



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EFEITOS DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA DE BAUXITA NO SOLO E NO MILHO

Luiz H. Peçanha Sossai¹; Carlos Antonio Centurión Maciel²; Christiano Gonçalves Vidal³

RESUMO

Este trabalho teve por finalidade o estudo do uso da escória de siderurgia de bauxita em atividades agrícolas. Foi feito um ensaio de incubação de 60 dias de duração, com 8 tratamentos e 4 repetições utilizando o correspondente a 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 t ha⁻¹ do resíduo misturado ao solo e umedecido com água na capacidade de campo, e posterior análise. Os valores de análise em destaque pela variação foram referentes ao pH, K, P, S, Ca, Mg, B, H+Al e %V. Também foi realizado em estufa um experimento em vasos, com o mesmo solo, utilizando o milho como planta teste. O delineamento experimental constou de 8 tratamentos e 4 repetições com as mesmas quantidades correspondentes de resíduo da incubação. Aos 86 dias da semeadura, foi determinada a massa verde da parte aérea e os pesos da raiz fina e grossa. Após análise das partes, não foram constatados nas dosagens utilizadas sintomas de toxidez nas folhas e no desenvolvimento do milho, permitindo-se utilizar a dose de 35 t ha⁻¹, quantidade dentro dos parâmetros exigidos por leis, sem risco de prejuízo ambiental. Com o cobre e o ferro ocorreu o fenômeno de compartimentação na raiz fina, inibindo a translocação excessiva desses metais para a parte aérea da planta.

Palavras-chave: Resíduo siderúrgico; *Zea mays L.*; compartimentação.

EFFECTS OF STEEL SLAG BAUXITE ON SOIL AND CORN

ABSTRACT

This work aimed to study the use of slag bauxite in agricultural activities. Was made a test incubation of 60 days duration, with 8 treatments and 4 replicates using corresponding to 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 t ha⁻¹ of residue mixed with soil and moistened with water at field capacity, and further analysis. The figures highlighted by the analysis of variance were related to pH, K, P, S, Ca, Mg, B, H+Al and %V. It was also performed in a greenhouse experiment in pots with the same soil, using corn as plant test. The experiment consisted of 8 treatments and 4 replications with the same quantities of residue incubation. After 86 days of sowing, the green mass of aerial part and weights of fine and coarse roots were determined. After consideration of the parts, were not observed in the dosages used toxicity symptoms on leaves and development of corn, letting use a dose of 35 t ha⁻¹, quantity within the parameters required by law, without risk of environmental damage. With copper and iron was the phenomenon of compartmentalization in fine root, inhibiting excessive translocation of these metals to aerial part of the plant.

Keywords: Siderurgic residue; *Zea mays L.*; compartmentation.

¹ Engenheiro Ambiental pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - UNIPINHAL.
E-mail: luiz_pinhal@yahoo.com.br

² Professor do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - UNIPINHAL.
E-mail: centurion@unipinhal.edu.br

³ Engenheiro Ambiental pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - UNIPINHAL.
E-mail: chrissgvl@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional que desenfreou no século XX e continua em expansão no século XXI, assim como as necessidades humanas que com o passar do tempo vão se aprimorando cada vez mais, torna-se primordial, para acompanhar esses crescimentos e dar uma qualidade de vida desejável à população, o desenvolvimento tecnológico, agrícola, extrativista e industrial. Porém, para sustentar todos esses avanços e comodidades da vida moderna, às vezes, não percebemos o quanto isso pode agredir o meio ambiente em todos os seus aspectos (físicos, químicos e biológicos).

Tão crítico quanto o problema da utilização intensiva dos recursos naturais, levando à sua escassez, é com certeza a questão dos resíduos. Resíduo é todo o subproduto de algum processo antrópico, que a priori não apresenta nenhum valor comercial ou substancial, que se não tomado os devidos cuidados pode causar sérios danos ao meio ambiente.

Assim, é de muita valia e interesse a gestão desses rejeitos, depositando-os em locais próprios e seguros para que não haja contaminação ambiental, como é o caso dos aterros sanitários. Outro modo muito mais nobre e viável do ponto de vista ambiental e econômico é tornar um determinado resíduo, aparentemente sem

valor algum e com um potencial risco de contaminação, em matéria prima, isto é, transformar um problema em uma solução.

Existem basicamente três tipos de resíduos gerados pela humanidade: resíduos industriais, urbanos e agrícolas, incluindo neste último os agroindustriais. O interesse de utilização desses resíduos diretos ou em algum tipo de processamento, dependendo do produto em questão, está em reciclar matéria orgânica, em muitos casos e nutrientes, macronutrientes e micronutrientes em todos eles. No caso dos resíduos industriais, muitos deles são matérias primas para a obtenção de micronutrientes de uso agrícola. Em muitos casos é necessário levar em conta o teor de metais pesados que possam limitar o seu uso (MALAVOLTA, 1994). Leis de vários países restringem o descarte indiscriminado de lixo industrial, assim, muitos desses materiais podem ser comercializados como fertilizantes. Por exemplo, poeiras e fumaça de indústrias de galvanoplastia, pigmentos, borracha e baterias podem ser usadas como fontes de zinco (LOPES,1991).

O ramo industrial é uma grande fonte poluidora, com todos os seus processos e mecanismos de produção, seja qual for o bem ou serviço produzido. Empresas siderúrgicas geram grande quantidade e variedade de resíduos, muitas vezes

denominados de escórias. Essas escórias geralmente apresentam teores de metais pesados, que podem ser tóxicos aos seres vivos tendo ação acumuladora nos organismos, além de outros elementos diversos.

