

APLICAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE ELETRODO NO CULTIVO DE ARROZ DE SEQUEIRO: ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO SOLO E DA PLANTA

Ana Rosa Ribeiro Bastos¹, Francisco G. E. Nogueira¹, Luiz C. A. Oliveira¹, Guilherme Amaral de Souza², Janice Guedes de Carvalho².

¹ Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras, Minas Gerais, Brasil. ² Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil,

Procurou-se estudar a disponibilidade de nutrientes e elementos não essenciais em amostras de um Latossolo Vermelho, tratadas com resíduos de eletrodo, através de solução extratora; bem como avaliar a produtividade de arroz cultivado neste solo e verificar a absorção destes elementos na parte aérea, panículas (grão+casca) do arroz. Os tratamentos foram: doses do resíduo (1; 2; 4; 8; 16 e 32 t ha⁻¹) e tratamentos comparativos sem resíduo. A aplicação do resíduo proporcionou uma produção de grãos pelos tratamentos 1, 2 e 4 t ha⁻¹, porém inferiores ao tratamento convencional. As doses maiores desse resíduo afetaram severamente a produção de matéria seca e de grãos, bem como nos teores e acúmulos de nutrientes.

Keywords: waste electrode, mineral nutrition, *Oryza sativa* L.

INTRODUÇÃO

O descarte ambiental de resíduos industriais tem sido fator de preocupação em todo o mundo, pois pode causar danos muitas vezes irreversíveis para o meio ambiente e para a saúde humana [1].

Nos dias atuais, a quantidade de resíduos gerados principalmente por atividades industriais é cada vez maior sendo responsável pela geração de resíduos que por muito tempo foram descartados indiscriminadamente no ambiente, provocando danos muitas vezes irreversíveis e de difícil recuperação [2]. O uso agrônomo deles como fonte de nutrientes às plantas e como condicionadores dos solos, tem se constituído em

alternativa viável na preservação da qualidade ambiental [3]. O uso dos resíduos dessas indústrias consideradas potencialmente poluidoras poderia diminuir a exigência de fertilizantes minerais, o que, além de contribuir para a diminuição de custos também poderia aumentar a vida útil das fontes de minerais não renováveis e dos aterros sanitários [4]. A sociedade brasileira está tomando consciência do conceito de desenvolvimento sustentável. A noção de sustentabilidade é entendida como o novo paradigma do desenvolvimento humano, cujo objetivo é conciliar justiça social, equilíbrio ambiental e eficiência econômica.

Assim, o desenvolvimento de tecnologias que propiciem um melhor aproveitamento desses resíduos visando agregar valor a esses materiais e possibilitando sua utilização em diversos ramos da agropecuária e da indústria, constitui atualmente um tópico de grande importância ambiental, tecnológica e econômica [5].

Entretanto, no caso especial de uso agrícola de resíduos de qualquer natureza são necessárias pesquisas visando esclarecer quais as doses mais apropriadas para cada solo, forma de aplicação adequada do resíduo, impacto no ambiente e o efeito residual, auxiliando desse modo na elaboração de normas técnicas sustentáveis [6]. Sendo assim, o estudo integrado e aprofundado desses aspectos, contribuirá para o estabelecimento de valores limite para as doses utilizáveis em cenários reais, o que poderá viabilizar uma gestão sustentável destes resíduos.

A exigência por produtos derivados de ferro e aço tem impulsionado o crescimento do setor siderúrgico nacional e, conseqüentemente, a geração de resíduos industriais. No entanto, a maioria destes resíduos apresenta em sua composição, além de micronutrientes, altos teores de cádmio, níquel, cromo e chumbo, metais pesados potencialmente prejudiciais ao ambiente [7].

Silva *et al.* comentam em sua publicação que os metais pesados ocorrem naturalmente nos solos e alguns deles, tais como cobre (Cu), zinco (Zn) e cobalto (Co), desempenham importante papel na nutrição de plantas e animais, enquanto outros, como cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As) e selênio (Se), exercem efeitos deletérios sobre vários componentes da biosfera [8,9,10]. O acúmulo de metais pesados em solos agrícolas é um aspecto de grande preocupação quanto à segurança ambiental. Esses elementos podem expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia

alimentar, por meio das próprias plantas, ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície oferecendo assim risco à saúde humana [11,12].

No sentido de minimizar o impacto desses resíduos sobre o meio ambiente e que obedecem à legislação ambiental brasileira (lei 9605/98, que definiu o crime de poluição) objetivou-se com este trabalho estudar a disponibilidade de nutrientes e elementos não essenciais em amostras de um LATOSSOLO VERMELHO, distrófico típico, textura muito argilosa, tratadas com resíduos de eletrodo, através de solução extratora; bem como avaliar a produtividade de arroz cultivado neste solo e verificar a absorção de elementos-traço na parte aérea, panículas (grão+casca) do arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do resíduo de eletrodo

O resíduo foi coletado em empresa que trata de serviços de coleta, transporte e destinação final dos resíduos industriais localizado às margens da Rodovia Fernão Dias, no município de Lavras. Dentre os critérios utilizados para a escolha deste resíduo destacaram-se a grande produção e o potencial de uso agrícola associado a possíveis problemas ambientais.

O resíduo foi caracterizado quanto ao teor de nutrientes e quanto ao teor de elementos-traço pelo método USEPA 3051 [13]. Os elementos analisados foram: P, S, Mg, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb.

Caracterização da área experimental

O presente estudo foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizadas amostras da camada superficial (0-0,2 m) de um LATOSSOLO VERMELHO, distrófico típico, textura muito argilosa, coletadas no município de Lavras-MG. As amostras foram caracterizadas física e quimicamente segundo Embrapa (1997) e os

teores de elementos-traço foram analisados segundo USEPA (1998) [14,15]. Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades químicas e físicas do solo em estudo.

