



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA –UFPB  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – DEC  
ÁREA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - AESA**

## **RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Annemarie König**

**Aluno: Érverson de Sousa Costa**

**Modificações físicas e químicas do líquido percolado  
em solo contendo lodo de lagoa de estabilização  
anaeróbia e tratado por calor seco (70°C por 24 horas)**

*Campina Grande, Outubro de 2001*



Biblioteca Setorial do CDSA. Maio de 2021.

Sumé - PB

**Modificações físicas e químicas do líquido  
percolado em solo contendo lodo de lagoa de  
estabilização anaeróbia e tratado por calor seco  
(70°C por 24 horas)**



.....

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Annemarie König**



.....

**Aluno: Érverson de Sousa Costa**

**Campina Grande, Outubro de 2001**

## ÍNDICE GERAL

<b>1.0 - INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2.0 - OBJETIVOS</b> .....	2
<b>3.0 - REVISÃO TEÓRICA</b> .....	3
3.1 - O Uso do Lodo na Agricultura.....	3
3.1.1 - Produção do Lodo de Esgoto e sua Disposição Final.....	3
3.1.2 - Origem e Composição do Lodo de Esgoto.....	4
3.2 - Algodão (cultivar BRS 200 - marrom).....	7
3.3 - Parâmetros Físico-Químicos Importantes no Monitoramento de Líquidos Percolados em Colunas de Solo.....	7
3.3.1 - Potencial Hidrogeniônico - pH.....	7
3.3.2 - Condutividade Elétrica.....	8
3.3.3 - Fósforo Total e Ortofosfato Solúvel.....	9
3.3.4 - Amônia e Nitrato.....	10
3.3.5 - Cálcio e Magnésio.....	11
3.3.6 - Sódio e Potássio.....	11
3.3.7- Carbonatos e Bicarbonatos.....	12
<b>4.0 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	13
4.1 - Solo.....	15
4.2 - Métodos para Caracterização da Água de Irrigação Percolada.....	15
4.2.1 - Potencial Hidrogeniônico - pH.....	17
4.2.2 - Condutividade Elétrica.....	17
4.2.3 - Fósforo Total E Ortofosfato Solúvel.....	18
4.2.4 - Amônia e Nitrato.....	20
4.2.5 - Cálcio.....	22
4.2.6 - Magnésio.....	23
4.2.7 - Carbonato.....	24
4.2.8 - Bicarbonato.....	25
<b>5.0 - ANÁLISES E RESULTADOS</b> .....	27
5.1 - Potencial Hidrogeniônico - pH.....	28
5.2 - Condutividade Elétrica.....	30
5.3 - Cálcio.....	32
5.4 - Magnésio.....	34
5.5 - Sódio.....	36
5.6 - Potássio.....	38
5.7 - Carbonato.....	39
5.8 - Bicarbonato.....	40
5.9 - Amônia.....	42
5.10 - Nitrato.....	44
5.11 - Fósforo Total.....	46
5.12 - Ortofosfato Solúvel.....	48
<b>6.0 - CONCLUSÕES</b> .....	50
<b>7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	52

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 3.1 – Composição Química Típica do Lodo Bruto e Digerido.....	6
Tabela 4.1: Quantidade de solo e lodo seco presente nos baldes de 21 L.....	15
Tabela 4.2 – Parâmetros físico-químicos para caracterização da água percolada pelo solo.....	16
Tabela 5.1: Variação do pH em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar.....	28
Tabela 5.2: Variação da condutividade elétrica em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar.....	30
Tabela 5.3: Variação da concentração de cálcio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar.....	32
Tabela 5.4: Variação da concentração de magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar.....	34
Tabela 5.5: Variação da concentração de Magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar.....	36
Tabela 5.6: Variação da concentração de potássio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar.....	38

Tabela 5.7: Variação da concentração de bicarbonato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar..... 40

Tabela 5.8: Variação da concentração de amônia em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar..... 42

Tabela 5.9: Variação da concentração de Nitrato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar..... 44

Tabela 5.10: Variação da concentração de Fósforo Total em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar..... 46

Tabela 14: Variação da concentração de ortofosfato solúvel em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar..... 48

## **ÍNDICE FIGURAS**

Figura 5.1: Variação do pH em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	28
Figura 5.2: Variação do pH em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	29
Figura 5.3: Variação da condutividade elétrica em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	30
Figura 5.4: Variação da condutividade elétrica em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	31
Figura 5.5: Variação da concentração de cálcio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	32
Figura 5.6: Variação da concentração de cálcio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	33
Figura 5.7: Variação da concentração de magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	34
Figura 5.8: Variação da concentração de magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	35
Figura 5.9: Variação da concentração de sódio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	36

Figura 5.10: Variação da concentração de sódio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	37
Figura 5.11: Variação da concentração de potássio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	38
Figura 5.12: Variação da concentração de potássio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	39
Figura 5.13: Variação da concentração de bicarbonato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	40
Figura 5.14: Variação da concentração de bicarbonato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	41
Figura 5.15: Variação da concentração de amônia em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	42
Figura 5.16: Variação da concentração de amônia em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	43
Figura 5.17: Variação da concentração de nitrato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	44
Figura 5.18: Variação da concentração de nitrato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar.....	45
Figura 5.19: Variação da concentração de fósforo total em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.....	46



Figura 5.20: Variação da concentração de fósforo total em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar..... 47

Figura 5.21: Variação da concentração de ortofosfato solúvel em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar..... 48

Figura 5.22: Variação da concentração de ortofosfato solúvel em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar..... 49

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O uso freqüente de lodo proveniente de lagoa de estabilização na agricultura tem sido uma alternativa para o descarte deste material gerado em grandes quantidades em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Porém, devido ao elevado conteúdo de organismos patogênicos (vírus, bactérias, cistos de protozoários e ovos de helmintos) este material deve ser tratado adequadamente antes de sua utilização na prática da agricultura para que não haja contaminação das culturas e do trabalhador. Dentre os métodos atualmente em estudo está a secagem por calor seco, porém à temperaturas que não afetem as concentrações de nitrogênio na forma de amônia. Um destes métodos em avaliação está a secagem em estufa com circulação de ar a temperatura de 70°C por períodos longos até 24 horas. Segundo a literatura este método é eficiente pois destrói os organismos causadores de doenças, visto que a elevação da temperatura causa o dessecamento das estruturas celulares inviabilizando a sobrevivência dos patógenos e portando tornando seguro este material com alto conteúdo de micronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio). Um outro aspecto a ser considerado quando se utilizam lodos na agricultura é a qualidade da água que percola através do solo e que porventura venha a ser incorporado nas águas subterrâneas e assim contaminando-as tornando-as impróprias para a utilização mais nobre das águas, que é o abastecimento humano.

