42. Goiânia, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região Central do Brasil, 2003. Londrina, 2004. 239 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região Central do Brasil, 2001. Londrina, 2002. 199 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Embrapa Cerrados e a Região dos Cerrados**: informações básicas e dados estatísticos. Planaltina, DF, 1998. 24 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná**: safra 2000/2001. Londrina, 2000. 255 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Soja em números (safra 2008/2009)**. Disponível no sítio < <http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Sistemas de Produção**, 2ª Edição, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FELFILI, J. M.; SILVA JR., M. C. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu stricto, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. Capítulo 7. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério

do Meio Ambiente. 2005. pp. 143-154.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELLOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 22, n. 2, pp. 247-254 (25 ref.), 1998.

FERREIRA, A. S. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 755-763, 2003.

FERREIRA, M. Modelagem da dinâmica de paisagem do cerrado. 2009. 115 p. Tese (Doutorado em Geografia), IESA. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

FERREIRA, R. J. F. **A atuação do Polocentro e o desenvolvimento regional**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, v. 15, n. 5 e 6, p. 3-17, 1985.

FIORI, M. **Comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido**. 2006. 54 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias. Universidade de Marília – Unimar Dissertação de Mestrado. Marília-SP. 2006.

FONTES, R. R. Solo e nutrição da planta. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Organizadores). **Tomates para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Embrapa Hortaliças, 2000. p. 22-35.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. R. Fixação biológica de nitrogênio em soja. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 9-89.

IBGE. **Banco de dados agregados**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=839&z=p&o=23&i=P>> acesso em 20/12/2009.

INSTITUTO FNP. **Agrianual 2006**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2006. 504p.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrente da adição do lodo de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 257-265, 2002.

LANDERS, J. N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia : APDC, 1995. 261 p.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agrônômica e econômica da aplicação de bio-sólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1477-1484, 2006.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Estimativa da contribuição hídrica superficial do Cerrado

para as grandes regiões hidrográficas brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.

MACHADO, M. F. S.; FIGUEIREDO, R. F.; CORAUCCI-FILHO, B. Produção brasileira de lodos de esgotos. **Sanare**, Curitiba, v. 22, p. 66-74, 2004.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Sobre a sugestão dos metais pesados tóxicos em fertilizantes e sobre a Portaria 49 de 25/04/2005 da secretaria de defesa agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações Agronômicas**, nº 114 – Junho/2006. 10-14 p.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos. Piracicaba : ProduQuímica, 1994. 153 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MAPA -Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - **Intercâmbio comercial do Agronegócio: Principais mercados de destinos** edição 2009. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 06/01/2010.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, 2006.

MARQUES, M. Agricultura sustentável: pontos para reflexão. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 10, n. 2, p. 44-51, 2001.

MARTINES, A. M. Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo. 2005. 74 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, USP-ESALQ, Piracicaba-SP, 2005.

MELLO, L. M. M. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico. Ilha Solteira, 2001. 72 f. Tese (Livre Docência) – UNESP/Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2001.

MELLO, S. C., VITTI, G. C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 200-206, 2002.

MELO, P. C. T; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, 2005.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 109-141, 2000.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito

de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 449- 455, 1994.

MESQUITA, A. A. **Remediação de áreas contaminadas por metais pesados provenientes de lodo de esgoto**. 2002. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.

MORTVEDT, J. J. Cadmium levels in soils and plants from some long-term soil fertility experiments in the United States of America. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 6, p. 137-142, 1987.

MORTVEDT, J. J.; COX, F. R. Production, marketing and use of calcium, magnesium, and micronutrients fertilizers. In: OLSON, R. A.; ARMY, T. J.; HANWAY, J. J.; KILMER, T. J. (Ed.) **Fertilizer technology and use**. 3. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1984.

MULLA, D. J.; PAGE, A. L.; GANJE, T. J. Cadmium accumulations and bioavailability in soils from long-term phosphorus fertilization. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 9, p. 408-412, 1980.

MUZILLI, O. Cultura da soja: princípios e perspectivas de expansão. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981a. p.11-14. (Circular, 23).

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 385-392, 2004.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 505-519, 2002.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; VARGAS, M. A. T. Fixação do N<sub>2</sub> em leguminosas cultivadas em solos de cerrados. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 213-218.

PIRES, A. M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. Comunicado Técnico 20, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M., ROQUE, C. R.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 4, 2002.

PRIOLLI, R. H. G.; MENDES-JUNIOR, C. T.; SOUSA, S. M. B.; SOUSA, N. E. A.; CONTEL, E. P. B. Diversidade genética da soja entre períodos e entre programas de melhoramento no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 967-975, 2004.

QUEIROZ, C. C, PEREIRA, A. A. Ocupação do cerrado em Goiás IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 24. 1993. Goiânia. Cerrados: Fronteira Agrícola do Século XXI: Resumos, 1993.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J, A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico, Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REZENDE, G. C. Ocupação agrícola e estrutura agrária no Cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e da tecnologia. *Texto para discussão*, Rio de Janeiro, n. 913, 2002.

RODRIGUES, W. 2004. Avaliação econômica do uso de tecnologias agrícolas sustentáveis nos cerrados brasileiros – o caso do plantio direto. In CASTRO, Joana D’arc Bardella. (Org). **Ensaio sobre Economia Regional Goiana**. Anápolis: UEG, p. 105-126.

SANTOS, G. C. G. dos. Avaliação do pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e da contribuição nos teores de metais pesados em amostras de Latossolos Vermelhos. 2001. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agronômico. Campinas-SP, 2001.

SANTOS, G. C. G. Pó-de-aciara como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 257-266, 2002.

SANTOS, G. C. G.; ABREU, C. A.; CAMARGO, O. A.; ABREU, M. F. Pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, pp. 257-26, 2002.

SELBACH, P. A.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALLET, L. E. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. **Revista do Couro**, Porto Alegre, v. 4, p. 51-62, 1991.

SHIKI, S. Sistema agroalimentar nos cerrados brasileiros: caminhando para o Caos? In: SHIKI, S., GRAZIANO DA SILVA, J. ORTEGA, A. C. (org.) **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Uberlândia: EDUFU, 1997.p.135-167.

SILVA, B. V. B.; SOUZA, A. A.; SOUZA, A.; PLICAS, L. M. A. Análise de metais em solos cultivados com laranja e cana-de-açúcar das cidades de Mogi-Guaçu e Cedral - SP. **Sociedade Brasileira de Química (SBC)**. São Paulo. 2005.

SILVA, L. L O Papel do Estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.1 n.2, pp. 24-36, 2000.

SOUZA, E. R. B.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, I. P.; XIMENES, P. A.; CARNEIRO, M. F.; BARROS, R. G. Teores de metais tóxicos nas folhas de plantas de milho fertilizadas com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 117-122, 2005.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R. Principais pragas do tomate para mesa: bioecologia, dano e controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, p. 79-92, 2003.

TEIXEIRA, K. R. G.; GONÇALVES FILHO, L. A. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento da matéria seca do caupi. **Ciências Agrotecnicas**. Lavras, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, 2006.

TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D. E.; DWYER, L. M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G.A. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 4, p. 183-236.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 40 CFR Parts 261, 266, 268 and 271. Zinc Fertilizers Made From Recycled Hazardous Secondary Materials. Final Rules. Federal Register, v. 67, n. 142, p. 48393-48415. 2002.

PINAZZA, L.A (Coord.) - **Cadeia produtiva da soja**. Série Agronegócios. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. v. 2. Brasília, 2007. 116 p.

VIGANO, J. B. WILBERG, K. Q.; KAUTZMANN, R. M. LENZ, D. M. Recuperação de Zinco do Pó de Exaustão de Indústria Siderúrgica em Meio Alcalino - **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 437 - 444, 2004.

WWF. **De grão em grão o Cerrado perde espaço. Cerrado – Impactos do processo de ocupação**. Brasília: WWF. (1995). WWW. Bioma cerrado. Disponível: <[http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes\\_ambientais/biomas/bioma\\_cerrado](http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/biomas/bioma_cerrado)> Acesso em 19/10/2009.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; DA CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. **Revista Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 549-557, 2003.

ZANELLA, M. Búfalos na Soja. In: **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 9 n. 97, 2007, p. 24-26.

### **3 EFEITO DO PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA EM SOJA E MILHO CULTIVADOS EM ROTAÇÃO, EM DIFERENTES NÍVEIS DE CALAGEM**

#### **RESUMO**

A região dos cerrados assumiu uma importância estratégica para o desenvolvimento das culturas do milho e da soja no Brasil, a despeito de apresentar problemas de solos ácidos e deficiência de Zn, comuns na maioria dos solos. Na maioria das vezes, os produtores da região não levam em consideração, por ocasião da realização da adubação, a elevada extração de nutrientes relacionada nestes cultivos levando ao emprego de dosagens subótimas de adubação de plantio e de cobertura, ocasionando um menor desempenho nas lavouras, além de não proporcionarem a reposição adequada de nutrientes extraídos do solo. O uso de resíduos industriais tem apresentado potencial de uso agrícola, sob cuidadosos critérios de utilização, visando a não contaminação ambiental. Nesta pesquisa, objetivou-se avaliar o efeito do pó de aciaria elétrica (PAE) oriundo da indústria siderúrgica como fonte de micronutrientes nas culturas do milho e soja em diferentes níveis de calagem em dois ensaios instalados na área experimental da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia, GO. Os resíduos do pó de aciaria foram diluídos formando um produto com composição semelhante às fritas comerciais, sendo 11,8% de Zn, 17,6% de Fe; 1,8% de B; 0,6% de Cu; 0,1% de Mn e 0,1% de Mo. As doses de aplicação de PAE foram: P0 - 0 kg ha<sup>-1</sup>; P1 - 25 kg ha<sup>-1</sup>; P2 - 50 kg ha<sup>-1</sup> e P3 - 100 kg ha<sup>-1</sup>. As doses de calcário utilizadas objetivaram elevar a V% = 60 e foram: C0 - sem aplicação de calcário; C1 - 0,77 t ha<sup>-1</sup> (metade da dose recomendada); C2 - 1,55 t ha<sup>-1</sup> (dose recomendada) e C3 - 3,10 t ha<sup>-1</sup> (o dobro da dose recomendada). Os resultados mostram que não houve aumentos expressivos dos teores de metais tóxicos com o uso do fertilizante PAE nas folhas das plantas cultivadas e no solo e que, em rotação, é mais indicando aplicar o PAE na cultura da soja e esperar seus efeitos residuais na cultura do milho. O monitoramento do efeito residual de produtos de baixa solubilidade, como calcário e PAE, são necessários para avaliar a sua eficiência agrônômica.

*Palavras-chave:* resíduos industriais, *Glycine max* (L.) Merrill, *Zea mays* (L.)

#### **ABSTRACT**

### **EFFECT OF STEELMAKING DUST IN CORN AND SOYBEAN CULTIVATED IN ROTATION WITH DIFFERENT LEVELS OF LIMING**

The Brazilian savannah became a strategic importance for the development of corn and soybeans in Brazil, despite the present problems of acid soils and Zn deficiency, common in most soils. In most cases, the region's farmers do not take into consideration during the fertilization process, the high nutrient uptake in these related crops leading to suboptimal use of doses of fertilizer and planting cover causing a lower performance in the field, beyond of not providing the adequate replacement of nutrients from soil. The use of

industrial wastes has shown potential for agricultural use, under careful criteria used to avoiding the environmental contamination. This study aimed to evaluate the effect of the electric arc furnace dust coming from the steel industry as a source of boron in corn and soybean at different levels of lime in two experiments carried out on the farm campus experiences of Federal University Goiás in Goiania, GO. The residues of steelmaking dust were diluted to form a product with similar composition to commercial fritted trace elements (FTE): 11.8% Zn, 17.6% Fe, 1.8% B, 0.6% Cu, 0.1 % Mn and 0.1% Mo. Application rates of the tested product were: P0 - 0 kg/ha; P1 - 25 kg ha<sup>-1</sup>; P2 - 50 kg ha<sup>-1</sup> e P3 - 100 kg ha<sup>-1</sup>. The limestone used aimed to raise the V = 60% and were: C0 - without lime application; C1 - 0.77 t ha<sup>-1</sup> (0.5 recommended dose), C2 - 1.55 t ha<sup>-1</sup> (the rate), and C3 - 3.10 t ha<sup>-1</sup> (2x the recommended dose). The results show no significant increases in the levels of toxic metals in fertilizer use the tested product in leaves and soil and, in rotation, it is more reasonable to apply it in soybean and its residual effects expected in maize. The monitoring of residual products of low solubility such as limestone and the steelmaking dust are necessary to evaluate its agronomic efficiency.

*Key words:* Industrial waste, *Glycine max* (L.) Merril, *Zea mays* (L.)

### 3.1 INTRODUÇÃO

A região dos cerrados assumiu, ao longo das últimas décadas, importância estratégica para o desenvolvimento das culturas do milho e da soja no Brasil. Sua contribuição para a produção nacional é crescente e determinante para a posição alcançada no cenário internacional.

Segundo o IBGE (2010), o Brasil obteve 133,8 milhões de toneladas de grãos em 2009. O Estado de Goiás é o 4º produtor de grãos no país com 9,9 % deste total, atrás do Mato Grosso (21,1 %), Paraná (18,2 %) e Rio Grande do Sul (16,7%). O destaque do Estado no cenário nacional não é só consequência dos volumes de soja e milho que produz, mas também das altas produtividades e a infra-estrutura para armazenamento desses grãos. Isto foi possível devido à agricultura comercial centrada em moldes empresariais, com a utilização de tecnologia moderna. Entretanto, dentre os principais problemas para a produção de grãos de soja e milho na região de Cerrado, estão a utilização de dosagens mal dimensionadas de adubação, especialmente micronutrientes e a ausência da calagem.

A questão do uso de resíduos na agricultura tem sido largamente discutida como parte da resposta à necessidade de reaproveitamento de subprodutos de várias origens gerados em grande escala pela sociedade, mas gera grandes preocupações econômicas e ambientais, principalmente no que diz respeito ao acúmulo de metais tóxicos no solo. Todavia, se os solos já possuem alto teor destes metais pesados que os tornam impeditivos para produção de alimentos, é possível a adoção de técnicas de manejo de modo a torná-los

menos disponíveis para as plantas. Entre as técnicas que se pode utilizar estão as calagens, as adições de uma fonte de matéria orgânicas, as técnicas de manejo que aumentem o grau de aeração do solo e a inversão das camadas do solo. No que se refere a calagem, estudos mostram que na medida em que o pH se eleva, precipitam-se na superfície dos óxidos, formando uma nova camada de polímeros, tornando-se indisponíveis para os vegetais. Albasel & Cottenie (1985) verificaram que a calagem diminuiu sensivelmente a disponibilidade de Fe, Cu, Zn, Mn, Pb e Ni.

Vários países já possuem leis regulamentando o uso de resíduos em solos agrícolas, considerando níveis críticos de metais pesados no solo e nos resíduos. No Brasil, as atenções estão muito voltadas para a utilização de lodos de esgotos provenientes de estação de tratamento de efluentes (ETE), lodos de curtume e outros resíduos empregados há mais tempo, como a vinhaça. Um exemplo disso é a resolução n° 375 do Conama (2006) e a norma P 4.230 da Cetesb (1999) para o estado de São Paulo, que regulamentam o uso de lodo de esgoto na agricultura. A partir destes dispositivos legais, as discussões e estudos sobre a regulamentação do uso de outros resíduos ou subprodutos têm se acentuado entre pesquisadores, grupos de estudos, comissões governamentais, técnicos e poder público com vistas a promover marcos regulatórios para o setor.

O pó de aciaria elétrica (PAE) é um resíduo gerado em indústrias siderúrgicas composto por diferentes óxidos metálicos, entre eles o Zn, Cr, Pb e Cd e tem sido testado por diversos pesquisadores para correção do solo e para fornecimento de micronutrientes para o solo (Accioly et al., 2000; Santos, 2002; Prado et al., 2002; Prado & Natale, 2004). Esta prática tem carecido de estudos mais aprofundados, uma vez que a absorção de metais tóxicos, essenciais às plantas ou não, é uma das principais rotas de entrada na cadeia alimentar (Jones & Jarvis, 1981). Os metais podem interagir entre si ou com outros elementos, interferindo na absorção e utilização pelas plantas. As interações, normalmente, ocorrem entre os íons que apresentam propriedades químicas semelhantes e competem, assim, pelos sítios ativos de adsorção, absorção, transporte e funções ativas da célula vegetal (Bataglia, 1988). Malavolta (1994) cita que o transporte radial dos metais tóxicos na raiz inicia a partir da epiderme, parênquima cortical, endoderme e cilindro central. Nestes percursos, o elemento desloca pelas paredes celulares e espaços intercelulares, o apoplasto; pode, também, passar de uma célula para outra, via protoplasma e seus prolongamentos.

No xilema, o metal tóxico pode ser encontrado na forma iônica, complexado ou quelatizado. É preciso, portanto, conhecer bem a redistribuição do elemento na planta a ser cultivada, que deve ter capacidade limitada de absorver e transportar metal pesado para a

parte comestível para homens e animais, visando a cadeia alimentar.

O dinamismo da atividade agropecuária é consequência da introdução, pela pesquisa, de novos procedimentos e ações que visam propiciar maior competitividade ao agronegócio sustentável, tanto do ponto vista econômico como importante gerador de divisas, mas, sobretudo do ponto de vista ambiental, como altamente comprometedor da vida.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do pó de aciaria elétrica (PAE) da indústria de siderurgia como fonte de micronutriente em atributos químicos do solo cultivado com milho e soja em rotação em diferentes níveis de calagem.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Instalação do experimento

O trabalho foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, em Goiânia-GO, em duas áreas contíguas, alternando-se a as áreas para o cultivo de milho e soja anualmente, sendo o esquema de rotação soja-milho-soja em uma área e milho-soja-milho em outra.