Delineamento experimental e tratamentos

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e oito tratamentos, constituídos de seis doses do resíduo (1; 2; 4; 8; 16 e 32 t ha⁻¹), as quais correspondem às doses do resíduo de 0,5; 1; 2; 4; 8 e 16 g kg⁻¹ de solo, sendo, portanto, 2,75; 5,5; 11; 22; 44 e 88 g vaso⁻¹ (vasos com 5,5 kg de solo). Foram chamados de T1, T2, T3, T4, T5 e T6, respectivamente. Os outros dois tratamentos foram: controle - T7, usado como referência, feito em uma amostra de solo sem adubo e sem resíduo, e outro, completo - T8, com a adubação convencional para a cultura de arroz (utilizada em experimentos realizados em casa de vegetação).

Instalação e condução do experimento

As amostras foram primeiramente pesadas e misturadas de forma homogênea em sacos plásticos e encubados durante 30 dias. Após este período, as amostras foram adubadas com 200 mg kg⁻¹ de P na forma de KH₂PO₄ e CaH₄O₈P₂.H₂O e armazenadas em vasos com capacidade de 5,5 L.

Visando verificar o comportamento do resíduo, foi escolhida a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar Canastra para este experimento. Foram semeadas aproximadamente 10 sementes de arroz em cada vaso, sendo que ficaram apenas quatro mudas por vaso.

Análise de fertilidade

Nas amostras de solo coletadas antes da montagem do ensaio, após o primeiro corte das plantas e após o término do cultivo do arroz, foram realizadas análises de fertilidade (pH, Al, H+Al, Ca, Mg, K, P, P-rem, MO, Zn, Cu, Fe e Mn). Tais análises foram feitas conforme métodos propostos pela Embrapa (1997) [14].

Matéria seca, teores de nutrientes e elementos-traço na cultura do arroz

Transcorridos 100 dias após o plantio do arroz, fase conhecida como vegetativa, em que ocorre a germinação e diferenciação da panícula, foi realizado um desbaste para análise diagnóstica da parte aérea do arroz, bem como a coleta de solo, para determinação dos teores de macro e micronutrientes presentes e de elementos não essenciais às plantas. Depois disso foram mantidas duas plantas até o final do cultivo, ou seja, até a produção de grãos. A partir daí foi realizado o corte das plantas que foram separadas em parte aéreas e em grãos + cascas (panículas) para posterior análise química.

O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante. Logo após foi determinada a matéria seca referente à produção de parte aérea (perfilhamento e colheita), casca + grão (panículas) do arroz. Em seguida, o material foi moído em moinho tipo Wiley e submetido à digestão nitro-perclórica. O extrato obtido foi então utilizado para a determinação de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Ni e Pb em espectrofotômetro de absorção atômica, o teor de P foi determinado utilizando um espectrofotômetro de UV-Visível (Shimadzu, UV-160 1 PC), no comprimento de onda de 420 nm, de S em turbidímetro e de K foi analisado por fotometria de emissão por chama (Micronal B262), no comprimento de onda de 767 nm. O nitrogênio total presente no material, foi determinado pelo método Micro-Kjedahl, conforme procedimento da *Association of Analytical Communities* (AOAC) (1992) [15].

Com base nas concentrações dos elementos e na produção de matéria seca, foram calculadas as quantidades acumuladas (acúmulo) dos nutrientes e dos elementos não essenciais na parte aérea (colmos+folhas) no perfilhamento e na colheita e nas panículas (casca+grãos), pela seguinte fórmula:

QA = C x MS/1000, em que: QA é a quantidade acumulada em miligrama por vaso (para macronutrientes) e micrograma por vaso (para micronutrientes); C é a concentração na planta em g kg⁻¹ (para macronutrientes) e mg kg⁻¹ (para micronutrientes) e MS é a matéria seca produzida por vaso, em gramas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do resíduo de eletrodo

Embora não exista uma legislação específica para a utilização de resíduos na agricultura, tem sido usado, como referência a revisão da Instrução Normativa n^o 27 de 05 de junho de 2006 para fertilizantes, que contém os limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos para os fertilizantes minerais [16].

Os resultados referentes ao teor de macro e micronutrientes, pH e metais pesados encontrados nos resíduos estão apresentados na Tabela 2.

De acordo com os dados obtidos, observa-se elevados teores de Cr e Ni presentes no resíduo de eletrodo. Os teores de Cd e Pb estão abaixo dos permitidos na Instrução Normativa (IN) n^o 27 de 5 junho de 2006 [16]. Os teores de Zn estão dentro dos limites podendo assim ser utilizado como fonte de micronutrientes para plantas, já os teores de P, Mg e S foram considerados baixos nesse resíduo em comparação com os fertilizantes comerciais.

Caracterização do solo após o primeiro corte (perfilhamento) e na colheita

Os dados mostrados na Tabela 3 referem-se aos resultados analíticos do solo cultivado com arroz após o 1^o corte das plantas (perfilhamento) e também ao final do cultivo, 2^o corte (colheita).

Observa-se no 2^o corte (colheita) que os valores de pH se mantiveram entre o intervalo de 5,6 a 7,4 para todos os tratamentos. Meurer (2006)

comenta que em condições relativamente úmidas, o pH ideal para o arroz é de aproximadamente 6,6, pois, nesse valor, as reações para liberação de N e P são favorecidas, sendo que todos os tratamentos realizados nesses experimentos apresentaram pH próximos ao ideal [17]. Os suprimentos de Cu, Fe, Mn e Zn encontradas no solo após a colheita estão dentro dos limites adequados para esta cultura e a concentração de elementos potencialmente tóxicos, como Al, Fe, Mn, CO₂, ácidos orgânicos e H₂S, estão abaixo dos teores tóxicos.

