

ANDRÉA MAYER VEIGA

LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO E NÍVEIS DE POTÁSSIO NOS
PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E NA ABSORÇÃO DE Ca, Mg, K, Zn, Mn e Fe,
NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L)

CURITIBA

2002

ANDRÉA MAYER VEIGA

LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO E NÍVEIS DE POTÁSSIO NOS
PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E NA ABSORÇÃO DE Ca, Mg, K, Zn, Mn e Fe,
NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L)

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre, apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração
Ciências do Solo do Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Beatriz Monte Serrat Pevedello.

CURITIBA

2002

V426I

Veiga, Andréa Mayer

Lodo de esgoto alcalinizado e níveis de potássio nos parâmetros de crescimento e na absorção de Ca, Mg, K, Zn, Mn e Fe, na cultura do milho (*Zea mays L*) / Andréa Mayer Veiga. - Curitiba, 2002.

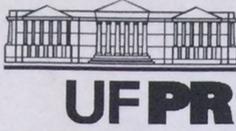
83 p.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciências do Solo.

Orientadora: Beatriz Monte Serrat Pevedello.

1. Lodo de esgoto. 2. Solos – Teor de potássio. 3. Milho. 4. Medo. I. Pevedello, Beatriz Monte Serrat (Orientadora). II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDU 631.416.4

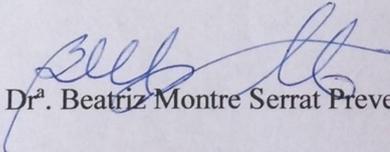


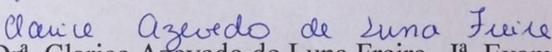
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

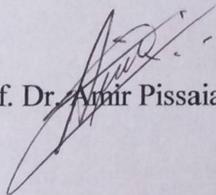
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ANDRÉIA MAYER VEIGA**, com o título: "**Lodo de esgoto alcalinizado e níveis de potássio nos parâmetros de crescimento e na absorção de Ca, Mg, K, Zn, Mn e Fe, na cultura do milho (Zea Mays L)**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 25 de novembro de 2002.


Prof. Dr. Beatriz Montre Serrat Prevedello, Presidente.


Prof. Dr. Clarice Azevedo de Luna Freire, I^ª Examinadora.


Prof. Dr. Amir Pissaia, II^º Examinador.



AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Paraná, e ao Departamento de solo pela oportunidade de aprimoramento profissional.

A professora Beatriz Monte Serrat Prevedello, pela acessibilidade, disponibilidade, confiança, incentivo e ao grande carinho.

A Ana Rosa dos Anjos pela coorientação, apoio, amizade, compreensão e tranquila condução dos trabalhos.

Ao Professor Amir Pissaia pela coorientação ajuda e importantíssima colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A professora Clarice Azevedo Luna Freire e ao aluno Marcelo Guesser pelo apoio estatístico.

Aos funcionários do Departamento de Solos, por todo apoio e amizade .

Aos professores do curso de pós-graduação em ciências do solo, com os quais tive a oportunidade de cursar suas disciplinas.

Aos funcionários da Biblioteca do Setor De Ciências Agrárias pela atenção e amizade.

Aos colegas de pós-graduação pelos momentos agradáveis de convivência.

Aos valiosos e verdadeiros amigos que encontrei no decorrer do curso: Regiane Sitta, Odete K. Lima, Sandra, Cristina Barcik.

Aos colegas de curso que ajudaram a tornar mais alegre a caminhada.

A minhas primas, obrigada por tornar a caminhada mais leve.

Aos meus tios: Anésio, Emérita, Gerson, Isolete, Jonas, Luis Modesto, a meu avô Luis (in memorian) e a minha avó Ana, o meu cristalzinho azul, minha segunda mãe.

Aos meus pais: Claudionor (in memorian) e Bernardete (BENINHA) que muitas vezes com grande sacrifício, contribuíram para que aqui hoje chegasse. Obrigada pelo amor sem fim, colo, broncas, ajuda sempre, sempre e sempre. Obrigada eternamente. Estamos juntos!

Ao meu marido Nicolas Floriani: por peneirar terras e mais terras, pesar, moer, molhar, auxiliar na digitação, encontrar aqueles papéis que desaparecem misteriosamente e por toda incansável ajuda.

Gratidão

Aos meus pais Bernardete (MÃE DE LUTA) e Claudionor, incentivador (in memorian).

*E ao meu marido Nicolas Floriani,
COM MUITO AMOR, A ELES ,
DEDICO.*

RESUMO

A disposição final agrícola do lodo de esgoto alcalinizado trouxe a preocupação com a absorção de K pela planta como consequência das alterações da disponibilidade de cátions no equilíbrio catiônico. Com o objetivo de avaliar o efeito do lodo de esgoto alcalinizado, associado a níveis crescentes de potássio na nutrição da planta de milho (*Zea Mays*), foi instalado em casa de vegetação do Departamento de solos e Engenharia Agrícola da UFPR experimento utilizando amostras de um solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico textura média. Para fins comparativos foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação da Universidade Federal do Paraná Setor de Ciências Agrárias, Departamento de solos, Curitiba, PR. Um com delineamento em blocos ao acaso com 5 tratamentos com doses crescentes de K_2O e 3 repetições em presença de uma única dose de lodo de esgoto alcalinizado seguindo cálculos da PROSAB (1999) complementado com adubação mineral NPK. E o outro apenas com 1 tratamento com adubação mineral NPK e 7 repetições sem lodo de esgoto alcalinizado. Como planta indicadora foi utilizado o milho híbrido simples XL 214, cultivado por 80 dias. Os parâmetros avaliados foram: produção de massa seca, diâmetro de colmo, altura de plantas, extração de K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn pelas plantas. Concluiu-se que, para este solo, nestas condições, o lodo de esgoto alcalinizado não interferiu na produção de massa seca, sendo diretamente proporcional aos níveis crescentes de K_2O para a extração de K, e com efeito inverso para extração de Ca, Mg e Zn.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Potássio na agricultura. Milho. Plantas – efeitos do Potássio.

ABSTRACT

The application of sewage sludge treated with lime in agriculture has caused concern due to the possibility of absorption of K by the plants as consequence of the alterations in the availability of cations. To evaluate the effects of sewage sludge combined with crescent levels of potassium in the nutrition of the corn plants, an experiment was performed using samples of a soil classified as dystrophic Rhodic Hapludox (Lad). The adopted statistical design was random blocks with five treatments where one single rate of sewage sludge was applied with crescent rates of K_2O (KCl) and three replications. Also a control treatment (without sewage sludge addition) received NPK fertilizer with seven replications. The plant used for the experiment was the simple cross-bred corn XL 214, it was grown for 80 days and the evaluated itens were: production of dry matter, diameter of the stem, height of the plants, extraction of K, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn by the plants. The conclusion for that soil and conditions was that the sewage sludge didn't influence the production of dry matter with significant results to crescent levels of K_2O to extraction of K, Fe and Mn and negative to extraction of Ca, Mg and Zn.

Keywords: Sewage sludge. Potassium in agriculture. Corn. Plants – effects of Potassium.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1- PRODUÇÃO DE MASSA SECA ($G\ VASO^{-1}$) DE MILHO AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O ($MG\ KG^{-1}$) APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS EXPERIMENTO COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).....39
- FIGURA 2 DIÂMETRO DO COLMO DO MILHO (CM) EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).
.....41
- FIGURA 3 -ALTURA DAS PLANTAS (CM) EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O42
- FIGURA 4- EXTRAÇÃO DE MAGNÉSIO ($MG\ VASO^{-1}$) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL).....44
- FIGURA 5 EXTRAÇÃO DE CA ($MG\ VASO^{-1}$) DO MILHO AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).....45
- FIGURA 6- EXTRAÇÃO DE K ($MG\ VASO^{-1}$) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O ($MG\ KG^{-1}$) APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL).....47
- FIGURA 7 EXTRAÇÃO DE MN ($MG\ VASO^{-1}$) PELA CULTURA DO MILHO AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2 APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL).....49

FIGURA 8- EXTRAÇÃO DE FERRO (MG VASO^{-1}) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O (MG KG^{-1}) APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).....51

FIGURA 9- EXTRAÇÃO DE ZN EM (MG VASO^{-1}) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O (MG KG^{-1}) APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (TL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).....53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –RESULTADO DA ANALISE QUIMICA DO SOLO – LVDT-PONTA GROSSA PR- 2001- UTILILIZADO NO EXPERIENTO.....	31
TABELA 2 - ANALISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO - LVD-PONTA GROSSA UTILIZADO NA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	31
TABELA 3 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE MACRO E MICRONUTRIENTES DO LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO UTILIZADO NO EXPERIMENTO DE MASSA SECA –2001.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 LODO DE ESGOTO.....	15
2.2 USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO E SUAS VANTAGENS.....	16
2.3 LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO REAÇÕES.....	18
2.4 POTÁSSIO NO SOLO.....	20
2.5 POTÁSSIO NA PLANTA.....	22
2.5.1 <i>Potássio e o Milho</i>	24
2.6 POTÁSSIO E SUAS INTERAÇÕES.....	24
2.6.1 <i>Cálcio e magnésio</i>	25
2.6.1.1 Ferro, manganês e zinco.....	27
2.6.2 <i>Outras interações</i>	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 SOLO.....	30
3.2 LODO DE ESGOTO.....	30
3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
3.4 ADIÇÃO DE POTÁSSIO.....	32
3.5 CALAGEM.....	33
3.6 APLICAÇÃO DO LODO.....	34
3.7 CONDUÇÃO DAS PLANTAS DE MILHO.....	34
3.7.1 <i>Avaliações</i>	36
3.7.1.1 Diâmetro do colmo.....	36
3.7.2 <i>Massa Seca</i>	36
3.7.3 <i>Altura</i>	36
3.8 ANÁLISES.....	36
3.9 ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO.....	38
4.1.1 <i>Produção De Massa Seca</i>	38
4.1.2 <i>PARÂMETROS MORFOLÓGICOS</i>	40
4.1.2.1 Diâmetro do colmo.....	40
4.1.2.2 Altura da planta.....	41

4.2 MACRONUTRIENTES.....	43
4.2.1 <i>Extração de Magnésio</i>	43
4.2.2 <i>Extração De Cálcio</i>	44
4.2.3 <i>Extração De Potássio</i>	46
4.3 MICRONUTRIENTES.....	47
4.3.1 <i>Extração de Manganês</i>	48
4.3.2 <i>Extração de ferro</i>	50
4.3.3 <i>Extração de Zinco</i>	52
5 CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Na década de 90, os resíduos urbanos tornaram-se o principal objeto de estudo no controle da poluição causada pelos esgotos sanitários dos grandes centros urbanos. O tratamento destes esgotos sanitários gera um subproduto sólido designado “Lodo de esgoto (LE)” de disposição final problemática (SANEPAR, 1997a)

Das formas de disposição final existentes para esse resíduo, a reciclagem agrícola tem se mostrado como uma das melhores práticas já que o lodo de esgoto tem grande interesse pelo seu conteúdo em nutrientes minerais, principalmente N, P e micronutrientes, além do seu alto teor de matéria orgânica. Seu efeito no solo se faz sentir em longo prazo, melhorando a resistência à erosão, à seca, ativando a vida microbiológica do solo (CARVALHO e BARRAL, 1981). O uso do lodo como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química, rendimentos equivalentes ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais o que o torna viável economicamente .

No Brasil é importante incentivar estudos sobre o efeito desse bio-sólido nas características: físicas, químicas e biológicas de diversos solos, para poder ser utilizado em escala comercial como fertilizante, sem causar, problemas de ordem fitossanitária.

O lodo de esgoto nas metodologias utilizadas para o seu tratamento, perde muito K, e aliado a alcalinização (adição de cal virgem na base de 50% em relação ao peso seco do lodo), poderá interferir no equilíbrio catiônico da solução do solo, diminuindo a disponibilidade desse elemento às plantas, sendo então necessário para fins agrícolas um adubação potássica complementar.

Diante dessa situação o trabalho teve como objetivo:

1. Avaliar o efeito de doses crescentes de K (KCl) na presença de lodo de esgoto alcalinizado na:
 - a) absorção de K, Ca, Mg, Mn, Zn e Fe pela planta; e suas devidas inter-relações ;

- b) produção de massa seca, parâmetros morfológicos e nutrição da planta de milho.
2. Avaliar o efeito do lodo de esgoto alcalinizado para todos os parâmetros acima citados com os do experimento que recebeu apenas adubação mineral .

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LODO DE ESGOTO

O principal agente de poluição em regiões com alta densidade demográfica são os esgotos domésticos e industriais. A solução que vem sendo adotada em diversos municípios é realizar o tratamento dos esgotos, de cujo processo se origina o lodo de esgoto ou também chamado de biossólido .

O tratamento de esgoto é um conjunto de processos que objetivam reduzir o potencial poluidor dos efluentes urbanos, e consiste basicamente na redução da carga orgânica desse efluente através de processos de oxidação e de concentração e remoção da matéria orgânica pela decantação. O produto final deste processo de remoção das águas residuárias é o lodo, um resíduo de composição variável e de altíssimo potencial poluidor de águas (ANDREOLI e PEGORINI, 1998).

O esgoto doméstico compõe-se tipicamente de 55% de matéria orgânica: em média 50% de carboidratos, 40% de proteínas e 10% de gorduras - além 20% de matéria inorgânica e 25% de misturas de materiais orgânicos e inorgânicos - como nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo - distribuídos como sólidos suspensos (sedimentáveis ou não) ou dissolvidos, voláteis (orgânicos) ou fixos (inorgânicos ou minerais), com pH variando entre 6,5 e 8,0 e em solução aquosa a 99,9% (BONNET, 1995).

Segundo SANEPAR (1997b) são produzidos no estado do Paraná basicamente dois tipos de LE: lodo anaeróbio proveniente dos reatores tipo RALF e lodo aeróbico resultante do processo de aeração prolongada da ETE-BELÉM (Curitiba).

No processo aeróbio o esgoto sanitário chega a ETE e após o pré-tratamento passa pelos tanques de aeração num período médio de 25 horas, onde poderosos aeradores superficiais injetam ar na fase líquida, permitindo a ação dos microrganismos aeróbios. A aeração além de permitir a biodegradação da matéria orgânica também estabiliza o lodo, que em seguida é separado por decantação.

A retirada do lodo é contínua e ao sair do decantador o lodo é condicionado e desidratado por filtro prensa, encontrando-se na forma pastosa (FERNANDES *et al.*, 1996; SANEPAR, 1997b).

Um destino adequado deve ser dado a esse resíduo e, para tal, muitas alternativas têm sido propostas, entretanto a mais aceita é a reciclagem agrícola do lodo.

A disposição final do lodo deve levar em conta as concentrações de metais pesados. Os efluentes industriais no Estado do Paraná, em função de uma política adotada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), são tratados antes de seu lançamento na rede coletora e a SANEPAR tem políticas restritivas com relação ao recebimento de esgoto industrial na rede coletora. Assim, o lodo do Estado apresenta teores de metais em níveis baixos. Para que todo esse lodo seja lançado ao solo, é necessário avaliar o impacto que ele causaria sobre o meio ambiente (DINDAL *et al.*, 1975; TEDESCO *et al.*, 1999).

2.2 USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO E SUAS VANTAGENS

O uso do lodo de esgoto alcalinizado pela agricultura oferece ao produtor um insumo com grande potencial de ampliação de rentabilidade face ao seu baixo custo (ANDREOLI e PEGORINI, 1998).

A disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas, é chamado de reciclagem agrícola. Sendo um resíduo predominantemente orgânico, o uso agrícola do lodo pode ter um impacto ambiental positivo e tem sido praticado em muitos países desenvolvidos como solução mais adequada à destinação do produto.

A alternativa de reciclagem agrícola tem o grande benefício de transformar esse resíduo em um importante insumo agrícola que fornece matéria orgânica e nutrientes ao solo. Além de trazer vantagens diretas ao homem e meio ambiente, tais como redução dos efeitos adversos a saúde causados pela incineração e diminuição na dependência de fertilizantes químicos. (ANDREOLI e PEGORINI, 1998) Promove ainda melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo, tais

como densidade, infiltração, condutividade hidráulica e estabilidade dos agregados, ativa a vida microbiológica do solo (BETTIOL et al., 1983).

CARVALHO e BARRAL (1981); BISCAIA e MIRANDA (1996) afirmam que a aplicação de lodo na agricultura como fertilizante traz muitos benefícios, pelo seu conteúdo em nutrientes minerais, principalmente N, P, Ca, Mg, e micronutrientes, e especialmente pelo seu alto teor de matéria orgânica aumento na produção de massa seca e da produtividade das culturas .

O efeito na produtividade foi estudado por BETTIOL (1982) que utilizou o lodo de esgoto alcalinizado com adição de fertilizante nas culturas de milho, arroz e soja. Na concentração de 9 Mg/ha em base seca, a produção de matéria seca das três culturas não diferiu da testemunha ou da adubação mineral, mas com doses maiores como 40 e 80 Mg/ha em base úmida encontrou aumento significativo na produtividade e também na absorção de N, P, Ca, Mg e Zn. BISCAIA e MIRANDA (1996) concluíram que o lodo de esgoto alcalinizado pode ser então utilizado nestas dosagens, não apresentando toxicidade ao desenvolvimento e produtividade do milho.

O lodo de esgoto é formado caracteristicamente por matéria orgânica parcialmente mineralizada e contém altos valores de C orgânico (entre 40-80%), boa parte dos quais estão sob a forma de constituintes húmicos, que se decompõe lentamente e propiciam condições ótimas de desenvolvimento da biomassa edáfica, numa propriedade que os torna coadjuvantes em processos de recomposição do húmus no solo (BONNET,1995). A mineralização da matéria orgânica do lodo no solo depende de vários fatores e experimentos científicos devem ser feitos para avaliá-la de forma mais precisa, para as condições brasileiras (PIERZYNSKI,1994).

Desta forma, SANTOS (1979) atribui aos lodos a propriedade de reter nutrientes oriundos de fertilizantes químicos, liberando-os, como aos seus próprios elementos, segundo a demanda das raízes das plantas. A aplicação regular do produto aumenta progressivamente o teor de matéria orgânica do solo, numa vantagem que não é encontrada nos fertilizantes minerais (ANDREOLI e PEGORINI, 1988).

A aplicação de lodo de esgoto alcalinizado no solo proporciona aumento de pH, maiores teores de P extraível, de Ca, Mg trocáveis, na CTC pH7 e V%, N total (DA ROS et al., 1993). O aumento nos teores de K trocável observado por foi pequeno em consequência da baixa quantidade do nutriente no lodo e ainda

aumento na matéria orgânica (BERTON et al., 1989; DA ROS et al., 1993). ROCA E POMARES (1991) também observaram que a adição de lodo de esgoto resultou em aumentos significativos de zinco quando comparado a testemunha.

Segundo SOPPER (1993) a aplicação de lodo proporcionou um efeito benéfico para um rápido estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas. As plantas se mostraram mais vigorosas e nas áreas que receberam lodo houve maior percentagem de cobertura, maiores produtividades e melhor desenvolvimento radicular.

OLIVEIRA et al. (1995) em casa de vegetação estudando os efeitos da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto (0,5,10,20 Mg ha⁻¹) complementadas com ou não K e N, relatou que o lodo de esgoto alcalinizado aumentou a massa seca mas observou-se que para atender as necessidades da planta foi necessária a complementação do lodo com K.