Os ensaios foram conduzidos em condições de campo, num Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa (Tabela 3.1), em três anos seguidos, compreendendo três cultivos de verão, no período de 2002 a 2005, perfazendo 36 meses ao todo.

**Tabela 3.1.** Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm antes da instalação do experimento (junho de 2002). Goiânia, GO.

Argila(dag dm <sup>3</sup> )	51,00	V (%)	28,83
M.O.( dag cm <sup>3</sup> )	2,00	Cu (mg dm <sup>3</sup> )	6,00
pH (água)	5,60	Fe (mg dm <sup>3</sup> )	39,00
P(Mel) (mg dm <sup>3</sup> )	2,00	Mn (mg dm <sup>3</sup> )	23,00
K (cmolc L <sup>-1</sup> )	96,00	Zn (mg dm <sup>3</sup> )	2,00
Ca (cmolc L <sup>-1</sup> )	1,40	Cr (mg dm <sup>3</sup> )	0,25
MG (cmolc L <sup>-1</sup> )	0,35	Cd (mg dm <sup>3</sup> )	0,10
CTC (cmolc L <sup>-1</sup> )	7,00	Pb (mg dm <sup>3</sup> )	4,00

Cada unidade experimental apresentou uma área total de 25,2 m<sup>2</sup> (6,3m x 4,0 m), com sete linhas de quatro metros de comprimento espaçadas de 0,9 m (milho) e com catorze

linhas de quatro metros de comprimento espaçadas de 0,45 m (soja). Para fins de avaliação do experimento, foi considerada uma área útil central de 10,8 m<sup>2</sup> (quatro linhas de 3 m de comprimento de milho e oito linhas de 3 m de comprimento de soja).

O calcário foi aplicado vinte dias antes da aplicação do pó de aciaria elétrica (PAE), o qual, por sua vez, foi depositado na linha de plantio, na forma granulada, junto à adubação com Superfosfato Simples, Uréia e Cloreto de Potássio. As doses de macronutrientes foram determinadas de acordo com os resultados da análise química do solo, sendo que a adubação potássica foi realizada parte na semeadura (40%) e o restante em cobertura (25 a 30 dias após a semeadura).

A semeadura foi realizado sete dias após a aplicação do pó de aciaria, utilizando sementes da cultivar Doko RC (soja) e Agroceres (milho). As sementes de soja receberam adição de inoculantes.

### 3.2.2 Tratamentos

O pó de aciaria elétrica (PAE) utilizado foi oriundo da indústria Belgo Mineira, disponibilizado como um “blend” granulado com a seguinte composição: 11,8% de Zn; 1,8% de B; 0,6% de Cu; 17,6% de Fe; 0,1% de Mn; 0,1% de Mo. Além dos nutrientes, o material apresentou 1,30 % de Pb, 0,22 % de Cr e 0,080 % de Cd (Tabela 3.2)

As doses de aplicação do PAE foram P0 - 0 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P1 - 25 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P2 - 50 kg ha<sup>-1</sup> de PAE e P3 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de PAE. As doses de calcário utilizadas foram C0 - sem aplicação de calcário; C1 - metade da dose recomendada para elevar V% = 60 (0,77 t ha<sup>-1</sup>); C2 - dose recomendada para elevar V% = 60 (1,55 t ha<sup>-1</sup>) e C3 - dobro da dose recomendada para elevar V% = 60 (3,10 t ha<sup>-1</sup>).

Os tratamentos só foram aplicados no primeiro ano. Nos segundo e terceiro anos foram avaliados os efeitos residuais. O calcário empregado foi um dolomítico calcinado (marca comercial Minercal) com PRNT de 140%.

**Tabela 3.2.** Caracterização dos teores de nutrientes e de metais pesados nas doses do pó de aciaria elétrica (PAE) empregados nos ensaios com milho e soja. Goiânia, GO.

Tratamento	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	kg ha <sup>-1</sup>								
		Cr	Cd	Pb	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
PAE 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAE 1	25	0,06	0,02	0,33	0,45	0,15	4,4	0,45	0,025	2,95
PAE 2	50	0,11	0,04	0,65	0,90	0,30	8,8	0,95	0,050	5,90
PAE 3	100	0,22	0,08	1,30	1,80	0,60	17,6	1,89	0,100	11,8
		mg dm <sup>-3</sup>								
PAE 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAE 1	12,5	0,03	0,01	0,17	0,23	0,08	2,2	0,23	0,013	1,48
PAE 2	25,0	0,06	0,02	0,33	0,45	0,15	4,4	0,45	0,025	2,95
PAE 3	50,0	0,11	0,04	0,65	0,90	0,30	8,8	0,95	0,050	5,90

### 3.2.3 Características avaliadas

• **Produtividade de grãos:** em todos os cultivos os grãos colhidos na área útil tiveram a umidade corrigida a 13 % (Fator de Correção = Umidade Inicial - Umidade Final \* 100/ Umidade Final) e posteriormente foi calculado a produtividade de grãos por hectare. A produtividade foi transformada em produtividade relativa (PR), empregando-se a equação 1.

$$PR = (\text{Produção das doses do PAE} / \text{Produção da dose zero do PAE}) * 100 \quad (1)$$

• **Análise foliar:** em todos os cultivos, foram coletadas amostras de folhas de milho e soja, na fase de florescimento. Na cultura do milho foram coletadas vinte folhas por parcela, inseridas abaixo e opostas à espiga. As folhas de soja foram coletadas no estágio R2 (pleno florescimento) retirando-se o terceiro trifólio a partir do ápice, sendo 120 folhas por parcela. As amostras de folhas, após a lavagem, secagem e trituração, foram digeridas em bloco digestor conforme metodologia de Malavolta et al. (1992) e, posteriormente, analisadas para as variáveis Cu, Fe, Mn e Zn, conforme Bataglia et al. (1988). Os teores de Pb, Cd e Cr foram determinados por espectrometria de absorção atômica com nível de detecção de até 0,009 mg L<sup>-1</sup> para Cd; 0,05 mg L<sup>-1</sup> para Cromo e 0,06 mg L<sup>-1</sup> para Pb. Os teores de micronutrientes foram transformados em teores de metais relativos nas folhas (TMRf),

empregando-se a equação 2:

$$\text{TMRf} = (\text{Teor das doses do PAE} / \text{teor na dose zero de PAE}) * 100 \quad (2)$$

• **Análise química do solo:** a coleta de amostra do solo ocorreu na fase de florescimento da cultura, ao mesmo tempo da coleta de folhas. Efetuou-se uma coleta de amostra de solo em cada parcela de 0 cm a 20 cm de profundidade. Nos anos subsequentes foi mantido o mesmo esquema de amostragem de solo descrito anteriormente. Os teores de micronutrientes e dos metais Cr, Cd e Pb fitodisponíveis foram determinados pelo Mehlich 1. Foram coletadas dez amostras simples de solo por parcela, nas diferentes profundidades, as quais, após a homogeneização e quarteação, foram analisadas no Laboratório Análise de Solos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG, conforme metodologia proposta pela Embrapa (1999). Os teores de metais no solo foram transformados em teores de metais relativos (TMRs), empregando-se a equação 3.

$$\text{TMRs} = (\text{Teor das doses do PAE} / \text{teor na dose zero de PAE}) * 100 \quad (3)$$

### 3.2.4 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições, sendo quatro doses de PAE e quatro doses de calcário, totalizando 64 unidades experimentais.

Os efeitos dos tratamentos na produção de grãos e nos teores foliares foram avaliados pela análise de variância, sendo ajustados em análise de regressão polinomial do segundo grau.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Produtividade

A produção de grãos na cultura do milho e da soja são apresentados na Tabela 3.3. Não houve efeito do pó de aciaria elétrica (PAE) e das doses de calcário na produção de grãos de milho e soja, exceto uma pequena variação para as doses de calcário no terceiro cultivo de milho. O resultado tardio parece confirmar as observações de Kondorfer et al. (1995), os quais afirmam que a aplicação de micronutrientes feita com produtos de baixa

solubilidade deve ser preventiva, esperando um maior efeito residual. Estes resultados indicam baixa solubilidade do calcário e do PAE aplicados.

**Tabela 3.3.** Teste F e produção de grãos de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) em rotação submetidas a diferentes doses de calcário e do pó de aciaria elétrica (PAE) com análise de variância. Goiânia-GO.

Fonte de Variação <sup>(1)</sup>	Ciclo rotativo área A			Ciclo rotativo área B		
	Milho (1A)	Soja (2A)	Milho (3A)	Soja (1B)	Milho (2B)	Soja (3B)
Teste F PAE	0,21	1,61	0,56	2,04	1,97	0,23
Teste F Cal	0,57	0,61	2,04	1,39	2,99*	0,49
Int. PAE x Cal	1,33	1,42	0,30	0,82	0,33	0,63
Produção média (kg ha <sup>-1</sup> )	6.349,33	2.856,38	7.304,28	2.688,54	6.400,29	2.833,21

(1) \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade. Não indicado, não significativo.

As produtividades de milho foram maiores no segundo cultivo após a calagem (7.304,28 kg ha<sup>-1</sup>) e foram superiores às obtidas no primeiro ciclo de rotação (6.349,33 kg ha<sup>-1</sup>), provavelmente em função dos efeitos da correção da acidez do solo. No caso da soja, os resultados inferiores do segundo ano de cultivo (2.688,54 kg ha<sup>-1</sup>), esperados como maiores em função da calagem realizada no ano anterior, estão possivelmente relacionados a condições climáticas desfavoráveis no mês de janeiro de 2004, quando houve excesso de chuvas no local do experimento. Nesse mês, segundo os relatórios meteorológicos da Estação Evaporimétrica da UFG (não publicados) choveu 373 mm, isto é, 45,3 mm a mais que em janeiro de 2003 e 111,2 mm que no mesmo mês do ano seguinte. Este excesso de chuvas possivelmente potencializou a incidência de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na fase de enchimentos das vagens.

De qualquer forma, as produtividades, tanto de milho quanto de soja foram satisfatórias para as condições estudadas. A diminuição da produtividade da soja no segundo cultivo, por ser cultura exigente em Mn, pode estar relacionada à indisponibilização deste nutriente em função dos altos teores de umidade no período de cultivo. Lopes (1998) afirma que este fator afeta a disponibilidade de Mn em função da diminuição da atividade biológica no solo e elevação do pH no mesmo período, evidenciando uma estreita relação entre a concentração de Mn e as condições de alcalinidade do solo.

Esta situação não se refletiu no milho, cultura mais tolerante à deficiência ou indisponibilidade de Mn. No terceiro cultivo de milho, as produções de grãos foram maiores

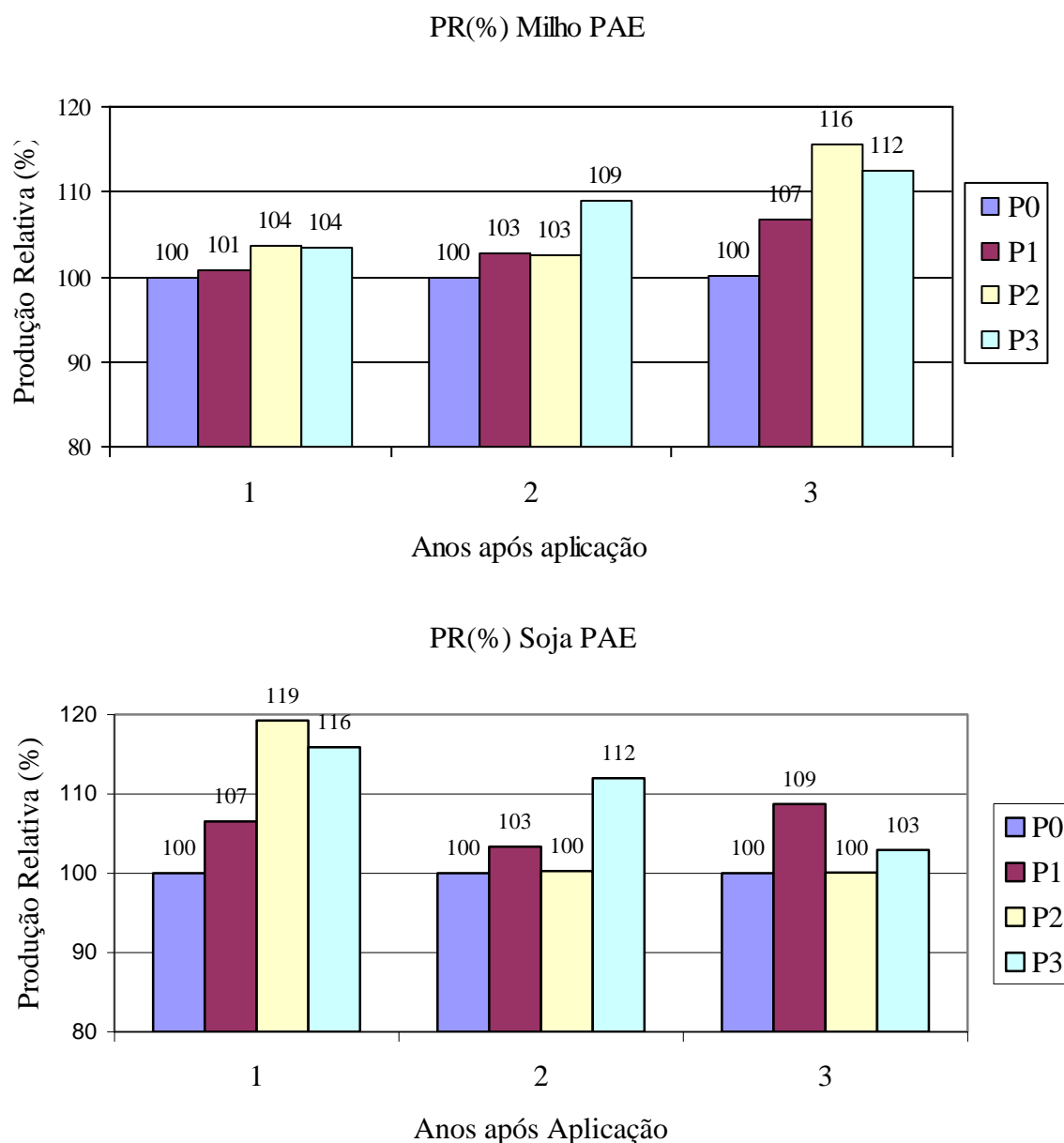
se comparadas aos primeiros resultados, tanto para o PAE quanto para o calcário. Lopes & Guilherme (1990) afirmam que em altas precipitações pluviais, as fontes não solúveis em água, como óxidos inorgânicos, silicatos e fritas (FTE) podem ser mais eficientes na adição de micronutrientes ao solo, principalmente quando utilizadas na forma de pó. Esta observação parece corroborar as melhores respostas da cultura do milho ao Zn, uma vez que se trata de uma cultura responsiva à sua aplicação (Lopes, 1998).

No caso da cultura da soja, a produção voltou aos níveis do primeiro cultivo, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos empregados.

Os dados indicam que o efeito residual, após três anos de aplicação, não foi expressivo, mesmo o PAE sendo um produto de baixa solubilidade. Apesar do tempo em reação no solo parecer razoável para a solubilização, há necessidade de novas aplicações após três anos de cultivo. Alguns trabalhos envolvendo pó de aciaria, em vasos, em casa de vegetação, encontraram resultados significativos em menor tempo para solubilização do resíduo: três meses (Santos, 2002) e três a nove meses de incubação (Prado et al., 2004).