Os teores de P e S no solo por ocasião da colheita estiveram baixos. De acordo com Malavolta (1980) uma proporção relativamente alta (da ordem de 50%) de nitrogênio, fósforo e enxofre são translucadas do solo para os grãos do arroz [18]. Já os teores de K estavam mais altos. Isso se deve provavelmente a aplicação contínua desse nutriente ao longo do ciclo da cultura. Para o Ca e Mg não foi observada queda desses nutrientes no solo após a colheita das plantas de arroz.

Os micronutrientes B, Cu, Mn e Zn tiveram seus teores no solo diminuídos ao final do ciclo da cultura. Já os teores de Fe não se elevaram, muito provavelmente em função dos pHs encontrados.

Com relação aos teores de Cd e Ni esses mostraram pequena elevação em relação ao início do cultivo. O Pb teve seus teores no solo diminuídos na colheita. Já o Cr se manteve com teores bem elevados muito provavelmente em função da presença do mesmo no resíduo aplicado. Deve ser ressaltado que até a dose de 8 t ha⁻¹ esses teores estiveram próximos aos dos tratamentos controle, somente em doses mais elevadas é que esses teores estavam mais altos (16 e 32 t ha⁻¹ de resíduo).

Os teores permissíveis para área agrícola, conforme a Cetesb (2005) extraídos pelo método USEPA 3051 seriam: Cd, 3 mg kg⁻¹; Pb, 180 mg kg⁻¹; Cr, 450 mg kg⁻¹ e Ni, 70 mg kg⁻¹. Somente os teores de Cr estavam acima desses limites permissíveis ao final do cultivo. Isso se deve aos

altos teores iniciais desse elemento no resíduo original [19]. Deve ser ressaltado que os teores de Ni no solo estão abaixo dos teores permissíveis para área agrícola.

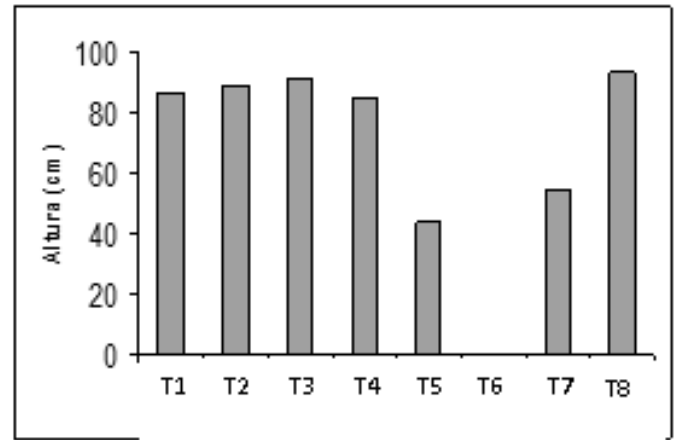
Segundo CFSEMG (1999), são considerados teores altos de Cu, Fe, Mn e Zn no solo extraídos por Mehlich⁻¹ valores acima de 1,8, 45, 12 e 2,2 mg dm⁻³, respectivamente e B em água quente acima de 0,9 mg dm⁻³ [20]. Ao final do cultivo os teores de Cu estavam acima dessa faixa, os de Fe somente na dose mais alta do resíduo de eletrodo (32 t ha⁻¹), o Mn nas aplicações de 4 a 32 t ha⁻¹ também estiveram acima da faixa considerada alta para esse nutriente. Para o Zn, em todos os tratamentos, os teores estavam acima da faixa proposta. Para o B, somente o tratamento de 32 t ha⁻¹ o teor esteve acima, muito provavelmente pelo fato das plantas não terem crescido com a alta dose do resíduo adicionada.

Rendimentos das plantas de arroz

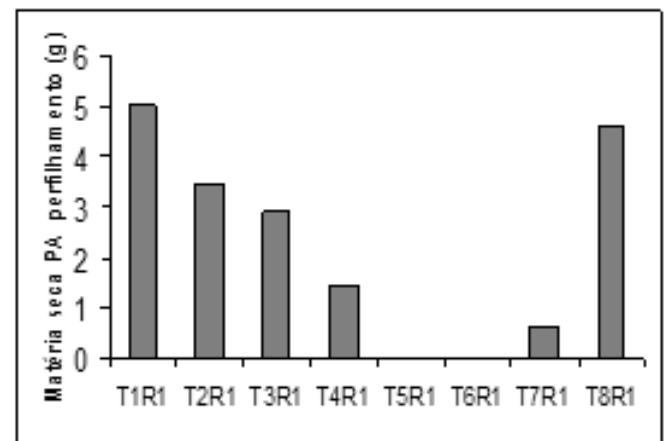
Os valores médios para a altura das plantas, e produção de matéria seca da parte aérea da fase diagnóstica (PAFD) podem ser observados na Figura 1.

Observou-se que não houve grande alteração na altura das plantas após (fase diagnóstica) primeiro corte para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 sendo muito próximos ao T8 (controle). Os tratamentos T5 e T6, doses mais elevadas de resíduo de eletrodo, afetaram de maneira severa o crescimento das plantas de arroz, possivelmente devido à presença de elevados teores de metais no solo como Cd e Cr (Figura 1a). Quanto à produção de matéria seca da parte aérea por ocasião do perfilhamento (MS PA PERF) foi afetada negativamente com a elevação das doses do resíduo de eletrodo. Somente o tratamento T1 não alterou a produção sendo muito próxima a encontrada no T8. Os tratamentos T5 e T6 não foram colhidos pelo

fato das plantas estarem muito pequenas no T5 e nem terem germinado no T6, nessa ocasião.