Os mesmos autores estudaram a degradação da carga orgânica adicionada aos solos através do lodo de esgoto, decorrentes de alterações do pH e a lixiviação de N. Conclui-se que a maior parte da carga orgânica adicionada aos solos através via lodo de esgoto apresentou-se degradada em 63 dias de incubação.

2.3 LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO REAÇÕES

As metodologias utilizadas para o tratamento do lodo de esgoto associado ao cal, faz com que os teores de K diminuam, necessitando então de complementação via mineral. Além disto este tratamento eleva o pH a 12 e pode aumentar as perdas de nitrogênio (NH₄⁺) por volatilização, reduzindo as concentrações de matéria orgânica e transformar o fósforo em uma forma insolúvel para as plantas, que se solubilizará no solo. Entretanto, os teores de Ca e Mg são satisfatórios para um bom fornecimento ao solo, melhorando as condições de absorção mineral dos nutrientes (FERNANDES *et al.*, 1996).

DUNCOMB *et al.*, (1981) reportaram que lodos alcalinizados com cal (Ca+Mg) aplicados ao solo propiciam a competição de Ca com K por espaço na solução coloidal do solo. Com a saturação de Ca no complexo trocável, a absorção de K solúvel é também aumentada.

Os teores de K do lodo de esgoto variam de 0,2 a 1,5%. (PIERZYNSKI, 1994; FERNANDES *et al.*, 1996). Estando no entanto na forma inorgânica, o que o torna imediatamente disponível às plantas quando aplicado ao solo (PIERZYNSKI, 1994; ANDREOLI *et al.*, 1994b). O K não toma parte na constituição de compostos orgânicos do solo, ele fica como íon ativo componente da matéria orgânica (TROEH e THOMPSON, 1993). As reações de formação destes compostos ocorrem dependentes da presença de K no substrato. (DA ROS *et al.*, 1993; BONNET 1995; FERNANDES *et al.*, 1997).

A maior parte dos lodos de esgoto contém concentrações consideráveis de Cu, Zn, Fe e Mn. Ocorrem também B, Mo, Cl em menores quantidades, mas essa composição depende muito do local de origem do lodo (ANDREOLI *et al.*, 1994a). Fatores climáticos e edáficos, presença de compostos orgânicos quelantes de ocorrência natural ou produzidos pela decomposição do lodo e a atividade orgânica, podem diminuir a mobilidade e solubilidade destes elementos.

BERTON *et al.* (1989) estudaram as alterações nas propriedades químicas e na disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg, Zn e Cu, em cinco solos representativos do Estado de São Paulo, decorrentes da incorporação de 0, 40 e 80 Mg ha¹ de lodo de esgoto, base seca, usando o milho como planta teste. Os resultados mostraram que a incorporação desse resíduo proporcionou elevação de pH em todos os solos, reduzindo ou eliminando os teores de Al trocável. A adição de lodo também aumentou o rendimento da massa seca das plantas, bem como as quantidades de N, P, Ca, Mg e Zn absorvidas. Nem mesmo na dose mais alta de lodo, a absorção de Cu e Zn pelas plantas chegou a atingir níveis que pudessem causar redução na produção de massa seca pela parte aérea do milho.

STROO e JENCKS (1985) observaram o efeito da aplicação do lodo de esgoto comparativamente ao uso de fertilizantes minerais, na atividade microbiana e no crescimento da *Festuca arundinaceae*. Relataram que os tratamentos de lodo alcalinizado complementado com fertilizantes não apresentaram diferença estatística com a adubação convencional e ainda obtiveram melhor desempenho da atividade microbiana do solo.

2.4 POTÁSSIO NO SOLO

O K é um mineral alcalino que ocorre naturalmente na maioria das rochas e no solo, sendo o seu total na crosta terrestre da ordem de 2,3 a 2,5%. Apesar disso somente uma pequena porção torna-se disponível para as plantas

De acordo com LOPES (1982), o K no solo encontra-se sob quatro formas: como componente estrutural de minerais; contido na matéria orgânica e detritos orgânicos; trocável (adsorvido sob varias formas) e presente na solução do solo. Segundo o mesmo autor, a absorção de K pelas plantas, bem como as perdas por lixiviação, dependem diretamente da concentração relativamente pequena do elemento na solução do solo. As diferentes formas mantêm-se num equilíbrio dinâmico no solo; sempre que o elemento é retirado do sistema, um novo equilíbrio é restabelecido.

A quantidade e o tipo de minerais de argila no solo tem uma forte influencia na capacidade e na energia de retenção de K, propriedades controlam a sua concentração na solução do solo e a capacidade de fornece-lo em níveis suficientes para as culturas. Esse comportamento deve-se a penetração de K nos espaços vazios entre as camadas de argila expansivas quando abertas. Posteriormente, as argilas se fecham e o potássio fica preso (PEDROSO, 1997).

O K é liberado mais rapidamente nas partículas do tamanho dos minerais de argila como a biotita, e a taxa de liberação fica mais lenta quando o solo começa a envelhecer (RAIJ, 1991; TROEH e THOMPSON, 1993). A intemperização dos feldspatos K inicia-se na superfície por um processo de hidrólise o que resulta de um ataque de um íon de hidrogênio na estrutura do cristal. O resultado é a substituição do K pelo hidrogênio, com um conseqüente colapso e desintegração da estrutura .

Quando o K-trocável atinge valores baixos, os minerais primários mais facilmente intemperizáveis iniciam a liberação de K para a solução.

Os latossolos são altamente intemperizados e sua fração argila é constituída basicamente de caulinita e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e possuem baixa fertilidade natural (MORAES, 1991). Isso indica que há baixo potencial de liberação do K em longo prazo (LOPES, 1982). Nos solos brasileiros estão presentes do total de bases trocáveis cerca de aproximadamente 60% de cálcio;

15% de Mg e apenas 5% de K e a média de K solúvel e trocável está compreendida entre 1 e 2%, com teores a baixo de $0,125 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (OLIVEIRA e DANTAS, 1984; RAIJ, 1991).

Os sais de K apresentam em geral alta solubilidade e assim os teores de K^+ na solução do solo podem atingir concentrações bastante elevadas, dependendo do teor de ânions presentes. Isso confere ao K uma grande mobilidade, o que permite também um esgotamento mais fácil pelas plantas (RAIJ, 1991).

Adições ou retiradas de K do solo ocorrem através da solução do solo, onde o K está em equilíbrio com o K adsorvido nos pontos de troca e com o contido nas estruturas de minerais primários e argilo-minerais (MALAVOLTA e CROCOMO, 1982).

A adição de calcário pode deslocar o K^+ trocável para a solução do solo (onde ele poderá ser absorvido pelas plantas; adsorvido pelos minerais de argila ou ainda ser lixiviado pela água percolada de chuva ou irrigação) pois os Íons de Ca^{+2} são mais atraídos nos locais de troca catiônica que íons de K^+ . A calagem promove ainda o aumento das concentrações de Ca e Mg do solo, relativamente à do K, podendo reduzir sua absorção pelas raízes e provocar sua deficiência (GOEDERT *et al.*, 1975). No entanto, a calagem pode favorecer a manutenção do teor de K trocável do solo, pois aumenta a CTC efetiva e reduz as perdas por lixiviação. Em certos casos, pode aumentar a disponibilidade de K às plantas mais do que a de Ca e Mg, devido ao menor grau de atração do K pelas cargas negativas do solo (BARBER e HUMBERT, 1963). Contudo, a relação entre os teores disponíveis de (Ca+Mg) e de K não deve ser muito elevada (USHERWOOD, 1978).

SYED-OMAR *et al.* (1991) relata que a cal gera cargas negativas sobre a carga variável dos colóides do solo, induzindo o K^+ e Mg^{2+} ficarem retidos. QUAGGIO *et al.* (1982) explica que a calagem aumenta a retenção de bases provocada pela liberação de cargas negativas dependentes do pH. Ou ainda a cal pode acabar por lixiviar K, Ca e o Mg que podem ainda ser perdidos por lixiviação quando são feitas correções (MALAVOLTA e CROCOMO, 1982; TROEH e THOMPSON, 1993; MORAES, 1991).

A calagem ainda, além de reduzir os níveis tóxicos de Al e Mn proporcionada é benéfica tanto por minimizar sua ação depressiva na absorção de K pelas plantas,

como por propiciar o melhor desenvolvimento do sistema radicular, com maior capacidade de absorção de K.

2.5 POTÁSSIO NA PLANTA

O K é absorvido como cátion monovalente K^+ , sendo o cátion mais abundante nos tecidos vegetais (MALAVOLTA, 1980). O K é o cátion mineral de maior diâmetro hidratado exigido pelas plantas, tendo um raio desidratado de 0,133nm (SILVA *et al.*, 1991). A carga positiva desse cátion ajuda a manter a neutralidade elétrica no solo e na planta por balancear cargas negativas como nitrato, fosfatos e outros ânions (TROEH e THOMPSON, 1993). BULL e CANTARELLA (1993) relatam que entre 70 e 80% do K da planta é absorvido por processos de difusão a partir de um gradiente de concentração entre planta solo.

NOVOZAMSKY e HOUBA (1987), BANDYOPADHYAY e GOSWAMI (1988), admitem que a absorção de K pelas plantas e seu posterior acúmulo nos tecidos vegetais, é uma função direta da concentração na solução do solo, assim como da inter-relação com a absorção de Ca e Mg.

A absorção de K se dá de forma ativa, já a absorção do Ca e Mg se dá por um processo passivo (MENGEL e KIRKBY, 1980). O K é um elemento de grande importância nos processos celulares das plantas, tem sido objeto de muitos estudos que buscam esclarecer as incógnitas relacionadas com sua dinâmica nos solos e nas plantas (HENRÍQUEZ *et al.*, 1990). É essencial, tendo como funções: manutenção da turgescência das folhas, fotossíntese, transporte de sacarose, a abertura e fechamento de estômatos, transporte e síntese de carboidratos e outros produtos, respiração, síntese e estabilidade de proteínas, relações osmóticas, fixação simbiótica do nitrogênio, produção de fitomassa e ativador de várias enzimas (TROEH e THOMPSON, 1993; MALAVOLTA *et al.*, 1997). O K melhora a eficiência de utilização da luz pela cultura do milho aumentando assim a área foliar (BULL *et al.*, 1993). MENGEL e KIRKBY (1987) e OLIVEIRA e THUNG (1988) afirmam que o K é o nutriente que mais importância tem sobre as doenças, sendo a ele atribuído um efeito benéfico sobre a sanidade das plantas da maioria das espécies estudadas. Na cultura do milho diminui ainda a incidência de murcha de

Stewart (*Ervinia Stewartii*), podridões das raízes, podridões do colmo e colo alterando as relações de compatibilidade entre hospedeiros e parasitas .

PREMACHANDRA *et al.* (1991), BULL e CANTARELLA (1993) apontam o K como importante regulador osmótico, pela influência que exerce no decréscimo do potencial osmótico da planta e na prevenção da perda de água pela planta, dizem ainda que plantas bem supridas em K tem menor necessidade de água contribuindo assim para minimizar os efeitos dos veranicos para cultura do milho.

A disponibilidade de K no solo e a sua absorção pelas plantas parecem estar relacionadas com a disponibilidade dos cátions divalentes, Ca e Mg, dominantes do complexo de troca. Ainda assim, a absorção do K pelas plantas é favorecida em comparação com outras espécies catiônicas sendo, dentre os cátions macronutrientes, o que se apresenta, em geral, em menor e maior concentração no solo e na planta, respectivamente (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

A planta pode desenvolver sintomas de deficiência de K quando a concentração do elemento no solo é baixa, ou quando o elemento esta presente em forma não disponível para planta, ou devido a efeitos antagônicos entre distintos elementos. (BARCELÓ *et al.*, 1983)

A deficiência de K pode causar, diminuição da dominância apical, diminuição da taxa de migração de NO_3^- , H_2PO_4^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} e aminoácidos, através do xilema, deficiência de ferro induzida. O crescimento do caule, o número de folhas e a área foliar são reduzidos e as flores podem cair precocemente (TROEH e THOMPSON, 1993). A deficiência de K é caracterizada por uma clorose no ápice para a parte central dos folíolos das folhas mais velhas, atingindo finalmente entre as nervuras. As plantas precisam de K durante o tempo que a taxa fotossintética e absorção de nitrato forem altas. Uma deficiência de K durante este período rápido de crescimento refletirá em pouca produção de carboidratos e acúmulo de nitrato na planta (TROEH e THOMPSON, 1993).

A planta pode consumir mais K que ela precisa para seu rendimento o que é chamado consumo de luxo (MELTESED, 1969). Esse consumo depende da época em que ele ocorre na cultura e como será a colheita. Quando há muita alimentação de luxo em K devida a alta concentração no meio a absorção ou, mais provavelmente, a translocação de outros cátions pode ser diminuída.

2.5.1 Potássio e o Milho

Depois do nitrogênio o K é o elemento absorvido em maiores quantidades pela cultura do milho (MALAVOLTA e CROCOMO, 1982). É absorvido em grandes quantidades até o período de florescimento aproximadamente 60 dias com uma quantidade de 218 kg ha⁻¹ de K, observando ainda ser elevada a taxa de acúmulo de K nos primeiros 30 – 40 dias de desenvolvimento, com um ritmo de absorção inclusive superior ao do nitrogênio, relatando então uma necessidade maior de K em relação ao fósforo e nitrogênio como um elemento de “arranque” (BULL e CANTARELLA, 1993). Após esse período diminui a absorção de K sofrendo uma queda brusca, a perda se dá através da remoção, principalmente das folhas, colmos e palhas das espigas, em direção aos grãos ou as raízes e, parte em direção ao solo por lavagem, já que o K ocorre na forma iônica solúvel.

No milho que é uma poacea, o K além de ter papel importante na produção de grãos, tem ainda propriedades de aumentar a resistência dos colmos contra o acamamento, resistência das plantas contra doenças e pragas e evitar a perda de água nos períodos de grande seca (MALAVOLTA, 1980).

A resposta do milho à adubação potássica varia quanto ao tipo de solo, saturação de Ca e Mg na solução e nível inicial deste no solo, ao nível de produtividade esperada (RAIJ *et al.*, 1997), à faixa de aplicação do adubo e ao material genético estudado.

HENRÍQUEZ e BERTSCH, (1997) estudando o comportamento de Ca, Mg e K em resposta a adubações potássicas e de calcário dolomítico em milho e feijão, reportaram que ao contrário do tradicional efeito antagônico que se apresenta entre K em relação a Ca e Mg, encontraram uma relação sinérgica entre a quantidade de K com as de Ca e Mg absorvidas. Em alguns casos se tem observado um decréscimo no peso seco por efeito da aplicação de K, o que demonstra um comportamento entre limites bem definidos, condicionados pelo estado do K no solo e sua relação com outros nutrientes.

2.6 POTÁSSIO E SUAS INTERAÇÕES

O K mantém interação com outros elementos tal como N, Ca, Mg, Na, Al e Zn principalmente.

Define-se como interação toda aquela ação ou influência mútua ou recíproca de um ou mais íons sobre a função fisiológica de outro íon.

2.6.1 Cálcio e magnésio

A interação entre os cátions se inicia na superfície de troca do solo sendo o resultado de uma competição iônica pelos sítios de adsorção (ARANTES 1983).

Nas plantas as interações tipo cátion/ cátion ocorrem em maior escala ao nível de membrana, ou seja, em processos que envolvem transporte através da membrana celular.

A pesquisa tem mostrado a importância de outros cátions presentes no meio de crescimento na absorção de um determinado cátion pela planta e a interação entre eles, determinando ações sinérgicas ou antagônicas. (TROEH e TOMPSON, 1993)

Segundo ADDISCOTT (1974) o efeito do K na absorção do Ca e Mg pode ocorrer de três maneiras: 1) uma baixa absorção de anions pode limitar a absorção de cátions. Como o K é preferencialmente absorvido, um aumento de sua quantidade na planta implicaria numa redução na absorção de Ca e Mg; 2) elevando-se a concentração de K na solução externa ocorrerá uma diferença de potencial entre a solução do xilema e a solução externa quando o K entra, e dessa maneira haverá uma redução na fase passiva da absorção do Ca e Mg; 3) o fornecimento de K pode alterar a composição do fluxo de translocação do floema, influenciando as quantidades de ATP que chegam as raízes, e assim alterar a fase ativa do processo de absorção de Ca e Mg.

A interação do K com Ca e Mg, tem sido descrita na maioria dos casos como antagônica e tem sido estudada tanto no solo como na planta (USHERWOOD, 1978; HENRIQUEZ *et al.*, 1990; SCHUTA *et al.*, 2000). Adições de K no solo diminuem drasticamente o Mg foliar, apesar de que seu efeito no peso seco não seja significativo (HENRÍQUEZ *et al.*, 1990). Reafirmando esses dados FURLANI *et al.* (1986) trabalhando com milho em solução nutritiva, e baixo nível de K, relatou que os teores de Ca e Mg na planta decresceram em função do aumento da concentração de K na solução nutritiva, evidenciando o já esperado efeito antagônico entre K e esse cátions: quanto maior a concentração de K nas plantas, menores serão as de Ca e Mg.

A competição entre Mg e K ocorre durante o processo de absorção radicular, uma vez que utilizam os mesmos sítios de absorção. Entretanto o efeito negativo do desbalanço de nutrientes somente é detectado a partir do florescimento da cultura do milho, através da determinação do acúmulo de nutrientes e produção de massa seca (ANDREOTTI *et al.*, 2001a).

Os mesmos autores relataram que a competição de Ca, Mg, K pelo mesmo sítio de troca, no processo de absorção, pode resultar no menor acúmulo de um desses elementos tendo como consequência menor produtividade de grãos de milho decorrente do menor desenvolvimento da planta. Assim as características, diâmetro basal do colmo e altura de plantas (VASILAS *et al.*, 1988, TAIZ e ZEIGER, 1991; STROMBERGER *et al.*, 1994) são reduzidas principalmente, pela deficiência de Ca e K. Seguindo a mesma linha ALVES *et al.* (1988) observou em sorgo essencialmente que o K acumula-se em maior quantidades nos colmos e que dependendo da dose utilizada de K este exerce efeitos antagônicos na absorção de Ca e Mg.

LIEBHARDT (1981) diz que quando se altera a participação dos íons da CTC, há um efeito direto na absorção catiônica pela planta e, portanto reflexos no crescimento.

A aplicação de calcário para corrigir a acidez do solo, elevando o pH acima de 5,5-6,5, aumenta a concentração em solução de K, tornando máxima a absorção de K. (QUAGGIO *et al.*, 1993; TROEH e THOMPSON, 1993)

Segundo RAIJ (1983) o K em solução depende dos teores de Ca e Mg. A cal produz uma troca, nos sítios de adsorção das argilas e da matéria orgânica do solo, na disponibilidade de K no solo ou na relação desse com outros nutrientes (Ca e/ou Mg) MOLINA e CÁCERES (1993- 1994). Então a aplicação de cal ou Ca no solo modifica favoravelmente as condições de nutrição devido modificação da disponibilidade de K. Isso se deve principalmente a substituição nos sítios de intercâmbio no colóide que aumenta a concentração de K na solução do solo, como já mencionado anteriormente. (TANAKA 1980; SPARKS 1987; BANDYOPADHYAY e GOSWAMI, 1988).