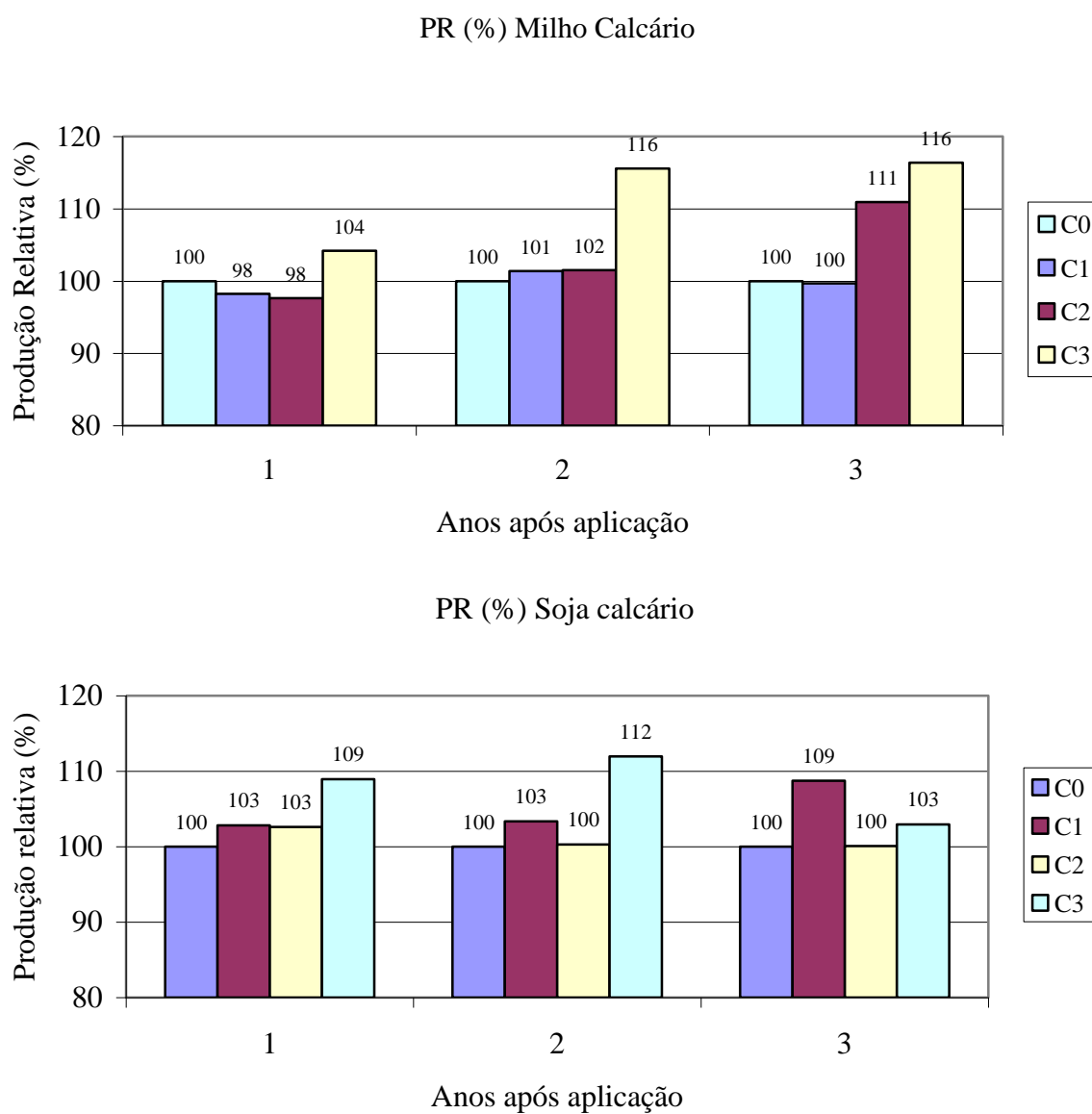
Na Figura 3.1 são apresentados os efeitos dos tratamentos na produção relativa (%) em função dos três anos de cultivo de milho e soja em relação ao PAE. A maior resposta na produtividade do milho em relação à testemunha foi obtida no terceiro ano após a aplicação do PAE, em torno de 16% de incremento na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup>. A maior resposta na produtividade da soja em relação à testemunha foi obtida no primeiro ano de aplicação do PAE com incremento de 19% .

Os efeitos dos tratamentos na produção relativa (%) em função dos três anos de cultivo de milho e soja em relação ao calcário são apresentados na Figura 3.2. É possível observar que as maiores produtividades em função da calagem foram obtidas no segundo e terceiro ano de cultivo na cultura do milho e a maior dose proporcionou incrementos de 16% na produção. Respostas semelhantes de milho com relação à calagem em solos ácidos foram observadas por Fageria & Stone (1999) e Caires et al. (2000), onde respostas acentuadas à correção de acidez promoveram aumento significativo de produtividade.

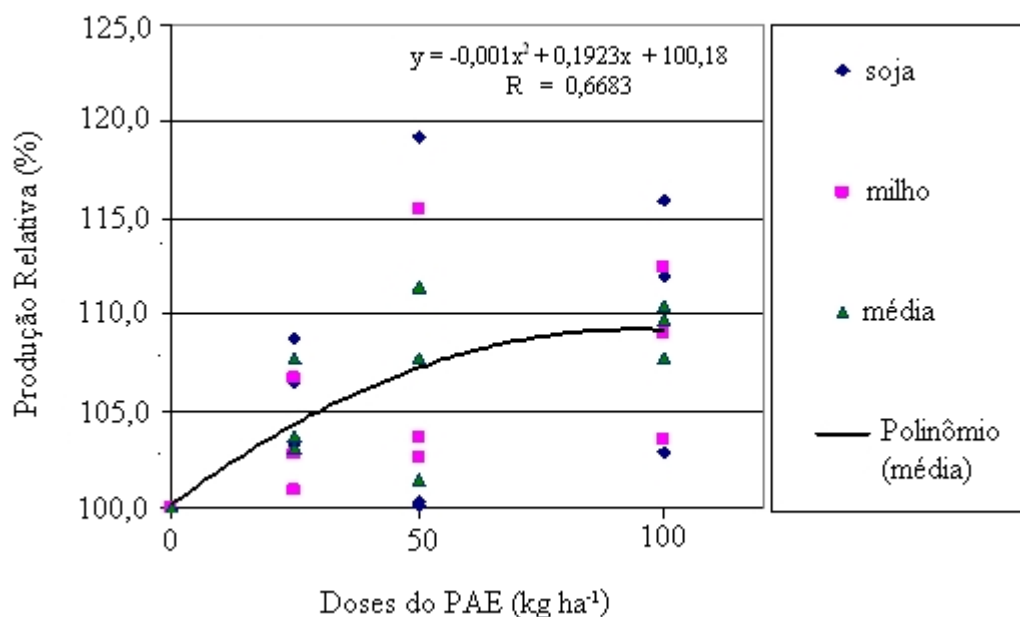


**Figura 3.1.** Produção relativa de grãos de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) (%) em função das doses de pó de aciaria. As doses de aplicação foram: P0 - 0 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P1 - 25 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P2 - 50 kg ha<sup>-1</sup> de PAE e P3 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de PAE. Goiânia, GO.

No caso da soja, o maior incremento foi de 12% na maior dose de calcário no segundo cultivo. Porém no terceiro ano houve diminuição dos incrementos na dose C3 (indicativo de excesso de calagem). Considerando-se o efeito conjunto das culturas em todos os cultivos (Figura 3.3.) verifica-se que as doses de PAE aumentaram a produtividade das culturas até a dose de 96,12 kg ha<sup>-1</sup>. O comportamento foi relacionado por um polinômio do 2º grau com  $r^2 = 0,66$ .



**Figura 3.2.** Produção relativa de grãos de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) (%) em função das doses de calcário. As doses de calcário foram: C0 – 0,0 t ha<sup>-1</sup>; C1 – 0,77 t ha<sup>-1</sup> e C2 – 1,55 t ha<sup>-1</sup> e C3 – 3,10 t ha<sup>-1</sup>. Goiânia, GO.



**Figura 3.3.** Produção relativa de grãos de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) (%) em função das doses de Pó de Aciaria. As doses de aplicação foram: P0 - 0 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P1 - 25 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P2 - 50 kg ha<sup>-1</sup> de PAE e P3 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de PAE. Goiânia, GO.

### 3.3.2. Teores foliares de micronutrientes e metais

A Tabela 3.4. evidencia os teores foliares para os três anos de cultivo para milho e soja, onde são apresentadas as médias em relação aos tratamentos empregados. No primeiro cultivo, verifica-se que, para o milho, com exceção do Ca, Cu e Zn, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Para a soja, nota-se diferença significativa somente nas variáveis Zn e Mn. No segundo cultivo, verifica-se que, com exceção do Zn para as diferentes doses de calcário, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para o milho. Neste mesmo período, a cultura da soja obteve respostas significativas apenas para as variáveis Fe e Mn, para os efeitos de calcário. Comparando-se os teores de nutrientes com níveis críticos de interpretação proposta por Malavolta et al. (1997) verificou-se que as variáveis Ca, Mg, Fe, Mn e Zn enquadram-se em níveis adequados independentemente do tratamento. No terceiro cultivo de milho, os dados indicam que as variáveis Mg, Cu, Fe, Mn e Zn não mostraram diferenças significativa em função dos tratamentos. Verifica-se que não houve efeito significativo do teste F para todas as variáveis na interação PAE x calagem.

Na cultura da soja, no terceiro cultivo rotativo houve efeito significativo do teste F para as variáveis Cu, Ca, e Mn. Não houve diferenças significativas pelo teste F para a interação calagem x PAE. Nota-se que não houve diferença significativa entre os

tratamentos quanto às doses de calcário aplicadas no primeiro ano. Esses resultados são consequência da baixa solubilidade do mesmo. A análise foliar da soja demonstrou que o teor nutricional dos micronutrientes fornecidos pelo PAE já se encontravam em níveis satisfatórios, explicando a baixa resposta do adubo na produção.

**Tabela 3.4.** Teores de Ca, Mg, micronutrientes e metais tóxicos nas folhas de milho (*Zea mays*) em rotação com soja (*Glycine max*) em rotação submetidas a diferentes doses de calcário com análise de variância. Goiânia-GO.

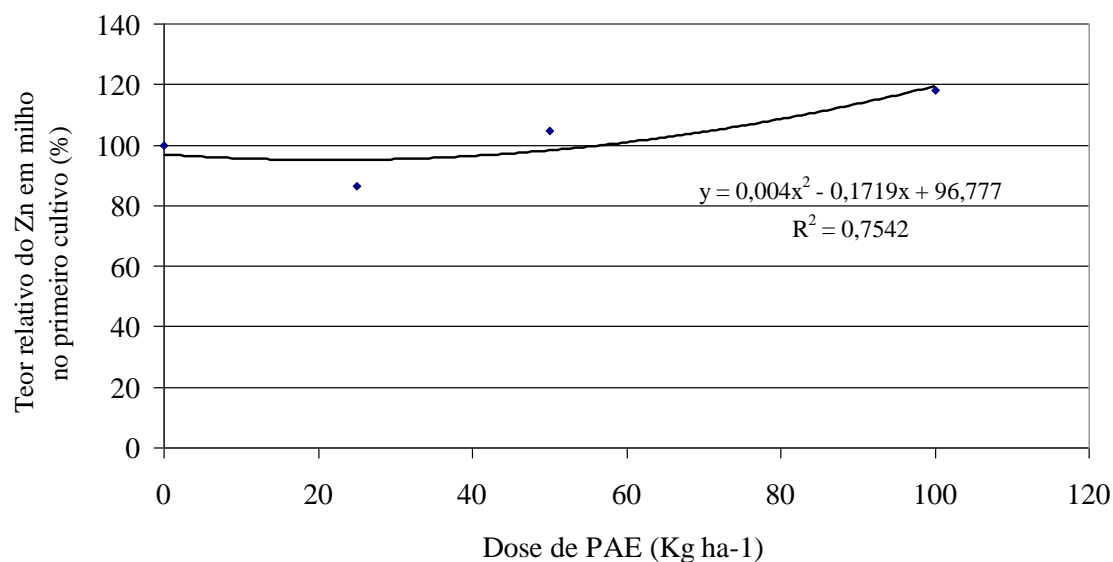
Fonte de variação	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Cr	Cd
	-- dag kg <sup>-1</sup> ---		----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
Milho 1A (med)	0,52	0,17	6,71	566,25	36,75	22,28	Nd	Nd	Nd
Teste F (PAE)	0,90	0,06	0,81	0,51	1,41	4,43**	-	-	-
Teste F (Cal)	2,09*	0,54	4,14 **	1,73	0,16	0,13	-	-	-
Int. PAE x Cal	1,20	0,22	1,12	0,91	0,99	1,33	-	-	-
Soja 2A (med)	1,22	0,36	4,78	433,88	31,50	28,63	Nd	Nd	Nd
Teste F (PAE)	1,25	0,46	0,55	0,57	0,05	1,22	-	-	-
Teste F (Cal)	1,57	0,26	0,62	0,62	4,47*	4,23*	-	-	-
Int. PAE x Cal	0,26	0,57	1,55	1,57	0,95	0,75	-	-	-
Milho 3A (med)	0,76	0,26	5,63	295,63	45,65	23,49	Nd	Nd	Nd
Teste F (PAE)	0,25	0,32	0,42	0,16	0,48	0,25	-	-	-
Teste F (Cal)	3,30	2,67	2,03	1,95	1,94	4,11*	-	-	-
Int. PAE x Cal	0,46	0,11	1,68	0,15	0,63	0,16	-	-	-
Soja 1B (med)	1,12	0,44	20,54	124,85	58,82	21,98	Nd	Nd	Nd
Teste F (PAE)	0,22	1,33	0,69	0,55	1,36	0,43	-	-	-
Teste F (Cal)	0,50	1,35	0,96	2,83*	5,75**	2,91	-	-	-
Int. PAE x Cal	1,44	0,83	0,95	0,22	1,78	0,89	-	-	-
Milho 2B (med)	0,42	0,16	12,18	496,50	55,77	22,33	6,96	7,89	3,44
Teste F (PAE)	2,67*	0,21	0,45	0,33	0,29	0,29	0,26	0,55	1,66
Teste F (Cal)	5,77**	1,81	1,09	0,91	3,22	0,40	1,63	0,24	0,35
Int. PAE x Cal	0,42	0,76	0,49	0,71	0,55	1,24	0,31	1,11	0,44
Soja 3B (med)	0,83	0,37	8,04	243,70	108,38	22,76	5,63	6,17	0,33
Teste F (PAE)	2,48 **	1,51	2,17**	1,82	0,91	0,40	2,21	1,81	1,44
Teste F (Cal)	5,43 **	0,35	1,68	2,15	3,21**	1,52	1,01	1,22	1,75
Int. PAE x Cal	1,38	0,54	1,74	0,33	1,09	1,82	0,53	0,68	0,28

Obs: \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade, Não indicado, não significativo. Nd- Não detectado.

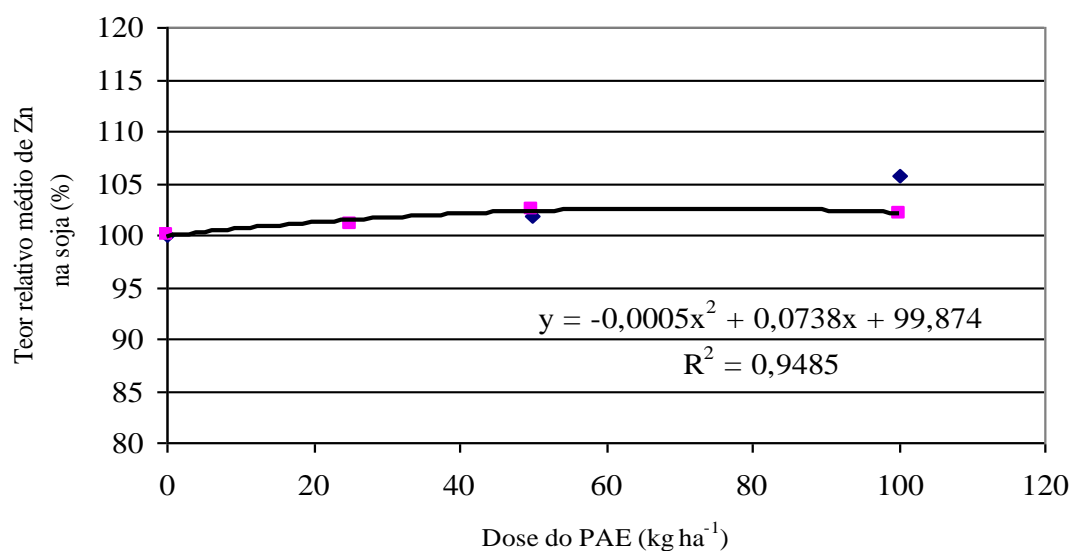
Para a cultura do milho, o único elemento com resposta significativa para os efeitos de PAE foi o Zn, no primeiro cultivo e do Ca no terceiro cultivo em rotação. A maior dosagem aumentou o teor relativo de Zn em relação à testemunha (Figura 3.4). Nenhum efeito de calcário e PAE foi observado para a concentração de Mg em ambas as culturas e em todos os cultivos a interação entre os tratamentos não foi significativa.

Na cultura da soja, embora os resultados encontrados não tenham sido estatisticamente significativos, foi possível detectar a partir do teor médio dos três cultivos, uma tendência de incremento de Zn a partir de 50 kg ha<sup>-1</sup>. A curva sugere uma dose ideal de

73,8 kg ha<sup>-1</sup> de Pó de aciaria (Figura 3.5).



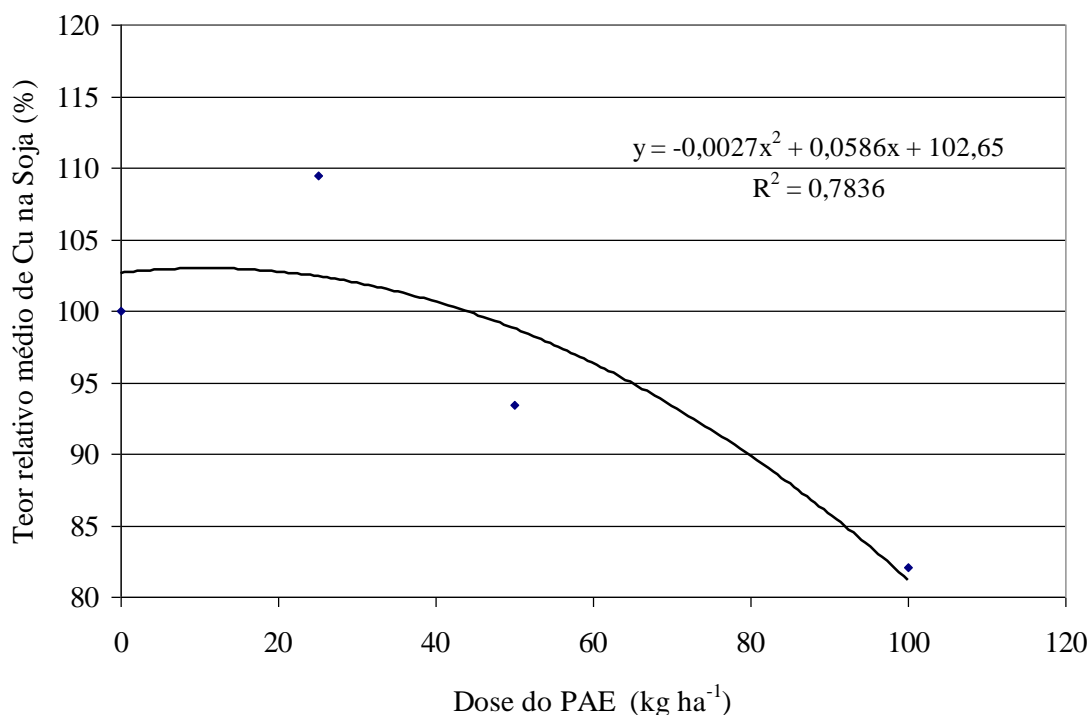
**Figura 3.4.** Teor relativo de Zinco na cultura do milho em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.