(a)

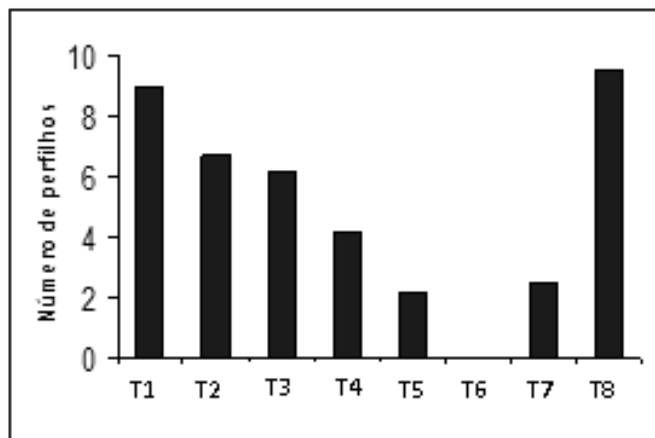


(b)

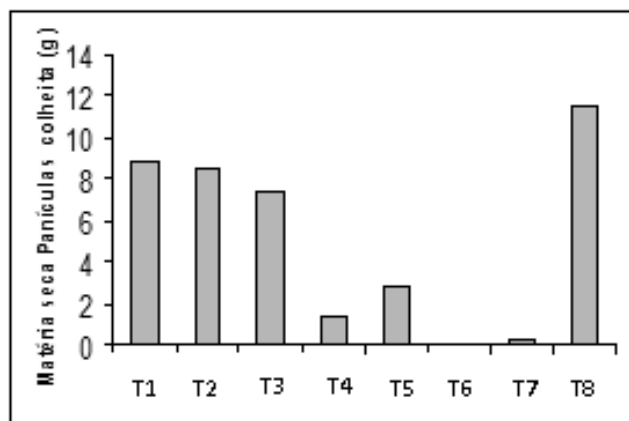
FIGURA 1. (a) Altura das plantas de arroz submetidas a diferentes doses de resíduo de eletrodo e tratamentos comparativos (Fase diagnóstica) primeiro corte e (b) Matéria seca de parte aérea produzida por plantas de arroz submetidas a diferentes doses de resíduo de eletrodo e tratamentos comparativos (Fase diagnóstica) – primeiro corte.

Para o número de perfilhos por ocasião da colheita, observou-se um elevado incremento do perfilhamento (Figura 2a). Nota-se que o número de perfilhos produzidos pelo T1 (menor dose do resíduo) foi praticamente igual ao do T8 (tratamento com adubação convencional). O T2 e T3 também produziram quantidades significativas de perfilhos, porém inferiores ao T1 e T8. É importante ressaltar que de maneira geral, houve produção de grãos

pelos tratamentos com resíduo de eletrodo (T1, T2 e T3), porém inferiores ao tratamento controle. As doses maiores desse resíduo afetaram drasticamente a produção de matéria seca e de grãos (Figura 2a).



(a)



(b)

FIGURA 2.

Teores e quantidade acumulada de nutrientes e elementos não essenciais no perfilhamento e colheita

Detectaram-se efeitos significativos das doses do resíduo, bem como dos tratamentos adicionais, sobre os teores de nutrientes e elementos tóxicos na matéria seca da parte aérea, por ocasião do primeiro (perfilhamento) e segundo (colheita) cortes das plantas de arroz.

A quantidade de nutrientes removidos do solo pelas plantas de arroz é muito variável e

depende da quantidade de matéria seca produzida e seu teor nas plantas que, por sua vez, varia segundo a disponibilidade de nutrientes no solo. Segundo Malavolta et al., (1997) a amostragem para diagnose foliar para a cultura do arroz está situada na época do meio do perfilhamento [21]. Em geral, as folhas mais novas, que tenham completado seu desenvolvimento normal, mas que ainda não entraram em senescência, situadas pouco abaixo do ponto terminal de crescimento, refletem com maior precisão o estado nutricional da planta.

As faixas de teores de macro e micronutrientes consideradas adequadas para a cultura do arroz na época do meio do perfilhamento, são as seguintes: macronutrientes em g kg^{-1} : N (40-48); P (2,5-4,0); K (25-35); Ca (7,5-10); Mg (5-7); S (1,5-2); micronutrientes em mg kg^{-1} : B (40-70); Cu (10-20); Fe (200-300); Mn (100-150); Zn (25-35) [22].

Kabata-Pendias & Pendias (2001) estabeleceram faixas aproximadas de concentração de elementos-traço, sem considerar a espécie vegetal, para tecido de folhas maduras [10]. Os autores citam concentrações aproximadas de elementos-traço que vão da faixa deficiente, suficiente ou normal, excessivo ou tóxico e a tolerável em culturas agrônômicas. Para esta última faixa são citados os valores em mg kg^{-1} : 100; 0,05-0,5; 2; 5-20; 300; 1-10; 0,5-10 e 50-100 para B, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn respectivamente.

A aplicação do resíduo de eletrodo proporcionou teores de N por ocasião do perfilhamento próximos ao tratamento completo, T8 (com adubação mineral) (Tabela 3). É importante destacar que o nitrogênio aumenta o número de perfilhos, aumentando, dessa forma, o número de panículas; aumenta o teor de proteínas dos grãos, o número e o tamanho dos grãos. Porém sabe-se que o nitrogênio estimula o crescimento das plantas, mas nem sempre aumenta a produção de grãos [21]. Neste experimento o fornecimento de todos os

nutrientes de forma adequada (T8) proporcionou uma maior produção de grãos. A presença de elementos tóxicos vindo do resíduo pode ter acarretado menor absorção de nitrogênio. Isso é válido, na medida em que se aumentou a dose do mesmo e pode ser melhor visualizado na Tabela 3 onde o acúmulo de N foi maior no T8 e praticamente igual ao T1 e T2 onde foram aplicadas 1 e 2 t ha⁻¹ do resíduo.