Segundo Malavolta (1994), a expressão “metal pesado” se aplica a elementos com peso específico maior que 5 g.cm^{-3} ou que tenham número atômico maior que 20, englobando assim metais, semi-metais e não metais como o selênio. Impróprio ou não o termo “metal pesado” é mais utilizado para indicar metais classificados como poluentes de solo, ar, água, alimentos e forragens. Os mais comuns desses metais são: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Vanádio (V), Alumínio (Al), Prata (Ag), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb). Rodella e Alcarde (2001) definem metal pesado como um termo que, em geral, trás uma ideia de toxicidade, embora essa expressão não se origine de sua definição, logo que entre os metais pesados existem elementos essenciais aos seres vivos, logicamente respeitando suas devidas proporções quantitativas.

Accioly e Siqueira (2000) explicam que as plantas mostram variações comportamentais quanto à absorção e translocação de metais das raízes para a

parte aérea, apresentando assim, diferentes concentrações em partes distintas das plantas, o que pode ser chamado de compartimentação. Dentre os fatores que podem influenciar estas variações está o pH, que pode ser considerado o principal fator isolado leva à disponibilidade de nutrientes para a planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). Assim em condições elevadas de acidez, a disponibilidade de ferro, cobre, manganês e zinco são maiores, enquanto a de molibdênio e cloro menores. Em situação de maior alcalinidade dos solos, ocorre uma inversão, menores concentrações de ferro, cobre, manganês e zinco e maiores concentrações de molibdênio e cloro. Assim, na faixa de pH entre 6,0 a 6,5, tem-se a disponibilidade máxima de macronutrientes, e a disponibilidade afastada da mínima, no caso dos micronutrientes.

Tendo em vista que as indústrias siderúrgicas geram grande quantidade de escórias, uma pergunta básica poderia ser feita: como transformar esse resíduo em uma matéria prima? Tecnicamente várias opções poderiam ser criadas, viáveis ou não, com certeza uma delas poderia ser o seu uso agrícola como uma possível fonte de nutrientes e de corretivos de acidez para diversos tipos de culturas diferentes.

A agricultura atualmente precisa cada vez mais lançar mão de vários

insumos agrícolas para atender à demanda de alimentos e matéria-prima da crescente população. Sendo seus principais insumos os fertilizantes e corretivos de acidez. Logo, a utilização da escória de siderurgia na agricultura pode ser uma alternativa, podendo substituir esses insumos totalmente ou pelo menos em parte.

Logicamente um possível uso desse resíduo não pode ocorrer de forma indiscriminada, um manejo, gestão, deve ser implantado, pois caso contrário poderá acarretar em uma contaminação do solo e, possivelmente, em uma contaminação da planta, diminuindo a produtividade, ou ainda pior, dependendo da cultura podendo entrar até mesmo na cadeia alimentar dos seres humanos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi:

- a) Determinar os efeitos do uso da escória de siderurgia de bauxita na liberação de elementos capazes de modificar o pH do solo e na disponibilidade de alguns nutrientes essenciais ao vegetal, empregando-se um solo ácido, de baixa fertilidade natural;
- b) Verificar o aparecimento de possíveis sintomas de toxidez na planta de milho, nas dosagens de resíduo utilizadas;

- c) Avaliar a ocorrência de compartimentação de cátions metálicos nas partes vegetativas do milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em casa de vegetação da área de Solos do Curso de Engenharia Ambiental – Unipinhal, no município de Espírito Santo do Pinhal – SP. E foi realizado no período de agosto a dezembro do ano de 2009.

O delineamento experimental, inteiramente casualizado, constou de oito tratamentos e quatro repetições, utilizando-se oito quilos de solo peneirado por vaso com capacidade de 10 litros.

2.1 Solo

O solo utilizado foi proveniente do município de Caldas – MG, classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico, cujas características química e granulométrica constam nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

A análise de solo foi determinada conforme a metodologia de Raij et al. (2001), enquanto que a granulométrica, conforme a metodologia da EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Análise química do solo (macronutrientes).

Amostra	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca mg dm ⁻³	Mg mg dm ⁻³	Al mmol _c dm ⁻³	SB mmol _c dm ⁻³	H+Al mmol _c dm ⁻³	CTC mmol _c dm ⁻³	V (%)
Solo 0 - 20cm	31	5,2	10	11	0,4	20	11	1	31	28	59,4	53
Solo 20 - 40cm	20	4,5	8	9	0,2	5	3	2	8,2	34	42,2	19

Tabela 2. Análise química do solo (micronutrientes).

Amostra	Boro mg dm ⁻³	Cobre mg dm ⁻³	Ferro mg dm ⁻³	Manganês mg dm ⁻³	Zinco mg dm ⁻³
Solo 0 - 20cm	0,16	0,6	26	1,4	0,5
Solo 20 - 40cm	0,14	0,3	18	0,4	0,1

Tabela 3. Análise granulométrica do solo.