**Figura 3.5.** Teor médio foliar de Zinco na soja em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.

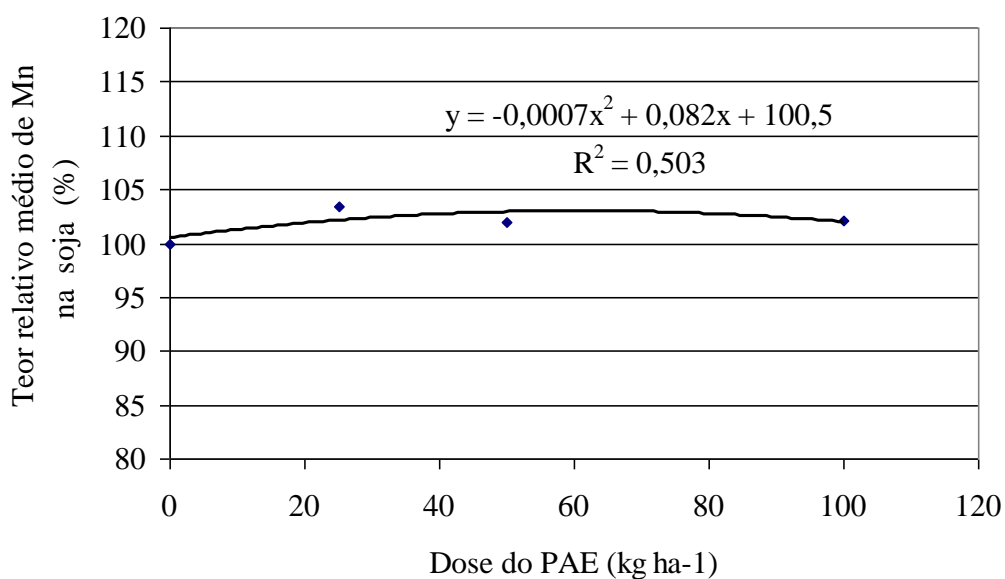
Os teores foliares médios de Cu para a cultura da soja mostraram acentuada

queda com o aumento da dosagem de PAE, como mostra a Figura 3.6.



**Figura 3.6.** Teor médio foliar de Cobre na soja em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.

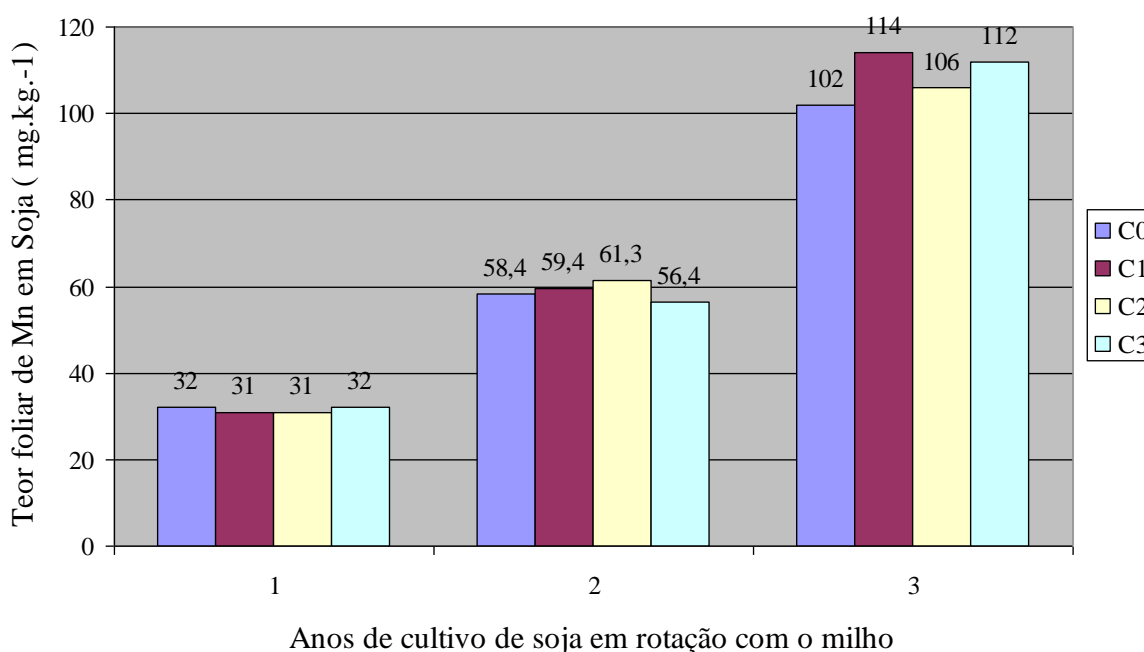
O comportamento do Mn foi semelhante ao Zn para a cultura da soja. Os teor foliar médio está retratado na Figura 3.7. A curva de tendência parece sugerir uma dosagem de 58,60 kg ha<sup>-1</sup> como ideal para esta cultura.



**Figura 3.7.** Teor médio foliar de Manganês na soja em relação a diferentes doses de PAE. Goiânia-GO.

O comportamento do manganês com relação às doses de calcário nos três cultivos está retratado na Figura 3.8. Percebe-se que todas as dosagens aumentaram o teor do elemento no solo no terceiro cultivo, quando a maior dosagem promoveu maior incremento do micronutriente nas folhas. No primeiro cultivo, os teores estavam abaixo do adequado e, no terceiro cultivo, os teores foliares de Mn está no limite adequado proposto por Malavolta et al. (1997), que é de 50 mg kg<sup>-1</sup> a 150 mg kg<sup>-1</sup>.

A absorção acentuada de Mn pela cultura no terceiro cultivo pode estar associada à sua relativa baixa absorção no cultivo anterior em função da umidade excessiva do solo em virtude de intempéries no período conforme já foi relatado (Lopes, 1998). A instalação de uma cultura pouco responsiva ao elemento num período subsequente (milho) e a tardia solubilização do PAE, podem explicar, em parte, sua elevada absorção no terceiro cultivo, elevando os teores nas folhas.

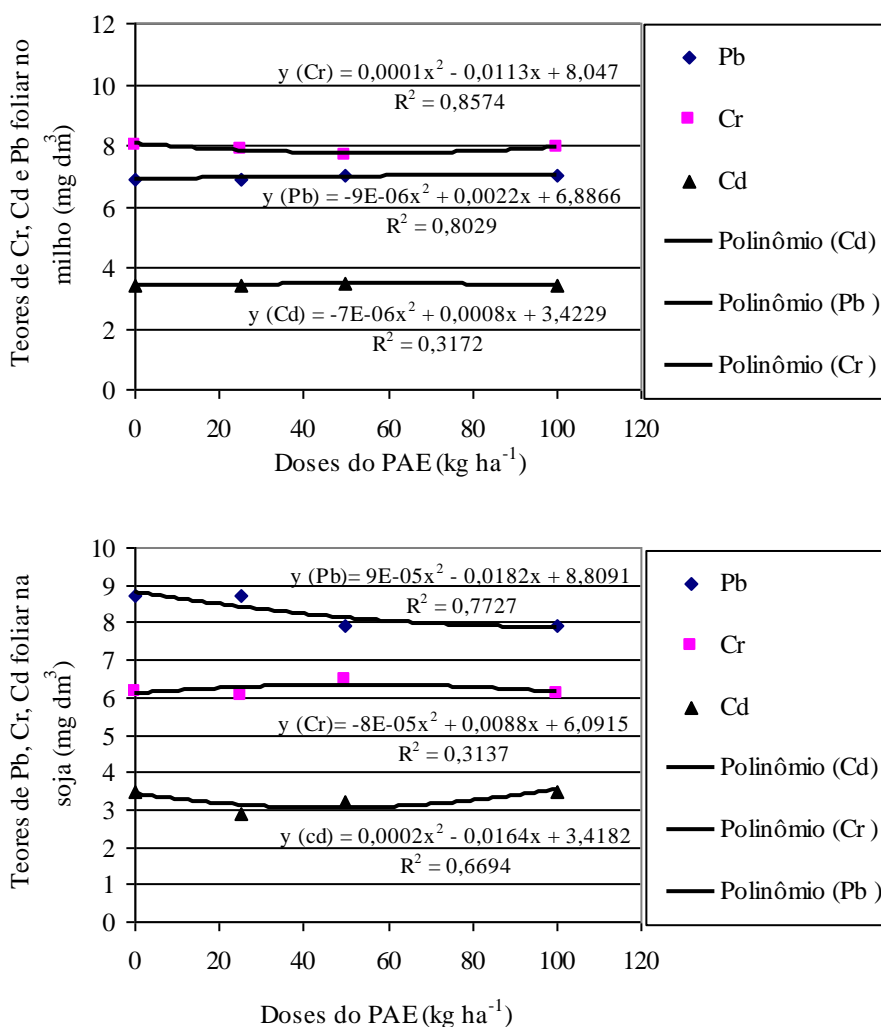


**Figura 3.8.** Teores foliares de Mn em Soja em três cultivos em rotação com milho em relação a diferentes dosagens de calcário. As doses de calcário foram: C0 – 0,0 t ha<sup>-1</sup>; C1 – 0,77 t ha<sup>-1</sup> e C2 – 1,55 t ha<sup>-1</sup> e C3 – 3,10 t ha<sup>-1</sup> . Goiânia, GO.

### 3.3.3 Teores foliares de metais tóxicos

Quanto aos teores foliares de Cr, Cd e Pb nas doses de PAE e calcário não houve maiores incrementos em relação a testemunha no terceiro ano de cultivo (Figura

3.9). Era de se esperar menores teores destes elementos, pois o aumento de uma unidade nos valores de pH do solo pela calagem proporciona redução de 100 vezes nas disponibilidades de Cr e Pb (Lindsay, 1972).



**3.9.** Teores de Pb, Cr, e Cd em folhas de milho e soja (mg dm<sup>3</sup>) em função das doses de PAE no terceiro ano de cultivo de milho e soja em rotação. Goiânia-GO.

Comparando-se os valores foliares encontrados na soja e no milho com os propostos por Malavolta (2006), verifica-se que os teores máximos de Cd encontra-se abaixo em relação ao tolerável ou normal. O teor de Cr, segundo a mesma fonte, encontra-se entre o médio (5 mg dm<sup>-3</sup>) e o máximo (9 mg dm<sup>-3</sup>), não representando risco (Tabela 3.5). O teor de Pb encontra-se, no último ano de cultivo, levemente acima do existente no solo antes da instalação do ensaio. Estes valores porém, conforme Kabata-Pendias & Pendias (1985) que estabelecem um limite tolerável que varia de 30

mg kg<sup>-1</sup> a 300 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca, ficaram muito aquém do limite mínimo, indicando baixo risco potencial de contaminação das plantas por este metal. Esta referência parece confirmar o baixo risco ambiental do uso do PAE.

**Tabela 3.5.** Teores de vários metais encontrados no tecido vegetal.

Elemento	Mínimo	Mediano	Máximo
	ppm		
As	1	4	14
Cd	10	25	50
Cr	1	5	9
Co	6	21	25
Cu	14	17	22
Hg	1	3	7
Ni	13	27	60
Zn	175	250	390

Fonte: Malavolta (2006).

### 3.3.4 Teores micronutrientes e metais tóxicos no solo

#### 3.3.4.1 Rotação milho/soja/milho

A análise de variância (Tabela 3.6) indicou que não houve efeito significativo da interação calcário e de PAE nos atributos químicos do solo em todos os períodos de cultivos estudados.

Os teores de Cr, Cd e Pb fitodisponíveis, ficaram abaixo dos limites de detecção nos dois primeiros cultivos. Beckett (1989), avaliando a eficiência de vários extratores de metais potencialmente tóxicos, verificou que muitos destes apresentavam valores extraídos abaixo do nível de detecção. Porém a determinação dos teores totais (digestão ou incineração) não exibe relação com o fitodisponível (Logan & Chaney, 1983; Mattiazzo et al., 2001). Considerando o teor de Pb de 100 mg dm<sup>3</sup> como limite mínimo em solos não contaminados as doses de PAE P1, P2 e P3 precisariam de 588, 303 e 154 anos, respectivamente para atingir esses valores em aplicações anuais. Considerando aplicações de três em três anos do PAE ter-se-ia 1.765, 909 e 462 anos respectivamente para atingir esses valores demonstrando o baixo risco de contaminação.

Verifica-se que no terceiro cultivo, com exceção do pH e Zn em função das doses de calcário, não houve efeito nas demais variáveis na camada de 0-20 cm de

profundidade cultivado com milho.

**Tabela 3.6.** Variáveis na análise de solo, na profundidade de 0-20 cm, no ensaio com milho em rotação com soja submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE com análise de variância. Goiânia, GO.

Tratamentos	Extraído com KCl				Extraído com Mehlich I							
	pH	Ca	Mg	V	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn
		--cmolc dm <sup>-3</sup> --		%	-----mg dm <sup>-3</sup> -----							
Milho (media)	4,8	0,8	0,4	25,7	nd	nd	nd	0,33	2,5	31,9	44,5	4,3
Teste F (CAL)	0,87	0,52	1,82	2,07	-	-	-	1,21	1,01	0,45	2,37	1,34
Teste F (PAE)	0,83	0,84	0,27	1,62	-	-	-	1,57	0,74	0,46	0,39	0,12
Int. CALxPAE	0,21	1,70	1,08	1,93	-	-	-	2,14	0,48	0,43	1,04	1,04
CV (%)	4,44	23,4	41,3	24,04	-	-	-	20,3	25,0	30,5	25,8	73,2
Soja (media)	4,80	0,97	0,57	29,00	nd	nd	nd	1,12	3,28	28,98	10,28	3,74
Teste F (CAL)	3,43*	2,04	10,91**	4,16*	-	-	-	0,96	0,55	3,93	3,06	5,91
Teste F (PAE)	0,15	1,04	1,62	0,73	-	-	-	0,29	1,48	0,88	0,58	0,24
Int. CALxPAE	0,33	0,68	0,71	0,68	-	-	-	0,42	0,77	0,98	0,79	0,21
CV (%)	3,98	28,2	22,2	20,8	-	-	-	82,0	55,16	19,5	1,49	74,2
Milho (media)	4,95	1,90	0,60	39,20	0,11	0,06	1,68	0,32	1,96	32,85	39,43	3,14
Teste F (CAL)	3,86*	0,77	1,11	2,24	1,73	3,33	0,73	2,11	2,74	1,20	2,37	5,40*
Teste F (PAE)	0,41	0,81	1,29	0,45	0,30	0,09	0,94	0,58	1,83	0,25	1,09	0,05
Int. CALxPAE	0,41	1,09	0,75	0,84	0,48	0,88	0,85	0,30	0,47	0,37	2,90	0,95
CV (%)	3,32	38,4	29,9	20,7	14,7	18,9	10,5	18,2	30,5	21,7	14,1	32,0

Obs1 C – Calcário; P= PAE

Obs2 nd – Não detectável por EAA para as sensibilidades: Cd (0,009 mg L<sup>-1</sup>); Cr (0,05 mg L<sup>-1</sup>) e Pb (0,06 mg L<sup>-1</sup>)

Obs3 Teste F: ausência de asterisco - não significativo a 5% probabilidade, \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

A adição do calcário ao solo, apesar de utilizar um produto teoricamente de alta reatividade (PRNT 140%), não produziu o efeito esperado. Todavia, independentemente dos mecanismos que possam estar interagindo na dissolução e na mobilidade do calcário distribuído na superfície do solo, as concentrações de Ca, Mg e a saturação de bases no período estudado mostram coerência, dados os incrementos observados ao longo do período estudado. Não houve alteração significativa de pH durante os três anos de cultivo.

Apesar de complexas, as causas da baixa reatividade do calcário podem estar ligadas, dentre outros fatores, à amostragem, mais precisamente à sua variabilidade espacial, ainda à profundidade de incorporação do calcário nos pontos amostrados, o que afetou sua homogeneização no solo. Esperava-se elevar a saturação de bases a 60% com adição do calcário mas o resultado foi aquém do esperado, chegando a aproximadamente 40% no

terceiro ano de cultivo. As variáveis pH, V%, Ca e Mg apresentaram diferenças significativas com as doses de calcário no segundo cultivo. Houve aumento dos valores destas variáveis com a aplicação do corretivo evidenciando a solubilização do corretivo, ainda que abaixo do esperado. O mesmo aconteceu com estas variáveis no terceiro ano de cultivo, comparado ao ano anterior. Tais resultados corroboram os obtidos por Raij & Quaggio (1990).