Na colheita os teores de N foram mais baixos na parte vegetativa e um pouco superiores nas panículas (Tabela 5) pelo fato da análise ter sido feita no final do ciclo e também devido à maior translocação desse nutriente das folhas para os grãos [18]. Já o acumulado foi maior na colheita em relação a ocasião do perfilhamento. Isso ocorreu em função da maior produção de matéria seca de parte aérea e panículas (Tabela 4)

Comportamento semelhante ao do N foi também para os teores de P, ou seja, teores de P mais baixos na parte vegetativa e um pouco superiores nas panículas (Tabela 4). De acordo com Malavolta (1980) uma proporção relativamente alta (da ordem de 50%) do nitrogênio, fósforo e enxofre estão presentes nos grãos de arroz, o que provoca uma maior exportação desses nutrientes do solo.

Os teores de potássio nas plantas de arroz indiferentemente da parte analisada esteve abaixo dos teores adequados propostos em literatura. Nota-se que no solo (Tabela 3) os teores estavam relativamente altos. Esses baixos teores podem ser devido à presença dos elementos contaminantes do resíduo diminuindo a absorção do K, competindo por sítios de absorção. Estes resultados estão de acordo com a literatura em que são verificados menores teores nas panículas, já que o potássio

tende a ficar mais na parte vegetativa das plantas (Tabelas 4 e 5) [18].

Já os teores de Ca, Mg e S estiveram próximos aos teores considerados como adequados para a cultura do arroz conforme Fageria et al. (1995), tendo pouca influência, a presença dos elementos contaminantes do resíduo [20]. Os teores de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn também se encontraram dentro da faixa tida como adequada para a cultura em questão. Ressalta-se que para o Mn os teores estiveram mais altos nos tratamentos em que o resíduo de eletrodo foi aplicado. Foram verificados teores de Cu, Fe e Mn mais altos na parte aérea e mais baixos nas panículas (Tabelas 4 e 5).

Levando em consideração as faixas de concentrações estabelecidas por Kabata-Pendias & Pendias (2001), nota-se que as concentrações de Cr, Pb e Cd encontraram-se abaixo da faixa considerada como excessiva ou tóxica [10]. No tratamento controle (T7) onde nada foi adicionado ao solo, esses teores estavam elevados. Isso pode explicado pelo efeito de concentração dos elementos, ou seja, não houve crescimento da planta. Mas, quando se verifica a quantidade acumulada (Tabelas 4 e 5) desses elementos por matéria seca produzida verifica-se que no caso do T7 (controle sem adubação) praticamente nada foi acumulado, pois não foi produzida praticamente nenhuma matéria seca. Já o T8 (completo) esse acumulado foi mais alto em função da matéria seca produzida, que foi a mais elevada e assim, justificando altos acúmulos nesse tratamento. Daí a importância de verificar não somente os teores dos elementos por si só em uma análise e sim outros fatores tal como a matéria seca produzida

TABELAS

TABELA 1. Propriedades químicas e físicas do solo em estudo.

<i>Atributos</i>	<i>Valores</i>	<i>Atributos</i>	<i>Valores</i>
pH H ₂ O (1:2,5)	5,1	M.O. (dag kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	1,4
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,4	Areia (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	780
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,03	Silte (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	30
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	1,2	Argila (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	190
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	0,1	Cu ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	1,2
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	0	Fe ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	35,7
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	2,9	Mn ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	2,5
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	1,3	Zn ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	0,9
CTC a pH 7 (cmol _c dm ⁻³)	4,2	Cr ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	1,5
V (%)	31,4	Cr ⁽⁶⁾ (mg dm ⁻³)	250
m (%)	0		

TABELA 2. Caracterização química dos resíduos pelo método Método 3051 (USEPA, 1998).

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado</i>
pH em água	-	9,5
pH em CaCl ₂	-	9,2
Capacidade de retenção de água CRA	%	197
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	9,89
Umidade atual	%	-
Nitrogênio total (N)	%	-
Fósforo total (P)	g kg ⁻¹	traço
Potássio total (K)	g kg ⁻¹	traço
Cálcio (Ca)	mg kg ⁻¹	<0,5
Sódio (Na)	g kg ⁻¹	6
Magnésio (Mg)	mg kg ⁻¹	19
Enxofre (S)	g kg ⁻¹	-
Boro (B)	mg kg ⁻¹	-
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	15
Ferro (Fe)	mg kg ⁻¹	72971
Manganês (Mn)	mg kg ⁻¹	1875
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹	16
Níquel (Ni)	mg kg ⁻¹	278
Cádmio (Cd)	mg kg ⁻¹	0,86
Cromo (Cr)	mg kg	13038

TABELA 3. Propriedades químicas do solo em estudo após o 1º corte das plantas (Perfilhamento) e por ocasião do 2º corte das plantas (Colheita). ⁽¹⁾Mehlich-1, ataque ácido menos enérgico. ⁽²⁾Método 3051 (USEPA, 1998), análise ambiental de metais pesados.