## 2.0 - OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é investigar as modificações que ocorrem nas características físicas e químicas quando água de irrigação percola através de um solo fertilizado com lodo de lagoas de estabilização anaeróbia que foi previamente seco em estufa com circulação de ar, a temperatura de 70<sup>o</sup>.C durante 24 horas.

Os resultados esperados são os seguintes:

- ✓ Que as águas de irrigação ao percolarem o solo com lodo seco em estufa à 70<sup>o</sup>.C por 24 horas, adquiram características inerentes a ele, modificando suas características físicas e químicas que, na prática da agricultura irrigada, esta água lixiviaria muitos os componentes do solo até o lençol freático interferindo na qualidade das águas subterrâneas;
- ✓ A existência ou não de diferenças significativas nas águas percoladas será avaliada através do tratamento estatístico dos resultados.

### **3.0 – REVISÃO TEÓRICA**

#### **3.1 – O Uso do Lodo na Agricultura**

Há milênios a matéria orgânica é considerada como importante fator de fertilidade dos solos (KIEHL, 1.985) e, por esta razão, resíduos orgânicos provenientes das atividades humanas já foram usados como fertilizantes há milhares de anos pelos chineses, japoneses e indianos (OUTWALTER, 1.994). Contudo, esta prática tornou-se importante a partir de 1.840, quando a prevenção de epidemias levou a população a iniciar a adoção de tecnologias de tratamento de esgotos em escalas mais significativas.

Durante o século XIX e início do século XX, os sistemas de tratamento foram se desenvolvendo a partir da disposição direta do esgoto nos solos. Desta forma, tecnologias como o gradeamento, sedimentação, tratamento biológico e precipitação química foram desenvolvidas a partir da aplicação do esgoto no solo (FOSTER; SOUTHGATE, 1.983).

Com o desenvolvimento dos sistemas de tratamento de esgoto, a disposição direta do esgoto no solo paulatinamente foi perdendo importância. Em contrapartida, o uso do lodo de esgoto na agricultura foi incrementando inicialmente na Europa, nos anos 40 e 50 e, posteriormente, nos Estados Unidos. Atualmente, a reciclagem agrícola é alternativa muito importante de disposição final do lodo.

##### **3.1.1 – Produção do Lodo de Esgoto e sua Disposição Final**

O tratamento de esgotos urbanos gera um subproduto denominado lodo de esgoto, de disposição final problemática no processo operacional das estações de tratamento. Geralmente, a fase mais onerosa do tratamento de águas residuárias é o processamento e a disposição final do lodo, que pode alcançar 60% do orçamento operacional para o controle da poluição das águas (WEBBER; SHAMESS, 1.984).

Estas razões indicam que a questão da disposição final do lodo de esgoto, que já é um problema de grandes proporções em nosso país, tem clara

tendência ao agravamento, pois a produção do lodo é diretamente proporcional ao percentual de tratamento. A busca de alternativas ambientalmente adequadas e economicamente viáveis deve necessariamente ser anterior à própria produção do lodo, pois a ausência de definição sobre o destino final deste material questiona a própria existência e conseqüentemente a operação dos sistemas de tratamento de esgotos(ANDREOLI, BARRETO, BONNET et al., 1.994).

### 3.1.2 – Origem e Composição do Lodo de Esgoto

Os diferentes sistemas de tratamento e seus respectivos estágios geram lodos com características e quantidades variáveis. De forma genérica, os decantadores primários produzem de 2.500 a 3.500 litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, removido por gravidade, com 3 a 7% de sólidos e contendo 60% a 80% de matéria orgânica. Os tratamentos secundários promovem o incremento da atividade microbiana aeróbia, de forma a converter os sólidos suspensos (biomassa microbiana) e reduzir o conteúdo da matéria orgânica pela sua respiração. Posteriormente, a biomassa microbiana é precipitada junto com outras partículas produzindo o lodo secundário.

Os processos aeróbios produzem de 15 a 20 mil litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, com 0,5 a 2% de sólidos contendo 50 a 60% de matéria orgânica (OUTWALTER, 1.994). Os processos anaeróbios, em geral, produzem quantidades menores de lodo.

Uma das estimativas teóricas do potencial de produção de lodo de esgoto no Brasil, considerando apenas o tratamento integral do esgoto coletado da população urbana (que beneficia aproximadamente 35% da população – 40 milhões de habitantes) produziria diariamente cerca de 25 a 30 mil toneladas de lodo primário (com 3 a 7% de sólidos) ou 750 a 2.450 toneladas (em base seca) considerando-se uma produção per capita diária média de esgoto em torno de 250 litros. A amplitude anual de produção de lodo em base seca situa-se entre 244 mil a 1,46 milhões de toneladas.

As estimativas de produção de lodo são muito variáveis. Segundo MARTEL (1.993), alguns dados mostram que considerando uma produção média de lodo para os sistemas aerados de 17,5 Kg/ano em base seca por

habitante, a população urbana de 113 milhões de pessoas teria um potencial de produção de no mínimo 1.978 milhões t/ano de lodo seco. Se todo o esgoto coletado da população urbana (40 milhões de habitantes) recebesse tratamento, a produção de lodo seria de 700 mil t/ano de lodo seco. Entretanto, como apenas 10% de esgoto coletado é tratado, as estimativas de produção estariam em torno de 70 mil t/ano. A produção diária de lodo de esgoto seria aproximadamente 96 mil toneladas (2% de sólidos) ou 2.000 toneladas (em base seca). Portanto, a amplitude da produção diária de lodo situa-se entre 2 a 4.000 toneladas para uma população urbana de 40 milhões de pessoas, considerando os dados de 1.990.