Amostra	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia Total g kg ⁻¹	Areia Grossa g kg ⁻¹	Areia Fina g kg ⁻¹	Classificação
Solo 0 - 20cm	379	192	429	352	77	Franco argiloso
Solo 20 - 40cm	395	181	424	346	78	Franco argiloso

2.2 Resíduo

O resíduo utilizado foi a escória de siderurgia de bauxita, fornecido pela empresa ELFUSA GERAL DE ELETROFUSÃO, situada no município de São João da Boa Vista – SP. O resíduo se caracteriza por ser um pó muito fino de coloração acinzentada retido nos filtros da chaminé da indústria. É classificado como Resíduo Classe II A (Resíduo não inerte) de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). Sua análise foi feita conforme Malavolta; Vitti; Oliveira (1989) cujas características químicas estão inseridas na Tabela 4. Foi

determinado o pH do resíduo, segundo Raij et al. (2001), com valor de 9,4.

O resíduo foi peneirado em peneira ABNT – 10, abertura de 2 mm, seco em temperatura ambiente por uma semana e pesado da forma descrita na Tabela 5.

Tabela 5. Quantidade de resíduo por tratamento.

Tratamento	g vaso ⁻¹	t ha ⁻¹
1	0	0
2	20	5
3	40	10
4	60	15
5	80	20
6	100	25
7	120	30
8	140	35

Tabela 4. Análise do resíduo: valores totais

N	S	P	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Zn	Mn
g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
0	2,7	0,4	14	10	17	0	50	2521	420	1632

O tratamento 1 foi utilizado como controle (testemunha), com 0 t ha⁻¹ de

resíduo. A partir do controle foram avaliados os outros tratamentos. Como

nutrientes necessários à nutrição do milho, adicionou-se em cada vaso 175 mg dm^{-3} de P sob forma de superfosfato simples, e 100 mg dm^{-3} de K utilizando-se o cloreto de potássio como fonte. A seguir misturaram-se ao solo o superfosfato simples o cloreto de potássio e a quantidade de resíduo, respectivo, de cada tratamento.

2.3 Milho

A cultura utilizada para o experimento foi milho, cultivar AL. Bandeirante, com sementes da categoria S2, peneira 24, safra 2007/2008, pureza 98% e germinação 85%.

Em cada vaso foram semeadas cinco sementes. Após a germinação foi realizado o desbaste deixando três mudas por recipiente. Durante o experimento manteve-se a terra com uma umidade suficiente para a planta se desenvolver, sem água em excesso, para evitar o lixiviamento do resíduo. Treze dias após a semeadura foram adicionados, por vaso, 40 mg dm^{-3} de N sob forma de sulfato de amônio como fonte de nitrogênio. Trinta e oito dias após a semeadura foram aplicados em cada vaso 2,5 g de adubo 20-0-20 (20% de N, 0% de P_2O_5 e 20% K_2O). Cinquenta e quatro dias após a semeadura foi realizada mais uma aplicação de 2,5 g de 20-0-20 e 100 mg dm^{-3} de N sob forma de sulfato de amônio. Sessenta e oito dias após a semeadura foi realizada uma última

adubação de 2,5 g de adubo 20-0-20 por vaso. O experimento em casa de vegetação se finalizou aos oitenta e seis dias após a semeadura.

2.4 Compartimentação

Para fins de estudos de compartimentação, a planta foi dividida em duas partes: parte aérea e parte radicular. A parte aérea, compreendendo as folhas e o caule, foi cortada bem rente ao vaso e pesada para se determinar a massa verde. Após esse procedimento foram coletadas amostragens de folhas de cada tratamento. As folhas foram coletadas retirando a folha de baixo da espiga e pegando o terço central da mesma (RAIJ et al.,1996). Foram lavadas com água destilada e desionizada e acondicionadas em sacos de papel perfurados e colocadas em estufa com ventilação forçada de ar e mantida a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até a obtenção de massa constante. Após a secagem, as folhas foram moídas e pesadas, iniciando-se o processo analítico (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

A parte radicular foi retirada dos vasos e lavada cuidadosamente para se retirar toda a terra, evitando a perda de material da raiz. Em seguida, ela foi seca em temperatura ambiente para se retirar a água proveniente da lavagem e pesada para se obter a massa verde da raiz. Para se proceder a análise do material, a raiz foi

dividida em duas partes: raiz grossa e raiz fina. O procedimento de secagem, moagem e análise foi o mesmo descrito anteriormente.

2.5 Incubação

Para saber o quanto o resíduo modifica as características químicas do solo, procedeu-se à realização de um ensaio de incubação com 4 repetições. Para tal finalidade, pesou-se, em saquinho plástico, 1 kg de terra passada em peneira ABNT – 10, abertura de 2 mm e misturada aos resíduos nas dosagens crescentes. Os tratamentos e suas respectivas quantidades de resíduo constam na Tabela 6. Foram acrescentados em cada saquinho, aproximadamente 290 ml de água desionizada, o suficiente para promover bom umedecimento, na capacidade de campo. Os tratamentos foram deixados em incubação por sessenta dias, tomando o cuidado de revirar os saquinhos todos os dias. Em seguida, o solo em incubação foi retirado do saquinho plástico, secado em

temperatura ambiente, peneirado em peneira ABNT – 10, abertura de 2 mm e analisado segundo a metodologia de Raij et al. (2001).

Tabela 6. Quantidade de resíduo por tratamento na incubação do solo

Tratamento	g vaso ⁻¹	t ha ⁻¹
1	0	0
2	2,5	5
3	5	10
4	7,5	15
5	10	20
6	12,5	25
7	15	30
8	17,5	35

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaio de Incubação

Conforme o ensaio de incubação realizado, foi possível constatar algumas modificações notórias que a escória de siderurgia atribuiu às características químicas do solo em questão, o que é possível perceber nas Tabelas 7 e 8, cujas análises foram realizadas segundo o método proposto por Raij et al. (2001).