No entanto a calagem promove o aumento das concentrações de Ca e Mg do solo, relativamente à do K, podendo reduzir a absorção de K pelas raízes e provocar sua deficiência. (GOEDERT *et al.*, 1975)

Resultados obtidos por diversos autores citados por SOARES *et al.* (1983a,b) dizem que há um efeito estimulante do Ca sobre a absorção do K que é observado quando o mesmo está em baixas concentrações. Mas com o aumento gradativo na concentração do cálcio, por exemplo uma calagem excessiva, esse efeito diminui até o momento em que ocorre antagonismo entre esses cátions a níveis mais altos de Ca e conseqüentemente redução na absorção de K pelas plantas.

MELLO e KAMINSKI (1990) relatam que doses crescentes de K no solo provocam aumento nos teores foliares de K e diminuição dos teores foliares de Ca e ou Mg, causando quedas de rendimento. Porém o aumento de K causou aumento da massa seca.

FONSECA e MEURER (1997) trabalhando com plantas de milho em solução nutritiva arejada continuamente, relataram que o K inibiu a absorção de Mg pelo milho por afetar sua cinética de absorção; por outro lado o Mg não inibiu a absorção de K pelas plantas. RAHMATULLAH e BAKER (1981) demonstraram que em determinadas condições a absorção de Mg pela planta é mais uma função da disponibilidade de K no solo do que propriamente da disponibilidade de Mg.

Muitos trabalhos encontrados na literatura afirmam que doses crescentes de K não interfere na produção de massa seca das culturas (GRAHAN, 1959; BAR e TAL, 1991; VENTURA e BULL 1999).

Todavia ARANTES (1983) trabalhando com milho em um solo inicialmente com potássio baixo e doses aplicadas na forma de K_2O de 0, 55, 110, 220 $mg\ kg^{-1}$, verificou diferenças positivas nas produções de massa seca, até a dose mais elevada.

2.6.1.1 Ferro, manganês e zinco

O K pode inibir ou estimular a absorção de muitos micronutrientes entre eles Fe, Zn e Mn.

ROBSON (1993) relatou que o K pode inibir fortemente a absorção de zinco pela planta principalmente em baixas concentrações de Ca.

SHUKLA e MUKLI (1979) observaram em seus estudos que aplicações de K aumentam a absorção de K e Zn e diminuíram Ca e Mg . No entanto isto pode ter sido estritamente um efeito genético da variedade ou da espécie de milho estudada.

CLAASEN e WILCOX (1974) trabalhando com milho relataram que o zinco inibiu a absorção de K e que na deficiência deste houve aumento na concentração de Ca, Mg e K na planta. FURLANI *et al.* (1996) trabalhando com milho e níveis de zinco em solução nutritiva, observaram que na deficiência de zinco as plantas se desenvolveram menos.

MATOCHA e THOMAS (1969) concluíram em seus estudos com sorgo que existe uma relação fisiológica entre Fe e K. Relatam ainda que aplicações de ferro aumentaram as concentrações foliares de K.

VAHL *et al.* (1993) trabalhando com genótipos de arroz relatou que a diminuição das concentrações Ca e Mg na solução aumentou o efeito negativo do ferro na absorção do K.

TANAKA e TADANO (1972) relatam efeitos negativos do Fe^{2+} na absorção de K, Ca, Mg, Mn, e do K na absorção do ferro.

RAMANI e KANNAN (1974) trabalhando com arroz observaram uma diminuição na absorção de Mn na presença de altas doses de K, Ca e Mg.

SAKAGUCHI, *et al.* (1999) também relaciona o K a mecanismos de exsudação do ácido mugineico das plantas, que tem o papel de dissolver o ferro insolúvel, ao mesmo tempo em que permite sua absorção como complexo.

2.6.2 Outras interações

Pode haver interações também entre os micronutrientes dificultando ou facilitando a absorção destes.

As relações Fe/Zn e Mn/Zn são fatores importantes para o estudo de micronutrientes.

A preocupação com a interação Zn x Fe foi levantada por WATANABE *et al* (1965), para a cultura do milho quando o excesso de Zn causou deficiência de ferro.

As interações Zn-Fe foram estudadas por ROSEN *et al* (1977); OLSEN (1983) no milho. As análises da correlação entre Zn e Fe sugeriram que o Zn pode interferir no transporte do Fe. A adição de Fe retardou a absorção e transporte de Zn. Observou-se ainda que o Zn pode com sucesso competir com o Fe por certos sítios, onde uma vez ligado o Zn, este não seria tão facilmente ligado pelo Fe.

REDDY *et al* (1978) observaram que as variações dos níveis de Fe e Mn na solução nutritiva interferiram negativamente na absorção e transporte de Zn. Por outro lado WARNOCK (1970) constatou que plantas deficientes em Zn acumularam um excesso de Fe, e atribui a esse excesso, mau funcionamento fisiológico em plantas de milho.

LINS e COX (1989) trabalhando com milho em 4 solos de cerrado com diferentes níveis de pH e teor de argila encontraram forte efeito antagônico entre Zn e Fe.

WATANABE *et al.* (1965) relatam que o efeito adverso nas produtividades de milho não encontra-se relacionada aos níveis de Fe e Zn nas plantas mas encontra-se associados com decréscimo na relação Fe/Zn. E seguindo a mesma linha de raciocínio NAMBIAR e MONTIRAMANI (1981) chegaram a conclusão que a relação crítica Fe/Zn, no tecido esta em torno de 6 – 6,5 e que valores maiores que este poderiam indicar uma deficiência de Zn oculta.

A taxa de absorção, translocação, e assimilação do ferro é comprometida com o potencial genético da planta (JOLLEY e BROWN, 1994) além do potencial

redox e do pH, que predispõe a absorção. É importante o mecanismo de redução e quelação proporcionado pela planta por atuar como agente de dissolução e transporte de Fe as raízes

Fe e Mn são elementos que entre os micronutrientes exibem as maiores concentrações, apresentando um forte antagonismo recíproco e são influenciáveis por fenômenos da rizosfera (DECHEN *et al.*, 1991).

Para predizer a deficiência de Fe é de importância a análise de interação desse com outros elementos, sendo a relação Fe/Mn na planta preponderante para avaliação do estado nutricional (OLSEN, 1983). O cafeeiro é uma planta especialmente sensível a esta interação. GALLO *et al.* (1970) verificaram em cafezais que a deficientes em ferro uma relação Fe/Mn média nas folhas de 0,33; enquanto que onde não detectou-se deficiência as plantas apresentaram uma relação Fe/Mn 1,09. ASSMANN (1993) observou uma relação Fe/Mn de 0,17 em plantas que apresentaram sintomas de deficiência de ferro.

RATHFON e BURGER (1991), relatam que o uso de Fertilizantes amoniacais aumentam em até 6 vezes o Mn nos tecidos; como aconteceu nesse trabalho o tratamento do experimento sem lodo teve superioridade e este recebeu nitrato de amônio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SOLO

O solo utilizado foi coletado, na unidade da EMBRAPA-SNT, localizada na região de Ponta Grossa, PR, e foi classificado como latossolo vermelho Distrófico típico(LVDT). Após a retirada da vegetação superficial, abriu-se uma trincheira e coletou-se amostras de solo das camadas de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 60 cm, as quais posteriormente foram homogeneizadas, secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de 4mm e armazenadas.

Também, coletou-se amostra de solos em anéis volumétricos para determinação da densidade (EMBRAPA, 1997), sendo que este solo apresentou densidades médias de $1,53 \text{ g cm}^{-3}$, $1,41 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ referentes respectivamente, as camadas de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm e 40 - 60 cm.

Antes da instalação do experimento, as amostras de terra das diferentes camadas foram submetidas à caracterização química, seguindo a metodologia de PAVAN *et al.* (1992) (Tabela 1) e análise granulométrica (Tabela 2), de acordo com metodologia descrita por EMBRAPA (1997). As análises foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Fertilidade de Solos e no Laboratório de Física do solo, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

3.2 LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi proveniente da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) localizada em Curitiba/PR, que emprega como processo de tratamento do esgoto a digestão aeróbia do lodo ativado, seguido da adição de cal virgem (50% do peso seco) e polímeros para, reduzir a atividade biológica e facilitar a eliminação da água do mesmo através de filtro prensa. As características químicas de uma amostra composta do referido material, feita em duplicata, são apresentadas na TABELA 3. Essa caracterização química foi realizada de acordo com a metodologia de HILDEBRAND *et al* (1977).

TABELA 1 –RESULTADO DA ANALISE QUIMICA DO SOLO – LVDT-PONTA GROSSA PR- 2001- UTILIZADO NO EXPERIENTO.

Camadas (cm)	pH		P (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³	T	Fe	Mn	Zn
	SMP	CaCl ₂										
0 a 20	5,2	4,2	1,2	0,17	0,7	0,3	9,0	1,2	10,1	40	9,6	1,0
20 a 40	5,4	4,3	0,2	0,05	0,4	0,2	8,4	1,2	9,05			
40 a 60	4,53	4,3	0,2	0,03	0,3	0,2	7,8	1,3	8,33			

TABELA 1 - ANALISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO - LVD-PONTA GROSSA UTILIZADO NA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.

Camadas	Areia %	Silte %	Argila %	V g dm ⁻³
0-20	53,6	18,4	28	11,5
20-40	51,4	14,6	34	7,18
40-60	49,6	16,4	34	6,36

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE MACRO E MICRONUTRIENTES DO LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO UTILIZADO NO EXPERIMENTO DE MASSA SECA –2001

LODO	P	K	Ca	Mg	N	U 60C	C-OXI	pH
	gkg ⁻¹	%.
	8,47	3,72	112	60,5	24,85	64,6	109,9	12,05

LODO	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr
	gkg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	...mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
	0,65	101,70	400	90	325	80

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Para fins comparativos foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação da Universidade Federal do Paraná Setor de Ciências Agrárias, Departamento de solos, Curitiba, PR. Um com delineamento em blocos ao acaso com 5 tratamentos com doses crescentes de K_2O e 3 repetições em presença de uma única dose de lodo de esgoto alcalinizado seguindo cálculos da PROSAB (1999) complementado com adubação mineral NPK. E o outro apenas com 1 tratamento com adubação mineral NPK e 7 repetições sem lodo de esgoto alcalinizado. Os experimentos serão de agora em diante referidos “com lodo e sem lodo”.

3.4 ADIÇÃO DE POTÁSSIO

A quantidade de K_2O aplicada nos experimentos sem lodo e com lodo foi calculada a partir da quantidade recomendada de K para a área, (RAIJ *et al.*, 1997) transformando para a área do vaso (diâmetro x profundidade), usando como fonte KCl.

O experimento sem lodo recebeu a dose integral recomendada para a cultura 40 kg ha^{-1} . Equivalente ao nível aplicado a 52 mg kg^{-1} de K_2O . Já o experimento com lodo recebeu doses crescentes de KCl. E o lodo sempre forneceu 13 mg kg^{-1} .. solo de K_2O . Os tratamentos com lodo seguem a seguir :

Tratamento 1: recebeu apenas lodo sem adição de K_2O mineral ($T1 = 0 \times D R$).Correspondendo ao nível aplicado 13 mg kg^{-1} de K_2O que somente o lodo forneceu.

Tratamento 2: recebeu lodo mais metade da dose recomendada de K_2O mineral para a cultura ($T2 = \frac{1}{2} \times DR$). Correspondendo ao nível aplicado de 39 mg kg^{-1} de de K_2O .

Tratamento 3: recebeu lodo mais a dose recomendada de K_2O mineral para a cultura ($T3 = LODO + 1X DR$). Correspondendo ao nível aplicado de 65 mg kg^{-1} de K_2O .

Tratamento 4: recebeu lodo mais uma vez e meia a dose recomendada de mineral para a cultura ($K\ T4 = LODO + 1\ 1/2\ X\ DR$). Correspondendo ao nível aplicado de $91\ mg\ kg^{-1}$ de K_2O .

Tratamento 5: recebeu lodo mais duas vezes a dose recomendada de K_2O mineral para a cultura ($T5 = LODO + 2\ X\ DR$). Correspondendo ao nível aplicado de $117\ mg\ kg^{-1}$ de solo de K_2O .

TABELA 4 TRATAMENTOS COM LODO*

TRATAMENTOS	** DR	K_2O APLICADOS $mg\ kg^{-1}$
1	0	13
2	$1/2$	39
3	1	65
4	$1\ 1/2$	91
5	2	117

* contem $13\ mg\ kg^{-1}$

**DR= dose recomendada de adubação mineral.

Cada parcela foi composta por uma coluna de PVC, com diâmetro de 20 cm e altura de 63 cm, apoiada em prato plástico em sua extremidade inferior e preenchida a partir do fundo com uma tela fina de plástico, para evitar perdas de solo; 6,13 kg de TFSA, retirada da profundidade de 40-60 cm; 6,40 kg de TFSA, retirada da profundidade de 20-40 cm e 8,16 kg de TFSA, retirada da profundidade de 0-20 cm. As amostras de terra das respectivas camadas apresentaram 10,91 %, 11,81% e 20,44% de umidade.

3.5 CALAGEM

Antes da adição de lodo às parcelas experimentais, foi realizada a incubação de todas as amostras de solo correspondentes a camada de 0-20cm, durante 12 dias, com calcário dolomítico de origem metamórfica, PRNT = 104, 5, com base na elevação da saturação de bases do solo a um nível de 60%. Segundo a SANEPAR

(1997), se o solo apresentar reação ácida deve ser feita a calagem de acordo com a recomendação agrônômica, antes da incorporação do lodo.

Em diversos sacos pretos de polietileno foram adicionadas 7,23 kg de TFSA, com umidade de 18 %, ou seja, 5,93 kg de solo seco a 105°C. A seguir foi aplicado o correspondente à 5,19 Mg ha⁻¹. Posteriormente, as amostras de terra foram regadas com 1.400 ml de água deionizada e os sacos foram fechados, tendo o cuidado de se colocar canudos de plástico para que houvesse a troca de ar.

A quantidade de água adicionada foi estabelecida em um pré-experimento de avaliação da capacidade de campo por capilaridade. Os sacos contendo terra e calcário foram mantidos com umidade de 70% da capacidade de retenção de água. Para tanto, a cada dois dias os sacos plásticos eram abertos pesados e completados com água deionizada para completar o peso para 8,60 kg.

3.6 APLICAÇÃO DO LODO

Após a incubação do calcário, houve nova redistribuição de terra, sendo preparados 22 sacos de polietileno preto com terra calcariada na camada de 0-20cm. Cada saco recebeu 8,155 kg de TFSA, com umidade de 20,44%.

Somente os tratamentos do experimento com lodo de esgoto, receberam o correspondente a 8,98 Mg ha⁻¹ de lodo em base seca. A dose aplicada foi definida em função da recomendação agrônômica de N, do poder de neutralização do lodo e do máximo acúmulo de metais pesados permitido no solo (PROSAB,1999). Assim, foram calculadas para que a recomendação agrônômica apresentasse uma disponibilidade de N e P de 50% (PROSAB 1999). Com relação ao poder de neutralização do solo, foi calculado para que a dose aplicada não elevasse o pH acima de 7.

3.7 CONDUÇÃO DAS PLANTAS DE MILHO

O milho foi semeado em fevereiro de 2001, trinta dias após a aplicação do lodo segundo recomendação da PROSAB (1999). Na semeadura, distribuiu-se seis sementes do milho híbrido simples XL 214 por coluna de PVC. Nesta ocasião, foi

misturada em toda massa de terra contida na camada de 0-20 cm, a adubação mineral de plantio do tratamento do experimento sem lodo (Anexo 1).

Os cálculos para adubação do vaso foram baseados na sugestão da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1994) 110: 110: 40 kg ha⁻¹, e na análise de rotina do solo (TABELA 2) considerando para tanto a concentração da linha de adubação (profundidade x largura x números de linhas). A dose recomendada de N foi parcelada em três aplicações, sendo ¼ na semeadura apenas para o experimento sem lodo pois com lodo fornecia o N inicial e o restante do N dividido para ambos em iguais partes, e aplicado em cobertura, aos 25 e 45 dias após a semeadura. O P foi aplicado no plantio na forma de super simples sempre considerando a quantidade fornecida pelo lodo.

Os tratamentos do experimento com lodo receberam doses, correspondente a 0, 50, 100, 150 e 200% da quantidade recomendada e adubação potássica (anexo 2), de acordo com as recomendações do PROSAB (1999) convertendo-se para níveis aplicados totais no vaso em: 13, 39, 65, 91, 117 mg kg⁻¹ de K₂O. Os fertilizantes minerais utilizados foram nitrato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

As concentrações totais finais de N e P₂O₅ aplicadas no vaso para ambos os tratamentos foram para P₂O₅ =143,8mg kg⁻¹; N= 145mg kg⁻¹

Os experimentos com lodo foram complementados com adubação mineral equivalente a concentração na linha.

Após 4 dias houve a emergência das plântulas. Decorridos 12 dias da emergência foi realizado o desbaste, deixando-se 2 plantas por unidade experimental. A irrigação das colunas na primeira e segunda semanas após a semeadura foi realizada com 80 ml de água por dia, em média, na forma de pulverização, a partir da terceira semana foi utilizado regador simples, adicionando-se aproximadamente 200 ml de água deionizada por dia, resultando durante 77 dias o total de 9,84 L, correspondendo a precipitação pluviométrica de 347 mm no período e à 70% da capacidade de retenção de água. O ANEXO 3 apresenta detalhadamente a quantidade de água adicionada aos tratamentos durante o período de desenvolvimento da cultura.

Aos 17, 28 e 57 dias após a emergência houve infestação de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), sendo tratada com Dimy Pel, inseticida biológico,

constituído por *Bacillus thuringiensis*, linhagem HD-1, na diluição de 1,10 g L⁻¹ de água.

A análise do solo antes da aplicação do lodo é apresentada no anexo 4 e após a colheita do milho no anexo 4.1

A fim de acompanhar o desenvolvimento das plantas, anotou-se a temperatura ocorrente na casa de vegetação (anexo 5)

3.7.1 Avaliações

3.7.1.1 Diâmetro do colmo

Durante o desenvolvimento da cultura de milho foram feitas medições semanais do diâmetro do colmo para avaliar a evolução do crescimento, a partir do 35º dia após a emergência, até o momento da colheita, 80 dias após a emergência (anexo 6),

3.7.2 Massa Seca

Coletou-se a planta inteira, cortando-a a 0,5 cm do solo, constituída por folhas completas e inflorescência masculina. Cada unidade experimental foi constituída por 2 plantas, que por ocasião das coletas representaram uma única amostra por unidade experimental. Todo o material vegetal foi lavado em água deionizada e seco em estufa a 60°C até peso constante.

3.7.3 Altura

A altura, foi medida do solo a panícula, com auxílio de régua topográfica. usando para calculo a média das duas plantas por vaso.

3.8 ANÁLISES

No Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal do Paraná, o material vegetal foi submetido aos seguintes métodos:

Utilizou-se PERKIN-ELMER (1973), onde os elementos K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn, foram solubilizados em HCl 3M.

A determinação dos elementos Ca, Mg, Fe, Mn e Zn foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

O K foi determinado por fotometria de emissão em comprimento de onda de 766,5 nm.