No processo de produção do lodo, junto com as partículas minerais e a matéria orgânica, também precipitam (diretamente ou absorvidos a partículas maiores) elementos traço com potencial tóxico e diferentes agentes patogênicos como ovos de helmintos, cistos e protozoários e colônias de bactérias.

Os lodos são, em geral, ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes, o que possibilita o seu uso na agricultura como fertilizante, desde que devidamente avaliados e equacionados os riscos potenciais definidos pelos elementos traço, agentes patogênicos e pelo nível de estabilização do material, que pode ocasionar problemas de odor e a conseqüente atração de vetores. A Tabela 3.1 apresenta a composição típica do lodo de esgoto.

Tabela 3.1 – Composição Química Típica do Lodo Bruto e Digerido

Item	LODO BRUTO		LODO DIGERIDO	
	Variação	Característica	Variação	Característica
Sólidos Totais (%)	2 – 7	4	6 – 12	10
Sólidos Voláteis (%)	60 – 80	65	30 – 60	40
Óleos e Graxas solúveis (% do ST)	6 – 30	-	5 – 20	-
Proteínas (% do ST)	23 – 30	25	15 – 20	18
Nitrogênio (% do ST)	1,5 – 4	2,5	1,6 - 6,0	3
Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% do ST)	0,8 – 2,8	1,6	1,5 - 4,0	2,5
Potássio K <sub>2</sub> O (% do ST)	0 – 1,0	0,4	0 – 3,0	1,0
Celulose (% do ST)	8 – 15	10	8 – 15	10
Ferro	2 – 4	2,5	3 – 8	4
Sílica SiO <sub>2</sub> (% do ST)	15 – 20	-	10 – 20	-
pH	5 – 8	6	6,5 - 7,5	7
Alcalinidade (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	500 – 1500	600	2500 – 3500	3000
Ac. Orgânico (mg/l)	200 – 2000	500	100 – 600	200

FONTE: METCALF; EDDY, 1972 (citados por OUTWALTER, 1994).

### **3.2 – Algodão (cultivar BRS 200 – marrom)**

É a primeira cultivar de algodão de fibras geneticamente coloridas, obtida no Brasil, selecionada a partir de algodoeiros arbóreos nativos do semi-árido nordestino.

A BRS 200 é um bulk constituído pela mistura em partes iguais de sementes das linhagens CNPA 92 1139, CNPA 94 362 e CNPA 95 653, que possuem fibras de coloração marrom claro. Estas linhagens foram selecionadas em 1.992, 1.994 e 1.995, a partir do banco de Germoplasma de algodoeiro Arbóreo da EMBRAPA, implantado em 1.983, no Campo Experimental de Patos – PB, a partir de matrizes de algodoeiro arbóreo, coletadas nos municípios de Acari – RN e Milagres – CE.

### **3.3 – Parâmetros Físico-Químicos Importantes no Monitoramento de Líquidos Percolados em Colunas de Solo**

#### **3.3.1 - Potencial Hidrogeniônico - pH**

Um solo com pH da água entre 5,5 e 8,0 é favorável ao crescimento de algumas plantas (AYRES & WESTCOT, 1.991). O pH exerce forte influência nas características do solo, incluindo a disponibilização de nutrientes para a planta, a solubilidade de elementos potencialmente tóxicos e a atividade microbiana. Em solos minerais, as culturas desenvolvem-se melhor num pH ligeiramente ácido (pH 6,5), enquanto que, em solos orgânicos, o pH deverá estar próximo de 5,5. A correção química do pH do solo, por exemplo, com cal, pode ser útil no estabelecimento de algumas culturas e espécies de pastagens.

Esta análise nos permite verificar o grau de acidez ou de alcalinidade de uma amostra aquosa, o qual é de extrema importância no controle de todos os tipos de tratamento de água e esgotos.

A água sofre pequenas dissociações iônicas, permitindo a formação de um íon hidróxido ( $\text{OH}^-$ ), básico, para cada íon de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), ácido, o pH representa, portanto, o teor de íons ( $\text{H}^+$ ) presente no meio. Matematicamente seu valor pode ser obtido pela equação abaixo.



$$pH = \log \frac{1}{[H]}$$

Variando seu valor numa escala de 0 a 14 o pH tem seu ponto neutro em 7,0. Valores inferiores a este ponto a água se encontra num estado ácido e acima deste num estado básico, ou ambientes alcalinos.

Os principais efeitos do pH são:

- ⇒ quando o valor apresentado for 9,0, pode provocar a precipitação do fósforo sob a forma de ortofosfato insolúvel, limitando o crescimento de algas;
  - ⇒ muitas bactérias são sensíveis a valores do pH acima da faixa 6,0 – 9,0;
- a taxa de fotossíntese pode ser inibida pela elevação acentuada do pH.

### 3.3.2 – Condutividade Elétrica

É uma das principais análises a ser feita, pois este parâmetro vai fornecer a quantidade de sais presente na água analisada, água que irá percolar o solo em estudo para campos agrícolas, onde a condutividade elétrica nos vai medir o risco de salinidade presente nesta água.

Condutividade elétrica é a capacidade de uma solução de conduzir corrente elétrica. Nos metais esta condução é feita pelos elétrons livres, nas soluções aquosas esta condição se dá através dos íons.

A condutividade de uma solução é definida e padronizada para uma temperatura de 25°C, porém com uso de certos aparelhos de condutividade, as medidas podem ser feitas à qualquer temperatura que esteja a amostra. Pois existe uma tabela gráfica indicando a temperatura correspondente de estabilidade com o eletrodo e a solução tampão correspondente.

A Condutividade Elétrica (CE) da água é expressa em deciSiemens (dS/m), microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ou milimós por centímetro (mmho/cm). Os valores da condutividade elétrica são convertidos para miligramas por litro (mg/L) do total de sais dissolvidos (TSD) no líquido, utilizando-se os fatores dados abaixo:

$$\text{TSD (mg/L)} = \mu\text{S/cm} \times 0,64$$

$$\text{TSD (mg/L)} = \text{dS/m} \times 640$$

$$\text{TSD (mg/L)} = \text{mmho/cm} \times 640$$

### 3.3.3 - Fósforo Total e Ortofosfato Solúvel

O fósforo está presente em águas limpas e residuárias na forma de fosfato ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup>. Os fosfatos são classificados em: ortofosfato solúveis, fosfatos condensados e fosfatos orgânicos.