Tabela 7. Análise de macronutrientes dos tratamentos de incubação.

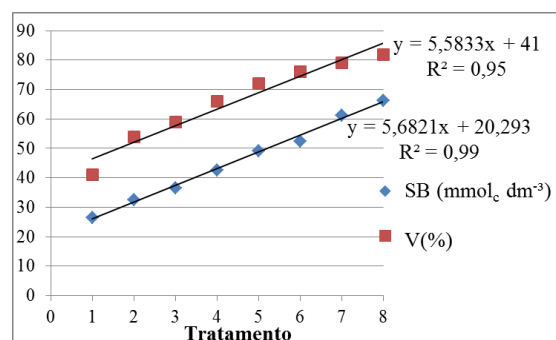
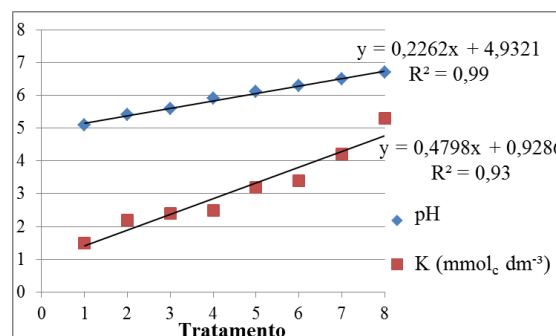
Tratamento	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	SB	H+Al	CTC	V (%)
						----- mmol _c dm ⁻³ -----						
1	31	5,1	14	6	1,5	15	10	1	26,5	38	64,5	41
2	30	5,4	14	9	2,2	17	13	1	32,4	28	60,4	54
3	30	5,6	14	11	2,4	19	15	1	36,4	25	61,4	59
4	30	5,9	15	13	2,5	20	20	1	42,5	22	64,5	66
5	31	6,1	15	14	3,2	24	22	1	49,2	19	68,2	72
6	30	6,3	16	16	3,4	25	24	1	52,4	17	69,4	76
7	30	6,5	18	17	4,2	27	30	1	61,2	16	77,2	79
8	30	6,7	20	18	5,3	28	33	1	66,3	15	81,3	82

Tabela 8. Análise de micronutrientes dos tratamentos de incubação.

Tratamento	Boro	Cobre	mg dm ⁻³		Zinco
			Ferro	Manganês	
1	0,34	2,7	44	20	3,1
2	0,31	2,6	43	20	3,2
3	0,29	2,4	43	20	3,4
4	0,27	2,6	44	20	3,1
5	0,25	2,7	43	20	3,1
6	0,23	2,7	43	21	3,3
7	0,22	2,6	43	20	3,2
8	0,20	2,7	44	20	3,3

3.1.1 Somatória de Bases, %V, CTC, pH e Potássio

A somatória de bases (SB) apresentou um aumento de seus valores, se tratando da soma de potássio, cálcio e magnésio. O mesmo ocorreu com o CTC (capacidade de troca de cátions), também se tratando de um cálculo, sendo a soma dos valores de SB e H+Al. O %V, que também é obtido através de um cálculo ($[100 \times SB]/CTC$), apresentou um grande aumento, sendo uma referência de que o solo se tornou mais fértil. O pH teve seus valores aumentados, logicamente pelo fato do resíduo ser um material bem alcalino. O potássio teve seus valores elevados, pois, segundo Malavolta (1976), o aumento no pH de solos ácidos gera um aumento no teor de K na solução do solo, além de que o próprio resíduo apresenta uma quantidade significativa de potássio em sua composição, conforme Tabela 4. Nas Figuras 1 e 2 é possível verificar as variações da somatória de bases, %V, pH e potássio, respectivamente.

**Figura 1.** SB e %V na incubação.**Figura 2.** pH e K na incubação.

3.1.2 Fósforo, Enxofre, Cálcio e Magnésio

Foi possível constatar, através da análise, que o cálcio teve uma elevação e o magnésio chegou a apresentar valores até três vezes maiores do que encontrado na testemunha, graças ao resíduo, que os apresenta em sua composição (ver Tabela 4). O fósforo apresentou um aumento, já que com a elevação do pH, cresce a quantidade de fósforo disponível, chegando sua disponibilidade ao máximo

com o pH em torno de 6,5 (MALAVOLTA, 1976). O enxofre apresentou uma variação positiva com a inserção do resíduo, devido ao fato do mesmo apresentá-lo em sua composição. Na Figura 3 pode-se visualizar a variação do fósforo e do enxofre. Enquanto na Figura 4 é possível verificar o aumento do cálcio e magnésio.

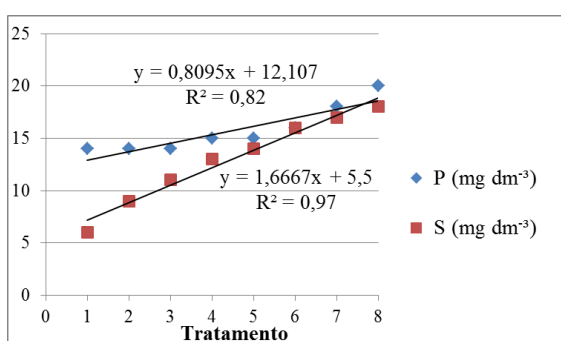


Figura 3. P e S na incubação.