3.9 ANALISE EXPERIMENTAL

Os experimentos foram calculados pelo pacote R (publico).

Experimento com lodo: para a análise estatística das extrações dos seguintes elementos K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, utilizou-se a técnica de regressão linear sendo apresentado na forma de gráfico com limite de confiança.

Para podermos comparar os dados obtidos do tratamento experimento sem lodo, com os tratamentos do experimento com lodo, optou-se pelo uso do intervalo de confiança, apresentado por curvas onde a central fornece a estimativa pontual dos elementos analisados correspondente a um nível de K_2O , e as duas curvas externas fornecem o limite para as médias dos elementos, levando em conta a precisão do experimento.

Experimento sem lodo: foi usado para análise o intervalo de confiança de medias que está apresentado no mesmo gráfico, localizado no nível de 52 mg kg^{-1} de K_2O aplicado, apresentando-se em faixa. Foi ainda usado para tal cálculo 7 repetições a fim de diminuir o erro experimental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cabe ressaltar, que os valores de produção de massa seca e composição química foram obtidos para planta inteira (folhas, colmo e panícula), aos 80 dias após a germinação.

Destaca-se ainda, que o tratamento 3 do experimento com lodo e o tratamento do experimento sem lodo receberam a mesma quantidade de adubação potássica mineral, sendo então a seguir sempre confrontados para a avaliação do efeito da presença do lodo de esgoto alcalinizado.

4.1 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO

4.1.1 Produção De Massa Seca

A interpretação dos resultados de produção de massa seca tem grande importância, já que através dela, nesta fase do desenvolvimento, se pode estimar o potencial produtivo da planta, bem como a extração de nutrientes, permitindo verificar o efeito “concentração ou diluição”.

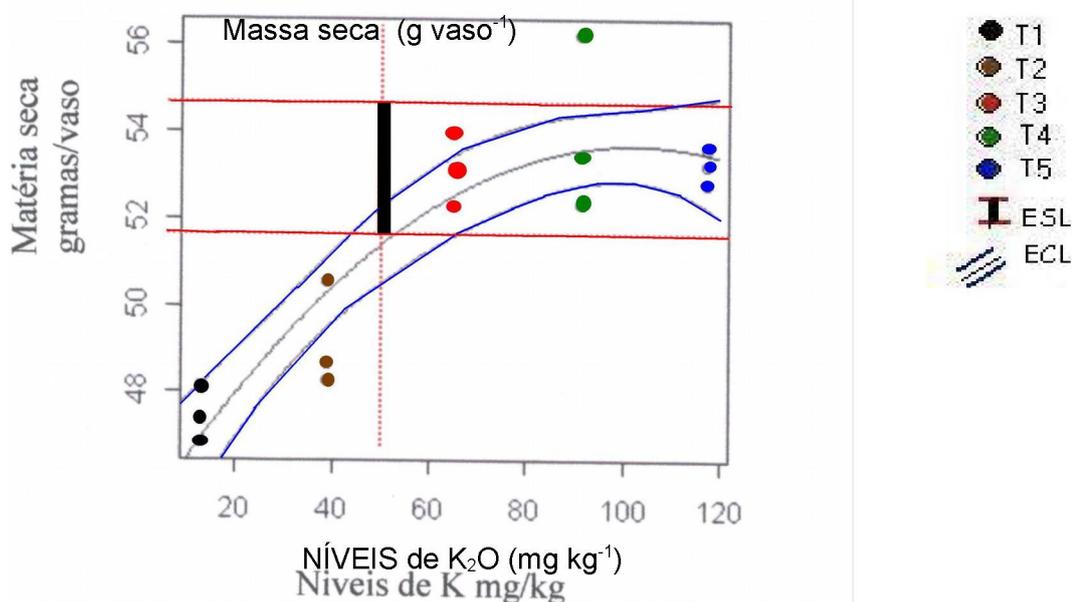
Os dados da produção de massa seca da parte aérea do milho e os resultados estatísticos dessa variável são mostrados na FIGURA 1.

Como pode ser observado, uma parábola foi ajustada para explicar a resposta da massa seca às doses de K_2O aplicadas.

$$(\text{Massa seca}) = 44,837 + 0,17(\text{Doses } K_2O) + 0,0008 (\text{Doses } K_2O)^2 *$$

Segundo BULL, 1993 a massa seca do milho sofre grande influência do nível de fertilidade do solo, sendo que as maiores exigências são de N e K .

FIGURA 1- PRODUÇÃO DE MASSA SECA (g vaso^{-1}) DE MILHO AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS de K_2O (mg kg^{-1}) APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS EXPERIMENTO COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).



Em geral, a produção de massa seca da parte aérea, no tratamento do experimento com lodo, foi crescente até aproximadamente o Tratamento 3 seguida de tendência de estabilização (FIGURA 1). Estes resultados estão de acordo com GRAHAN (1959) o qual cita que, após uma determinada quantidade, a produção das culturas é pouco influenciada pela adição de K. BAR-TAL *et al.*(1991), também trabalhando com K inicial no solo classificado em médio, como o presente trabalho, não encontraram diferenças significativas positivas na produção de massa seca de plantas de milho quando submetidas a doses crescentes de K acima da recomendada para a cultura.

Outros trabalhos encontrados na literatura usam doses crescentes de K_2O , mas sem ultrapassar a dose recomendada para a cultura e por isso não apresentaram a mesma tendência de estabilização observada pelo presente trabalho (MELLO e KAMINSKI 1990; VILELA e BULL, 1999).

Do exposto acima se pode observar que as crescentes doses de K_2O tem resposta positiva para cultura do milho até um certo limite, não respondendo as doses mais elevadas do que a cultura necessita. Tendo significância positiva linear

apenas quando o solo inicialmente apresenta K classificado como baixo (ARANTES,1983).

Comparando-se o tratamento 3 do experimento com lodo com o tratamento do experimento sem lodo, observa-se que os dois foram estatisticamente iguais demonstrando que a adição de lodo de esgoto alcalinizado nessas condições não interferiu na produção de massa seca. O que concorda com BETTIOL (1982) que utilizou 9 Mg ha⁻¹ em base seca de lodo de esgoto alcalinizado com complementação de fertilizante nas culturas de milho, arroz e soja, relatando que a produção de massa seca das três culturas não diferiu do tratamento que recebeu apenas adubação mineral.

Para as condições aqui utilizadas o lodo de esgoto alcalinizado complementado apresenta potencial de substituição da adubação mineral, não tendo influência na produção de massa seca para a mesma dose usada para o experimento sem lodo.

4.1.2 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS

4.1.2.1 Diâmetro do colmo

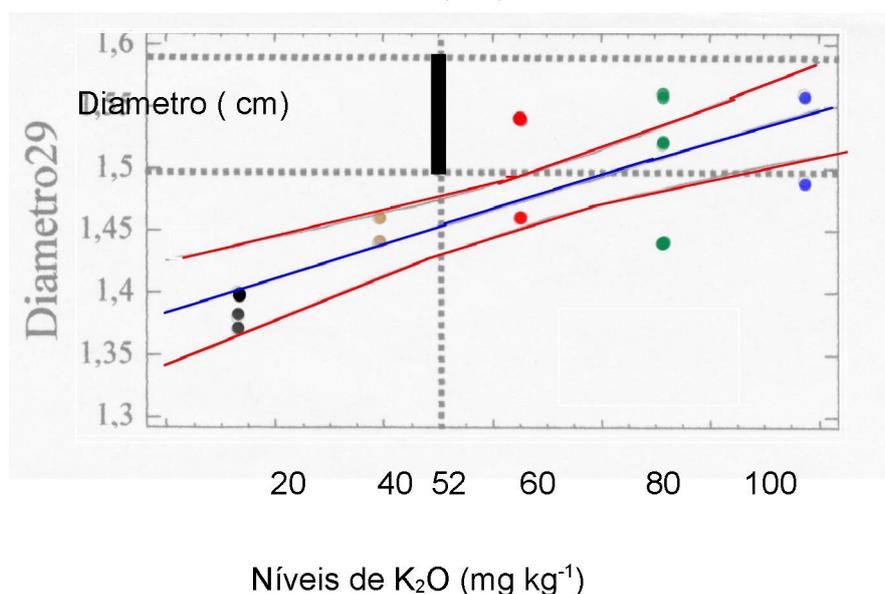
Analisando os dados de diâmetro do colmo do milho foi ajustada uma reta que explica o diâmetro em função das doses de K₂O aplicadas segundo a equação:

$$(\text{Diâmetro do colmo}) = 1.405814 + 0.001148(\text{Doses K}_2\text{O})^*$$

Observando os tratamentos do experimento com lodo na FIGURA 2 destaca-se que o aumento do diâmetro do colmo foi diretamente proporcional ao aumento das doses de K₂O aplicadas no solo. Isto ocorre provavelmente pelo fato do colmo ser o órgão que acumula com mais intensidade o K absorvido pelas plantas (ALVES *et al.*, 1988). Colmos mais grossos em plantas com crescimento normal são potencialmente, mais resistentes ao acamamento e ao quebramento (KARLEN *et al.*, 1987). Isso ocorre pela ativação enzimática no processo de transporte de compostos nitrogenados e conseqüentemente, crescimento e desenvolvimento celular, o que confere aumento de tecidos na planta (STROMBERGER *et al.* 1994).

Comparando o tratamento 3 do experimento com lodo ao tratamento do experimento sem lodo pode-se, observar que na ausência do lodo o diâmetro do colmo foi superior. Isto pode estar relacionado ao fato do experimento sem lodo ter apresentados sintomas de deficiência de zinco maiores informações são dadas no item 4.3.3

FIGURA 1 DIÂMETRO DO COLMO DO MILHO (CM) EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).

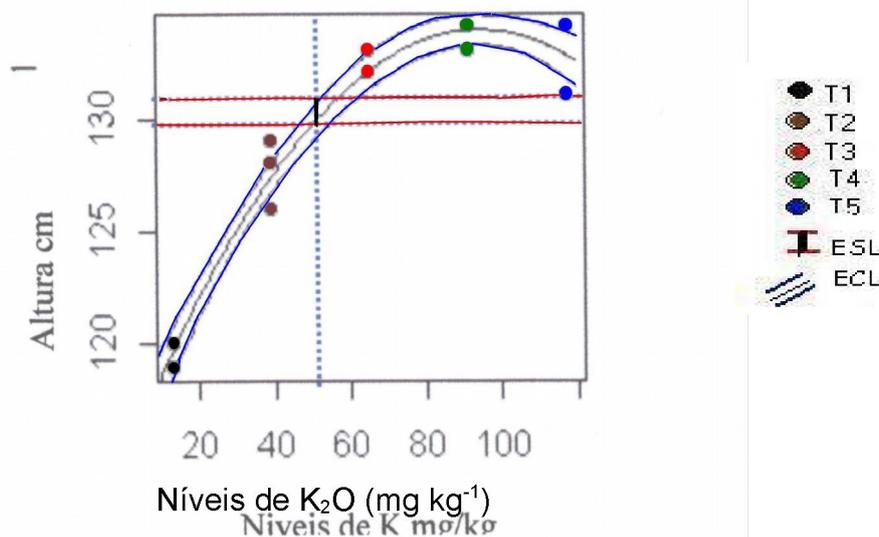


4.1.2.2 Altura da planta

Para a análise do crescimento do milho ajustou-se uma parábola que explica a altura em função das doses de K_2O aplicadas no solo segundo a seguinte equação: $(altura) = 114.969675 + 0.402043x - 0.002133x^2$ $R^2=0,96^{***}$

Analisando-se os dados de crescimento em altura das plantas de milho, nos tratamentos que receberam lodo, observa-se influência positiva, até a dose de $62\ mg\ kg^{-1}$ (FIGURA 3) seguida de estabilização. ANDREOTTI *et al.*(2001) também observou que a altura das plantas de milho foi influenciada pela elevação do teor K no solo até a adição da dose de $60\ mg\ kg^{-1}$.

FIGURA 1 -ALTURA DAS PLANTAS (cm) EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS EXPERIMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL).



Visualiza-se ainda na mesma figura que há tendência a diminuição da altura da planta com o aumento dos níveis de K_2O a partir do nível de $91\ mg\ kg^{-1}$ o que pode ter causado maior competição sobre a absorção de Ca e Mg, sendo este efeito também observado por (ALVES *et al.*, 1988; TAIZ e ZEIGER 1991; ANDREOTTI *et al.*, 2001a,b).

Comparando-se o tratamento do experimento sem lodo ao tratamento 3 do experimento com lodo pode-se observar que a adição de lodo de esgoto alcalinizado resultou em plantas mais altas, isto pode estar relacionado ao fornecimento de nutrientes concordando com SOPPER, (1993). E ainda ao efeito positivo da matéria orgânica que pode causar alongação celular.

A menor altura do experimento sem lodo quando comparada ao tratamento 3 do experimento com lodo, pode estar ligada a deficiência de zinco, que será melhor abordado na discussão do zinco.

4.2 MACRONUTRIENTES

4.2.1 Extração de Magnésio

Os dados da extração do Mg são apresentados no ANEXO 9 juntamente com Ca e K.

A extração de Mg pela planta de milho foi decrescente à medida que se aumentou a dose de K₂O no solo (FIGURA 4), se ajustando em uma reta de acordo com a equação $(\text{Extr Mg}) = 398,90 - 0,9809(\text{Doses K}_2\text{O})$ $R^2 = 0,89^*$

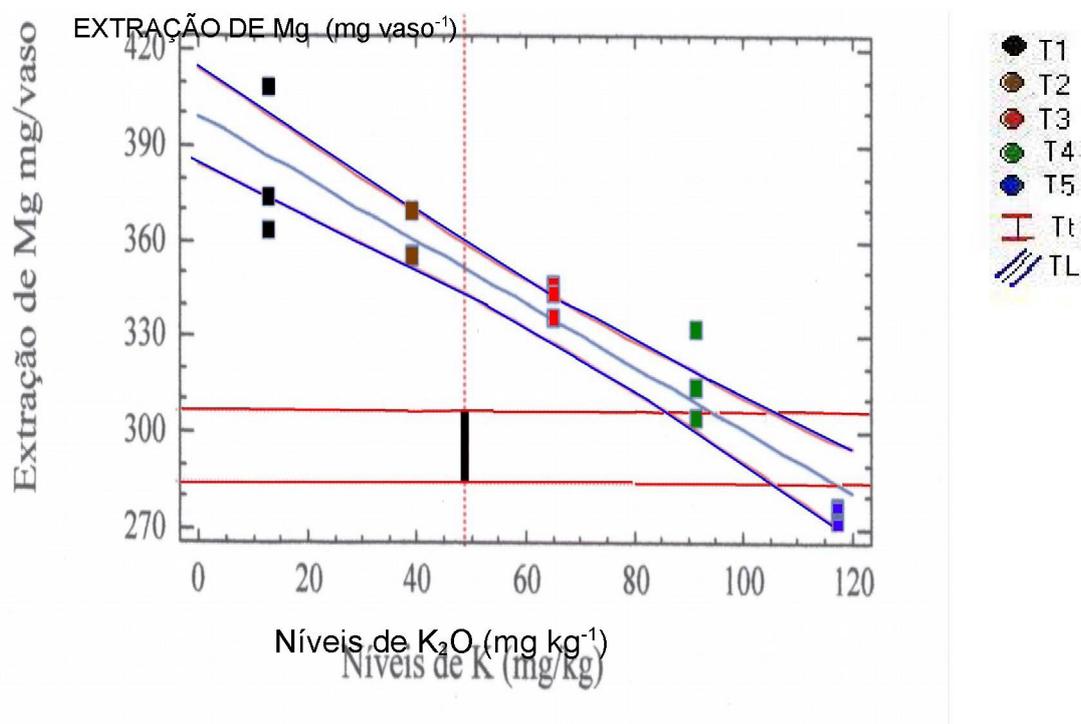
Esta diminuição na extração de Mg pelos tratamentos do experimento com lodo pode estar relacionada com a maior disponibilidade de K no solo, evidenciando uma possível inibição competitiva do K sobre a absorção deste cátion divalente. Este efeito é similar aos observados por: DEJOU e MONTARDS (1982); ARANTES, (1983); ALVES *et al.* (1988), HENRIQUEZ *et al* (1990); VILELA e BULL (1999).

Observa-se que as plantas que se desenvolveram no tratamento 3 do experimento com lodo, apresentaram maior extração de Mg, quando comparadas ao experimento sem lodo, indicando que o Mg adicionado via biossólido contribuiu para aumentar os teores desse elemento no solo conforme observado no ANEXO 4.1 com média para o tratamento sem lodo de 1,4 e 2, 7 cmol_c /dm³ para os tratamentos do experimento com lodo

BERTON *et al.*(1989); RELATÓRIO PROSAB (2000) trabalhando com milho também encontraram, que as plantas desenvolvidas nos tratamentos com lodo obtiveram teores maiores de Mg.

Visualiza-se ainda no tratamento 5 do experimento com lodo que o aumento das doses de K₂O acabou por anular a quantidade de Mg adicionado via lodo, que igualou-se ao tratamento do experimento sem lodo na extração de Mg. Efeitos extremos como este foi constatado por DEJOU E MONTARDS (1982), os quais estudaram durante cinco anos os efeitos da adubação potássica e magnesiana em gramínea relatando esse acentuado antagonismo entre Mg e K, de tal forma que adubação magnesiana foi anulada em presença de elevadas doses de K

FIGURA 1- EXTRAÇÃO DE MAGNÉSIO (mg VASO^{-1}) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL).