Os fosfatos presentes nas águas residuárias têm origem muito diferentes.

- provém principalmente do uso de sabões e detergentes sintéticos, pois estes normalmente o contêm em sua composição química.

- da utilização de fertilizantes na agricultura onde os compostos à base de fósforos são levados para os corpos d'água através das chuvas.

- através das fezes, restos de alimentos e outras formas de materiais orgânicos em composição.

A principal preocupação no controle do lançamento de fósforo nos corpos receptores é a superfertilização. Pois, sendo o fósforo um elemento essencial para o crescimento da biota aquática, uma grande descarga deste elemento ou de seus compostos, pode resultar num crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas.

### 3.3.4 - Amônia e Nitrato

Os corpos receptores, normalmente, contêm compostos nitrogenados em solução e, principalmente tratando-se de águas que recebem esgotos tratados ou não, a concentração de tais compostos deve ser alta.

Os compostos nitrogenados provêm do lançamento de despejos industriais, excretas humanas e fertilizantes inorgânicos. Aproximadamente 40% está na forma de amônia e 60% na forma orgânica com uma fração

desprezível de forma de nitrato. O conteúdo total, nas águas residuárias sob a forma de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrato, nitritos e nitrogênio gasoso;

### COMPOSTOS ORGÂNICOS NITROGENADOS - $\text{NH}_3$ (AMÔNIA)

Após esta fase ocorre um processo denominado nitrificação, que consiste na bioxidação da amônia em nitrato. Esta conversão é feita em dois estágios:

- 1) inicialmente, sob condição aeróbica, um grupo de bactérias, denominadas *Nitrossomonas* oxidam a amônia em nitrito e, subseqüentemente, as *Nitrobacter* oxidam nitritos em nitratos;
- 2) a desnitrificação biológica ocorre sob condições anaeróbicas, onde os nitratos são reduzidos para gás nitrogênio por uma variedade de bactérias facultativas.

Para que ocorra todo este ciclo com os compostos nitrogenados, certos parâmetros são de extrema importância para a cinética da nitrificação bacteriológica. A temperatura mínima razoável é de  $8^\circ\text{C}$ , o pH ótimo é, aproximadamente 8,4 e a teor de oxigênio dissolvido deve ser maior que 1,0 mg/l.

O nitrogênio é um elemento de importância fundamental na vida dos organismos, na vez que é um dos constituintes da molécula da proteína. Pôr outro lado, constitui um dos mais importantes fatores limitantes à vida da biota aquática. Não só pelo seu efeito direto, tóxico, mais também em consequência do aumento da proliferação de microrganismos que podem causar grande depleção do oxigênio dissolvido.

### 3.3.5 – Cálcio e Magnésio

O cálcio pode estar envolvido numa série de reações químicas, incluindo troca iônica, precipitação e fixação. A capacidade sustentada de um solo para a redução do cálcio aplicado é de 60 a 80%, para regiões úmidas. Altas quantidades de fosfatos podem conduzir à formação de apatita comum,  $\text{Ca}_5(\text{F,Cl})(\text{PO}_4)_3$  ou outros minerais derivados de cálcio (augite).

O papel do magnésio na planta está ligado, principalmente, à atividade fotossintética e à produção da clorofila, já que o magnésio forma parte essencial do núcleo da molécula da clorofila "a". O magnésio é absorvido pelas plantas como íon bivalente  $Mg^{2+}$ , da solução do solo e trocável. Por outro lado, o magnésio apresenta ação ativadora sobre várias enzimas do sistema vegetativo, como também tem a função de carregador de fósforo. Entretanto, o excesso desse íon pode causar deficiência nas plantas, caso não haja cálcio suficiente para contrabalancear seus efeitos (AYRES & WESTCOT, 1.991).

### 3.3.6 – Sódio e Potássio

Na caracterização da água de irrigação é importante conhecer as concentrações de sais solúveis e sódio trocável. A presença de elevada proporção de sódio de troca no solo pode exercer indiretamente importantes efeitos sobre o desenvolvimento das plantas em virtude de originar modificações adversas na estrutura do solo, que pode tornar-se disperso e que conduz a um deficiente arejamento e más condições de permeabilidade.

Contudo, de acordo com DAKER (1.984), tem-se observado que, embora não sendo considerado um nutriente essencial para a planta, o sódio pode estimular a produtividade de certas culturas quando presente em pequenas concentrações no solo. Mesmo em proporções mais elevadas, como ocorre nos solos salinos e sódicos, foram observados poucos casos de toxicidade devido a esse elemento. Os sintomas típicos do sódio aparecem em forma de queimaduras ou necroses ao longo das bordas.

O potássio é um elemento dinâmico e com grande mobilidade, tanto no solo quanto nas plantas. Ele pode deslocar o sódio pela capacidade de troca catiônica do solo; em contrapartida, é um dos elementos com capacidade de ser deslocado por outros cátions bivalentes ou monovalentes. Muitos minerais, em meio argiloso, têm uma grande capacidade de fixar o potássio por substituição isomórfica. Esse fenômeno é importante ao longo do tempo, com a incorporação do potássio na formação de minerais secundários.

De acordo com MELLO (1.983), o potássio prontamente disponível às plantas é o potássio solúvel, que entra em contato com as raízes por difusão (movimento lento dos íons em solução de um local mais concentrado para

outro menos concentrado) e por fluxo de massa (onde os nutrientes são transportados pela solução do solo que desloca-se em direção às raízes).

### **3.3.7- Carbonatos e Bicarbonatos**

A presença de íons de carbonato e bicarbonato (alcalinidade) pode precipitar o cálcio e, com isso, aumentar o efeito do sódio na solução do solo, reduzindo assim sua permeabilidade.

A aplicação de efluentes no solo em quantidades significativas implica em elevados teores de matéria orgânica, conseqüentemente, numa elevação o conteúdo de carbono. Águas residuárias tratadas possuem uma alta concentração de íons bicarbonato.