Os teores de Fe tenderam a diminuir com a aplicação do calcário no segundo cultivo. À medida em que o pH se eleva, precipitam-se na superfície os óxidos, formando uma nova camada de polímeros (FeOOH), tornando-se indisponíveis para os vegetais. Tais resultados corroboram os obtidos por Albasel & Cottenie (1985), os quais verificaram que a calagem diminuiu sensivelmente a disponibilidade de Fe. Os mesmos autores obtiveram os resultados também para Zn e Mn, como neste ensaio no segundo cultivo.

Os maiores valores de Zn e Mn encontrado no 1º ano (mais de 100%) podem ser consequência da mineralização da matéria orgânica após o preparo do solo. Apesar do PAE apresentar altos teores de Fe (17,6%) e os teores no solo serem baixos, não houve aumento desta variável evidenciando a não solubilização da fonte de micronutriente.

Sempre existe uma preocupação com a adubação de Zn, seja através do emprego de sulfatos ou óxidos, uma vez que este elemento apresenta uma fitotoxicidade potencial relativamente alta. Pouco deste nutriente é lixiviado e sua reversão para formas não disponíveis é relativamente lenta em solos (Payne et al., 1988).

Os níveis de Pb fitodisponíveis, um dos metais considerados altamente comprometedores da qualidade dos solos, extraído com Mehlich1, método considerado adequado por Abreu et al. (1998), apesar de triplicados dois anos após a aplicação dos tratamentos detectados foram baixos evidenciando que não houve contaminação do solo com a aplicação do PAE. Sua detecção, se deve ao fato de acumular-se na camada superficial em vista de sua baixa mobilidade no perfil (Parker et al., 1978; Miller & McFee, 1983). Essa distribuição se deve a sua baixa solubilidade e forte adsorção ao solo (Chaney, 1991). O Pb antropogênico mostra como regra o mesmo tipo de distribuição (Lagerweff & Specht, 1970), portanto, não representou ameaça ao solo do ponto de vista ambiental com o uso do PAE.

Os teores de Zn apresentaram-se em níveis adequados com níveis maiores que os apresentados antes da implantação dos ensaios. Santos (2001), utilizando amostras de três Latossolo Vermelhos, que receberam de Zn aplicadas na forma de sulfato de zinco e de resíduos industriais, avaliou a disponibilidade de Zn, Pb, Cd, Cr e Ni para a cultura do milho, e utilizando os extratores DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 e o HNO<sub>3</sub>, o teor total desses metais

no solo. Encontraram baixos teores dos metais tóxicos, tanto na parte aérea das plantas de milho quanto no solo, estando dentro dos limites toleráveis, sugerindo que os resíduos industriais, nas doses recomendadas, não são contaminante, podendo ser considerado uma fonte efetiva de Zn para o milho.

Os valores de Cd e Cr ficaram abaixo do nível de detecção nos dois primeiros anos e os valores encontrados no terceiro ano de cultivo permaneceram ou decresceram. Não houve incremento no solo com o uso de PAE.

#### 3.3.4.2 Rotação soja/milho/soja

Não houve interação significativa entre os tratamentos durante todo o período do ensaio. No segundo ano, entretanto, houve efeito das doses de calcário nas variáveis pH, Ca, Mg V%, e Fe. No terceiro ano de cultivo, houve diferença significativa para as dosagens de calcário tanto para pH quanto para Zn. Como aconteceu na rotação milho/soja/milho, os valores para Ca e Mg apresentaram coerente elevação, apesar da baixa reatividade do calcário, comparando-se os dados com os valores encontrados antes da instalação do experimento. (Tabela 3.7). Os valores de Zinco apresentaram incremento no segundo ano de cultivo, voltando a decrescer no ano seguinte. Observa-se que o maior incremento aconteceu com maiores valores de pH.

Os teores de metais nos solos foram baixos indicando que a aplicação de PAE não aumentou os teores destes metais a níveis tóxicos. Os teores de Cd, Cr, Pb ao final do terceiro ano de aplicação do PAE foi de 0,10 mg dm<sup>3</sup>; 0,10 mg dm<sup>3</sup> e 0,30 mg dm<sup>3</sup> respectivamente, o ultimo cultivo de soja, ao final do ensaio. Os resultados mostram o baixo risco de contaminação ambiental por metais pesados, não apenas pela comparação aos teores existentes no solos antes da instalação do ensaio, mas sobretudo pela comparação aos valores propostos como limites pela Cetesb (São Paulo) e Sanepar (Paraná), citados por Malavolta & Moraes (2006).

Os valores limites estabelecidos como referenciais para Cd, Cr e Pb, respectivamente, são <0,5 mg dm<sup>3</sup>, 40 mg dm<sup>3</sup> e 17 mg dm<sup>3</sup>. Considerando os valores propostos pela Sanepar, para solos com pH <7,0, os valores referenciais são 1 mg dm<sup>3</sup>, 100 mg.dm<sup>3</sup> e 50 mg dm<sup>3</sup>. Ainda assim, o resíduo teria que ser altamente solubilizado, apresentando grande índice de eficiência agrônômica.

**Tabela 3.7.** Variáveis na análise de solo, na profundidade de 0-20 cm, no ensaio com milho em rotação com soja submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE com análise de variância. Goiânia, GO.

Tratamentos	Extraído KCl				Extraído com Mehlich 1							
	pH	Ca	Mg	V	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl <sub>2</sub>	cmolc dm <sup>-3</sup>		%	mg dm <sup>-3</sup>							
Soja (média)	4,70	0,83	0,40	25,73	nd	nd	nd	1,00	2,6	30,9	24,8	3,5
Teste F (PAE)	0,83	0,27	1,62	0,84	-	-	-	1,57	0,74	0,46	0,39	0,12
Teste F CAL	0,87	1,82	2,07	0,52	-	-	-	1,21	1,01	0,45	2,37	1,34
Int. PAExCAL	0,21	1,08	3,93	1,70	-	-	-	2,14	0,48	0,43	1,04	1,04
CV (%)	4,44	41,3	24,04	23,4	-	-	-	20,3	25,0	30,5	25,8	73,2
Milho(média)	5,05	1,84	0,77	42,25	nd	nd	nd	nd	3,02	31,07	49,66	5,28
Teste F (PAE)	0,54	0,80	0,24	0,21	-	-	-	-	0,37	0,07	1,06	0,57
Teste F CAL	17,24**	5,04*	9,02*	10,83**	-	-	-	-	1,85	4,87*	2,05	2,87
Int. PAExCAL	0,61	0,60	0,32	0,34	-	-	-	-	0,25	0,71	1,15	1,27
CV (%)	3,04	21,7	25,7	15,3	-	-	-	-	19,8	23,16	16,3	33,6
Soja(média)	5,00	1,90	0,60	39,18	0,10	0,10	1,70	0,30	1,95	32,85	39,33	3,25
Teste F (PAE)	0,08	0,39	0,15	0,14	0,94	0,18	0,57	0,26	0,50	1,06	0,49	0,15
Teste F CAL	10,7**	1,00	0,73	1,12	2,30	1,26	1,58	0,51	0,55	2,46	1,16	5,37**
Int. PAExCAL	0,35	0,94	0,30	0,68	0,90	0,58	0,74	0,23	0,82	0,55	1,33	0,66
CV (%)	2,9	39,0	31,4	21,4	13,80	20,4	10,5	19,4	32,5	20,2	1,6	32,3

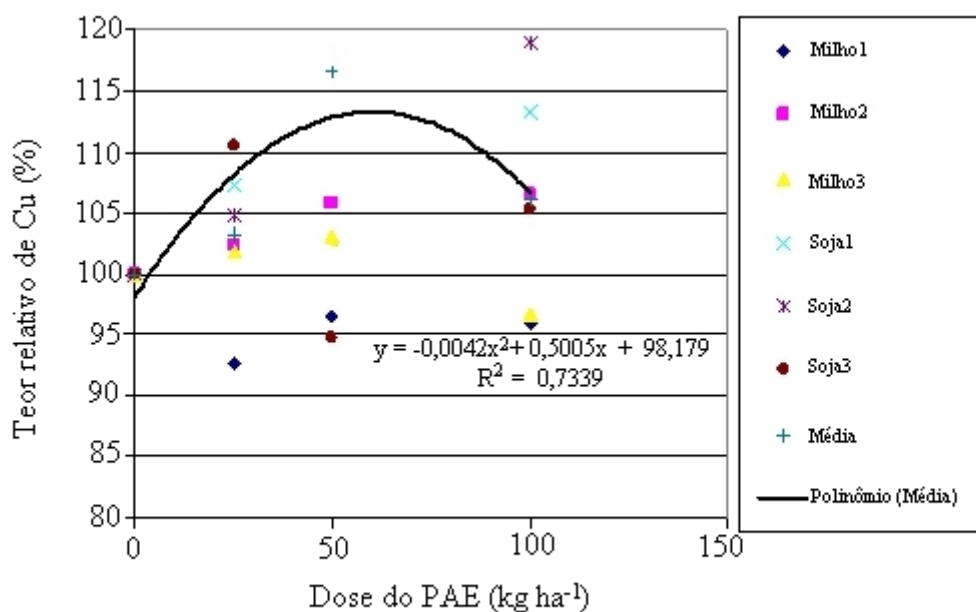
Obs1 C – Calcário; P= PAE

Obs2 nd – Não detectável por EAA para as sensibilidades: Cd (0,009 mg/L); Cr (0,05 mg/L) e Pb (0,06 mg/L)

Obs3 Teste F: ausência de asterisco - não significativo a 5% probabilidade, \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

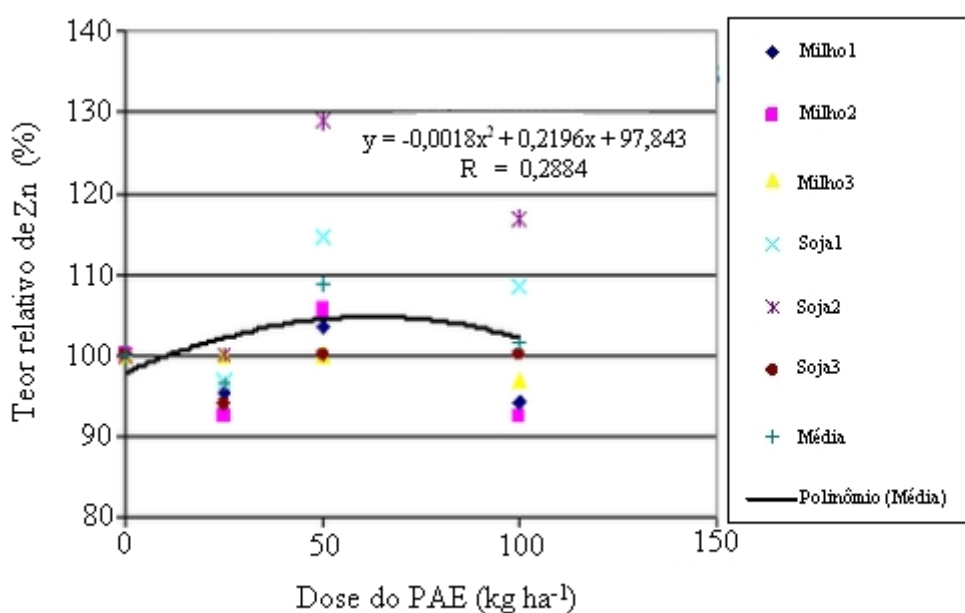
Os teores de Cr e Cd extraídos pelo Mehlich-1 (fitodisponível no solo), estavam abaixo do nível de detecção. Todos os teores encontrados foram menores que os 4,0 mg dm<sup>-3</sup> no início do ensaio, com exceção de Mn e Zn. Tais resultados indicam que não houve contaminação ambiental por Cr, Cd e Pb no solo pela aplicação do PAE, ou seja o produto não foi contaminante.

As variáveis no solo enquadraram-se na classe de interpretação adequada para todas as variáveis com exceção do Cu, Mn e Zn que enquadraram-se na classe alta conforme critérios de interpretação de Souza & Lobato (2004). O elemento Cu teve sua melhor disponibilidade no solo na dosagem de 59,58 kg/ha de PAE (Figura 3.10).



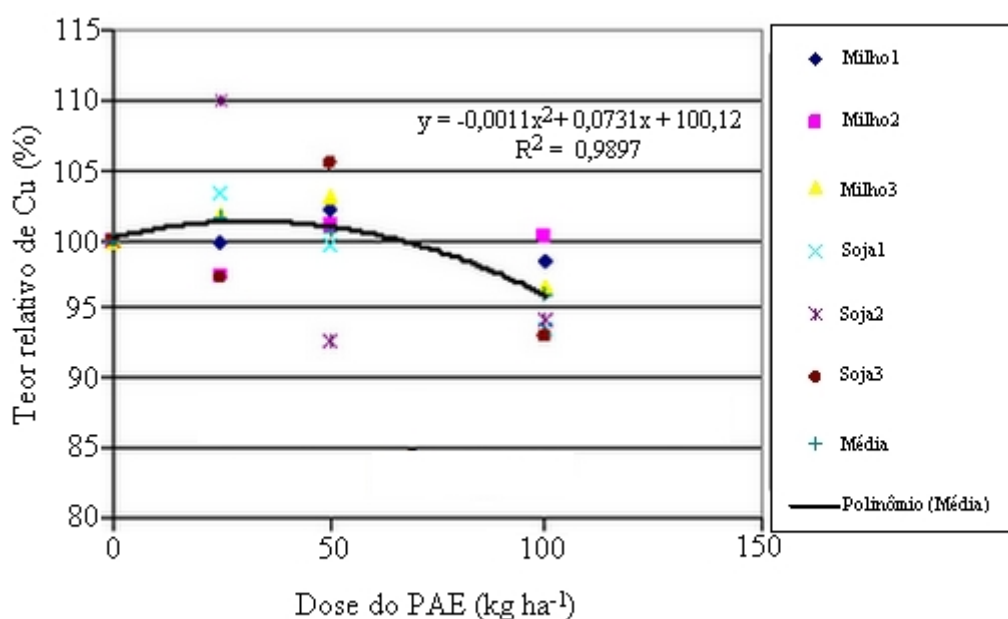
**Figura 3.10.** Teores relativos (%) de Cobre no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.

A média do teor relativo de Zn acompanha o comportamento do Cu, apenas com menores variações. A dosagem intermediária parece ser a mais eficiente em relação a testemunha (Figura 3.11). Considerando uma curva de ajuste dos dados médios com R<sup>2</sup> muito baixo (0,28), uma indicação de dosagem econômica para ministrar Zinco ao solo seria 61 kg ha<sup>-1</sup> de PAE.



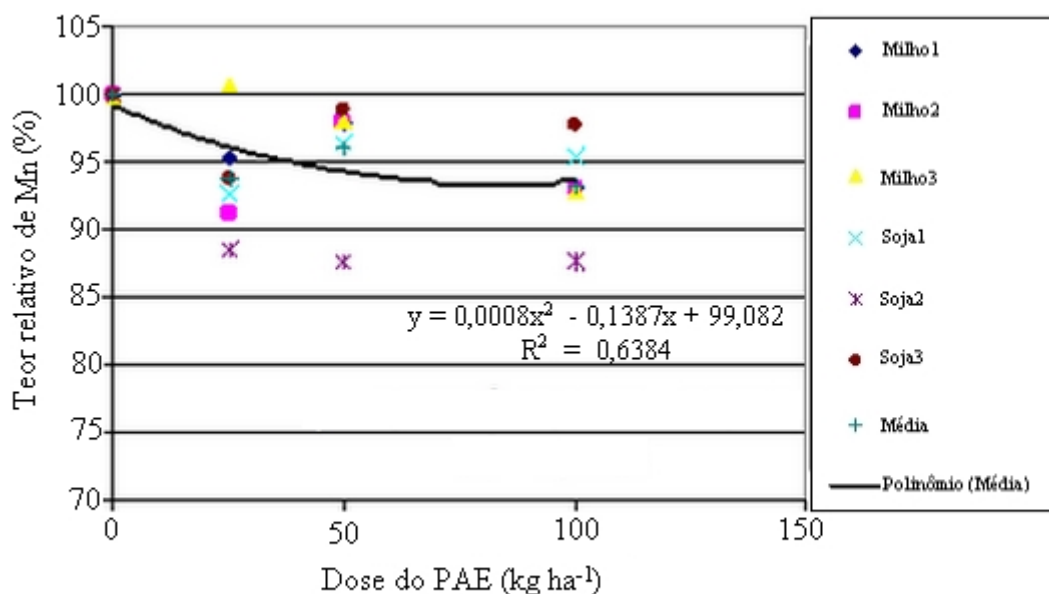
**Figura 3.11.** Teores relativos (%) de Zinco no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.

Os micronutrientes Fe e Mn decrescem em relação ao aumento da dosagem aplicada de PAE. A curva mostra uma acentuada curva decrescente a partir da dosagem correspondente a 30 kg ha<sup>-1</sup> ( Figuras 3.12 e 3.13). Este comportamento pode estar de alguma forma associado à relativamente rápida conversão de compostos de ferro e manganês solúveis a insolúveis (Martens & Westermann, 1991).



**Figura 3.12** Teores relativos (%) de Fe no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.

Os teores médios de Mn decrescem a medida que se aumenta a dosagem de PAE (Figura 2.13). Este decréscimo nos solos, ao longo do período contrasta com sua presença crescente no tecido foliar, principalmente da cultura da soja, considerada mais responsiva ao Mn. A elevação o pH ao longo dos três pode explicar, em parte, a não disponibilização de Mn no solo.



**Figura 3.13** Teores relativos (%) de Manganês no solo com milho e soja em rotação em função das doses de PAE. Goiânia, GO.