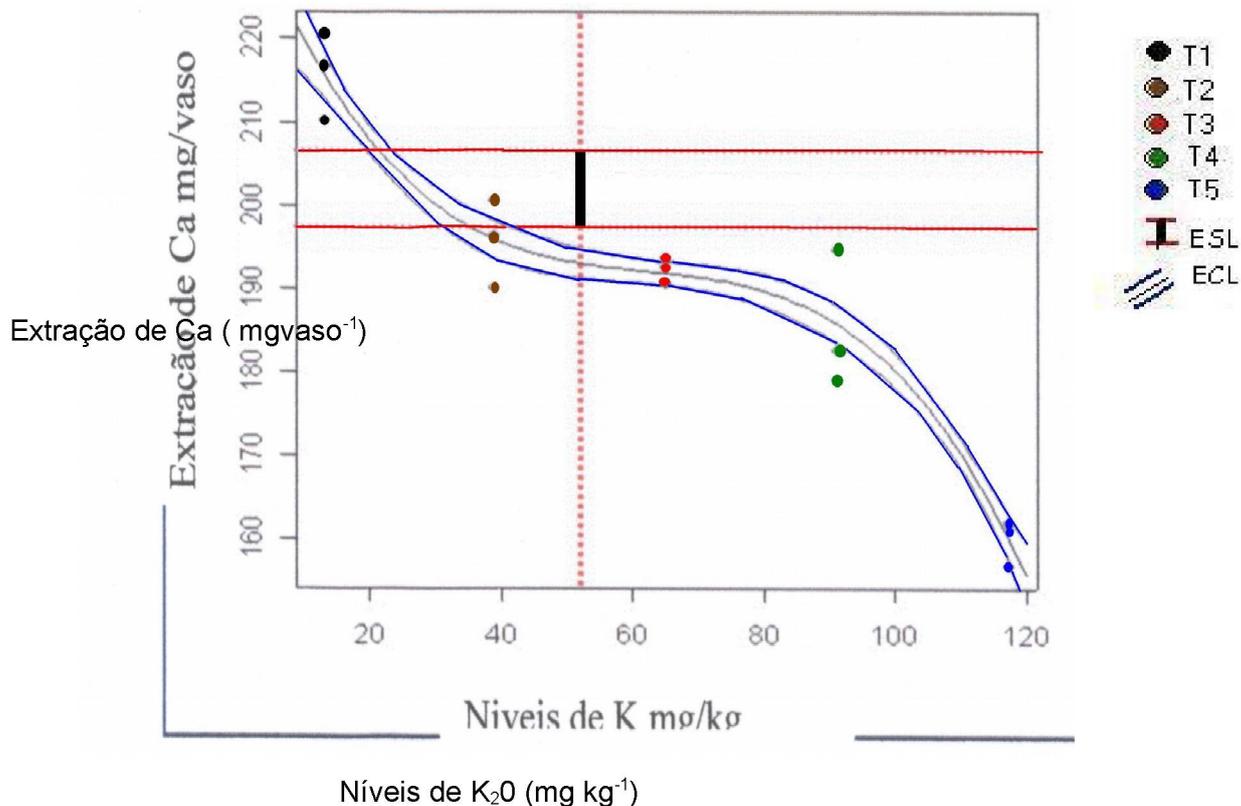
4.2.2 Extração De Cálcio

Para os tratamentos do experimento com lodo, a extração de Ca foi influenciada pelas doses de K_2O do solo. Quanto maior a dose de K_2O adicionada no solo, menor a extração de Ca pela planta (FIGURA 5). Ajustando-se a seguinte equação cúbica $(\text{ExtrCa})=236,9 - 20,05(\text{DoseK}_2\text{O})+0,03094(\text{DosesK}_2\text{O})^2 - 0,00016(\text{DosesK}_2\text{O})^3$

Esta diminuição na extração de Ca caracteriza a ação competitiva do K no processo de absorção do Ca como já relatado por ARANTES (1983); FURLANI et al. (1986); VILELA e BULL, (1999).

O tratamento 1 do experimento com lodo obteve a menor massa seca (FIGURA 1) e extraiu mais cálcio, podendo ser relacionado ao efeito "concentração". Já observando o tratamento 5 do mesmo experimento onde a produção de massa seca já estava estabilizada a partir de $60 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, fica claro a redução da extração de Ca nos níveis mais elevados de K_2O evidenciando então a ação competitiva.

FIGURA 1 EXTRAÇÃO DE Ca (mg vaso^{-1}) DO MILHO AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL)



Comparando-se o tratamento do experimento sem lodo ao tratamento 3 do experimento com lodo, observa-se que “sem lodo” foi superior, apesar do experimento 3 ter recebido Ca através do bio-sólido e este ter aumentado os níveis de Ca+Mg no solo como pode ser visto no ANEXO 4.1. Atribuí-se esse resultado a influência do lodo de esgoto alcalinizado na extração de Ca pela planta, provavelmente devido a adsorção deste elemento pelas substâncias húmicas e fúlvicas presentes no lodo ou ainda nos polímeros adicionados no lodo. Este resultado difere de muitos autores BETTIOL *et al.* (1983); BERTON *et al.* (1989); DA ROS *et al.* (1993); BISCAIA *et al.* (1996); RELATÓRIO FINAL- PROSAB (2000) onde relatam que o lodo de esgoto alcalinizado propicia maior absorção ou a mesma de Ca pelas plantas em comparado com adubação mineral. O resultado encontrado por este trabalho deve ser um fenômeno restrito a esse tipo de solo e pode estar

relacionada a alterações físico químicas inerentes a condição aqui utilizada. Cabendo um maior estudo para estas condições.

Ainda os tratamentos que receberam lodo de esgoto alcalinizado apresentaram níveis mais elevados de Ca, Mg no solo (ANEXO 4.1) quando comparados ao tratamento do experimento sem lodo.

4.2.3 Extração De Potássio

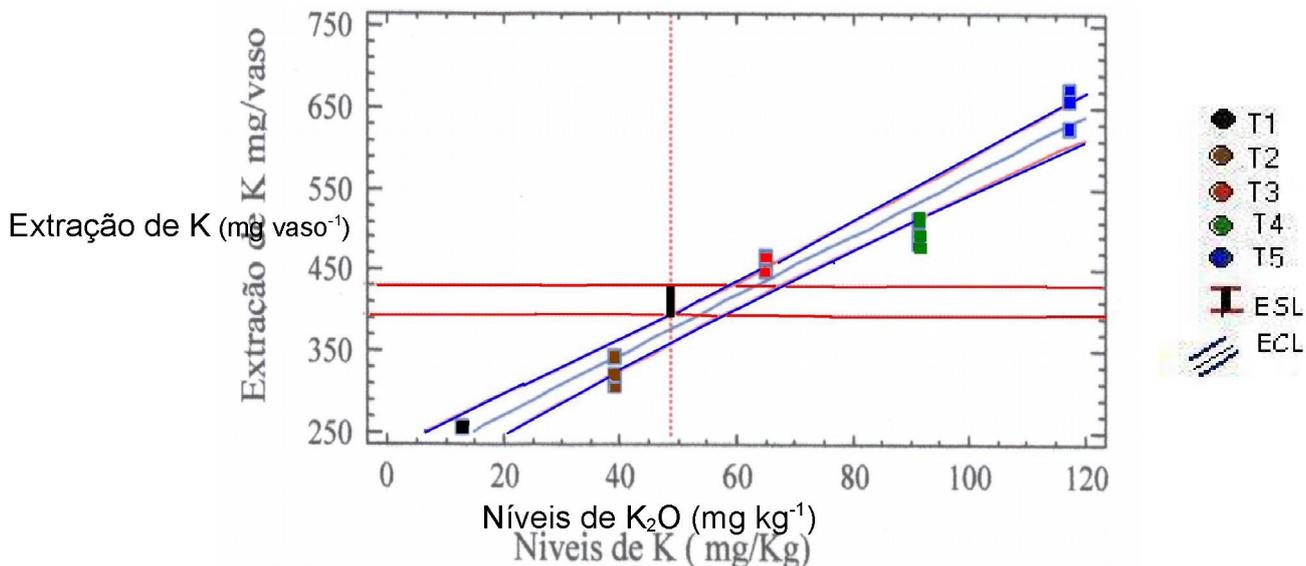
Observa-se na FIGURA 6 pelo ajuste da reta crescente para os tratamentos do experimento com lodo, que a extração de K pelo milho aumentou proporcionalmente às quantidades de K_2O aplicadas no solo. Segundo a seguinte equação: $(\text{Extr K}) = X = 195,311 + 3,697(\text{doses } K_2O)$ $R^2 = 0,96^*$

Resultados semelhantes foram encontrados por FURLANI *et al.* (1986); ALVES *et al.* (1988); MELLO e KAMINSKI (1990); VILELA e BULL (1999).

Deve se ressaltar, porém, que embora a quantidade de K absorvida pela planta de milho tenha sido diretamente proporcional á dose aplicada no solo, a massa seca e altura da planta estabilizaram, como já observado, confirmando o “consumo de luxo da planta” (MELSTED *et al.*, 1969). Porém, este consumo resultou em maior diâmetro do colmo dos tratamentos com lodo. Segundo ALVES *et al.* (1988), quando há um grande consumo de K pela planta o principal órgão acumulador é o colmo.

O tratamento 1 (com lodo) apresentou aos 64 dias sintomas visuais semelhantes a deficiência de K, (mesmo o solo possuindo K inicial classificado como médio e ainda ter recebido lodo) como seca de pontas e margens das folhas mais velhas e extração de K reduzida, avaliado aos 80 dias,. Além disso as plantas deficientes apresentaram a relação $(Ca+Mg) K^{-1}$ (ANEXO 7) nas folhas, superior a 6, que segundo MASCARENHAS *et al.* (1987) valores acima de 3,4 para as culturas em geral, indicam um desbalanço nos teores de K em relação ao Ca e Mg absorvidos. As relações $(Ca+Mg) K^{-1}$ e $Ca K^{-1}$ foram diminuídas com o aumento da disponibilidade de K no solo, caindo de 6,6 para 1,74 e de 1,72 para 0,44 $cmol_c \cdot kg^{-1}$ respectivamente, confirmando o efeito antagônico do K sobre Ca e Mg. Como já constatado por: BOWER e PIERRE (1944); LOUÉ (1963); ARANTES, (1983).

FIGURA 1- EXTRAÇÃO DE K (mg vaso^{-1}) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O (mg kg^{-1}) APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL).



Os mesmos autores relataram ainda que plantas deficientes em K apresentavam maior soma de cátions (S), o que para o tratamento 1, foi superior a $100 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (ANEXO 8) comparadas com o tratamento 5 de $91 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Comparando o experimento sem lodo ao tratamento 3 do experimento com lodo, observa-se que o intervalo de confiança destes não diferiu estatisticamente. Essa semelhança na extração mostra que o lodo de esgoto alcalinizado não interferiu na absorção de K pela planta, particularmente no que se refere a preocupação com a elevada concentração de Ca após a sua alcalinização. As relações $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{ K}^{-1}$ e $\text{Ca} \text{ K}^{-1}$ (ANEXO 7) também foram semelhantes para esses dois tratamentos.

4.3 MICRONUTRIENTES

Convém lembrar que o aumento de 0,4 unidades no pH dos solos ao final do experimento (ANEXO 4.1) e a presença de substâncias húmicas e fúlvicas, proporcionada pela adição do lodo de esgoto, pode condicionar à redução ou aumento da extração dos micronutrientes.

Os dados de extração dos micronutrientes são apresentados no ANEXO 10.

4.3.1 Extração de Manganês

Para os tratamentos do experimento com lodo, a extração de Mn se ajustou em uma regressão quadrática, tendo influência da doses de K₂O do solo. (ExtrMn)= 2.429 - 0.011(DosesK₂O) + 0.00007(DosesK₂O)² R² =0,63*

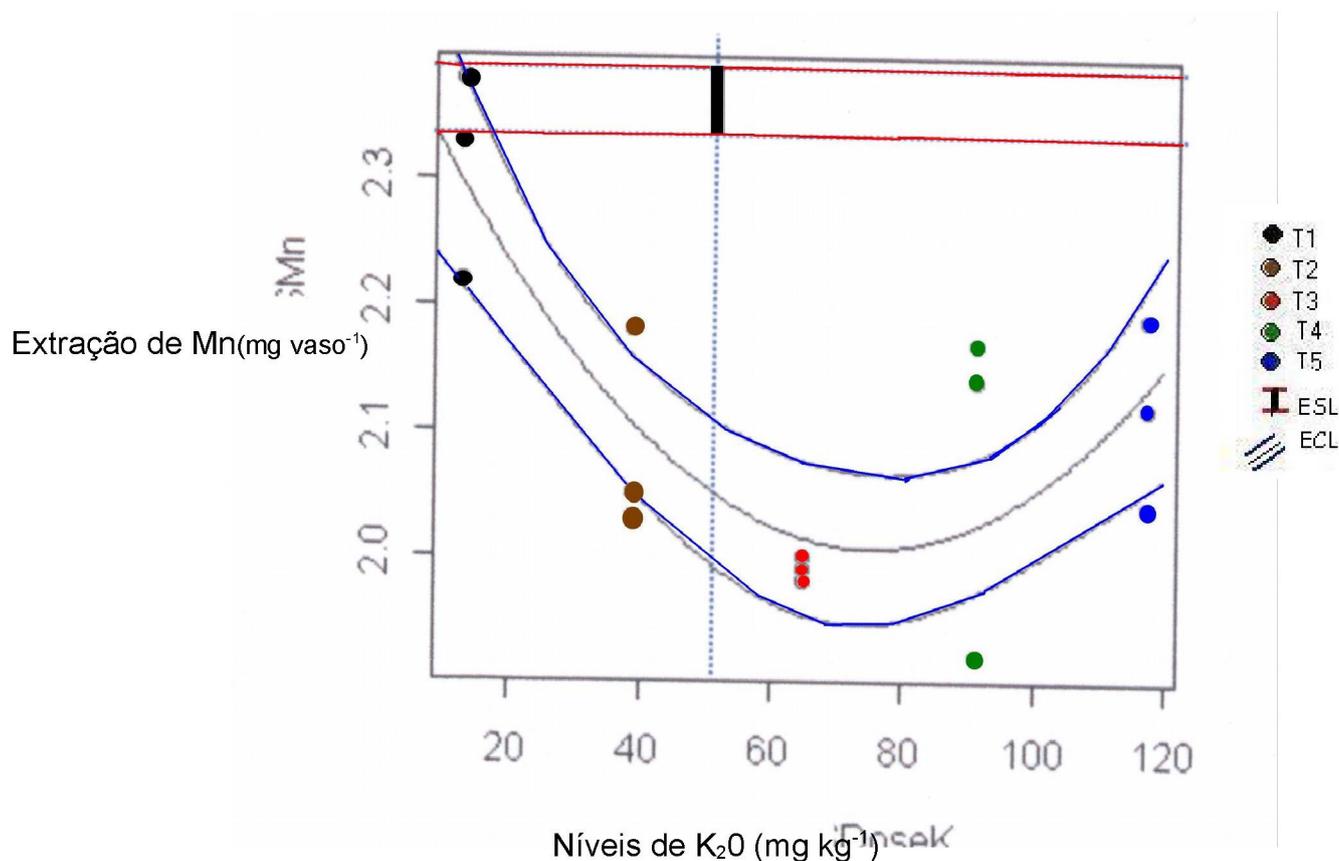
A extração de Mn na parte aérea, evidenciou diminuição seguida de aumento na absorção deste micronutriente, sendo diretamente proporcional aos níveis de K₂O aplicados ao solo somente nos níveis mais elevados . (FIGURA 7).

Atribui-se este aumento da extração de Mn a partir do tratamento 3 do experimento com lodo a diversos fatores:

1- A redução da extração de Ca e Mg pela planta proporcionado pela grande absorção de K pelo milho (causa do consumo de luxo) pode ter auxiliado a maior extração de Mn já que estes são seus maiores competidores (VENTURA et al. 1987; BÜLL 1993).

2- Efeito do cloro aplicado na forma de KCl. Segundo FIXEN (1993), aplicações contendo sais de Cloro causa incremento nas concentrações de Mn na planta.

FIGURA 1 EXTRAÇÃO DE Mn (mg vaso^{-1}) PELA CULTURA DO MILHO AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O APLICADOS NO SOLO E (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO COM LODO (ECL) E PARA O SEM LODO (ESL)



Na mesma figura visualiza-se ainda que em condições de estresse de K como tratamento 1, houve maior extração de Mn, provavelmente pela diminuição do efeito antagônico que o K pode causar, e pela provável compensação da planta onde para suprir a falta de K absorve outros nutrientes em maiores quantidades (equilíbrio catiônico). Ou ainda, um efeito “concentração” pelo baixo acúmulo de matéria seca na planta (FIGURA 1).

Comparando-se o tratamento 3 ao experimento sem lodo observa-se pela FIGURA 7 que a extração de Mn foi influenciado pela presença de lodo, uma vez que este tratamento apresentou o menor nível de extração.

A menor média encontrada para o tratamento 3 do experimento com lodo pode ser devido a elevação do pH, que favoreceu a atividade dos microorganismos que oxidam Mn^{2+} solúvel a formas não solúveis, reduzindo a sua presença na solução do solo, e portanto diminuído a sua absorção pela planta (KABATA-

PENDIAS e PENDIAS 1985; BORKERT 1991; HUNGRIA e URQUIAGA 1992). Ou ainda a adsorção do Mn pela matéria orgânica, formando complexos insolúveis e estáveis como quelatos insolúveis de Mn (KIEHL,1985). Como o solo do experimento sem lodo tinha em média pH 5,1 pode-se inferir, que este tratamento apresentava melhores condições para a absorção do Mn, conforme comenta REISNAUER, (1994) que as plantas tendem a ter maior concentração de Mn nos tecidos, especialmente, em solos com níveis de pH abaixo de 5,5. Ainda o maior fornecimento de cálcio no experimento com lodo, pode determinar a menor extração de Mn .

Ressalta-se ainda, que a produção de exsudatos pelas raízes das plantas também pode afetar a absorção de Mn. Exsudatos da raiz, podem reduzir Mn^{+4} a Mn^{+2} complexá-lo e torna-lo livre para a planta. E esse efeito é mais evidente em pH menor que 5,5 (KIEHL, 1985).

Outro fator a ser considerado é que o uso de fertilizantes amoniacais como o nitrato de amônio usado no tratamento do experimento sem lodo conforme RATHFON e BURGER (1991), aumenta em até 6 vezes o Mn nos tecidos; como aconteceu nesse experimento o tratamento sem lodo mostrou superioridade, e esta recebeu apenas nitrato de amônio.

A presença de compostos orgânicos quelantes de ocorrência natural ou produzidos pela decomposição do lodo e a atividade biológica, podem diminuir a mobilidade e solubilidade do Mn. A biomassa edáfica afeta seu potencial de oxiredução e solubilidade e o liga a compostos orgânicos (SABEY,1980).

4.3.2 Extração de ferro

Para os tratamentos do experimento com lodo, a extração de ferro foi diretamente proporcional as doses de K_2O aplicadas no solo.(FIGURA 9) e se ajustou na seguinte regressão linear $(\text{ExtrFe}) = 2,05 + 0,0102(\text{Doses}K_2O)$ $R^2 = 0,92^*$

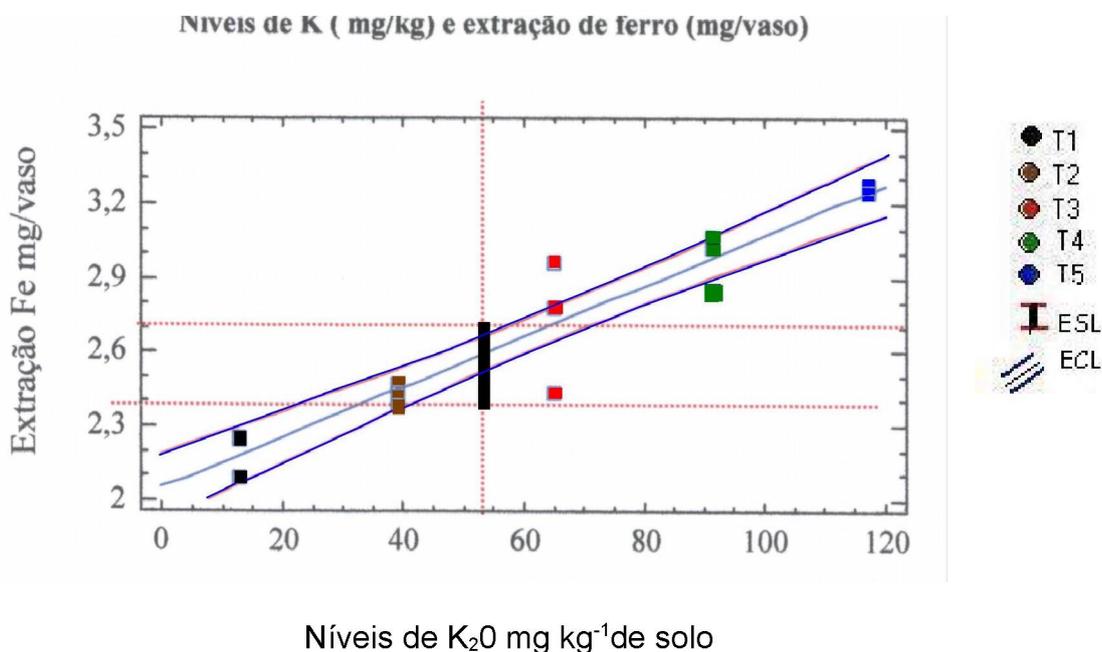
Os menores valores de extração de ferro encontrados foram justamente nos dois menores níveis de K_2O , o que pode estar relacionado as condições de deficiência de K (item 4.5.2), que segundo JOLLEY et al. (1988), a deficiência de K inibe a capacidade de redução de ferro nas raízes. OERTLI e OPOKU (1974),

relatam que em plantas de milho o K ocupa o primeiro lugar entre os cátions que estimulam a absorção do ferro a partir de fontes quelatadas.