Os resíduos orgânicos quando aplicados em excesso no solo podem causar os seguintes efeitos:

- elevada capacidade de retenção de água tanto na capacidade de campo, quanto no ponto de murchamento.
- elevação em conteúdo e umidade ;
- aumento da porosidade;
- aumento da condutividade elétrica.

#### 4.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram preparados séries de baldes plásticos de 21L, com fundo aberto e preenchidos com solo e uma camada superficial de 15 cm, de solo misturado com lodo de esgoto previamente seco em estufa à 70°C. A cultura monitorada é o algodão colorido e todos os experimentos foram executados na EMBRAPA – Campina Grande (PB). Dez baldes receberam lodo seco com e sem adubações complementares de fósforo e potássio em concentrações de 60, 120, 180, 240 e 300 kg Nitrogênio/ha. O controle foi um balde somente com solo e sem adubação. A irrigação foi feita com água de abastecimento da cidade, sem cloro, e o líquido percolado foi analisado para os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, Condutividade Elétrica, Amônia, Nitrato, Fósforo Total e Ortofosfato solúvel e íons de: Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Carbonatos e Bicarbonatos. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento (AES/DEC/CCT) seguindo os procedimentos do APHA (1995).

O material a analisado em laboratório é proveniente de experimentos agrícolas realizados na casa de vegetação situada nas dependências da EMBRAPA – CNPA (Centro Nacional da Pesquisa do Algodão), na cidade de Campina Grande – Paraíba. O solo utilizado apresenta textura arenosa e é um material proveniente de regiões próximas à Campina Grande.

O delineamento experimental utilizado se constituiu de blocos casualizados, em esquema fatorial  $[(5 \times 2 \times 2) + 1]$ , representados por 5 (cinco) dosagens (60, 120, 180, 240 e 300 Kg N/ha), duas consistências do lodo (seco e pastoso), nesse caso, será feito o estudo do tratamento utilizando lodo seco.

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se o solo na capacidade de campo. As dosagens foram escolhidas com base no teor de nitrogênio do lodo. Resumindo, temos vinte e um tratamentos e sessenta e três vasos. Abaixo, vemos os esquemas de dosagens dos tratamentos:

➤ **Primeira dosagem: 60 Kg N/ha**

T3 – Lodo seco com adubação complementar

T4 – Lodo seco sem adubação complementar

➤ **Segunda dosagem: 120 Kg N/ha**

T7 - Lodo seco com adubação complementar

T8 - Lodo seco sem adubação complementar

➤ **Terceira dosagem: 180 Kg N/ha**

T11 - Lodo seco com adubação complementar

T12 - Lodo seco sem adubação complementar

➤ **Quarta dosagem: 240 Kg N/ha**

T15 - Lodo seco com adubação complementar

T16 - Lodo seco sem adubação complementar

➤ **Quinta dosagem: 300 Kg N/ha**

T19 – Lodo seco com adubação complementar

T20 - Lodo seco sem adubação complementar

**T21 – Testemunha (solo com ausência de lodo e adubação complementar)**

A Tabela 4.1 mostra as quantidades de material utilizado nas análises.

Tabela 4.1: Quantidade de solo e lodo seco presente nos vasos de 21 L.

Amostra	Solo (Kg)	Lodo seco (g)
T3*	18,90	18,02
T4**	18,90	17,17
T7	18,90	34,59
T8	18,90	34,35
T11	18,90	51,16
T12	18,90	51,52
T15	18,90	68,08
T16	18,90	68,69
T19	18,90	85,09
T20 (Testemunha)	18,90	85,87

\* com adubação complementar; \*\* sem adubação complementar.

#### 4.1 – Solo

O solo usado nos experimentos possui as seguintes características: umidade (capacidade de campo) igual a 0,0418 Kg/kg e (ponto de murcha) igual a 0,0280 Kg/kg; densidade global de 0,0152 Kg/dm<sup>3</sup> e densidade real de 0,0254 Kg/dm<sup>3</sup>; porosidade total de 0,4010 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, além de apresentar um teor de matéria orgânica (M.O.) em torno de 3,93 g/Kg.

#### 4.2 – Métodos para Caracterização da Água de Irrigação Percolada

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento do DEC/CCT/UFPB – Campus II.

A Tabela 4.2 mostra os parâmetros físico-químicos e os métodos analíticos utilizados na caracterização das águas de irrigação após sua percolação no solo.



Tabela 4.2 – Parâmetros físico-químicos para caracterização da água percolada pelo solo

Parâmetros	Método	Referência
pH	Potenciométrico	APHA, 1.995
Condutividade Elétrica ( $\mu\text{mho/cm}$ )	Resistência elétrica	APHA, 1.995
Amônia ( $\text{mgNO}_3^+/\text{L}$ )	Nesslerização direta	APHA, 1.995
Fósforo Total ( $\text{mgP/L}$ )	Espectrofométrico do ácido ascórbico	APHA, 1.995
Ortofosfato Solúvel ( $\text{mgHPO}_3/\text{L}$ )	Espectrofométrico do ácido ascórbico	APHA, 1.995
Cálcio ( $\text{mgCa}^{+2}/\text{L}$ )	Titulométrico	EMBRAPA, 1.979
Magnésio ( $\text{mgMg}^{+2}/\text{L}$ )	Titulométrico	EMBRAPA, 1.979
Sódio ( $\text{mgNa}^+/\text{L}$ )	Fotométrico	EMBRAPA, 1.979
Potássio ( $\text{mgK}^+/\text{L}$ )	Fotométrico	EMBRAPA, 1.979
Carbonatos ( $\text{mg/L}$ )	Titulométrico	EMBRAPA, 1.979
Bicarbonatos ( $\text{mg/L}$ )	Titulométrico	EMBRAPA, 1.979

#### 4.2.1 – Potencial Hidrogeniônico - pH

➤ **Material utilizado:**

- ⇒ pH metro;
- ⇒ baby becker de 100ml;
- ⇒ pisseta com água destilada;
- ⇒ papel higiênico.