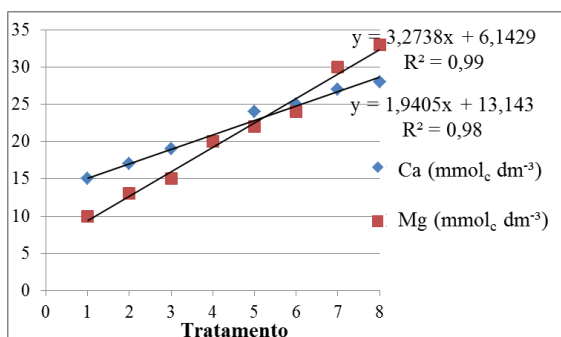


Figura 4. Ca e Mg na incubação.

3.1.3 Boro e Acidez Total

O boro foi um elemento que a sua disponibilidade para a planta diminuiu com o aumento da quantidade de resíduo no solo. Isso se explica devido ao aumento de pH que o resíduo atribuiu, pois, segundo Malavolta (1976), a carência de boro ocorre em pH mais elevado. A acidez total diminuiu, mostrando o potencial que o

resíduo apresenta de diminuir a acidez do solo, pois em solos muito ácidos, ocorre a dissolução de alumínio, que passa a ser um componente da acidez, algo que não acontece em solos mais alcalinos (RAIJ, 1991), daí o motivo da acidez total diminuir. Na Figura 5 pode-se verificar o decaimento do boro nos tratamentos. Na Figura 6 nota-se a variação da acidez total no solo.

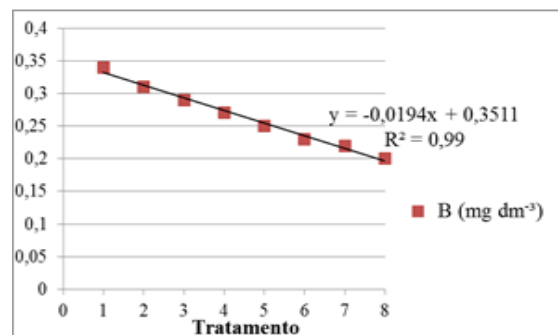


Figura 5. B na incubação.

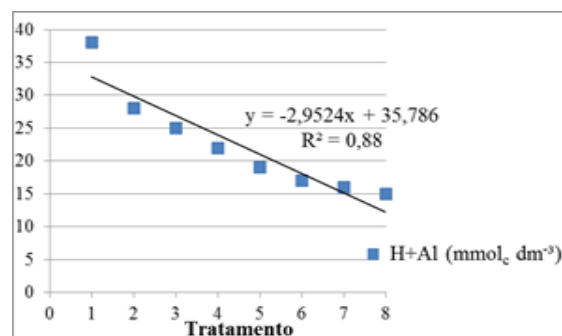


Figura 6. H+Al na incubação.

3.1.4 Matéria Orgânica, Alumínio, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco

Todos esses elementos não tiveram variações significativas com e inserção do resíduo no solo, durante a incubação. O resíduo não apresenta em sua composição matéria orgânica e nem alumínio. O cobre,

ferro, manganês e zinco não tiveram variações de seus valores.

3.2 Ensaio com Milho

O ensaio de crescimento com milho em estufa, para fins de estudo e análise, foi dividido em cinco partes distintas: peso verde da parte aérea da planta (folha e caule), peso verde da parte radicular da planta (raiz grossa e fina), análise química da folha, análise química da raiz grossa e análise química da raiz fina.

3.2.1 Massa Verde da Parte Aérea e Radicular do Milho

Foi possível verificar, através da massa verde da parte aérea e radicular do milho, que não houve diferença de crescimento do milho nos tratamentos, mostrando que o resíduo não causou sintomas de toxidez com a inserção do

mesmo no solo, não alterando assim o crescimento da planta (Tabela 9).

Tabela 9. Massa verde da parte aérea e da parte radicular do milho

Tratamento	Massa Verde (kg)	
	Parte Aérea	Parte Radicular
1	0,803 a	0,242 a
2	0,914 a	0,388 a
3	0,937 a	0,234 a
4	0,895 a	0,422 a
5	0,897 a	0,200 a
6	0,940 a	0,284 a
7	0,907 a	0,285 a
8	0,935 a	0,251 a

Parte aérea: F = 0,320 n.s.; C.V. = 17,381%; DMS (Tukey) = 0,367

Parte radicular: F = 1,948 n.s.; C.V. = 38,460%; DMS (Tukey) = 0,259

Obs.: "Médias seguidas pela mesma letra são iguais estaticamente a 5% de probabilidade"

3.2.2 Análise Química da Folha do Milho

A análise química da folha do milho foi feita segundo Malavolta; Vitti; Oliveira (1989), obtendo-se valores conforme Tabela 10.

Tabela 10. Análise química da folha do milho

Tratamento	N	S	P	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Zn	Mn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
1	22	2,5	2,6	4,8	2,2	20	32	7,7	178	22	77
2	22	2,3	2,8	4,7	2,6	19	31	7,1	126	21	70
3	22	2,2	2,5	4,8	3,5	19	32	6,5	122	21	58
4	22	2,1	2,7	4,6	3,9	19	33	6,3	117	20	51
5	22	2,0	2,6	4,9	4,4	18	33	6,0	106	19	50
6	23	2,0	2,8	4,7	4,5	18	32	5,9	92	18	48
7	21	1,9	2,5	4,6	4,5	17	33	4,2	54	14	33
8	22	1,9	2,6	4,8	4,6	16	33	3,1	45	7	24

O zinco, o manganês e o ferro tiveram seus valores na folha diminuídos, conforme a quantidade de resíduo foi acrescentada, pois segundo Raij (1991), a disponibilidade para a planta de zinco,

manganês e ferro são menores em pH mais elevado. Na Figura 7 e na Figura 8 é possível verificar a mudança ocorrida em cada tratamento de zinco, manganês e ferro.