Atributos	PERFILHAMENTO							
	Valores							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
pH H ₂ O (1:2,5)	7,2	7,4	7,7	7,7	8,3	7,9	4,6	7,6
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	27,7	39,6	37,1	22,3	42,2	14,51	1,7	7,4
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	243	250	262	259	293	237	27	246
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,9	1,7	1,7	1,8	1,5	1,9	0,1	1,9
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,0	1,3	1,5	1,4	2,1	0,7	0,1	0,7
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0	0	0	1,8	0
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,7	1,5	1,3	1,2	0,8	1,3	15,3	1,5
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,5	3,6	3,9	3,9	4,3	3,2	2,1	3,2
CTC a pH 7 (cmol _c dm ⁻³)	5,2	5,1	5,2	5,1	5,1	4,5	15,6	4,7
V (%)	67,4	70,8	74,9	76,3	84,5	71,2	1,7	68,3
m (%)	0	0	0	0	0	0	87	0
M.O. (g kg ⁻¹)	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8	0,5	2,1	0,5
B (mg dm ⁻³)	1,0	1,5	2,0	1,9	5,2	6,3	0,9	0,5
S (mg dm ⁻³)	30,9	30,1	21,4	21,4	20,1	20,1	43,7	20,1
Cu ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	4,9	3,8	5,1	3,1	5,5	1,9	0,4	5,0
Fe ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	15,8	18,4	18,2	26,3	49,3	17,7	153,1	18,0
Mn ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	12,5	32,3	59,4	93,8	263,2	5,2	4,9	5,7
Zn ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	21,6	14,9	21,7	8,0	20,7	4,5	1,0	21,4
Cu ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	19	20	24	19	23	28	22	14
Mn ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	106	126	204	224	488	773	10	62
Fe ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	190,9	152,4	201,4	194,9	196,5	209,7	187,3	95,4
Zn ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	29	22	28	18	28	32	29	11
Cd ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Pb ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	11	14	15	15	16	17	17	12
Ni ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	20	26	26	21	22	30	22	16
Cr ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	310	297	435	374	524	1101	361	261
Ca ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	261	299	322	371	731	1008	247	262
Mg ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	211	220	525	561	1298	1626	209	138
	COLHEITA							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
pH H ₂ O (1:2,5)	5,7	5,6	5,7	6,1	6,3	7,2	7,4	6,6
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	3,7	5,2	7,1	14,5	16,4	8,9	4,9	5,8
P-rem (mg L ⁻¹)	3,7	2,7	3,3	3,9	3,3	2,0	2,6	2,6
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	599	593	574	772	618	387	281	612
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,4	2,1	2,3	3,1	2,0	2,1	1,9	2,4
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,2	1,5	1,8	2,8	2,2	1,8	0,8	0,8
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0	0	0	0	0
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,3	2,6	2,6	2,1	1,7	1,2	1,7	1,9
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³) t	5,1	5,1	5,6	7,9	5,8	4,9	3,4	4,8
CTC a pH 7 (cmol _c dm ⁻³) T	7,4	7,7	8,2	10,0	7,5	6,1	5,1	6,7
SB (cmol _c dm ⁻³)	5,1	5,1	5,6	7,9	5,8	4,9	3,4	4,8
V (%)	69	66,3	68,2	78,9	77,3	80,3	66,8	71,5
m (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
M.O. (dag kg ⁻¹)	1,1	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,0	1,1
B (mg dm ⁻³)	0,5	0,9	0,6	0,9	1,9	2,4	0,3	0,4
S (mg dm ⁻³)	20,7	17,7	17,7	23,4	24,1	51,4	51,4	28,5
Cu ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	2,7	2,5	2,6	2,8	2,7	2,9	2,0	2,4
Fe ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	21,4	19,8	19,9	31,4	32,8	65,0	21,5	21,9

Mn ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	10,1	13,4	26,2	86,2	116,9	165,6	5,3	6,1
Zn ⁽¹⁾ (mg dm ⁻³)	10,6	8,4	10,5	12,4	8,3	5,6	4,5	7,2
Cd ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Pb ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	5,87	5,60	6,00	6,03	7,0	7,2	6,0	4,0
Ni ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	28,0	29,8	29,0	27,0	35,0	38,0	22,0	12,0
Cr ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	498	497	485	473	593	660	478	482

T1= 1 t ha⁻¹; T2= 2 t ha⁻¹; T3= 4 t ha⁻¹; T4= 8 t ha⁻¹; T5= 16 t ha⁻¹; T6= 32 t ha⁻¹; T7= CONTROLE SEM ADUBO E SEM RESÍDUO; T8= COMPLETO- COM ADUBO E SEM RESÍDUO.

TABELA 4. Teores e quantidade acumulada de nutrientes e elementos não essenciais na parte aérea de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de resíduo de eletrodo e tratamentos comparativos (Fase diagnóstica - perfilhamento)

Teores - PERFILHAMENTO								
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S		
	g kg ⁻¹							
T1	25,51	1,27	14,00	2,97	3,27	2,44		
T2	30,30	1,31	13,40	2,46	3,81	2,78		
T3	30,03	1,22	16,20	2,49	3,50	2,43		
T4	26,68	1,46	21,80	2,99	3,96	3,43		
T5	-	-	-	-	-	-		
T6	-	-	-	-	-	-		
T7	12,05	1,80	18,60	1,97	2,02	1,85		
T8	27,89	1,30	22,00	2,76	3,13	2,76		
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
mg kg ⁻¹								
T1	22,32	8,46	89,82	114,89	40,48	0,74	2,08	13,31
T2	26,78	10,25	85,42	142,08	46,45	0,89	1,42	13,46
T3	30,39	9,53	129,19	145,49	46,66	0,91	1,52	14,98
T4	34,42	11,56	91,51	763,80	53,25	1,19	1,21	9,83
T5	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	15,00	5,27	96,07	45,22	26,51	1,31	0,60	11,80
T8	19,42	9,15	60,13	55,27	31,14	1,38	1,05	13,92
Quantidade acumulada - PERFILHAMENTO								
	N	P	K	Ca	Mg	S		
mg vaso ⁻¹								
T1	128,57	6,39	70,56	14,95	16,48	12,30		
T2	104,52	4,50	46,23	8,48	13,15	9,60		
T3	87,28	3,54	47,09	7,25	10,17	7,06		
T4	38,42	2,11	31,39	4,31	5,70	4,94		
T5	-	-	-	-	-	-		
T6	-	-	-	-	-	-		
T7	7,83	1,17	12,09	1,28	1,31	1,20		
T8	128,65	6,02	101,49	12,72	14,43	12,73		
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
µg vaso ⁻¹								
T1	112,50	42,62	452,67	579,03	204,01	3,72	10,50	67,09