### 3.4 CONCLUSÕES

- Os resultados mostram que, em rotação de culturas, é mais indicado aplicar o Pó de Aciaria na soja e esperar os seus efeitos residuais na cultura do milho.
- Não houve aumentos expressivos dos teores de metais tóxicos com o uso do fertilizante PAE nas folhas e nos grãos de soja e milho, sendo que em alguns momentos sequer foram detectados.
- É necessário um monitoramento do efeito residual de produtos de baixa solubilidade como o calcário e pó de aciaria elétrica para avaliar a sua eficiência agrônômica.
- Não houve contaminação ambiental nos três anos de estudo por Cr, Cd e Pb no solo pela aplicação do PAE, ou seja o produto não foi contaminante.
- A adição de pó de aciaria ao solo sem estudos aprofundados pode representar acúmulo de metais tóxicos no solo, representando um risco ambiental.

### 3.5. REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de DTPA e Mehlich-3. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p. 185-

192, 1998.

ACCIOLY, A. M. A.; FURTINI-NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e de contaminantes para plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7 p. 1483-1491, 2000.

ALBASEL, N.; COTTENIE, A. Heavy metals uptake from contaminated soils as affected by peat, lime and chelates. *Soil Science Society of America Journal*, v. 49, p. 386-390, 1985.

BATAGLIA, O. C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. 17., 1988. Londrina. **Anais...** Londrina: SBCS. 1988. 234 p.

BECKETT, P. H. T. (1989) The use extractants in studies on trace metals in soils, sewage sludges, and sludge-treated soils. Springer – Verlag New York *Advances in soil Science* 9 p:144-176.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. NORMA P-4230 - **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação: manual técnico**, São Paulo, 1999. 33 p.

CHANEY, R. F. Sludge utilization, land application and food chain impact. In: *The biocycle to the art and science of composting*. Pennsylvania, J. G. Press, 1991. p. 240-253.

CONAMA. **Resolução 375 de 29 de agosto de 2006**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

CUNHA, G. M.; CATEN, A.; GOMES, J. A.; FREIRE, R. R.; PIRES, F. R. Caracterização química dos resíduos de mármore e granito e sua eficiência como corretivo de acidez do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. 22., 1996. Manaus. **Resumos...** Manaus: SBCS. 1996. 693 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2010 - **Produção de cereais, leguminosas e oleaginosas – Disponível em** <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_200912comentarios.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_200912comentarios.pdf)>\_ Acesso em 10/01/2010.

JONES, L. H. P.; JARVIS, S. C. The fate of heavy metals. In: GREENLAND, D. J.; HAYERS, M. H. B. (Eds.). **The chemistry of soil process**. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1981. p. 593-620.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton: CRC Press, 1985.

KORNDORFER, G. H.; ALCANTARA, C. B.; HOROWITZ, N.; LANA, R. M. Q. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 52, n. 3, 1995.

LAGERWEFF, J. V.; SPECHT, A. W. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. **Environmental Science & Technology**, Washington, n. 4. p. 583-585, 1970.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). Micronutrients in agriculture. Madison: *Soil Science Society of America*, 1972. p.41-57.

LOGAN, T. J.; CHANEY, R. L. Metals. In: WORKSHOP ON UTILIZATION OF MUNICIPAL WASTEWATER AND SLUDGE ON LAND, Riverside, 1983. Proceedings. Riverside, University of California, 1983. p. 235-323.

LOPES, A. S. (Trad.) **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. Piracicaba: POTAFOS, 1998, 177 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Uso eficiente de fertilizantes. Aspectos agronômicos. **Boletim Técnico**. n. 4. 51 p. 1990.

MALAVOLTA, E. ABC da Análise de Solos e Folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. Ed. Ceres, São Paulo-SP. 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos. Piracicaba: Produquímica, 1994. 153 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Sobre a sugestão dos metais pesados tóxicos em fertilizantes e sobre a Portaria 49 de 25/04/2005 da secretaria de defesa agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações Agronômicas**, nº 114 – Junho/2006. 10-14 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; 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. 599 p.

MILLER, W. P. McFEE, W. W. Distribution of cadmium, zinc, copper, and lead in soils of

industrial Northwestern Indiana. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.12, p. 29-33, 1983.

PARKER, G. R.; McFEE, W. W. KELLY, J. M. Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural Northwestern Indiana. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 7, p. 337-342, 1978.

PAYNE, G. G.; MARTENS, D. C.; WINARKO, C.; PEREIRA, N. F. Form and availability of copper and zinc following long-term copper sulfate and zinc sulfate applications. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 17, p. 707-711, 1988.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeito da aplicação de escória de siderurgia ferrocromo na produção de mudas de maracujazeiro. **Revista brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p. 140-144, 2004.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; CINTRA, A. C. O.; NATALE, W.; SILVA, M. C. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de fruticultura**. Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 536-542, 2002.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 21, p. 1267-1276, 1990.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres, 1991, p. 343.

SANTOS, F. S. **Contaminação de um Agroecossistema por Metais Pesados em Função do Uso de Agroquímicos em Diferentes Manejos Agrícolas**; (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Rural Rio de Janeiro. 2001 108 p.

SANTOS, G. C. G. Pó-de-aciara como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 257-266, 2002.

SOUZA, D. M.; LOBATO, E. **Cerrado, correção do solo e adubação**. Embrapa cerrados. 2004 416 p.

#### 4 USO DE PÓ DE ACIARIA COMO FONTE DE MICRONUTRIENTES EM TOMATE INDUSTRIAL E SOJA CULTIVADOS EM SUCESSÃO EM DIFERENTES NÍVEIS DE CALAGEM, EM URUTAÍ-GO

##### RESUMO

Os problemas de solos ácidos e deficiência de Zn nos cerrados são comuns na maioria dos solos. Cada vez mais torna-se necessário, pelo próprio dinamismo que a agricultura moderna apresenta, que mecanismos alternativos da reposição de nutrientes ao solo sejam propostos, dado o alto custo dos fertilizantes e a alta dosagem que é extraída dos solos a cada ciclo das culturas. Dentro desta perspectiva, o presente trabalho objetivou avaliar a o uso de resíduos industriais de siderurgia, o pó de aciaria elétrica (PAE) como fonte de micronutriente nas culturas do tomate industrial e soja em sucessão, sob diferentes níveis de calagem, em ensaio em vasos contendo terra coletada da camada de 10 a 30 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho de Textura Argilosa instalado em Urutaí-GO, em casa de vegetação. Os resíduos do pó de aciaria foram diluídos formando um produto com composição semelhante às fritas comerciais, sendo: (12,8% de Zn, 1,3% de B; 1,5% de Cu; 30% de Fe; 2,7% de Mn; 0,18% de Mo) . As doses de calcário foram utilizadas com vistas a elevar a V%=60, a saber: C0 - sem aplicação de calcário; C1 – 257,7 mg kg<sup>-1</sup> (metade da dose recomendada); C2 – 515,4 mg kg<sup>-1</sup> (dose recomendada), e C3 – 1030,8 mg kg<sup>-1</sup> (o dobro da recomendada). As doses de aplicação do PAE foram: P0 - 0 mg dm<sup>-3</sup>; P1 – 12,5 mg dm<sup>-3</sup>; P2 – 25,0 mg dm<sup>-3</sup> e P3 – 50,0 mg dm<sup>-3</sup>. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os resultados indicaram que não houve acúmulo de metais pesados em níveis tóxicos nas folhas de tomate e soja. Os resultados desta pesquisa não foram suficientes para qualificar e avaliar o pó de aciaria como fonte de micronutrientes para a agricultura. O potencial de uso do PAE como fonte de micronutrientes, necessita de pesquisas mais avançadas principalmente sobre a taxa e o tempo de solubilização do produto no solo.

*Palavras-chave:* resíduos industriais, *Lycopersicum esculentum L.*, *Glycine Max (L) Merrill*

##### ABSTRACT

USE OF FLUE DUST AS A SOURCE OF NUTRIENTS AT INDUSTRIAL TOMATO AND SOYBEAN GROWN IN SUCCESSION IN DIFFERENT LEVELS OF LIMING IN URUTAÍ-GO.

The problems of acid soils and Zn deficiency in the savannas are common in most soils. Increasingly it becomes necessary, the very dynamism that modern agriculture provides that alternative mechanisms for the replenishment of nutrients to the soil are proposed, given the high cost of fertilizers and high dosage that is extracted from the soil of each crop cycle. Within this perspective, the study aimed to evaluate the use of industrial waste from steel, electric arc furnace dust as a source of micronutrients in crops of tomato and soybean succession under different levels of liming on trial in pots soil collected from the layer 10-30 cm deep in a clayey oxisol installed in Urutaí, GO in the greenhouse. The residues of steelmaking dust were diluted to form a product with similar composition to commercial fritted trace elements (FTE): (12.8% Zn, 1.3% B, 1.5% Cu, 30% Fe, 2.7% Mn; 0.18% Mo). Lime was used in order to raise the V = 60%, as follows: C0 - without lime application; C1 - 257.7 mg kg<sup>-1</sup> (half the recommended dose), C2 - 515.4 mg kg<sup>-1</sup> (recommended dose), and C3 - 1030.8 mg kg<sup>-1</sup> (twice the recommended). Application rates of steelmaking dust were: P0 - 0 mg dm<sup>-3</sup>, P1 - 12.5 mg dm<sup>-3</sup>, P2 - 25.0 mg dm<sup>-3</sup> and P3 - 50.0 mg dm<sup>-3</sup>. The experimental design was completely randomized design with four replications. The results showed no accumulation of toxic levels of heavy metals in leaves of tomato and soybean. These results were not sufficient to qualify and evaluate the steelmaking dust as a source of micronutrients for agriculture. The potential for using it as a source of micronutrients, requires further research especially on the rate and time to breakdown of the product in the soil.

*Key words:* industrial waste, *Lycopersicum esculentum* L., *Glycine max* (L.) Merrill

#### 4.1. INTRODUÇÃO

A cadeia agroindustrial do tomate posiciona-se entre as mais importantes no contexto do agronegócio. À montante do setor produtivo, a cultura do tomate para processamento industrial movimentava as indústrias paralelas de insumos, embalagens, máquinas agrícolas e equipamentos de irrigação. Como matéria-prima para as indústrias processadoras de derivados, o tomate para processamento representa a atividade principal geradora de renda para um grande número de produtores, tornando-se significativa fonte de renda (Melo & Vilela, 2004).

O Estado de Goiás tem participação decisiva na produção desta cultura. O destaque do Estado no cenário nacional não é só consequência dos volumes que produz, mas também das altas produtividades e a infra-estrutura para industrialização. Isto foi possível devido à agricultura comercial centrada em moldes empresariais, com a utilização de tecnologias modernas. O emprego de insumos como defensivos agrícolas, fertilizantes, corretivos etc. e a mecanização agrícola são comuns em Goiás.

Contudo, um dos principais entraves que o Estado possui está intimamente

relacionado aos solos da região. As características do material de origem e o elevado grau de intemperismo conferiram a estes solos baixa fertilidade natural e freqüente resposta a adubação com micronutrientes, em especial o zinco. A introdução de culturas comerciais no sistema de produção, nestes solos, depende da aplicação de bons programas de correção da acidez do solo e adubação.

O complexo soja, por exemplo, foi o setor responsável pelo maior valor das exportações agrícolas, sendo US\$ 18 bilhões em 2008 ou 30,8% do total das exportações agrícolas. Este setor, em valor exportado, manteve nesse ano praticamente a mesma participação no total do valor exportado que detinha em 1998 (Mapa, 2010).

Dada a versatilidade da soja, sua importância se ampliou consideravelmente, uma vez que dela se obtém uma série de subprodutos, sendo uma importante alternativa de baixo custo em detrimento de outras fontes de proteínas caras, como carne, leite e ovos. No Brasil, a soja é um importante ingrediente no mercado de óleos vegetais como fonte de energia, a exemplo do que acontece nos Estados Unidos, onde é a principal matéria-prima utilizada. A vigoração da Lei 11.097/2005 que prevê a adoção gradual do óleo vegetal na composição do combustível brasileiro, começando com 2,0% em 2008 até chegar a 5,0% em 2013 deve chamar ainda mais a atenção para o cultivo desta importante oleaginosa. A estimativa da área plantada de soja no Brasil na safra 2009/2010 ultrapassa 20 milhões de hectares, sendo mais de 90% no Centro-Sul. A região Centro-Oeste produz aproximadamente 50% da soja no Brasil, sendo que o Estado do Mato Grosso é o maior produtor do Brasil, com estimativa acima de 6 milhões de hectares em 2010, quase três vezes o previsto para o Estado de Goiás (CONAB, 2009). Dentre outros aspectos largamente estudados estão os efeitos positivos da calagem (Mascarenhas et al., 2000; Fageria, 2001) e rotação de culturas (Silva & Rosolem, 2001).

O pó de aciaria elétrica (PAE) é um resíduo gerado em indústrias siderúrgicas que utilizam o forno elétrico a arco (FEA), na maioria dos casos, e também o forno-panela. É também chamado pó de exaustão ou pó de aciaria elétrico (Vigano et al., 2004).

O PAE é composto por diferentes óxidos metálicos, entre eles o Zn, Cr, Pb e Cd. A NBR 10004 classifica o PAE como um resíduo perigoso (Classe I). Trata-se de um produto muito fino, de cor marrom-escura, sem odor, gerado no forno elétrico de aciaria. Pode ter aplicações na construção civil (blocos de concreto, argamassa, cerâmica), na indústria (pigmentos para tinta; recuperação de Zn e Pb) e, na agricultura, como fertilizante (Siderúrgica Mendes Júnior, 1988, apud Acciolly et al., 2000).

Acciolly et al. (2000), avaliando o pó de aciaria elétrico (PAE), como fonte de

micronutrientes e contaminantes para o milho, em condições de casa-de-vegetação, concluíram que o produto atua como fonte de micronutrientes, especialmente do Zn e que a solubilidade do PAE é sensivelmente maior em condições de maior acidez do solo. Os autores afirmam ainda que a presença de Cd e Pb no PAE limita seu uso agrícola, principalmente em doses elevadas. Corrêa et al. (2008), avaliando o efeito da aplicação superficial de diferentes corretivos nos atributos químicos do solo (inclusive pó de aciaria), no crescimento radicular, da parte aérea e na produtividade da aveia preta, concluíram que houve aumento nos valores de pH, nos teores de Ca e de P e a redução dos teores de Al no solo em todos os tratamentos.

Como uma das maiores preocupações é a deposição de metais pesados no solo, alguns estudiosos tem procurado desenvolver trabalhos evidenciando esta ação. Em ensaio pontual avaliando o pó de aciaria como fonte de zinco para o milho (*Zea mays*) e ainda seu efeito no acúmulo e disponibilidade de Cd, Cr, Ni e Pb no solo e nas plantas, Santos et al. (2002), relataram que a menor dose de Zn adicionada ao solo proporcionou teores na parte aérea da planta superiores ao nível crítico para a cultura. As concentrações dos metais Pb, Cd, Cr e Ni, tanto na parte aérea como no solo, foram menores que os níveis críticos para toxicidade. O pH alterou a disponibilidade do Zn diminuindo a disponibilidade com seu aumento, concluindo que o pó de aciaria pode ser considerado potencial fonte de zinco para o milho, sem causar a contaminação do solo por metais pesados.

A diversidade de sistemas de produção atualmente utilizados na região dos cerrados goianos é outro complicador para a definição de prioridades de pesquisa. A combinação de diferentes seqüências de culturas e de sistemas de manejo variados torna mais complexo o processo de desenvolvimento de novas tecnologias.

É importante destacar também que a enorme pressão comercial que se verifica no setor de fertilizantes também pode ser um fator negativo, resultando em prejuízos quando o agricultor fica à mercê de interesses comerciais em detrimento do compromisso com o manejo racional da adubação. A situação é mais crítica no caso dos produtos tidos como fontes de micronutrientes, sendo comum a venda de substâncias de eficiência desconhecida ou a recomendação de uso sem um diagnóstico da lavoura que justifique sua aplicação. O dinamismo da atividade agropecuária é conseqüência da introdução pela pesquisa de novos procedimentos e ações que visam dar maior competitividade ao agronegócio.

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso do pó de aciaria como fonte de micronutrientes para tomate industrial e soja, em sucessão, em diferentes níveis de calagem.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Localização do ensaio

O trabalho foi realizado no período de junho de 2008 a dezembro de 2009, sendo conduzido em uma casa de vegetação do Instituto Federal Goiano - *Campus* Urutaí, na cidade de Urutaí, no sudeste de Goiás, a 170 km de Goiânia.

O substrato utilizado nos vasos foi amostras de terra peneirada retirada da camada de 10 cm a 30 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho de Textura Argilosa, proveniente da Fazenda Palmital do Instituto Federal Goiano *campus* Urutaí. A densidade aparente da terra peneirada foi de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  e a composição química da terra utilizada no trabalho são apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Atributos químicos do solo de substrato da instalação do ensaio (Julho de 2008). Urutaí, GO.