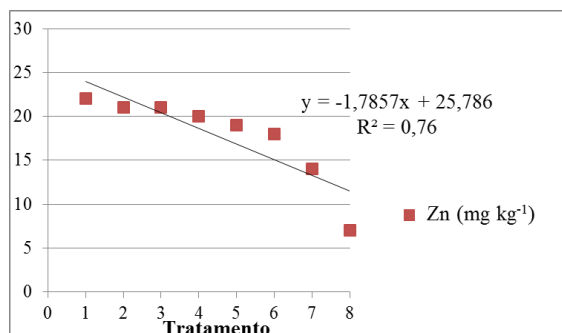


Figura 7. Zn na folha.

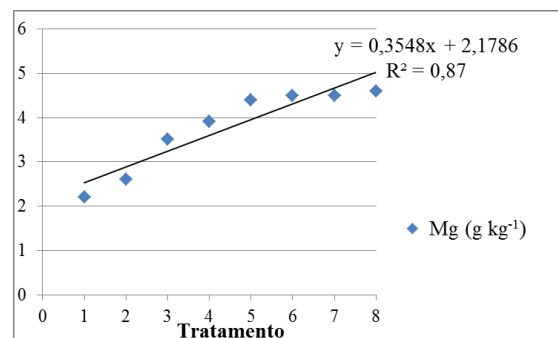


Figura 10. Mg na folha

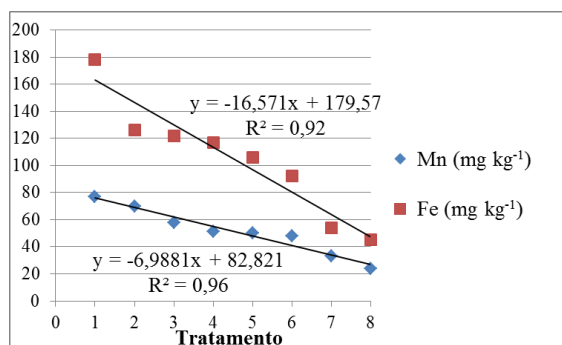


Figura 8. Mn e Fe na folha.

3.2.3 Cobre e Magnésio

O cobre teve seus valores diminuídos, algo que já era esperado, pois, a quantidade de cobre disponível para a planta diminui em pH mais elevado (RAIJ, 1991). O magnésio teve um aumento de sua concentração, pois, o resíduo o apresenta em sua composição. Nas Figuras 9 e 10, são visualizadas as variações ocorridas nos elementos citados acima.

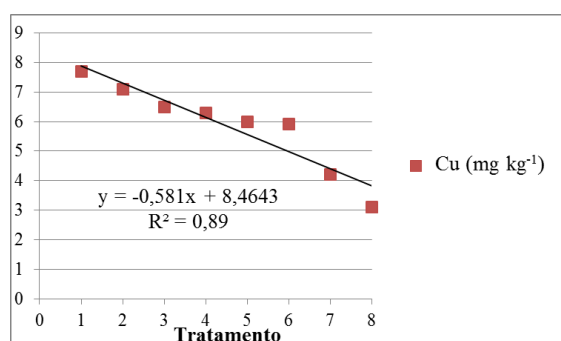


Figura 9. Cu na folha.

3.2.4 Nitrogênio, Boro, Enxofre, Cálcio, Fósforo e Potássio

Tanto o nitrogênio quanto o boro não apresentaram variações significantes com a inserção do resíduo nos tratamentos, já que o resíduo não os apresenta em sua composição. O enxofre, cálcio, fósforo e potássio não apresentaram variações de suas concentrações.

3.2.5 Análise Química da Raiz Grossa do Milho

A análise química da raiz grossa do milho foi feita segundo método de Malavolta; Vitti; Oliveira (1989), os resultados seguem na Tabela 11.

3.2.6 Enxofre, Cálcio, Magnésio, Potássio, Cobre

O enxofre, o magnésio e o cálcio na raiz grossa tiveram aumento, pois o resíduo os apresenta em sua composição. O cobre teve uma grande diminuição de sua concentração, devido ao aumento do pH (RAIJ, 1991). O potássio teve um bom aumento, graças ao resíduo que o contém, além de que o pH lhe propicia uma maior disponibilidade, conforme Malavolta (1976) (Figuras 11 e 12).

Tabela 11. Análise química da raiz grossa do milho.

Tratamento	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
	N	S	P	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Zn	Mn
1	8	2,7	1,2	2,1	1,1	12	79	29,5	2125	14	32
2	9	2,8	1,2	2,2	1,3	13	78	29,3	2122	14	33
3	8	3,0	1,1	2,2	1,5	13	69	26,9	2120	15	33
4	9	3,2	1,1	2,4	1,5	14	66	25,7	2100	14	34
5	8	3,5	1,2	2,7	1,6	15	62	17,8	2096	16	36
6	8	3,6	1,0	2,8	1,7	18	58	12,6	1947	16	37
7	8	3,9	1,1	2,9	1,8	19	56	8,4	1814	14	39
8	8	4,1	1,2	2,9	1,8	22	56	5,7	1604	15	39

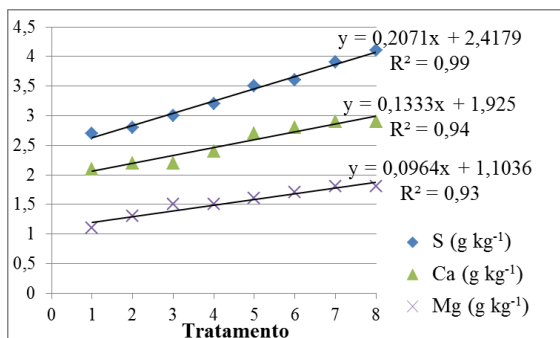


Figura 11. S, Ca e Mg na raiz grossa.