T2	92,38	35,35	294,69	490,18	160,26	3,07	4,91	46,45
T3	88,33	27,70	375,52	422,88	135,62	2,65	4,43	43,53
T4	49,57	16,65	131,78	1099,88	76,68	1,72	1,74	14,16
T5	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	9,75	3,43	62,44	29,39	17,23	0,85	0,39	7,67
T8	89,59	42,22	277,42	254,99	143,66	6,37	4,84	64,20

T1= 1 t ha⁻¹; T2= 2 t ha⁻¹; T3= 4 t ha⁻¹; T4= 8 t ha⁻¹; T5= 16 t ha⁻¹; T6= 32 t ha⁻¹; T7= CONTROLE SEM ADUBO E SEM RESÍDUO; T8= COMPLETO- COM ADUBO E SEM RESÍDUO.

TABELA 5. Teores de nutrientes e elementos não essenciais na parte aérea (PA) e na panícula (PN) de plantas de arroz submetidas a diferentes doses de resíduo de eletrodo e tratamentos comparativos (Fase colheita).

		Teores - COLHEITA								
Tratamentos		N	P	K	Ca	Mg	S			
		g kg ⁻¹								
T1	PA	20,00	0,83	14,60	3,00	2,00	1,57			
T2	PA	22,00	0,81	18,00	2,58	2,50	1,53			
T3	PA	18,00	0,78	15,80	3,00	3,00	1,59			
T4	PA	14,00	0,58	15,80	3,10	3,00	1,66			
T5	PA	12,00	0,39	9,40	2,78	2,00	1,05			
T6	PA	-	-	-	-	-	-			
T7	PA	25,00	2,36	16,00	2,00	1,50	3,15			
T8	PA	30,00	1,14	16,20	4,00	3,50	1,89			
T1	PN	25,00	2,01	5,80	2,50	3,00	1,29			
T2	PN	24,00	1,77	4,60	2,10	3,50	1,11			
T3	PN	20,00	1,63	5,00	2,80	3,00	1,19			
T4	PN	19,00	1,48	5,60	2,40	3,00	1,03			
T5	PN	19,00	2,06	4,20	1,50	2,00	0,89			
T6	PN	-	-	-	-	-	-			
T7	PN	19,00	2,24	3,40	1,50	2,00	0,72			
T8	PN	39,00	2,62	5,20	3,50	4,50	1,29			
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb	
		mg kg ⁻¹								
T1	PA	25,00	10,01	65,34	490,45	44,21	1,49	2,33	16,43	
T2	PA	27,00	10,60	92,10	560,68	42,83	2,12	2,41	17,24	
T3	PA	34,00	8,64	85,71	550,99	33,74	1,96	2,33	18,57	
T4	PA	34,00	9,00	92,89	458,06	34,56	2,16	2,28	21,12	
T5	PA	27,00	6,20	75,39	284,87	31,11	2,14	6,18	17,04	
T6	PA	-	-	-	-	-	-	-	-	
T7	PA	20,00	5,59	104,66	60,80	30,73	2,60	6,38	17,75	
T8	PA	40,00	10,04	80,33	144,20	41,32	2,89	6,22	20,92	
T1	PN	30,00	6,31	38,53	168,06	44,15	2,87	5,77	15,30	
T2	PN	31,00	6,15	35,91	139,99	38,95	2,89	5,77	17,04	
T3	PN	29,00	5,52	35,66	144,39	37,76	2,98	5,74	15,61	
T4	PN	31,00	6,22	35,50	122,09	39,26	3,28	6,11	18,47	

T5	PN	30,00	6,33	39,81	118,65	46,81	4,07	6,05	24,18
T6	PN	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	PN	25,00	3,03	37,41	22,07	22,59	4,16	6,10	23,98
T8	PN	48,00	6,15	43,91	78,55	37,22	3,86	6,13	21,83
Quantidade acumulada - COLHEITA									
		N	P	K	Ca	Mg	S		
mg vaso ⁻¹									
T1	PA	325,73	13,60	238,06	48,86	32,57	25,53		
T2	PA	263,78	9,80	215,84	30,93	29,98	18,27		
T3	PA	186,90	8,07	163,86	31,15	31,15	16,14		
T4	PA	95,29	4,30	106,83	21,10	20,42	11,27		
T5	PA	24,92	1,22	34,02	5,77	4,15	4,06		
T6	PA	-	-	-	-	-	-		
T7	PA	35,67	3,38	23,25	2,85	2,14	4,41		
T8	PA	546,20	20,93	297,25	72,83	63,72	34,33		
T1	PN	223,42	17,99	51,08	22,34	26,81	11,48		
T2	PN	205,52	15,31	39,43	17,98	29,97	9,61		
T3	PN	155,27	12,70	38,44	21,74	23,29	9,27		
T4	PN	69,16	5,38	19,62	8,74	10,92	3,68		
T5	PN	16,09	1,74	3,56	1,27	1,69	0,75		
T6	PN	-	-	-	-	-	-		
T7	PN	16,91	2,07	3,13	1,34	1,78	0,66		
T8	PN	451,10	30,32	59,97	40,48	52,05	14,90		
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Pb
µg vaso ⁻¹									
T1	PA	407,17	163,48	1079,94	7957,89	714,84	24,29	37,91	268,70
T2	PA	323,73	126,52	1085,54	6524,66	518,26	25,59	28,64	212,11
T3	PA	353,03	90,50	893,11	5781,36	356,35	20,49	24,19	192,66
T4	PA	231,4267	62,44	648,26	3326,89	250,35	14,60	15,76	139,74
T5	PA	56,07	23,00	218,90	922,66	110,23	3,87	13,12	38,34
T6	PA	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	PA	28,53	7,85	147,10	83,18	43,60	3,69	9,16	25,02
T8	PA	728,27	182,62	1457,00	2619,47	741,06	52,72	113,17	380,72
T1	PN	268,1	56,69	343,71	1515,09	391,71	25,62	51,71	136,53
T2	PN	265,46	52,95	308,48	1192,94	336,49	24,70	49,38	144,35
T3	PN	225,14	43,18	276,50	1129,81	297,81	23,09	44,61	119,77
T4	PN	112,84	22,95	129,10	457,02	143,90	11,79	22,28	66,86
T5	PN	25,4	5,36	33,71	100,46	39,64	3,44	5,12	20,47
T6	PN	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	PN	22,25	2,72	33,52	19,27	20,69	3,76	5,44	21,12
T8	PN	555,2	70,87	506,73	908,06	431,41	44,37	70,98	253,25