➤ **Procedimento**

- ⇒ ligar o aparelho;
- ⇒ inserir o eletrodo na solução tampão conforme análise;
- ⇒ calibrar o aparelho para 4.0 e 7.0;
- ⇒ aguardar que a leitura fique estável;
- ⇒ retirar o eletrodo e limpá-lo com água destilada para o novo processo;
- ⇒ anotar o valor de cada leitura, em uma tabela apropriada.

#### 4.2.2 – Condutividade Elétrica

➤ **Materiais utilizados**

- ⇒ condutivímetro do tipo Analyser modelo 600;
- ⇒ pisseta com água destilada;
- ⇒ baby becker de 100ml;
- ⇒ papel higiênico.

➤ **Procedimento**

- ⇒ Ligar o aparelho;
- ⇒ girar a chave seletora para a posição 2.000 micromhos;
- ⇒ mergulhar o eletrodo na solução tampão;
- ⇒ verificar a temperatura ambiente;
- ⇒ regular o condutivímetro de acordo com a temperatura ambiente;
- ⇒ ajustar o condutivímetro para as leituras das amostras;
- ⇒ gerar uma tabela com as leituras;

➤ **Cálculo:**

**Condutividade = condutância x K (mho ou siemens) = (mho/cm) x cm**

O aparelho fornece o valor da condutância da solução. Para obter o valor de condutividade deve-se utilizar a equação. Para água residuária tomar  $K = 1$ .

#### 4.2.3 - Fósforo Total e Ortofosfato Solúvel

➤ **Material Utilizado (Fósforo Total)**

- ⇒ Erlemayers de 125 ml;
- ⇒ pipetas de 5 ml;
- ⇒ autoclave vertical FABBE modelo 103;
- ⇒ balão volumétrico de 50 ml
- ⇒ balança digital;
- ⇒ pissetas com água destilada;
- ⇒ espectrofotômetro Micronal B 382;

➤ **Procedimentos**

- ⇒ identificação dos erlemayers;
- ⇒ colocar 0,4 g de persulfato de amônio;
- ⇒ adicionar 5 ml da amostra bruta bem homogeneizada;
- ⇒ colocar 1 ml de  $H_2SO_4$ ;
- ⇒ levar as amostras para uma autoclave (121 C) durante 30 min;
- ⇒ resfriar, completar para 30 ml com água destilada;

- ⇒ adicionar 1 gota de fenolftaleína ;
- ⇒ neutralizar com NaOH6Npar um rosa claro;
- ⇒ transferir o conteúdo do erlemayers para um balão volumétrico de 50 ml e completar com água destilada e retornar ao erlemayers;
- ⇒ adicionar 8 ml de reagente combinado e aguardar 10 minutos;
- ⇒ ler no espectrofotômetro a 880 nm.

➤ **Material Utilizado (Ortofosfato Solúvel)**

- ⇒ erlemayers de 125 ml;
- ⇒ pipetas de 5 ml;
- ⇒ balão volumétrico de 50 ml;
- ⇒ pissetas com água destilada;
- ⇒ papel de fibra de vidro;
- ⇒ conjunto de filtração;
- ⇒ espectrofotômetro Micronal B 382.

➤ **Procedimento**

- ⇒ filtrar as amostras;
- ⇒ pipetar 5 ml do filtrado num balão de 50 ml e completar com água destilada;
- ⇒ transferir o conteúdo do balão para um erlemayers identificado;
- ⇒ adicionar 8 ml do reagente combinado e aguardar 10 minutos;
- ⇒ fazer a leitura no espectrofotômetro a 880 nm.

**Obs.:** ambos os procedimentos devem ser realizados em meio ácido porque com pH acima de 9,0 o fosfato precipita.

#### 4.2.4 - Amônia e Nitrato

➤ **Material Utilizado na Determinação da Amônia (Método da Nesslerização Direta, APHA , 1.989 ):**

- ⇒ becker de 125 ml;
- ⇒ pipetas de 5 e 10 ml;
- ⇒ proveta de 100 ml;
- ⇒ espectrofotômetro;
- ⇒ pissetas com água destilada;
- ⇒ tubos de plásticos de 50 ml com tampa.

➤ **Procedimentos**

- ⇒ marcar um Becker de 125 ml com o tipo de amostra a ser analisadas;
- ⇒ medir em proveta 100 ml de sulfato da solução de sulfato de zinco;
- ⇒ misturar por rotação;
- ⇒ adicionar duas gotas de solução de hidróxido de sódio (NaOH 6N);
- ⇒ misturar por rotação;
- ⇒ esperar descansar;
- ⇒ pipetar 5 ml do sobrenadante clarificado em tubo de plástico de 50 ml com tampa;
- ⇒ adicionar 2 gotas do sal de Rochelle;

- ⇒ completar o tubo de plástico com água destilada;
- ⇒ adicionar 1 ml do reagente de Nessler;
- ⇒ ler no espectrofotômetro à 450 nm.

➤ **Material Utilizado na Determinação do Nitrato (Método do Salicilato de Sódio, RODIER , 1.975)**

Na presença de salicilato de sódio, os nitratos resultam em paranitrosalicilato de sódio, desenvolvendo coloração amarela susceptível à leitura colorimétrica.

- ⇒ cápsulas de porcelana;
- ⇒ pipetas de 1 ml;
- ⇒ proveta;
- ⇒ banho-maria;
- espectrofotômetro;

➤ **Procedimentos**

- ⇒ filtrar a amostra, já que o teste só pode ser realizado com amostras claras;
- ⇒ introduzir 10 ml da amostra em uma cápsula de 60 ml;
- ⇒ juntar 1 ml da solução de salicilato de sódio;
- ⇒ evaporar em banho-maria;
- ⇒ deixar esfriar;
- ⇒ umedecer o resíduo com 2 ml de ácido sulfúrico concentrado;
- ⇒ esperar 10 minutos e colocar 15 ml de água destilada, 15 ml da-

- ⇒ solução alcalina de tartarato de sódio e potássio, deixando desenvolver coloração amarela;
- ⇒ efetuar as leituras no espectrofotômetro a 415 nm;
- ⇒ determinar as concentrações reportando-se à curva de calibração.

#### 4.2.5 – Cálcio

➤ **Aparelhagem:**

- ⇒ becker;
- ⇒ bureta de 50ml;
- ⇒ erlemayers;
- ⇒ pisseta;
- ⇒ proveta.