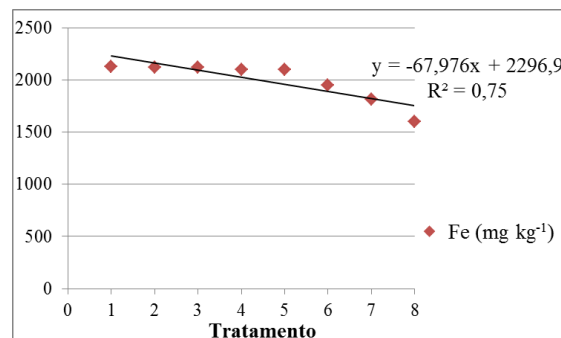


Figura 14. Fe na raiz grossa

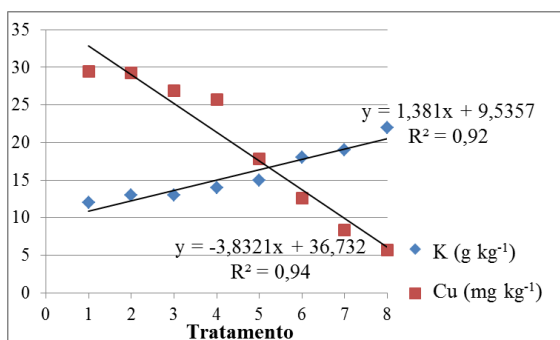


Figura 12. K e Cu na raiz grossa

3.2.7 Boro e Ferro

O boro e o ferro diminuíram com a inserção do resíduo, graças ao aumento do pH que reduz as concentrações disponíveis no solo (RAIJ, 1991), Figuras 13 e 14.

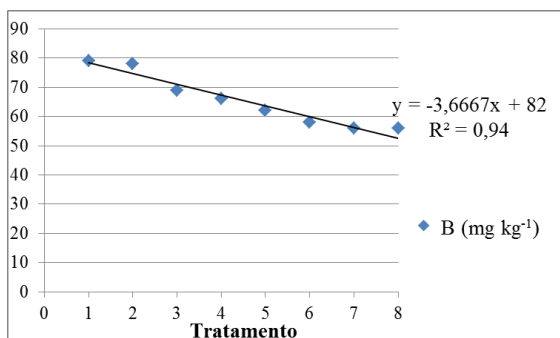


Figura 13. B na raiz grossa.

3.2.8 Nitrogênio, Manganês, Fósforo e Zinco

O nitrogênio, o manganês, o fósforo e o zinco não apresentaram variações significativas com o adicionamento do resíduo nos tratamentos na raiz grossa.

3.2.9 Análise Química da Raiz Fina do Milho

A análise química da raiz fina do milho foi feita segundo Malavolta; Vitti; Oliveira (1989), e foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 12).

3.2.10 Fósforo, Magnésio, Enxofre, Cálcio e Potássio

O fósforo, potássio, magnésio, enxofre e o cálcio apresentaram um aumento de seus valores (Figuras 15 e 16).

Tabela 12. Análise química da raiz fina do milho

Tratamento	N	S	g kg ⁻¹				K	B	mg kg ⁻¹			
			P	Ca	Mg				Cu	Fe	Zn	Mn
1	10	5,0	1,0	3,3	1,4	5	39	37,3	2232	30	41	
2	10	5,9	1,3	3,4	1,8	6	40	39,1	2220	39	47	
3	11	6,7	1,3	3,5	2,4	6	40	40,1	2236	42	61	
4	10	7,1	1,4	3,6	2,9	7	42	38,6	2242	48	68	
5	11	7,4	1,5	3,6	3,5	7	43	40,7	2224	51	73	
6	10	7,5	1,5	3,8	3,8	7	44	37,2	2230	52	77	
7	11	7,6	1,5	4,1	4,1	8	44	37,9	2238	56	79	
8	11	7,8	1,6	4,2	4,4	8	45	41,8	2258	59	82	

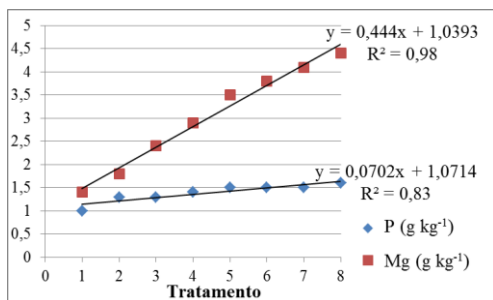


Figura 15. P e Mg na raiz fina.

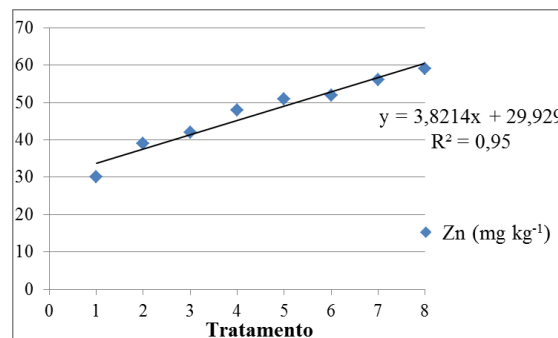


Figura 18. Zn na raiz fina.