T1= 1 t ha⁻¹; T2= 2 t ha⁻¹; T3= 4 t ha⁻¹; T4= 8 t ha⁻¹; T5= 16 t ha⁻¹ e T6= 32 t ha⁻¹; T7= CONTROLE, SEM ADUBO E SEM RESÍDUO; T8= COMPLETO, COM ADUBO E SEM RESÍDUO.

CONCLUSÕES

A aplicação de resíduo de eletrodo proporcionou uma produção de grãos pelos tratamentos 1, 2 e 4 t ha⁻¹, porém inferiores ao

tratamento com adubação convencional. As doses maiores desse resíduo afetaram severamente a produção de matéria seca e de grãos, bem como nos teores e acúmulos de nutrientes.

Em longo prazo, atenção especial deve ser dada ao resíduo de eletrodo quando adicionado em altas quantidades ao solo. Testes dessa natureza são de grande importância para direcionar o melhor caminho de um resíduo. Muitas vezes o solo tem sido utilizado como meio para descarte ou disposição de materiais considerados poluentes. Essa prática pode ser viável em solos que apresentam características apropriadas. Dentre estas, destaca-se a presença de matéria orgânica e de óxidos de ferro, alumínio e manganês, pois estes são capazes de complexar e de reter diversos metais e moléculas orgânicas, impedindo a sua percolação no perfil do solo.

A reciclagem destes resíduos se faz necessária. Contudo, torna-se indispensável verificar o comportamento de possíveis elementos-traço oriundos de tais resíduos e a possibilidade de uso dos mesmos na agropecuária, considerando a legislação vigente e os critérios técnicos que norteiam o uso desses materiais na adubação das lavouras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Mazzanti, R. Zoboli, R. Resour. Conserv. Recy. 52 (2008) 1221.
- [2] X. Lu, K. Nakajima, H. Sakanakura, K. Matsubae, H. Bai, T. Nagasaka, Waste Manage. 32 (2012) 1148.
- [3] B. N. Uba, J. A. Ekundayo, Bioresource Technol. 51 (1995) 135.
- [4] F. G. E. Nogueira, N. T. Prado, L. C. A. Oliveira, A. R. R. Bastos, J. H. Lopes, J. G. Carvalho, J. Hazard. Mater. 176 (2010) 374.
- [5] Jing, B, H. Shen, H.; Shen, D. Dong, D. Shikui, Proc. Environ. Sci. 2 (2010) 25.
- [6] G. S. Carvalho, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Brasil, 2007.
- [7] M. Greenberg, D. Lewis, M. Frisch, Waste Manage. 22 (2002) 643.
- [8] M. L. S. Silva, G. C. Vitti, A. R. Trevizam, Pesq. agropec. bras. 42 (2007) 527.
- [9] B. J. Alloway, B. J. Heavy metals in soils, Blackie Academic & Professional, New York, 2edn., 1995.
- [10] A. Kabata-Pendias, H. Pendias. Trace elements in soil and plants, Boca Raton: CRC Press, 3 edn., 2001.
- [11] A. C Chang, A. L. Page, J. E. Warneke, E. Grgurevic, J. Environ. Qual. 13 (1987) 33.
- [12] B. Wei, Y. Linsheng, Microchem. J. 94 (2010) 99.
- [13] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3051 A: microwave assisted acid digestion of sediments sludges, soils and oils. In: _____. **Sw-846**: test methods for evaluation solid waste physical and chemical methods, Washington: Office of Solid Waste/Environmental Protection Agency, 1998. p.1-20
- [14] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.; Manual de métodos de análise de solos, Ministério da Agricultura e Abastecimento, Rio de Janeiro, 2 edn., 1997.
- [15] Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists (AOAC), Official methods of analysis. 15 edn., Arlington, Virginia, 1992.

[16] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema de legislação agrícola federal. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/servlet/VisualizarAnexo?id=11365>>. Acesso em: 4 abril. de 2012.

[17] E. J. Meurer, Fundamentos de Química do Solo, Evangraf: Porto Alegre, 3rd edn., 2006

[18] E. Malavolta, Elementos de nutrição mineral de plantas, Ceres: São Paulo, 1980.

[19]] CETESB. Decisão de diretoria N° 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 5 Abril 2012.

[20] Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação, Viçosa-MG: UFV, 1999.

[21] E. Malavolta, G. C. Vitti, S. A.Oliveira, de Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, Piracicaba, 2.edn., 1997.

[22] N. K. Fageria, E. Ferreira, A. S. Prabhu, M. P. Barbosa Filho, M. C. Filippi, Seja o doutor de seu arroz, Potafos: Piracicaba, 1995.