SAKAGUCHI, et al. (1999) também relaciona o K a mecanismos de exsudação do ácido mugineico das plantas, que tem o papel de dissolver o ferro insolúvel, ao mesmo tempo em que permite sua absorção como complexo.

A relação Fe/Mn aumentou com o maior fornecimento de K₂O ao solo tendo médias para os tratamentos do experimento com lodo de 0,91-1,21—1,41- 1,46-1,56.

FIGURA 1- EXTRAÇÃO DE FERRO (mg VASO⁻¹) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K₂O (mg kg⁻¹) APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO COM LODO (ECL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL)



Comparando o T3 do experimento com lodo ao tratamento do experimento sem lodo, visualiza-se que a extração foi semelhante não diferindo estatisticamente. O que demonstra, que o lodo de esgoto alcalinizado não interferiu na absorção de ferro pela planta.

A relação Fe/Mn ficou em torno de 1,41 para T3 com lodo e de 0,76 para o experimento sem lodo não observando-se sintomas de deficiência de Fe ou de Mn em nenhum dos tratamentos

4.3.3 Extração de Zinco

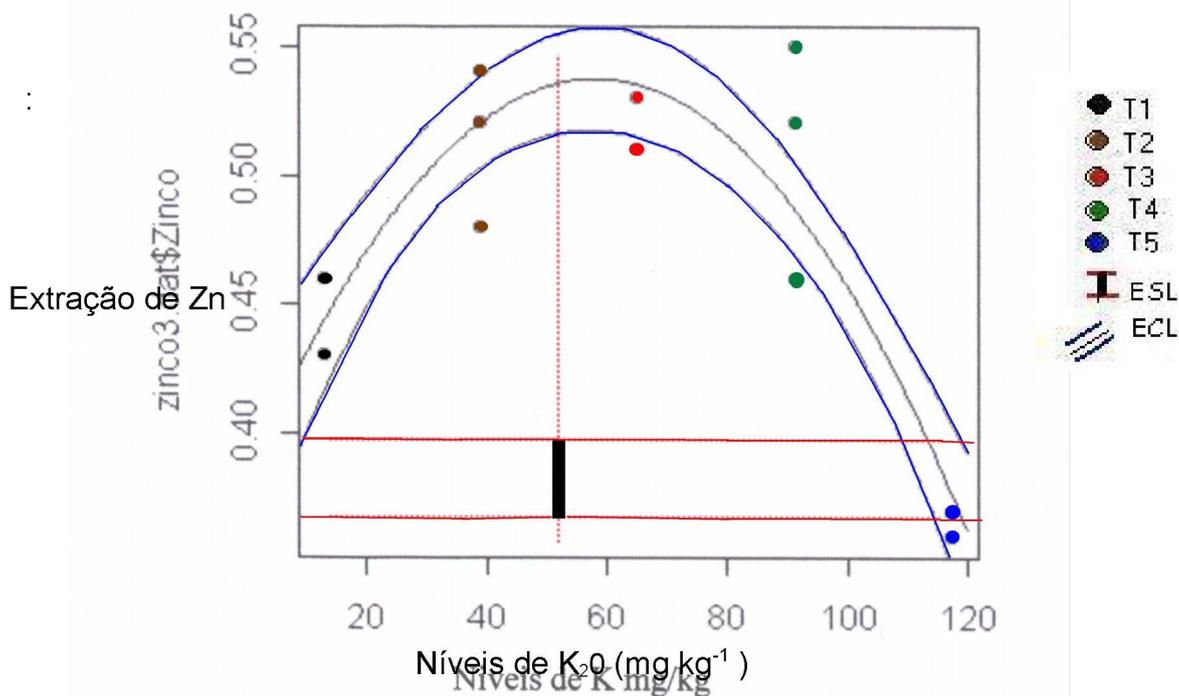
Cabe ressaltar que aos 60 dias constatou-se no tratamento 5 do experimento com lodo e no tratamento do experimento sem lodo sintomas nas plantas tais como: estrias entre as nervuras das folhas mais novas, semelhantes a deficiência de zinco.

Para os tratamentos do experimento com lodo, a extração de zinco, foi influenciada pela doses de K_2O aplicados ao solo. Houve um aumento seguido de diminuição relacionada aos níveis crescentes de K_2O (FIGURA 9). O modelo que melhor explicou a extração de Zn em função das doses de K_2O foi o quadrático tendo seguinte equação: $(\text{ExtrZn})=0,3829 + 0,005316(\text{DosesK}_2\text{O}) - 0,00004574(\text{DosesK}_2\text{O})^2$ $R^2= 0,81^*$

Alguns autores relatam que o K pode exercer um efeito antagônico sobre a absorção de zinco, o que explica a diminuição da extração nos maiores níveis de K_2O (SOUZA, 1991; ROBSON, 1993). Já o aumento da extração de Zn até o tratamento 3 do experimento com lodo, está relacionado com os baixos níveis de K_2O fornecidos e a deficiência deste.

Outra possível explicação para esta diminuição da extração de zinco a partir do tratamento 3 do experimento com lodo, é além do alto fornecimento de K_2O , o aumento da extração de ferro pela planta (FIGURA 9), podendo ter causado uma competição por sítios carregadores diminuindo assim a extração de zinco, visto que o ferro é um dos maiores competidores do zinco (REDDY *et al.* 1978; OLSEN 1983; GALRÃO 1984; LINS e COX 1989). Outra maneira de ser constatada a situação é através do uso das relações Fe/Zn na planta (ANEXO 11), onde o tratamento T3 do experimento com lodo apresentou uma relação em torno de 5 e o T5 8,5. Segundo NAMBIAR e MONTIRAMANI (1981) valores maiores que 6 podem indicar uma deficiência de zinco oculta causada pelo aumento da absorção de ferro.

FIGURA 1- EXTRAÇÃO DE ZN EM (mg VASO^{-1}) PELA PLANTA AOS 80 DIAS EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE K_2O (mg kg^{-1}) APLICADOS NO SOLO E INTERVALO CONFIANÇA (I.C.) PARA OS TRATAMENTOS COM LODO (TL) E PARA O EXPERIMENTO SEM LODO (ESL).



Visualiza-se na FIGURA 9 que a extração Zn pelas plantas de milho no tratamento 3 experimento com lodo foi superior ao tratamento sem lodo, o que permite diferentes suposições:

A própria adição do resíduo pode ter promovido maior disponibilidade do elemento, conforme também observaram ROCA e POMARES (1991). Porém como na presença de lodo o pH esteve mais elevado que no tratamento do experimento sem lodo, este resultado contraria BERTON et al. (1989), onde afirmam que a disponibilidade de zinco para a cultura do milho parece estar mais influenciada pelo pH dos solos, determinado após a incubação com lodo, do que pela quantidade de material aplicada.

Outra provável explicação é que 60% do zinco do solo normalmente está associado a complexos orgânicos; assim o tratamento que recebeu lodo, pode ter causado interferência positiva na atividade dos microorganismos promovendo liberação desse nutriente.

Como já abordado, o tratamento do experimento sem lodo apresentou maior diâmetro de colmo quando comparada com o tratamento 3 do experimento com lodo. A hipótese para esse maior diâmetro do tratamento do experimento sem lodo é dado por MARSCHNER (1985), onde relaciona o aumento do colmo a diminuição de entrenós provocada por deficiência de zinco. Outro aspecto está relacionado ao zinco como ativador enzimático de diversos processos metabólicos, como na produção do triptofano, que é o precursor das auxinas responsáveis pelo crescimento da planta (MENGEL e KIRKBY, 1987). Por esta razão a deficiência de zinco pode acarretar em plantas menores (FURLANI et.al. 1996) .

5 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais aqui utilizadas foi possível concluir que:

(1) O aumento nos níveis de K_2O promoveu a redução da extração dos macronutrientes Mg e Ca, demonstrando haver inibição competitiva no processo de absorção ;

(2) A extração de K e Fe nos tratamentos do experimento com lodo foi proporcional os níveis de K_2O aplicados no solo, e não sofreu interferência do lodo de esgoto alcalinizado, tendo a mesma resposta ao tratamento do experimento que não recebeu o biossólido ;

(3) A extração de Ca e Mn pela planta de milho foi negativamente afetada nos tratamentos que receberam lodo de esgoto complementado com K_2O

(4) A extração de zinco nos tratamentos do experimento com lodo foi superior ao tratamento do experimento sem lodo e inversamente proporcional aos maiores níveis de K_2O aplicadas no solo;

(5) A produção de massa seca, não sofreu interferência das doses de K_2O superiores a recomendada para a cultura.

(6) Foi verificada a interferência do Ca presente no lodo de esgoto alcalinizado sobre a absorção de K.

REFERÊNCIAS

ADDISCOTT, T.M. Potassium and the absorption of calcium and magnesium by potato plants from soil. *J. Sci. Fd. Agric.*, v.25, p. 1165-72, 1974.

ALVES, A.C.; BRAUNER, J.L.; CORDEIRO, D.S.; ZONTA, E.P.; CORREA, L.A.V. Exigências nutricionais em potássio, cálcio e magnésio do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.529-536, 1988.

ANDREOLI, C.V.; BARRETO, C.L.G.; BONETT, B.R.P.; FERNANDES, F.; NERY, A.C. Tratamento e disposição final de lodo de esgoto no Paraná. **Sanare**. Curitiba, v.1, n.1, p. 10-15, 1994 a.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão de biossólidos: situação e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODISSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., Curitiba, 1998. **Anais...** Curitiba: SANEPAR; ABEAS, 1998. p. 11-18.

ANDREOLI, C.V.; SOUZA, M.L.P.; COMIM, J.J. Bases para o uso agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém m. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 4:1994:Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABES/APRH.v.I,t.I,p.389-402. , 1994b

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J.D.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA, E. C. A.; BULL, L.T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, v.58, n1, p.145-150, 2001 a

ANDREOTTI, M.; SOUZA, C.A. E. ; CRUSCIOL, C. A. C.; Componentes Morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. **Scientia Agrícola** , v.58, n2, p.321-327, 2001 b

ARANTES, E.M. Efeitos da relação Ca/Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de massa seca, concentração de K, Ca, Mg, e equilíbrio catiônico do milho Lavras, ESAL, 1983. 62p. (tese M.S.).

ASSMANN, A.L. Efeito da aplicação de Fe, Mn e Zn no crescimento do milho e nos teores de Fe, Mn, Zn e Cu do solo e da planta. Curitiba, 1993. Dissertação de Mestrado em agronomia – Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BANDYOPADHYAY, B.K.; GOSWAMI, N.N. Dynamics of potassium in soil as influenced by levels of added potassium, calcium and magnesium. **Journal Indian Society Science**. V.36, p.471-475, 1988.

BARBER, S.A.; HUMBERT, R.P. Advances in knowledge of potassium relationship in the soil and plant. In: McVICKAR, M.H.; BRIDGER, G.L.; NELSON, L.B. **Fertilizer technology and uses**. Madison: SSSA, 1963. cap.11, p.231-268.

BARCELÓ, C.F. *et al.*, 1983. Fisiologia vegetal. 2 ed. Madrid, Pirâmide. 813p.

BAR-TAL, A.; FEIGENBAUM, S. E SPARKS, D.L. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. *Irrig. Sci.*, v.12, p27-35, 1991.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.187-192, 1989.

BETTIOL, W. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. In: Colóquio Regional sobre matéria orgânica do solo. Piracicaba, 1982. **Anais...** Piracicaba, CENA/USP PROMOCET. P. 227-232, 1982.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, v.75, n.1, p.44-54, 1983.

BISCAIA, R.C.M.; MIRANDA, G.M. Uso de lodo de esgoto calado na produção de milho. **Sanare**, v.5, n.5, p.86-89, 1996.

BOLLE-JONES, E.W. The interactions of iron and potassium in the potato plant. **Plant Soil** v.6 p.129-173. 1955.

BONNET, R. P. B. Diagnóstico situacional e proposição preliminar do plano de monitoramento de impactos ambientais causado pelo uso agrícola de lodos de esgoto no Paraná. Curitiba, **Monografia** (especialização em análise Ambiental) Setor de Tecnologia, UFPR. 1995. 153p.

BORKERT, C.M. Micronutrientes na Agricultura. **Potafos**, 1991. p 173-190

BOWER, C.A. e PIERRE, W.H. Potassium responses of various crops on high-lime soil in relation to their contents of potassium, calcium, magnesium and sodium. **Agronomy journal**, 36, p. 608-614, 1944

BREMNER, J.M.; MILVANEY, C.S. Nitrogen-total. In methods of soil analysis. Pat2. Madison:SSSA/ASA, 1982, p. 595-624

BÜLL, L.T.; BOARETTO, A.E.; MELLO, F.A.F.; SOARES, E. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de massa seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras: II. Absorção de potássio em função da relação K/(Ca+Mg) no complexo de troca do solo. **Científica**, v.21, p.67-75, 1993.

BULL, L.T., CANTARELLA, H. Cultura do Milho. Fatores que afetam a produtividade. **Potafos**. Piracicaba. 301p. 1993.

CARVALHO, P. C. T, BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. *Fertilizantes*, São Paulo, v.3 n.2, p.3-5, 1981.

CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. **Resumos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. p.98-99.

CLAASSEN M.E. e WILCOX, G.E. Comparative reduction of calcium and magnesium composition of corn tissue by NH₄-N and potassium fertilization. *Agrono. J.* V.66, p. 521-522, 1974.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3. ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 223p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR : Manual Técnico para utilização do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba. Sanepar, 1997. 96p.

DA ROS, C.O ; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia ervilhaca. **R. Bras. Ci. Solo**, v.172, n.2, Campinas, p.257-261, 1993.

DECHEN, R.A.; HAAG, H.P. e CARMELLO, Q. Z. A. De C. Funções dos micronutrientes nas plantas . In FERREIRA, M.E. e CRUZ, M.C. da (ed.) **Micronutrientes na Agricultura.** Piracicaba. Potafos/CNPq. p.65-78 .1991

DEJOU, J. MONTARD,F.X. Efecto positivo que ejercen los abonados potassico y magnesio en suelos volcanicos del macizo central frances . Evolucion de K + en el suelo y en la planta al final de cinco anos de cultivo de ballico perene. **Rev. Potassa**, Berna, v.7, n.3, p.1-10,1982.

DINDAL, D.J.; SCHWERT, D.; NORTON,R.A . Effect of sewage effluent disposal on communit structure of soil invertebrates Vanek (ed.) **Progress in Soil Zoology.** Proc. of 5th Int'l Coll. On Soil Zool., The Hague:Junk, p. 419-427, 1975.

DUNCOMB, D. R.; LARSON, W. E.; CLAPP, W.E. The effect of high-lime, filter cake sewage sludge on corn yield and nutrient uptake. *In:* UNITED STATES ECKERT, D.J. e McLEAN, E.O. Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and liming agronomic crops. I. Growth chamber studies. **Agronomy journal**, v.73p. 759-9, 1981.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V. (Coord.) **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná.** Curitiba : SANEPAR, 1997. 96p.

FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.C. Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola. **Sanare.** Curitiba, v.6, n.6, p.15-21, 1996

FIXEN, E. P. Crop responses to chloride. **Advances in Agronomy** . Potash and Phosphate institute. V.50 1993.

FONSECA, J.A.; MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.21, n.1, Campinas, p.47-50, 1997

FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, C.; LIMA, M. **Crescimento diferencial de linhagens de milho em solução nutritiva com baixo nível de potássio**. *Bragantia*, v.45, p.303-316, 1986.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P. R. Resposta de cultivares de milho a zinco em solução nutritiva. **Bragantia**, v.55, n.2, p.365-369, 1996

GALLO, J. R.; HIROCHE, R.; BATAGLIA, O.C. e MORAES, F. R. P. **Levantamento dos cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar**. *Bragantia*, Piracicaba, v.29, n.2, p.237-248, 1970.

GALRÃO, E. Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Campinas v.8, n.1, p.111-116, 1984.

GOEDERT, W.J.; COREY, R.B.; SYERS, J.K. The effects on potassium equilibrium in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil Science**, v.120, p.107-111, 1975.

GRAHAN, E.R. An explanation of theory and methods of soil testing. Missouri, **Agricultural Experimental Station**, 1959 (Bulletin, 734).

HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F. Comportamiento de Ca, Mg y K en respuesta a la aplicación de fertilizante potásico y de cal dolomítica en un andisol de la zona sur de Costa Rica. **Agronomia Costarricense**. v.21, n.2, p.239-248, 1997.

HENRÍQUEZ, C.; BERTSCH, F.; CABALCETA, G. Efecto de la variación del K disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. **Agronomia Costarricense**. v.14, n.2, p.223-223, 1990.

HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba : UFPR, 1977. 225p.

HUNGRIA, M., URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos : potássio, micronutrientes e metais pesados . In: CARDOSO, E.J.B.N., NEVES, M.C.P. (Coord.) **Microbiologia do solo**. Campinas : sociedade brasileira de ciência do solo, 1992. cap.23, p.329-340.

JOLLEY Von, D., BROWN, J.C., BLAYLOCK, M.J., CAMP, S.D. A role for potassium in the use of iron by plants. **J. Plant Nutr.**, New York, v.11, p. 1159-1164, 1988.

JOLLEY, BROWN, J.C., Genetically controlled uptake and use of iron by plants . In MANTHEY, J.A., COWLEY, D.E., LUSTER, D.G. (Ed.) **Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere**. Boca Raton . Lewis Publishers, 1994. p.251-266.

KABATA-PENDIAS, A. , PENDIAS , H. **Trace elements in soil and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 1985. 315p.

KARLEN, D.L., FLANNERY, R.L., SADLER,E.J. Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize. **Journal of Plant Nutrition**, v.10 , p.1409-1417.1987.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Editora Agronômica Ceres, 1985 Piracicaba p. 53-62.

LIEBHARDT,W.C. The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations an Delaware's Coastal plain soils .**Soil science Society of America Journal**,v.45,p.544-549,1981

LINS , I. D. G. e COX F.R. **Efeito do pH do solo e teor de argila sobre a disponibilidade de zinco para o milho**. Campo Grande, EMPAER p.40, 1989.

LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: YAMADA, T.; IGUE, T.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R., ed. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, Fundação IAPAR, p. 51-65, 1982.

LOUÉ, A. Contribuição para o estudo da nutrição catiônica do milho, principalmente a do potássio. **Fertilité**, Paris, v. 20 p. 1-57, 1963.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 251p., 1980

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. Funções do potássio nas plantas. In: IAPAR. **Potássio na agricultura brasileira**. Londrina, p.67-76, 1982.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A .de. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. Assoc. Bras. Para Pesq. Da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, p. 319, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London. Academic Press. 889 p. 1985.