➤ **Reagentes:**

- ⇒ EDTA;
- ⇒ Hidróxido de Potássio (KOH) 10%;
- ⇒ Murexida.

➤ **Procedimentos:**

- ⇒ 20ml da amostra bem homogeneizada;
- ⇒ adicionar 2ml de KOH 10%;
- ⇒ adicionar uma pitada de murexida;
- ⇒ titular com EDTA até a coloração violeta.

$$\text{Cálculo: } Ca = \frac{V_{tit} \times N_{EDTA} \times 1000}{20}$$

Para converter para mg/L,  $Ca = meq/L \times 20$

#### 4.2.6 – Magnésio

➤ **Aparelhagem:**

- ⇒ becker;
- ⇒ bureta de 50ml;
- ⇒ erlemayers;
- ⇒ pisseta;
- ⇒ proveta

➤ **Reagentes:**

- ⇒ EDTA;
- ⇒ Eriocromo negro;
- ⇒ Solução TAMPÃO pH 10

➤ **Procedimentos:**

- ⇒ 20ml da amostra bem homogeneizada;
- ⇒ adicionar 3ml de solução tampão pH 10;
- ⇒ adicionar duas a três gotas de eriocromo negro;
- ⇒ titular com EDTA até uma coloração cinza azulado

Neste procedimento, determina-se a concentração de magnésio mais a de cálcio. Por diferença obtem-se a concentração de magnésio.



$$\text{Cálculo: } (Ca + Mg) = \frac{V_{tit} \times N_{EDTA} \times 1000}{20}$$

$$\text{Cálculo: } Mg = (Ca + Mg) - Ca$$

Conversão para mg/L: multiplica por 12.

#### 4.2.7 – Carbonato

##### ➤ **Aparelhagem**

⇒ becker;

⇒ bureta de 50ml;

⇒ erlemayers;

⇒ pisseta;

⇒ proveta.

##### ➤ **Reagentes:**

⇒ fenolftaleína;

⇒ ácido sulfúrico

##### ➤ **Procedimentos:**

⇒ 20ml de amostra bem homogeneizada;

⇒ adicionar 3 gotas de fenolftaleína;

⇒ se não houver alteração da cor da amostra isto indica ausência de carbonato

⇒ se houver mudança para coloração rosa, titular H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> até a amostra voltar a coloração inicial;

⇒ segue aproveitando a amostra para determinação de bicarbonato

Cálculo:  $(\text{CO}_3) = \text{Vol. Titulado} \times 2 \text{ (meq/L)}$

Conversão para mg/L: multiplicar por 30.

#### 4.2.8 – Bicarbonato

➤ **Aparelhagem:**

- ⇒ becker;
- ⇒ bureta de 50ml;
- ⇒ erlemayers;
- ⇒ pisseta;
- ⇒ proveta.

➤ **Reagentes:**

- ⇒ metil orange;
- ⇒  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

➤ **Procedimentos:**

- ⇒ Faz-se uma prova em branco com 20ml de água destilada;
- ⇒ Nas amostras utilizadas para determinar carbonato adiciona-se 3 gotas de metil orange.

**5.0 – ANÁLISES E RESULTADOS**

As Tabelas 5.1 a 5.11 abaixo mostram as variações das concentrações dos parâmetros empregados na caracterização do líquido percolado por colunas de solo contendo lodo seco e, em alguns casos, adubação complementar. As Figuras 5.1 a 5.22 ilustram graficamente esses valores, deixando mais perceptível o comportamento desses parâmetros.

### 5.1 – Potencial Hidrogeniônico - pH

A Tabela 5.1 apresenta os valores de pH encontrados nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.1 e 5.2 mostram o comportamento deste parâmetro.

Tabela 5.1: Variação do pH em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	1ª coleta	2ª coleta
T3(60)	7,7	7,6
T4(60)	7,5	7,2
T7(120)	8,0	7,8
T8(120)	ND	7,3
T11(180)	7,7	6,8
T12(180)	8,0	6,9
T15(240)	7,6	6,7
T16(240)	7,7	7,6
T19(300)	7,7	7,3
T20(300)	7,6	7,3
T21(Test)	7,2	7,5

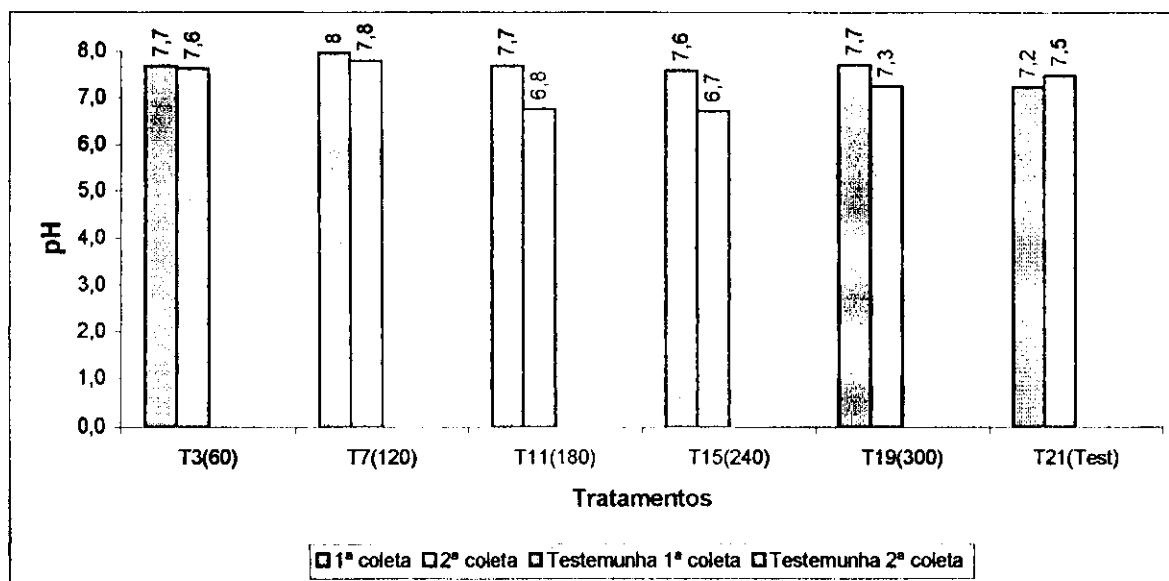


Figura 5.1: Variação do pH em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