Argila( $\text{dag dm}^3$ )	37	V (%)	28,93
M.O.( $\text{dag cm}^3$ )	0,8	Cu ( $\text{mg dm}^3$ )	3,5
pH (água)	4,9	Fe ( $\text{mg dm}^3$ )	103,7
P(Mel) ( $\text{mg dm}^3$ )	1,2	Mn ( $\text{mg dm}^3$ )	45,8
K ( $\text{cmolc L}^{-1}$ )	85	Zn ( $\text{mg dm}^3$ )	1,00
Ca ( $\text{cmolc L}^{-1}$ )	0,5	Cr ( $\text{mg dm}^3$ )	0,04
MG ( $\text{cmolc L}^{-1}$ )	0,2	Cd ( $\text{mg dm}^3$ )	0,01
CTC ( $\text{cmolc L}^{-1}$ )	3,24	Pb ( $\text{mg dm}^3$ )	0,01

Os ensaios foram instalados em casa de vegetação, em vasos com capacidade para 25 kg de terra, dispostos perpendicularmente à direção solar, com espaçamento de um metro entre vãos e fileiras, elevados a cinco cm do solo concretado (Figura 4.1). O sistema de irrigação empregado foi o gotejamento e as lâminas de irrigação calculadas conforme o uso consuntivo da cultura em cada estágio de desenvolvimento fenológico. Cada vaso constituiu uma unidade experimental para fins de avaliação. Não foi controlada a temperatura ambiente, isto é, não houve climatização artificial.

O solo utilizado para os vasos, coletado abaixo da superfície, foi peneirado e a calagem foi realizada utilizando-se um misturador do tipo betoneira.

Doze dias após a aplicação do calcário, foram aplicados os tratamentos. Foi ministrada ao solo uma adubação básica com macronutrientes, cujas doses foram determinadas de acordo com o resultado da análise química do mesmo.



**Figura 4.1** Instalação de ensaio com a cultura do tomate em casa de vegetação em Urutaí-GO.

As quantidades de calcário, do PAE e do adubo foram calculadas por volume de solo para cada vaso tendo como referencia a dosagem por hectare e os tratamentos foram aplicados apenas uma vez, antes do plantio de tomate industrial.

A adubação de plantio foi ajustada para o cultivo em vasos, feitas obedecendo a análise de química do solo, tendo utilizando fontes puras e solúveis de macronutrientes, a saber, Uréia, Fosfato Monoamônio (MAP) e Cloreto de Potássio (KCl), utilizando o fator 1,3 para adubação em vasos. As cultivar de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) utilizada foi a Heinz 9992 (tomate industrial), sendo realizadas duas adubações em cobertura aos trinta e sessenta dias utilizando Uréia e Cloreto de Potássio. O transplante de tomate foi feito 12 dias após a calagem e a aplicação de PAE se deu por ocasião do transplante, sendo colocado a 10 cm de profundidade no centro do vaso. Após o raleamento, foram mantidas duas plantas em cada unidade experimental.

Para a cultura da soja (*Glycine max*), utilizando a cultivar EMGOPA 315 RR, foram realizadas duas adubações complementares em cobertura com Cloreto de potássio aos 30 e 60 dias após o plantio. Após o desbaste com corte rente ao solo, foram cultivadas três

plantas em cada vaso.

Para ambas as culturas, os vasos foram irrigados utilizando sistema de gotejo, com lâminas controladas em função do estágio fenológico das culturas. Os teores de nutrientes e de metais pesados nas doses do PAE empregados nos ensaios são apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2.** Caracterização dos teores de nutrientes e de metais pesados nas doses do PAE empregados nos ensaios com tomate industrial e soja. Urutaí, GO . 2008/2009.

Trat.	Dose PAE kg ha <sup>-1</sup>	Cr	Cd	Pb	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		kg ha <sup>-1</sup>								
PAE0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAE1	25	0,04	0,0011	0,08	0,33	0,38	7,50	0,68	0,05	3,20
PAE2	50	0,07	0,0023	0,15	0,65	0,75	15,00	1,35	0,09	6,40
PAE3	100	0,14	0,0045	0,30	1,30	1,50	30,0	2,70	0,18	12,8
		mg dm <sup>3</sup>								
PAE0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAE1	12,5	0,02	0,0006	0,04	0,17	0,19	3,75	0,34	0,03	1,60
PAE2	25,0	0,04	0,0011	0,08	0,33	0,38	7,50	0,68	0,05	3,20
PAE3	50,0	0,07	0,0023	0,15	0,65	0,75	15,00	1,35	0,09	6,40

#### 4.2.2 Tratamentos

O pó de aciaria elétrica (PAE) utilizado foi oriundo da indústria Belgo Mineira, disponibilizado como um “blend” granulado com a seguinte composição: 12,8 dag kg<sup>-1</sup> de Zn, 2,7 dag kg<sup>-1</sup> de Mn; 1,3 dag kg<sup>-1</sup> de B; 1,5 dag kg<sup>-1</sup> de Cu; 30 dag kg<sup>-1</sup> de Fe e 0,18 dag kg<sup>-1</sup> de Mo. Foram detectados também os seguintes teores de metais tóxicos 3000,0 dag kg<sup>-1</sup> de Pb; 45,0 dag kg<sup>-1</sup> de Cd; 1400,0 dag kg<sup>-1</sup> de Cr e 120,0 dag kg<sup>-1</sup> de Ni.

As doses de aplicação do PAE foram P0 - 0 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P1 - 25 kg ha<sup>-1</sup> de PAE; P2 - 50 kg ha<sup>-1</sup> de PAE e P3 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de PAE. As doses de calcário utilizadas foram C0 - sem aplicação de calcário; C1 - metade da dose recomendada para elevar V%=60 (257,7 mg kg<sup>-1</sup>); C2 - dose recomendada para elevar V%=60 (515,4 mg kg<sup>-1</sup>) e C3 - o dobro da dose recomendada para elevar V%=60 (1030,8 mg kg<sup>-1</sup>).

O calcário empregado foi um dolomítico com PRNT de 74,82%. Os tratamentos foram aplicados no primeiro ensaio, no tomate industrial. O ensaio subsequente com soja teve como finalidade avaliar os efeitos residuais nos vasos.

### 4.2.3 Características avaliadas

- **Produtividade do tomate industrial:** a colheita foi realizada gradativamente, na medida em que os frutos apresentavam características de maturidade, sendo devidamente contados e pesados e os resultados acumulados. Foram analisados o número de frutos e o peso médio dos mesmos. A produtividade de tomate foi obtida pelo produto do número de frutos x peso médio de frutos. Com esse dado calculou-se a produção relativa de tomate (PRT%) por meio da fórmula abaixo:

$$\text{PRT} = \frac{(\text{produtividade de frutos das doses do PAE})}{(\text{produtividade de frutos na dose zero de PAE})} * 100$$

- **Produtividade da soja:** a produtividade de soja foi obtida da pesagem da fitomassa seca total de parte área colhida aos 62 dias após plantio, antes da fase R3. Com esse dado calculou-se a produção relativa de soja (PRS%) por meio da fórmula abaixo:

$$\text{PRS} = \frac{(\text{produtividade nas doses do PAE})}{(\text{produtividade na dose zero de PAE})} * 100$$

- **Análise química do solo:** a coleta de amostras para fins de avaliação ocorreu antes do plantio da soja, isto é, quatro meses após a aplicação dos tratamentos, posterior ao ensaio com tomate. Utilizando um trado de rosca, foi feita uma coleta de amostra composta para cada vaso, a partir de coletas simples em diferentes pontos equidistantes do centro do vaso, local de aplicação direta do PAE. Os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Cd e Pb fitodisponíveis foram determinados pelo extrator Mehlich 1. Foram coletadas ao todo 64 amostras de solo as quais foram analisadas no Laboratório de Solos da EA-UFG, conforme metodologia proposta por Defelipo & Ribeiro (1981).

- **Análise foliar em soja:** foram coletadas amostras de folhas no estágio R2 (pleno florescimento) retirando-se o terceiro trifólio a partir do ápice, as quais, após a lavagem, secagem em estufa e trituração, foram analisadas para as variáveis Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Cd, Ni e Pb conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).

#### 4.2.4 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos inteiramente casualizados, com 16 tratamentos e quatro repetições, sendo quatro doses de calcário e quatro doses de PAE, totalizando 64 unidades experimentais em vasos.

Os dados foram analisados empregando-se análise de variância e aplicando-se o ajuste em equação de regressão linear ou do 2º grau.

### 43. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produtividade relativa do tomateiro e soja houve efeito significativo somente da aplicação do PAE e da calagem respectivamente. Houve também efeitos significativos da aplicação do PAE, da calagem e da interação entre os dois tratamentos nas variáveis número e massa média de frutos de tomate (Tabela 4.3). A interação entre os tratamentos para essas variáveis foi significativa e, portanto, confirma a dependência dos efeitos das doses de PAE em função das condições de acidez do solo.

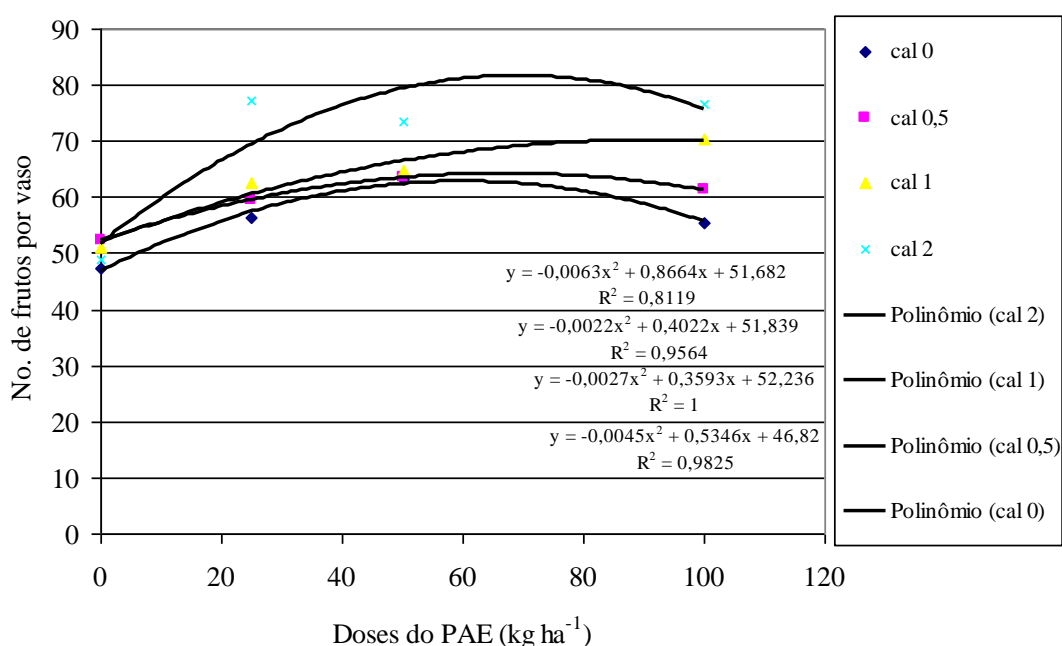
Houve um incremento de produtividade relativa do tomate de 8,9% e um decréscimo para a soja de 1,51%. A massa média dos frutos foi de 16,7 g/fruto e ficou bem abaixo do observado para a cultivar em experimento conduzido por Seleguini (2005), em trabalho avaliando o desempenho de várias cultivares em estufa, encontrou 53,2 g/fruto para a mesma cultivar. Este resultado pode ser atribuído ao estresse fisiológico sofrido pela cultura em ambiente protegido (altas temperaturas e estresse hídrico) com atividade fotossintética reduzida. O número médio de frutos foi de 61,4 unidades por planta. Elevado número de frutos implica em frutos menores.

**Tabela 4.3.** Quantidade de frutos e peso médio dos frutos de tomate submetidos a diferentes doses de Calcário(CAL) e do Pó de Aciaria (PAE) com análise de variância e teste de Tukey a 5%, Urutaí-GO,2009.

Fonte de variação	Quantidade de Frutos	Peso médio dos frutos	Prod relativa de tomate	Prod relativa de soja
Teste F PAE	29,49**	30,58**	4,19**	0,66
Teste F CAL	15,73**	5,42*	1,01ns	3,53*
Int. PAE x Cal	2,87*	3,52*	1,49ns	0,91
Média	61,4 unidade	16,7 g/fruto	108,9 %	98,49 %
CV (%)	9,40	8,60	7,78	12,55

Obs1 \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade e não indicado, não significativo.

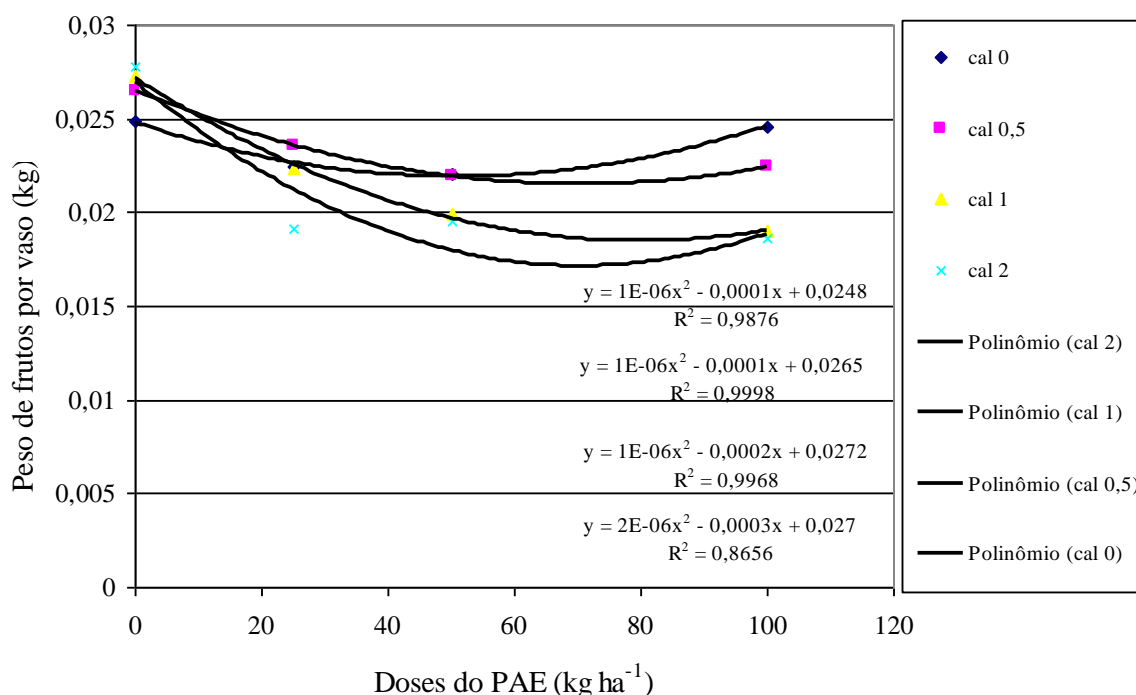
Verifica-se nas Figuras 4.2 e 4.3 que em todas as doses de calcário a aplicação do PAE apresentou ajuste numa equação polinomial do 2º grau. As doses do pó de aciaria (PAE), em  $\text{kg ha}^{-1}$  para máximas produtividades foram 59,4; 66,5; 91,4 e 68,8 respectivamente para as doses de calcário  $0,67 \text{ t ha}^{-1}$ ;  $1,35 \text{ t ha}^{-1}$  e  $2,70 \text{ t ha}^{-1}$ . Como se tratou de experimento em vasos com irrigação controlada, a correção da acidez do solo foi otimizada, mesmo que o transplantio das mudas tenha ocorrido 12 dias após a aplicação de calcário. As maiores massas de frutos (Figura 4.3) foi obtida na dose zero do PAE independente da dose de corretivos. Tais resultados estão relacionados ao número de fruto. Quanto menor o número de frutos por vaso maior é o peso destes. A mesma tendência foi observada por Seleguini (2005), onde esta cultivar, em ambiente protegido, apresentou o maior número de frutos e menor massa média. Isto pode ser uma resposta da planta a luminosidade, uma vez que em casa de vegetação é reduzida e tem seus efeitos na atividade fotossintética e por conseguinte na produção de fotoassimilados.



**Figura 4.2.** Numero de frutos de tomate por vasos em função de diferentes dosagens de pó de aciaria elétrica (PAE) e níveis de calagem. Urutaí-GO.

A literatura mostra que a conformação dos frutos do tomate é altamente dependente de Ca e Mg, elementos que, em solos de regiões tropicais geralmente são ácidos, encontram-se em proporções muito baixas (Luchese et al., 2002). Além disto, o calcário assume uma importância maior por ser, além de um artifício para se elevar o pH do solo, uma fonte importante de Ca ao solo, nutriente que, em deficiência no solo, é responsável pelo “fundo preto” (Minami & Haag, 1989; Carvalho et al., 2004). Durante a condução do

ensaio, embora não quantificada, foi observada uma alta incidência de fundo preto (Figura 4.4) nos primeiros frutos, provavelmente em função da demora na reação do calcário e conseqüente disponibilização de Ca para as plantas. Vale ressaltar que nas unidades experimentais que não receberam calagem, a incidência de fundo preto continuou até o fim do ciclo.



**Figura 4.3.** Peso de frutos de Tomate por vasos (kg) em função de diferentes dosagens de Pó de Aciaria (PAE) e níveis de calagem. Urutaí-GO.