MASCARENHAS, H.A.A.;MIRANDA, M.A.C.; LELIS, L.G.L.; BULISANI, E.A.; BRAGA, N.R.; PEREIRA, J.C.V.N.A. **Haste verde e retenção foliar em soja causada por deficiência de potássio**. Campina: Instituto Agronômico, 1987. 15p. (Boletim Técnico 199)

MATOCHA, j. E.,THOMAS, G.W. Potassium and organic nitrogen CONTENT OF grain sorghum as affected by iron. **Agrom. Journal**, v. 61 p425-428. 1969

MELLO, J.W.V. de; KAMINSKI J. Relações Ca , Mg em corretivos da acidez e doses do K no solo. I. Efeito sobre o rendimento de massa seca e acumulação de Ca, Mg e K na aveia. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.20, n.1-2, p.113-124, 1990

MELSTED, S.W., MOTTO, H.L., PECH, T.R. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. **Agronomy journal** V.61 p. 17-22, 1969.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Potassium in crop production. **Advances in agronomy**. New York, v.33, p.59-110, 1980.

MENGEL, KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4 Ed.; Bern: International Potash Institute, 687 p., 1987.

MOLINA, N.C.; CÁCERES, M.R. Efecto de la aplicación de bajas dosis de fósforo y/o cal a un suelo degradado sobre los rendimientos y contenidos foliares de N, P, K en soja. **Rev. Agronomica del Noroeste Argentino**. San Miguel de Tucuman, Argentina, v. XXVII, n. 1-4, p.55-76, 1993-1994.

MORAES, J.F.V. Movimento de nutrientes em Latossolo Vermelho Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.26, n.1, p.85-97, 1991.

NAMBIAR, K.K.M. e MOTIRAMANI, D.P. Tissue Fe/Zn ratio as a diagnostic for prediction of Zn deficiency in crop plants. **Plant and soil**, haug v.60, p 357-67, 1981.

NOVOZAMSKY, I.; HOUBA, V.J.G. Critical evaluation of soil testing methods for K. In Proc. 20th Colloq. **Int. Potash Institute**. p.177-197, 1987.

OERTLI, J.J., OPOKU, A.A. Effect of macronutrients ions on the availability of iron from a chelated source. **Soil Sci. Amer. Proc.**, Madison, v. 38, p. 597-602, 1974
Piracicaba POTAFOS, 1996 p. 169-221.

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. **Scientia Agrícola**, v. 58, n.2, 2001.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, v.52, n.2, p.360-367, 1995.

OLIVEIRA, I. P.; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. **Cultura do Feijoeiro, fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.145-212, 1988.

OLIVEIRA, I.P DANTAS, J.P. **Sintomas de deficiências nutricionais e recomendações de adubação para o caupi**. Goiânia, EMBRAPA- CNPAF, 23p. 1984.

OLSEN, S. R. Interacciones de los micronutrientes. In MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrientes em Agricultura**. Mexico. P.267-286, 1983.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 40p., 1992.

PEDROSO, L.F. **Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em relação a adubação potássica**. Tese de mestrado, Lavras UFLA Minas Gerais, 1997. 66p.

PERKIN-ELMER, N. **Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry agriculture**. Connecticut: Perkin Elmer Norwalck. 1973.

PIERZYNSKI, G.M. Plant Nutrient Aspects of Sewage Sludge. **Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment** : SSSA Miscellaneous Publication. pp.21-26, 1994.

PREMACHANDRA, G.; SANEOKA, H.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. **Journal Exp. Bot.**, v.42, p.739-745, 1991.

PROSAB - Programa de Pesquisa e Saneamento Básico. **Uso e manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. PROSAB, Rio de Janeiro 1999, 97p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. Van. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. Van. ; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja a aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.28, n.3, p. 375-383, 1993

RAHMATULLAH, W.L.; BAKER, D.E. Magnesium accumulation by corn as a function of potassium-magnesium exchange in soils. **Journal of Soil Science Society of America**, v.45, p.899-903, 1981.

RAIJ, B. Van. **Avaliação da fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 142p. 1983.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, p. 343, 1991.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. E FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, Campinas: IAC, 1997. (IAC Boletim Técnico 100).

RAIJ, B.van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.; CAMPANA, M.P.; PETINELLI, A.; NERY, C. A análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, v.40, p.57-75, 1981.

RAMANI, S. KANNAN, S. Effects of certain on manganese absorption by excised rice roots . Com. In **Soil Science and Plant Analysis** v.5 n.5 1974 p. 427-436.

RATHFON, R.A. BURGER, J.A. Diagnosis and recommendation Integrated system modifications for Fraser- fir Christmas Trees. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Madison, v.55, p.1026-1031,1991.

REDDY, K. R., SAXENA,M.C. e PAL,U.R. Effect of iron and manganese on ⁶⁵ Zn absorption and translocation in soybean seedlings. **Plant and Soil Hauge** v.49. 409-415. 1978.

REISENAUER, H.M. The interaction of Manganese and Iron . In MANTHEY, J.A., CROWLEY, D.E., LUSTER,D.G. **Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere**. Boca Raton. Lewis publishers, 1994. p. 147-16

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL- PROSAB **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura com base em parâmetros edáficos e ambientais**. Sanepar. Fevereiro 2000.

ROBSON , A. D. **Zinc in Soils and Plants**. Developments in plant and soil sciences. Australia. 1993, p.208

ROCA, J., POMARES, F. Prediction of available heavy metals by six chemical extractants in sewage sludge-amended soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.22,n.19-20, p.2119-2136, 1991.

ROSEN, J. A. , PIKE, C.S. e GOLDEN, M. L. Zinc iron and chlorophyll. Metabolism in zinc- toxic corn, **Plant Physiol**. Lancaster.v.59, p.1085- 87, 1977.

SABEY, B.R. The use of sewage sludge as a fertilizer. In BEWICK.M.W.M. **Handbook of organic waste conversion**. New York: Van Nostrand / Reinhold, 104 p., 1980

SAKAGUCHI, T. NISHIZAWA, N.K., NAKANISHI, H. YOSHIMURA, E., MORI, S. The role of potassium in the secretion of mugineic acids family phytosiderophores from iron- deficient barley roots. **Plant and Soil**, The Netherlands, v.215, p. 221-227, 1999.

SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**/Companhia de Saneamento do Paraná. Curitiba: SANEPAR, 1997^a

SANEPAR. **Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agronômicos e ambientais para a implementação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto** - Relatório técnico Anual. Curitiba. 73 p. 1997b.

SANTOS, H.F. Aplicação do lodo de estações de tratamento de esgotos em solos agrícolas. **Revista DAE**, São Paulo, 1979. P.31-48.

SCHUTA, L.R.; LIMA NETO, V. da C.; PREVEDELLO, B.M.S. Produção de batata (*Solanum tuberosum* L.) infectada pelo vírus do enrolamento da folha da batata em diferentes níveis de adubação potássica. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. Curitiba, v.17, n.1/2, p.55-62, 2000.

SHUKLA, U.C., e MUKHI, A.K. Sodium, potassium and zinc relationship in corn. **Agro. J.** V71 p 235-237. 1979.

SILVA, F.L.I.M.; MAGALHÃES, J.R.; BARBER, S.A. Absorção de potássio por milho doce, predita por simulação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.3, Brasília, p.431-438, 1991.

SOARES, E.; LIMA, L.A.; MISCHAN, M.M.; MELLO, F.A.F.; BOARETTO, A.E. Efeito da relação entre teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio por plantas de centeio. **Revista de Agricultura**. v.58, p. 315-330, 1983.a

SOARES, E.; LIMA, L.A.; MISCHAN, M.M.; MELLO, F.A.F.; BOARETTO, A.E. Efeito da adubação potássica na absorção do K, Ca e Mg por plantas de soja. **Revista de Agricultura**, v.58, p.141-157, 1983b

SOPPER, W. E. **Municipal sludge use in land reclamation**. New York: Lewis publishers, 1993. p.163.

SOUZA, E. C. A. De., FERREIRA, M. E. **Micronutrientes na agricultura**. Potafos 1991.219-272

SPARKS, D.L. Potassium dynamics in soils. **Advances in Soil Science**. v.2, n.18, p.34, 1987.

STROMBERGER, J.A.; TSAI, C.Y.; HUBER, D.M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.19-37, 1994.

STROO, H. F.M JENCKS, E.M. Effect of sewage sludge on microbial activity in an old, abandoned minesoil. **J. Environ. Qual.**, Madison, v.14, n.3, p.301-304, 1985.

SYED-OMAR, S.R.; SHAMSUDDIN, Z.H.; ZURAI DAH, J.Y. ;WYNNE, J.C.;ELKAN, G.H. Use of lime, gypsum and their combinations to improve nodulation and yield of groundnut in an acidic soil. IN: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C. e MURRMANN, R.P. **Plant Soil Interactions at Low pH**. Kluwer academic Publishers. USA. P.275-280, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Belmont: the Benjamin Cummings, 1991. p.426-449.

TANAKA, A. e TADANO, T. El potássio en relacion con la toxicidad del hierro en el arroz. **Rev. Potsa**, Suíça, v.21, p. 1-12, 1972.

TANAKA, A. Problemas nutricionales y el uso de fertilizantes. **In Suelos derivados de cenizas volcánicos en Japón**. Ed. Por Y. Ishizuka y C. Black. México, CIMMYT. P.89-106, 1980.

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: **Fundamentos da matéria orgânica no solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. Genesis, Porto Alegre, p. 159-196, 1999.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Soils and soil fertility**. New York, 462 p., 1993

USHERWOOD, N. The interaction of potassium with other ions in soils and plants. **Suelos Ecuatoriales**. V.9, n.2, p.29-038, 1978.

VAHL, L.C., ANGHIONI I., VOLKWEISS, S.J. Cinética de absorção de potássio afetada por ferro, cálcio e magnésio em genótipos de arroz de diferentes sensibilidades a toxicidade de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 17, p. 269-273, 1993.

VASILAS, B.L.; ESGAR, R.J.; WALKER, W.M.; MAINZ, M.J. Effect of tillage on corn response to potassium fertility. **Communications in Soil science and Plant analysis**, v.19, p.141-151, 1988.

VENTURA, C.A.O.; DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.A.C.; HAAG, H.P. Níveis de potássio, cálcio e magnésio em solução nutritiva influenciando o crescimento e a composição química da soja, var. Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. **Resumos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. p.98-99.

VILELA, E.F.; BULL, L.T. Avaliação do crescimento de plantas de milho em função de doses de potássio e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.23, n.2, p.281-289, 1999.

WARNOCK, R.E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants in relation to phosphorus- induced zinc deficiency. **Soil. Sc. Amer. Proc.** Maidson, vol.34, p765-769 1970

WATANABE, F. S. LINDSAY, W.L. and OLSEN S.R. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. **Soil Science society Proceedings**., vol. 29 p. 562-565.196

**ANEXO 1 - QUANTIDADE DE ADUBO MINERAL E LODO DE ESGOTO
ALCALINIZADO NO PLANTIO DO MILHO**

Tratamentos*	K ₂ O (KCl)	Lodo de esgoto alcalinizado	Nitrato de amonio	Supersimples
Tt*	52 mg kg ⁻¹	8,98Mg ha ⁻¹	145 mg kg ⁻¹	143,8 mg kg ⁻¹
T1*	0 mg kg ⁻¹	8,98Mg ha ⁻¹	108,8 mg kg ⁻¹	85,38 mg kg ⁻¹
T2*	26 mg kg ⁻¹	8,98Mg ha ⁻¹	108,8 mg kg ⁻¹	85,38 mg kg ⁻¹
T3*	52 mg kg ⁻¹	8,98Mg ha ⁻¹	108,8 mg kg ⁻¹	85,38 mg kg ⁻¹
T4*	78 mg kg ⁻¹	8,98Mg ha ⁻¹	108,8 mg kg ⁻¹	85,38 mg kg ⁻¹
T5*	104 mg kg ⁻¹	8,98Mg ha ⁻¹	108,8 mg kg ⁻¹	85,38 mg kg ⁻¹

* sem incluir os 13 mg kg⁻¹ que lodo de esgoto forneceu

**ANEXO 1 - DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS COM RELAÇÃO A DOSE USADA
DE K₂O**

	K ₂ O fornecido pelo Lodo de esgoto	K ₂ O	Repetições por tratamento	Numero de tratamentos	Doses em Kg ha ⁻¹ de K ₂ O mineral Fonte KCl	Doses de K ₂ O %mineral
Test	ZERO	KCl	7	1Tt	40 Kg ha ⁻¹	100% DR
Tratamento Com Lodo+ KCl	10 Kg ha ⁻¹ (13mg kg ⁻¹)	KCl + lodo	3	T1	0 Kg ha ⁻¹	0% DR
				T2	20 Kg ha ⁻¹	50% DR
				T3	40 Kg ha ⁻¹	100% DR
				T4	60 Kg ha ⁻¹	150%DR
				T5	80 Kg ha ⁻¹	200%DR

* D.R. dose recomendada para a cultura de milho.

**ANEXO 1 - QUANTIDADE DE ÁGUA UTILIZADA POR DIA NO EXPERIMENTO
CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO**

DIAS	ÁGUA ml	DIAS	ÁGUA ml	DIAS	ÁGUAS ml
01/03/01	50	01/04/01	30	01/05/01	250
02/03/01	50	02/04/01	130	02/05/01	200
03/03/01	70	03/04/01	-	03/05/01	250
05/03/01	60	04/04/01	150	04/05/01	300
06/03/01	120	05/04/01	150	05/05/01	300
07/03/01	180	06/04/01	80	06/05/01	-
08/03/01	100	07/04/01	-	07/05/01	300
09/03/01	120	08/04/01	300	08/05/01	-
10/03/01	120	09/04/01	300	09/05/01	300
11/03/01	120	10/04/01	210	10/05/01	300
12/03/01	50	11/04/01	-	11/05/01	-
13/03/01	150	12/04/01	150	12/05/01	300
		13/04/01	-	13/05/01	-
14/03/01	180	4/04/01	300	14/05/01	-
15/03/01	80	15/04/01	300	15/05/01	-
16/03/01	100	16/04/01	300		
17/03/01	120	17/04/01	200		
18/03/01	80	18/04/01	500		
19/03/01	50	19/04/01	250		
20/03/01	100	20/04/01	300		
21/03/01	150	21/04/01	500		
22/03/01	50	22/04/01	300		
23/03/01	-	23/04/01	500		
24/03/01	80	24/04/01	250		
25/03/01	100	25/04/01	250		
26/03/01	160	26/04/01	300		
27/03/01	80	27/04/01	300		
28/03/01	165	28/04/01	300		
29/03/01	30	29/04/01	300		
30/03/01	125	30/04/0	200		

**ANEXO 1 - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO APÓS A CALAGEM E ANTES DA
APLICAÇÃO DO LODO 23/03/01**

pH SMP	pH _{CaCl₂}	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	P	C
6,1	5,1	0,0	4,6	4,5	2,6	0,11	1,0	20,8

**ANEXO 4.1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO APÓS A COLHEITA DO
MILHO NO HORIZONTE DE 0- 20 CM.**

trat	pH CaCl ₂	Al ³	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	T	P mg dm ⁻³	C g dm ⁻³	PH SMP	V%
*T1b1	5,8	0,0	3,4	6,4	4,7	0,06	9,86	7,9	19,6	6,5	65,5
T1b2	5,5	0,0	3,2	7,6	5,6	0,04	10,84	1,5	19,6	6,6	70,5
T1b3	5,5	0,0	3,4	7,4	5,4	0,04	10,84	1,8	19,6	6,5	68,6
T2b1	5,5	0,0	3,2	7,0	4,8	0,05	10,25	9,1	18,4	6,6	68,8
T2b2	5,5	0,0	3,4	6,3	3,5	0,05	9,75	7,6	19,6	6,5	65,1
T2b3	5,6	0,0	3,4	6,7	4,4	0,06	10,16	14,5	19,6	6,5	66,5
T3b1	5,6	0,0	3,4	5,2	3,3	0,07	8,67	7,9	18,4	6,5	60,8
T3b2	5,5	0,0	3,4	6,0	3,7	0,07	9,47	7,9	19,6	6,5	64,1
T3b3	5,5	0,0	3,2	6,6	3,8	0,07	9,86	8,2	19,6	6,6	67,5
T4b1	5,5	0,0	3,0	6,4	3,7	0,08	9,48	7,3	19,6	6,7	68,3
T4b2	5,6	0,0	3,0	6,6	3,9	0,09	9,69	13,7	20,8	6,7	69,0
T4b3	5,5	0,0	3,2	6,5	3,8	0,08	9,78	11,1	20,8	6,6	67,3
T5b1	5,5	0,0	3,2	6,5	3,7	0,08	9,78	7,0	18,4	6,6	67,3
T5b2	5,6	0,0	3,2	6,3	3,4	0,08	9,58	11,5	19,6	6,6	66,6
T5b3	5,7	0,0	3,4	6,6	3,7	0,09	10,09	11,8	20,8	6,5	66,3
**ESL1	5,2	0,0	4,0	3,8	3,1	0,08	7,88	6,5	19,6	6,3	49,2
ESL 2	5,1	0,0	5,0	5,7	3,2	0,08	10,78	7,9	20,2	6,0	53,6
ESL3	5,0	0,0	4,6	4,0	3,3	0,07	8,67	7,6	19,0	6,1	46,9
ESL4	5,0	0,0	4,6	3,7	2,6	0,05	8,35	6,8	20,2	6,1	44,9
ESL5	5,1	0,0	4,6	4,4	2,8	0,06	9,06	6,4	19,6	6,1	49,2
ESL6	5,0	0,0	4,6	3,8	2,4	0,06	8,46	6,4	19,6	6,1	45,6
ESL7	5,0	0,0	5,0	3,9	2,3	0,06	8,96	6,7	18,0	6,0	44,2

* t1b1 TRATAMENTO 1 BLOCO1

** ESL tratamento do experimento sem lodo

**ANEXO 1 - TEMPERATURAS REFERENTES AO MÊS DE MARÇO A MAIO NA
CASA DE VEGETAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ 2001**

DIAS	Máxima °C	Mínima °C	DIAS	Máxima °C	Mínima °C	DIAS	Máxima °C	Mínima °C
01/03/01	39	19	01/04/01	37,5	22	01/05/01	33	20
02/03/01	38	19	02/04/01	38	21	02/05/01	31	19
03/03/01	38	19	03/04/01	39	21	03/05/01	30	17
05/03/01	37	18	04/04/01	35,5	22	04/05/01	31	17
06/03/01	39	22	05/04/01	36	22	05/05/01	30	16
07/03/01	38	20	06/04/01	36,5	21	06/05/01	25	11
08/03/01	36	20	07/04/01	35	20	07/05/01	25	12
09/03/01	34	20	08/04/01	36	17,5	08/05/01	22	14
10/03/01	35	22	09/04/01	36	19	09/05/01	27	12
11/03/01	34	20	10/04/01	35,5	19	10/05/01	28	16
12/03/01	35	22	11/04/01	36	20	11/05/01	26	15
13/03/01	36	21	12/04/01	36	20	12/05/01	25	12
14/03/01	38,5	22	13/04/01	32	21	13/05/01	23	10
15/03/01	40	23	14/04/01	32	20	14/05/01	22	07
16/03/01	38	22	15/04/01	32	18	15/05/01	23	10
17/03/01	36	21	16/04/01	34	17,5			
18/03/01	35	20	17/04/01	33	17			
19/03/01	37,5	20,5	18/04/01	38	16,5			
20/03/01	36	20	19/04/01	37	16			
21/03/01	39	21	20/04/01	33	16			
22/03/01	39	21	21/04/01	36	16,5			
23/03/01	32	19	22/04/01	33	16			
24/03/01	33	21	23/04/01	33	16			
25/03/01	36	21	24/04/01	31	19			
26/03/01	35,5	22	25/04/01	31	18			
27/03/01	36	20	26/04/01	30	20			
28/03/01	32	19	27/04/01	30	17			
29/03/01	33	21	28/04/01	32	18			
30/03/01	37	21,5	29/04/01	35	22			
			30/04/01	34	19.....			