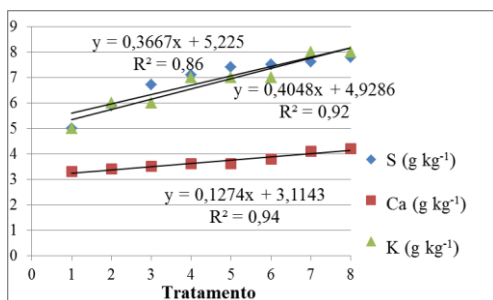


Figura 16. S, Ca e K na raiz fina.

3.2.11 Manganês e Zinco

O manganês e o zinco tiveram suas concentrações elevadas, o que pode ser visto nas Figuras 17 e 18.

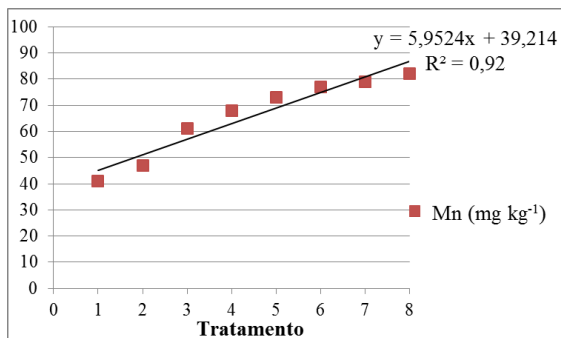


Figura 17. Mn na raiz fina.

3.2.12 Nitrogênio, Ferro, Boro e Cobre

O nitrogênio, o ferro, o boro e o cobre não apresentaram variações significantes na raiz fina com a inserção do resíduo no solo conforme os tratamentos, tendo os seus valores permanecidos praticamente os mesmos.

3.3 Compartimentação

Malavolta (1994) define a compartimentação como um mecanismo de tolerância à toxidez das plantas a metais pesados, devido ao menor transporte desses metais da parte radicular para a parte aérea, que consiste na retenção do metal na raiz e/ou vasos, imobilização do metal na parede celular e imobilização do metal no vacúolo.

Verificando os resultados obtidos pelas análises de folha, raiz grossa e raiz fina do milho e comparando os valores dos micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Zn e Mn) em cada parte da planta citada acima, notamos que o fenômeno de compartimentação ocorre nos elementos cobre e ferro, como é constatado na Tabela 13, onde é possível verificar a brusca diminuição de seus valores na raiz fina, grossa e folha. Assim, caso os grãos do milho fossem consumidos por animais ou pessoas, não haveria o risco de excesso de consumo ou possível contaminação desses dois metais, logo que a planta utiliza o mecanismo de compartimentação para

reter esses elementos. Os valores médios, considerados adequados para a nutrição de Cu no milho vão de 6 a 20 mg kg⁻¹ e de Fe vão de 30 a 250 mg kg⁻¹ (RAIJ et al., 1996).

No caso do zinco e do manganês, a compartimentação não foi constatada, pois em todas as partes da planta (folha, raiz fina e grossa) as concentrações desses elementos foram medianas, não justificando, assim, uma compartimentação desses metais pela planta. Raij et al. (1996), mostram que as concentrações médias de Mn no milho vão de 20 a 200 mg kg⁻¹, enquanto as de Zn vão de 15 a 100 mg kg⁻¹.

Tabela 13. Concentrações de Cu e Fe nas diferentes partes do milho

Tratamento	Cobre (mg kg ⁻¹)			Ferro (mg kg ⁻¹)		
	Raiz Fina	Raiz Grossa	Folha	Raiz Fina	Raiz Grossa	Folha
1	37,3	29,5	7,7	2232	2125	178
2	39,1	29,3	7,1	2220	2122	126
3	40,1	26,9	6,5	2236	2120	122
4	38,6	25,7	6,3	2242	2100	117
5	40,7	17,8	6	2224	2096	106
6	37,2	12,6	5,9	2230	1947	92
7	37,9	8,4	4,2	2238	1814	54
8	41,8	5,7	3,1	2258	1604	45

4. CONCLUSÕES

No teste de incubação do solo, os valores que mais sofreram variação foram o pH, K, P, S, Ca, Mg % V, B e o H+Al.

Na compartimentação o milho mostrou ser eficiente no controle da absorção do Cu e Fe não deixando translocar em excesso para a parte aérea da

planta, limitando-a a quantidade necessária para sua nutrição. Não foram constatados nas dosagens utilizadas, sintomas de toxidez ou alteração no desenvolvimento vegetal, podendo utilizar doses de até 35 t ha⁻¹, sem grandes problemas ambientais, embora estudos mais detalhados ainda devem ser executados para melhor comprovação do fato.

5. REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo/publicação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, p. 299-352, jul. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Classificação de Resíduos**. Rio de Janeiro: 2004. 71p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agronômica e preparo de fertilizantes**. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1, 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS / CNPQ, 1991. p. 356-390.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 201p.
- RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B. Van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. Van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim 100).
- RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. **Legislação sobre micronutrientes e metais pesados**. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. Van.; ABREU, C. A., eds. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**, Jaboticabal: CNPQ / FAPESP / POTAFOS, 2001. p. 555-576.