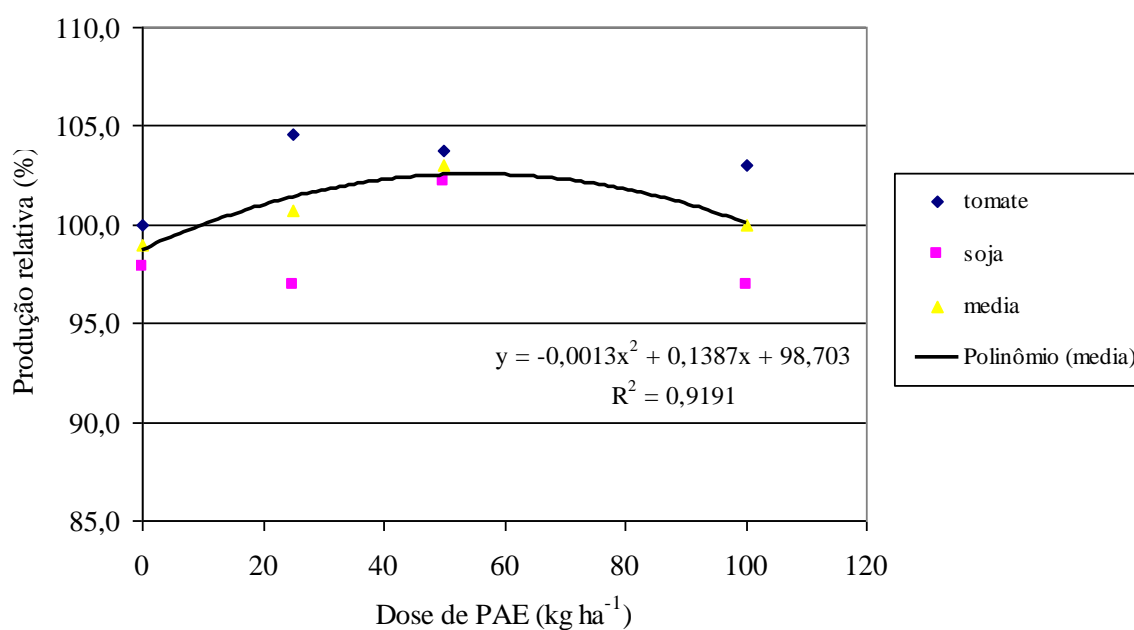
Verifica-se na Figura 4.5 que a produtividade relativa do tomateiro e da soja em função das doses de PAE ajustou-se numa equação polinomial do 2º grau. A dosagem de 53,3 kg ha<sup>-1</sup> de PAE mostrou ser ideal para maiores produções de ambas as culturas.

Quanto as variáveis na análise de solo (Tabela 4.4) verifica-se que as variáveis associadas a acidez do solo (pH, Ca, Mg e V%) apresentaram efeito significativo da calagem. Os demais metais não foram afetados pelos tratamentos. Nenhuma variável da análise do solo demonstrou interação significativa a 5% entre os tratamentos.

Os teores médios enquadraram-se na classe de interpretação adequada para todas as variáveis com exceção do Cu, Mn que enquadraram-se na classe alta e Zn que se encontra em nível baixo (Sousa & Lobato, 2004).



**Figura 4.4.** Incidência de “Fundo preto” em tomate. Urutaí-GO, 2009.



**Figura 4.5.** Produção relativa de tomate e soja em sucessão em vasos em função de diferentes dosagens do PAE. Urutaí-GO.

A adição de calcário incrementou significativamente as concentrações de Ca e Mg no solo (Figura 4.6), evidenciando a eficiência da calagem. A saturação por bases (V%) também incrementou com as doses da calagem atingindo valores 39% na maior dosagem. Esperava-se que a V% fosse elevada a 60%, mas os valores detectados estão na faixa adequada para solos de cerrados (Sousa & Lobato, 2004). Não houve diferença significativa

para os metais pesados, assim como para os outros micronutrientes, a partir da adição de PAE. Possivelmente este resultado ocorre em função da pouca solubilidade do pó de aciaria num curto espaço de tempo (cerca de quatro meses).

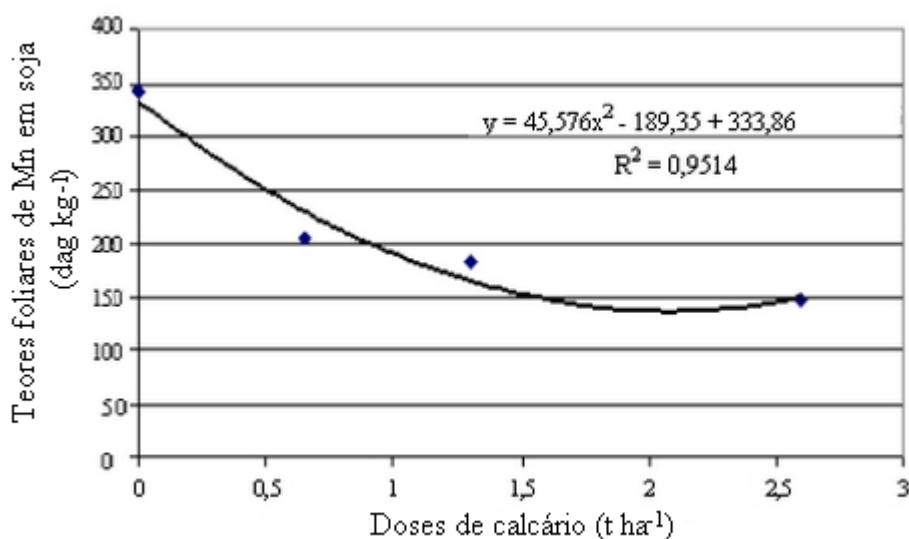
**Tabela 4.4.** Análise de Variância, média e coeficiente de variação para variáveis na análise de solo submetidas a diferentes doses de calcário e do PAE em vasos. Urutai, GO.

Causa de Variação	pH	Extraído KCl			Extraído com Mehlich I							
		Ca	Mg	V	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn
		--cmolc dm <sup>-3</sup> -- %			-----mg dm <sup>-3</sup> -----							
Teste F PAE	0,26	1,79	1,36	1,98	1,05	1,22	0,83	0,25	2,60	1,68	1,01	1,02
Teste F CAL	4,48*	27,62**	20,30**	42,80**	1,05	1,12	1,38	0,36	1,38	0,66	0,54	1,63
Int. PAExCAL	1,07	1,28	0,56	0,89	1,0	1,84	0,47	1,45	0,78	0,50	0,58	0,56
Média	4,94	1,01	0,43	30,78	0,42	7,60	1,58	7,22	1,12	24,84	23,95	0,68
CV (%)	3,30	16,8	21,86	12,31	22,25	13,69	12,46	4,95	26,18	12,73	16,87	38,94

Obs: Não indicado, não significativo. \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

Os valores de metais tóxicos (Ni, Cr, Cd e Pb) no solo foram muito baixos, comparados aos valores referências propostos pela Cetesb e Sanepar como referências para solos brasileiros (Malavolta & Moraes, 2006).

Na Tabela 4.5 verifica-se que o Mn foi o único elemento cujas médias apresentaram diferença significativa, evidenciando um decréscimo de sua disponibilidade em função da calagem. Isto condiz com a literatura sobre fertilidade de solos de cerrado, que afirma que a elevação do pH na camada superficial do solo promove uma redução na disponibilidade desse micronutriente (Figura 4.6). Comparando-se os teores foliares de nutrientes na cultura da soja com as classes de interpretação propostas por Malavolta et al. (1997) verifica-se que os teores médios de Ca, Mg, Cu, Mn e Zn enquadram-se na classe adequada, conforme Souza & Lobato (2004). Os teores médios de Fe enquadram-se na classe adequada. Metais tóxicos não foram detectados na análise foliar.



**Figura 4.6.** Teores foliares de Mn em soja, em vasos, em função de diferentes dosagens Calcário. Urutaí-GO.

**Tabela 4.5.** Análise de Variância, média e coeficiente de variação para variáveis na análise foliar de soja submetidas a diferentes doses de Calcário (CAL) e do Pó de Aciaria (PAE) em vasos. Urutai, GO.

Fonte de Variação	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb
	----dag kg <sup>-1</sup> ----			-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
Teste F PAE	2,41	3,12	2,16	2,54	0,73	2,91	-	-	-	-
Teste F CAL	0,41	0,33	2,78	1,30	19,99**	1,28	-	-	-	-
Média	1,27	0,43	11,56	352,63	219,56	21,27	Nd	Nd	Nd	Nd
CV (%)	14,64	30,49	10,01	9,56	17,50	16,97	-	-	-	-

Obs: Não indicado, não significativo. \*: significativo a 5% de probabilidade, \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

#### 4.4 CONCLUSÕES

- Os teores de metais pesados detectados no solo ficaram abaixo dos limites considerados tóxicos, apesar do acréscimo de Cd, Cr e Pb ao solo;
- Não foram detectados metais pesados em tóxicos nas folhas de soja;
- Houve decréscimo dos teores de Mn no solo em função da calagem, independente da dose de pó de aciaria. O teores foliares médios de Ca, Mg, Cu, Mn e Zn enquadram-se na classe adequada conforme a literatura.
- A avaliação da viabilidade do pó de aciaria é comprometida em curtos período de tempo de observação devido à sua baixa solubilidade.
- O efeito do pó de aciaria (PAE) foi potencializado pela aplicação de corretivos.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; FAQUIN, V. e GUEDES, G. A. A. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e de contaminantes para plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p.1483-1491, 2000.

BRANDÃO, A. S.; LOPES, M. R. Cadeia do tomate industrial no Brasil. In: VIEIRA, R. C. M.; TEIXEIRA FILHO, A. R.; OLIVEIRA, A. J.; LOPES, M. R. Cadeias produtivas no Brasil: Análise da competitividade, Brasília. Embrapa. Fundação Getúlio Vargas. 2001. 468 p.

CARVALHO, J. G.; BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Editora UFLA, 2004. p. 63-120.

CONAB. **Soja-Brasil:série histórica de área plantada: safras 76/77 a 09/10**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/SojaSerieHist.xls>> Acesso em: 18 nov. 2009.

CORREA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.), FERNANDES, D. M.; PERES, M. G. M. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, 2008.

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise química do solo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17 p. (Boletim Extensão, 29).

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, 2001.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. Fundamentos da química do solo – Teoria e prática. 2ed. Rio de Janeiro: Feitas Bastos, 2002. 182 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. de. Sobre a sugestão dos metais pesados tóxicos em fertilizantes e sobre a Portaria 49 de 25/04/2005 da secretaria de defesa agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Informações Agronômicas, nº 114. 2006. 10-14 p.

MASCARENHAS, H. A. A; TANAKA, R. T; CARMELLO, Q. A. Q.C; GALLO, P.B; AMBROSANO, G. M. B.. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, 2000.

MAPA -Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - **Intercâmbio comercial do Agronegócio: Principais mercados de destinos** edição 2009. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 06/01/2010.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Desempenho da cadeia agroindustrial brasileira do tomate na década de 90. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 154-160, 2004.

MINAMI, K.; HAAG, H. P. 1989. O tomateiro. 2 ed., Campinas, Fundação Cargill, 397 p.

SANTOS, G. C. G; ABREU, C. A; CAMARGO, O. A; ABREU, M. F. Pós-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, 2002 .

SELEGUINI, A. Híbridos de tomate industrial cultivados em ambiente protegido e campo, visando produção de frutos para mesa. 2005. 56f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 253-260, 2001.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

VIGANO, J. B. WILBERG, K. Q.; KAUTZMANN, R. M. LENZ, D. M. Recuperação de Zinco do pó de exaustão de indústria siderúrgica em meio alcalino - **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 437 - 444, 2004.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento e o ensaio conduzidos com o objetivo de analisar os efeitos da adição do pó de aciaria elétrica como fonte de micronutrientes para as culturas de milho, soja e tomate industrial em diferentes níveis de calagem se mostra de grande relevância como busca de alternativas ao uso de fertilizantes químicos em larga escala, num contexto de franca expansão dos cerrados goianos como fronteira agrícola, em tempos de diversificação da produção e conseqüente alargamento das fronteiras do “agribusiness”. A possibilidade de contaminação do solo por metais tóxicos torna-se um fator de extrema relevância na adoção destas alternativas em função das suas possíveis conseqüências para a vida humana, face aos desencadeamentos gerados. Neste trabalho, os resultados indicaram que os teores de metais pesados detectados no solo e nas folhas das plantas analisadas ficaram muito abaixo dos limites considerados tóxicos, não sendo evidenciados aumentos expressivos nas folhas e nos grãos de soja e milho, os quais pudessem vir a representar um perigo de uso ou deixar um passivo ambiental. Entretanto, faz-se necessário um criterioso monitoramento do efeito residual do pó de aciaria elétrica, por sua baixa solubilidade visando uma avaliação de sua eficiência agrônômica. A possível recomendação como fertilizante requer estudos mais aprofundados porém, neste trabalho, os resultados mostram que não houveram ganhos significativos de nutrientes no solo em função do uso do material estudado, resultado que pode ter sido comprometido em função da baixa solubilidade do pó e do relativo curto tempo de observação, principalmente no ensaio envolvendo tomate e soja em rotação. Foi possível observar que os efeitos do pó de aciaria (PAE) foi potencializado pela aplicação de corretivos, informação esta relevante nas práticas de manejo das culturas estudadas.

## 6 ANEXOS

### Anexo A . Teores de vários metais encontrados no tecido vegetal.

Elemento	Mínimo	Mediano	Máximo
	ppm		
As	1	4	14
Cd	10	25	50
Cr	1	5	9
Co	6	21	25
Cu	14	17	22
Hg	1	3	7
Ni	13	27	60
Zn	175	250	390

Fonte: Malavolta (2006).

### Anexo B. Valores limites de metais pesados tóxicos no solo em alguns países.

País	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg
----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----						
Holanda						
M.O. e argila 0%	15	39	0,4	50	50	0,2
M.O. 10% e argila 25%	29	200	0,8	100	85	0,3
Austrália	-	-	1,0	-	20	0,2
Bélgica	-	-	1 - 3	-	-	-
Japão	-	-	≤ 1,0	-	-	-
Austrália	-	-	1,0	-	-	-
Dinamarca	-	-	0,5	-	-	-
Finlândia	-	-	0,5	-	-	-
Alemanha	-	-	1,0	-	-	-
Portugal						
pH ≤ 5,5	-	-	1,0	50	50	1,0
pH < 5,5 ≤ 7,0	-	-	3,0	200	300	1,5
pH >7,0	-	-	4,0	300	450	2,0
CETESB	3,5	75	<0,5	40	17	0,05
SANEPAR						
pH <7,0	-	-	1,0	100	50	1,0
pH >7,0	-	-	3,0	150	300	1,5

Adaptado por Malavolta & Moraes (2006).

**Anexo C.** Valores máximos de adição de metais pesados tóxicos no solo em alguns países.

País ou região	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg
	----- $(g.kg^{-1}.ano^{-1})$ -----					
Canadá	333	-	89	-	2.222	22
Áustria	-	-	5,0	-	-	-
Finlândia	-	-	3,0	-	-	-
Alemanha	-	-	16,7 <sup>(1)</sup>	-	-	-
Suíça	-	-	0,75	-	-	-
Bélgica	-	-	150	-	-	-
EUA – Estado do Texas	415	-	392	-	3.004	168
EUA – Estado do Washington	333	-	89	-	2.222	22

Adaptado por Malavolta e Moraes (2006); <sup>(1)</sup> Período de 3 anos.

**Anexo D.** Concentrações totais máximas permitidas de metais potencialmente tóxicos por unidade de Zn (% em peso), pela legislação dos EUA, em fertilizantes que contêm resíduos perigosos.

Metal	Concentração ( $mg\ kg^{-1}$ )
As	0,3
Cd	1,4
Cr	0,6
Pb	2,8
Hg	0,3

Fonte: USEPA (2002).

**Anexo E.** Concentrações máximas permitidas de metais em resíduo inorgânico e os limites no solo.

Metais	Resíduo <sup>1</sup>	São Paulo		EUA
		Solo	Fertilizante 1,2	Fertilizante 1
	..... $mg\ kg^{-1}$ .....			
Cd	170	0,39	65,5	16,8
Pb	8.518	19,5	3.276	33,6
Cr	12.623	28,9	4.855	7,2
Hg	26,4	0,06	10,1	3,6
As	655	1,5	252	3,6
Ni	6.377	14,6	2.453	-
Se	2009	4,6	773	-

<sup>1</sup> Valores calculados com base em um resíduo com 12% de Zn.

<sup>2</sup> Valores calculados usando IEA de 70% e a quantidade de 5 kg de Zn por ha.

**Anexo F.** Número de aplicações de um pó de aciaria para atingir o teor de alerta de metais pesados no solo.

Metais	Teor no resíduo <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Quantidade adicionada ao solo em uma aplicação <sup>2</sup>		Teor no solo		Número de aplicações <sup>3</sup>
		(g ha <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	Referência	Alerta	
Cd	130	7,1	0,0027	<0,5	3	926
PB	25000	1355	0,5211	17	100	159
Cr	6000	325,2	0,125	40	75	280

<sup>1</sup> Teores normalmente verificados nos pós de aciaria (Quadro 1); <sup>2</sup> Calculada, considerando um IEA de 70%, a quantidade de 5 kg de Zn por ha e densidade do solo igual a 1,3; <sup>3</sup> Calculado pela fórmula: (Teor de alerta no solo – Teor de referência no solo) / Quantidade adicionada ao solo em uma aplicação.

**Anexo G.** Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo.

Substância	Solo (mg kg <sup>-1</sup> de peso seco)				
	Referência de qualidade (VQ)	Prevenção (VP)	Intervenção (VI)		
			Agrícola APM <sub>max</sub>	Residencial	Industrial
Inorgânicos					
Cádmio	<0,5	1,3	3	8	20
Chumbo	17	72	180	300	900
Cobre	35	60	200	400	600
Cromo	40	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-
Níquel	13	30	70	100	130
Nitrato (N)	-	-	-	-	-
Zinco	60	300	450	1.000	2.000

Fonte: CETESB (2005).