**ANEXO 1 – A- MEDIDAS DO DIÂMETRO DO COLMO DAS PLANTAS DE MILHO
DADAS EM CM**

Dias	Tratamentos c/ Lodo														
	T1			T2			T3			T4			T5		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
03/04/0 1	1,05	0,99	0,90	0,98	0,91	0,95	0,99	1,12	1,07	1,12	0,98	1,03	1,22	1,01	1,0 4
10/04/0 1	1,21	1,11	1,13	1,26	1,19	1,19	1,31	1,32	1,25	1,31	1,32	1,23	1,45	1,38	1,3 8
15/04/0 1	1,40	1,33	1,33	1,43	1,44	1,44	1,54	1,44	1,46	1,51	1,56	1,44	1,50	1,49	1,5 5
29/04/0 1	1,50	1,38	1,37	1,44	1,46	1,46	1,54	1,46	1,46	1,52	1,56	1,44	1,56	1,49	1,5 7
16/05/0 1	1,56	1,53	1,50	1,46	1,46	1,47	1,54	1,46	1,46	1,56	1,56	1,46	1,56	1,53	1,5 7

B-MEDIDAS DO DIÂMETRO DO EXPERIMENTO SEM LODO

dias	Tes 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7
03/04/01	1,41	1,39	1,28	1,29	1,44	1,30	1,23
10/04/01	1,50	1,44	1,35	1,55	1,50	1,51	1,33
15/04/01	1,53	1,45	1,45	1,63	1,59	1,45	1,59
29/04/01	1,53	1,46	1,48	1,63	1,59	1,48	1,60
16/05/01	1,53	1,50	1,49	1,63	1,59	1,49	1,60

ANEXO 1 - RELAÇÃO: (CA+MG) K¹, CA K¹, (CMOLC KG⁻¹) NA PLANTA DE MILHO

Níveis de K ₂ O mg kg ⁻¹		massa seca		
		g vaso ⁻¹	(Ca+Mg) K ⁻¹	Ca K ⁻¹
13	T1	47,33	6,68	1,62
13	T1	46,83	6,10	1,58
13	T1	48,14	6,30	1,66
39	T2	48,24	4,61	1,12
39	T2	48,66	4,79	1,20
39	T2	50,54	4,57	1,13
65.17	T3	53,12	3,09	0,79
65.17	T3	52,29	3,19	0,80
65.17	T3	53,93	3,10	0,79
91.33	T4	56,22	2,77	0,71
91.33	T4	53,40	2,76	0,71
91.33	T4	52,31	2,74	0,71
117.47	T5	53,22	1,90	0,49
117.47	T5	53,60	1,81	0,47
117.47	T5	52,80	1,74	0,44
Experimento				
sem lodo				
52.29		53,61	2,86	0,87
52.29		51,94	3,14	0,98
52.29		52,19	3,12	0,86
52.29		53,72	3,28	0,93
52.29		53,09	3,31	0,95
52.29		51,67	3,42	1,00
52.29		56,50	2,94	0,92

**ANEXO 1 - SOMA DE CÁTIOS EM CMO_c KG⁻¹ DE MASSA SECA OBTIDOS
PELA PLANTA DE MILHO .**

níveis de K		Massa Seca g	Ca	Mg g	K c	
mg kg ⁻¹ de solo		vaso ⁻¹	cmo _c kg ⁻¹ de m.s.	cmo _c kg ⁻¹ de m.s.	mo _c kg ⁻¹ de m.s	S
13	T1	47,33	23,0	71,67	14,15	108,77
13	T1	46,83	22,5	64,17	14,21	100,87
13	T1	48,14	23,0	64,17	13,85	101,01
39	T2	48,24	19,5	60,83	17,44	97,77
39	T2	48,66	20,0	60,00	16,69	96,69
39	T2	50,54	20,0	60,83	17,69	98,53
65.17	T3	53,12	18,0	52,50	22,82	93,32
65.17	T3	52,29	18,0	54,17	22,56	94,73
65.17	T3	53,93	17,8	53,33	22,59	93,67
91.33	T3	56,22	17,0	49,17	23,87	90,04
91.33	T4	53,40	17,0	49,17	23,95	90,12
91.33	T4	52,31	17,0	48,33	23,88	89,21
117.47	T5	53,22	15,0	43,33	30,67	89,00
117.47	T5	53,60	15,0	43,33	32,26	90,59
117.47	T5	52,80	14,5	43,33	33,33	91,17
ESL						
52.29		53,61	19,0	43,33	21,79	84,13
52.29		51,94	19,5	43,25	20,00	87,75
52.29		52,19	17,0	44,92	19,85	81,76
52.29		53,72	18,5	46,67	19,87	85,04
52.29		53,09	19,5	48,25	20,46	88,21
52.29		51,67	20,0	48,33	20,00	88,33
52.29		56,50	20,0	44,08	21,77	85,85

**ANEXO 1 - EXTRAÇÃO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO REFERENTE ÀS
PLANTAS DE MILHO EM MG VASO⁻¹**

Níveis de K ₂ O		massa seca			
mg kg ⁻¹		g vaso ⁻¹	Ca	Mg	K
13	T1	47,33	216,62	407,96	253,63

13	T1	46,83	210,05	362,81	255,18
13	T1	48,14	220,54	373,68	254,45
39	T2	48,24	189,89	355,65	318,60
39	T2	48,66	196,36	354,82	308,00
39	T2	50,54	200,55	369,59	340,19
65.17	T3	53,12	192,47	335,86	463,14
65.17	T3	52,29	190,52	343,14	448,46
65.17	T3	53,93	193,67	345,49	464,84
91.33	T4	56,22	194,49	332,07	511,87
91.33	T4	53,40	182,54	313,76	492,02
91.33	T4	52,31	179,07	304,41	483,11
117.47	T5	53,22	161,91	276,10	623,48
117.47	T5	53,60	161,18	276,44	657,72
117.47	T5	52,80	156,66	272,44	671,04
ESL					
52.29		53,61	205,00	281,97	448,383
52.29		51,94	201,61	271,51	403,282
52.29		52,19	179,41	284,10	402,775
52.29		53,72	198,76	302,12	407,117
52.29		53,09	206,27	307,78	414,775
52.29		51,67	205,54	298,55	400,270
52.29		56,50	225,68	303,32	467,143

ANEXO 1 – EXTRAÇÃO DE FE, MN, CU, ZN, PELA CULTURA DO MILHO (MG VASO⁻¹)

Níveis de K ₂ O		Massa seca	Fe	Mn	Zn
mg kg ⁻¹		g vaso ⁻¹	mg vaso ⁻¹	mg vaso ⁻¹	mg vaso ⁻¹
13	T1	47,33	2,247	2,333	0,463
13	T1	46,83	2,242	2,215	0,459
13	T1	48,14	2,082	2,377	0,427
39	T2	48,24	2,379	2,179	0,475
39	T2	48,66	2,426	2,053	0,522
39	T2	50,54	2,465	2,030	0,540
65.17	T3	53,12	2,431	1,996	0,525
65.17	T3	52,29	2,954	1,977	0,513

65.17	T3	53,93	2,779	1994	0,529
91.33	T4	56,22	2,841	2,173	0,551
91.33	T4	53,40	3,016	1,924	0,518
91.33	T4	52,31	3,058	2,139	0,463
117.47	T5	53,22	3,242	2,040	0,366
117.47	T5	53,60	3,273	2,120	0,368
117.47	T5	52,80	3,239	2,186	0,363
ESL		53,61	2,261	2,890	0,369
52.29		51,94	2,176	2905	0,416
52.29		52,19	1,792	2,624	0,355
52.29		53,72	2,894	3,236	0,362
52.29		53,09	2,278	3,156	0,377
52.29		51,67	1,896	2,890	0,361
52.29		56,50	2,447	3,353	0,406

* peso das plantas de milho menos raiz em gramas por vaso ,

ANEXO 1 - RELAÇÃO FE/MN, FE/ZN OBTIDOS PELOS TEORES MG KG⁻¹ DA PLANTA INTEIRA DE MILHO.

Níveis de K ₂ O		Massa seca g vaso ⁻¹	Fe	Mn	Zn	Fe/Mn	Fe/Zn
		mg kg ⁻¹					
13	T1	47,33	47	47	10	1	4,70
13	T1	46,83	48	45	10	1,07	4,80
13	T1	48,14	43	47	9	0,91	4,78
39	T2	48,24	48	43	10	1,12	4,80
39	T2	48,66	50	40	11	1,25	4,55
39	T2	50,54	48	38	11	1,26	4,36
65.17	T3	53,12	45	36	10	1,25	4,50
65.17	T3	52,29	56	36	10	1,56	5,60
65.17	T3	53,93	50	35	10	1,43	5,00
91.33	T4	56,22	50	37	10	1,35	5,01

91.33	T4	53.40	56	35	10	1,60	5,60
91.33	T4	52.31	58	40	9	1,45	6,44
117.47	T5	53.22	60	37	7	1,62	8,57
117.47	T5	53.60	60	38	7	1,58	8,57
117.47	T5	52.80	60	40	7	1,50	8,57
ESL							
			4				
52.29		53,61	2	52	7	0,81	6,00
			4				
52.29		51,94	0	52	8	0,77	5,00
			3				
52.29		52,19	4	49	7	0,69	4,86
			5				
52.29		53,72	6	60	7	0,93	8,00
			4				
52.29		53,09	0	56	7	0,71	5,71
			3				
52.29		51,67	6	54	7	0,67	5,14
			4				
52,29		56,50	7	62	8	0,76	5,88

ANEXO 1 - ALTURA

Call:

lm(formula = altura1 ~ doseK + doseK2, data = dados.dat)

Coefficients:

(Intercept) doseK doseK2
114.969675 0.402043 -0.002133

Analysis of Variance Table

Response: altura1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
doseK	1	313.318	313.318	264.335	1.542e-09 ***
doseK2	1	88.858	88.858	74.966	1.658e-06 ***

Residuals 12 14.224 1.185

Residual standard error: 1.089 on 12 degrees of freedom

Multiple R-Squared: **0.9658**, Adjusted R-squared: 0.9601

F-statistic: 169.7 on 2 and 12 degrees of freedom, p-value: 1.589e-009

ANEXO 1 - CÁLCIO

ANOVA

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	1	4.458,80	4.458,80	183,41	3,325e-08
DoseK2	1	42,30	42,30	1,74	0,2137
DoseK3	1	376,30	376,30	15,49	0,0023
Resíduos	11	267,20	267,20	-	-
TOTAL	0	** Erro na expressão **	-	-	-

Através do P-Valor= 0.0023 da ANOVA, podemos verificar que o modelo cúbico é o mais indicado para representar a relação entre estas duas variáveis, considerando um nível de significância de 0,05.

Modelo de Regressão

$$(\text{ExtrCa}) = 236,9 - 20,05(\text{DosesK}) + 0,03094(\text{DosesK}^2) - 0,0001656(\text{DosesK}^3)$$

Teste da Falta de Ajuste

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	4.454,8	1	4.454,8	183,410 5	3,325e-08
DoseK2	42,30	1	42,30	1,7422	0,213673
DoseK3	376,30	1	376,30	15,4940	0,002327
Resíduos	267,20	11	24,3	-	-
(Falta de Ajuste)	1,222	1	1,222	0,04594	0,83459
(Erro Puro)	265,97	10	26,5978	-	-
Total	5.140,5	14	-	-	-

H_0 : O modelo ($\text{ExtrCa} = \beta_0 + \beta_1K + \beta_2K^2 + \beta_3K^3 + \varepsilon$) é adequado

H_1 : O modelo ($\text{ExtrCa} = \beta_0 + \beta_1K + \beta_2K^2 + \beta_3K^3 + \varepsilon$) não é adequado

Para $\alpha=0,05$, devido ao P-valor=0,83459, não rejeitamos a hipótese de o modelo ser adequado, ou seja, não rejeitamos H_0 ,

ANEXO 1 - CÁLCIO

Anova

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M	F	P-Valor
DoseK	1	19.702,80	19.702,80	111,83	9,368e-08
Resíduos	13	2.290,30	176,20	-	-
TOTAL	0	** Erro na expressão **	-	-	-

Através do P-Valor da ANOVA, podemos verificar que o modelo linear é o mais indicado para representar a relação entre estas duas variáveis.

Modelo de Regressão

$$(\text{ExtrMg}) = 398,90 - 0,9809(\text{DosesK})$$

Teste da Falta de Ajuste

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	19.702,80	1	19.702,80	111,83	9,368e-08
Resíduos	2.290,32	13	176,18	-	-
(Falta de Ajuste)	585,82	3	195,28	1,15	0,3776
(Erro Puro)	1.704,50	10	170,45	-	-
Total	21.993,12	14	-	-	-

H_0 : O modelo ($\text{ExtrMg} = \beta_0 + \beta_1 K + \varepsilon$) é adequado,

H_1 : O modelo ($\text{ExtrMg} = \beta_0 + \beta_1 K + \varepsilon$) não é adequado,

Para $\alpha=0,05$, devido ao P-valor=0,3776, não rejeitamos a hipótese de o modelo ser adequado, ou seja, não rejeitamos H_0

ANEXO 1 – POTÁSSIO

Anova

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M	F	P-Valor
DoseK	1	280.011	280.011	342,19	1,015e-10
Resíduos	13	10.638	818	-	-
TOTAL	0	** Erro na expressão **	-	-	-

Através do P-Valor da ANOVA, podemos verificar que o modelo linear é o mais indicado para representar a relação entre estas duas variáveis.

Modelo de Regressão

$$(\text{ExtrK}) = 195,311 + 3.697(\text{DosesK})$$

Teste da Falta de Ajuste

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	280.011	1	280.011	342,19	0,0000
Resíduos	10.637,80	13	818,289	-	-
(Falta de Ajuste)	6.298,70	3	2.099,57	4,84	0,4613
(Erro Puro)	4.339,10	10	433,91	-	-
Total	21.993,12	14	-	-	-

H_0 : O modelo ($\text{ExtrK} = \beta_0 + \beta_1 K + \varepsilon$) é adequado,

H_1 : O modelo ($\text{ExtrK} = \beta_0 + \beta_1 K + \varepsilon$) não é adequado,

Para $\alpha=0,05$, devido ao P-valor=0,4613, não rejeitamos a hipótese de o modelo ser adequado, ou seja, não rejeitamos H_0 ,

ANEXO 1 -ZINCO

Anova

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	1	0,0087	0,0087	10,932	0,00627
DoseK2	1	0,0408	0,0408	51,336	1,141e-05
Resíduos	12	0,0095	0,0008	-	-
TOTAL	0	** Erro na expressão **	-	-	-

Através do P-Valor da ANOVA, podemos verificar que o modelo quadrático é o mais indicado para representar a relação entre estas duas variáveis.

Modelo de Regressão

$$(\text{Zinco}) = 0.3829 + 0.005316 * (\text{DosesK}) - 0.00004574 * (\text{DosesK}^2)$$

Teste da Falta de Ajuste

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	0,0087	1	0,0087	10,932	0,00627
DoseK2	0,0408	1	0,0408	51,336	1,141e-05
Resíduos	0,0095	12	0,0008	-	-
(Falta de Ajuste)	0,0025	2	0,00125	1,786	0,2171
(Erro Puro)	0,007	10	0,0007	-	-
Total	0,05909	14	-	-	-

H_0 : O modelo (Zinco = $\beta_0 + \beta_1 K + \beta_2 K^2 + \varepsilon$) é adequado

H_1 : O modelo (Zinco = $\beta_0 + \beta_1 K + \beta_2 K^2 + \varepsilon$) não é adequado

Para $\alpha=0,05$, devido ao P-valor=0,2171, não rejeitamos a hipótese de o modelo ser adequado, ou seja, não rejeitamos H_0 ,

ANEXO 1 – MANGANÊS

Anova

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	1	0,0470	0,0470	6,4139	0,026295
DoseK2	1	0,1081	0,1081	14,7305	0,002361
Resíduos	12	0,0880	0,0073	-	-
TOTAL	0	** Erro na expressão **	-	-	-

Através do P-Valor da ANOVA, podemos verificar que o modelo quadrático é o mais indicado para representar a relação entre estas duas variáveis.

Modelo de Regressão

$$(\text{Mn}) = 2.4298680 - 0.0112230 * (\text{DosesK}) + 0.000074 * (\text{DosesK}^2)$$

Teste da Falta de Ajuste

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	0,0470	1	0,0470	6,4139	0,026295
DoseK2	0,1081	1	0,1081	14,7305	0,002361
Resíduos	0,0880	12	0,0073	-	-
(Falta de Ajuste)	0,0126	2	0,0063	0,8355	0,4618
(Erro Puro)	0,0754	10	0,00754	-	-
Total	0,2431	14	-	-	-

H_0 : O modelo ($Mn = \beta_0 + \beta_1K + \beta_2K^2 + \varepsilon$) é adequado

H_1 : O modelo ($Mn = \beta_0 + \beta_1K + \beta_2K^2 + \varepsilon$) não é adequado

Para $\alpha=0,05$, devido ao P-valor=0,4618, não rejeitamos a hipótese de o modelo ser adequado, ou seja, não rejeitamos H_0 ,

ANEXO 1 - FERRO

ANOVA PARA FERRO

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M	F	P-Valor
DoseK	1	2,139	2,139	144,45	2,051e-08
Resíduos	13	0,193	0,015	-	-
TOTAL	0	** Erro na expressão **	-	-	-

Através do P-Valor da ANOVA, podemos verificar que o modelo linear é o mais indicado para representar a relação entre estas duas variáveis.

Modelo de Regressão

$$(\text{Ferro}) = 2,05 + 0,0102(\text{DosesK})$$

Teste da Falta de Ajuste

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F	P-Valor
DoseK	2,139	1	2,139	144,45	2,051e-08
Resíduos	0,193	13	0,015	-	-
(Falta de Ajuste)	0,0022	3	0,00075	0,04	0,9889
(Erro Puro)	0,1902	10	0,01902	-	-
Total	2,332	14	-	-	-

H_0 : O modelo ($\text{Ferro} = \beta_0 + \beta_1 K + \varepsilon$) é adequado,

H_1 : O modelo ($\text{Ferro} = \beta_0 + \beta_1 K + \varepsilon$) não é adequado,

Para $\alpha=0,05$, devido ao P-valor=0,9889, não rejeitamos a hipótese de o modelo ser adequado, ou seja, não rejeitamos.