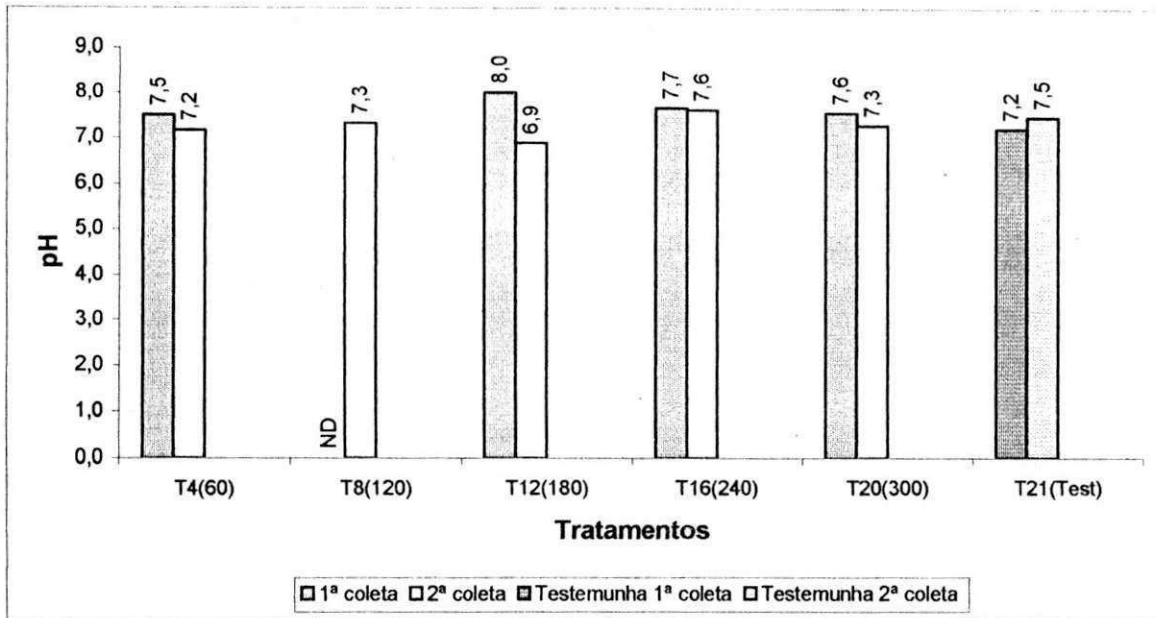


Figura 5.2: Variação do pH em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

Os vasos que receberam adubação complementar (Figura 5.1) produziram líquidos percolados com valores mais elevados de pH, variando entre 6,7 – T15(240) e 8,0 – T7(120). Os vasos que não receberam adubação complementar tiveram valores entre 6,9 – T12(180) e 8,0 – T12(180). As concentrações de NPK introduzidas nos diferentes tratamentos parecem não ter influenciado nas variações do pH visto que os valores se mantiveram ligeiramente uniformes, entre 7,0 e 8,0.

## 5.2 – Condutividade Elétrica

A Tabela 5.2 apresenta os valores de CE encontrados nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.3 e 5.4 mostram o comportamento deste parâmetro.

Tabela 5.2: Variação da condutividade elétrica em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	1ª coleta( $\mu\text{mho/cm}$ )	2ª coleta( $\mu\text{mho/cm}$ )
T3(60)	1484	1727
T4(60)	1374	1619
T7(120)	1000	2620
T8(120)	ND	2200
T11(180)	945	2110
T12(180)	1477	1977
T15(240)	1595	2730
T16(240)	1000	2080
T19(300)	1424	2100
T20(300)	1995	2270
T21(Test)	1448	1179

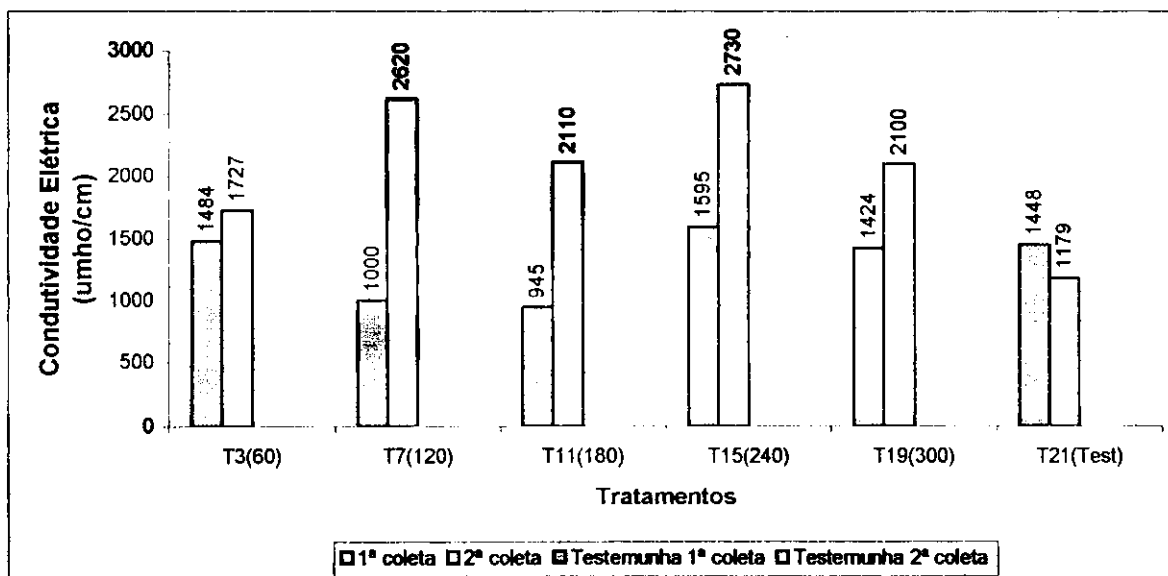


Figura 5.3: Variação da Condutividade Elétrica em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

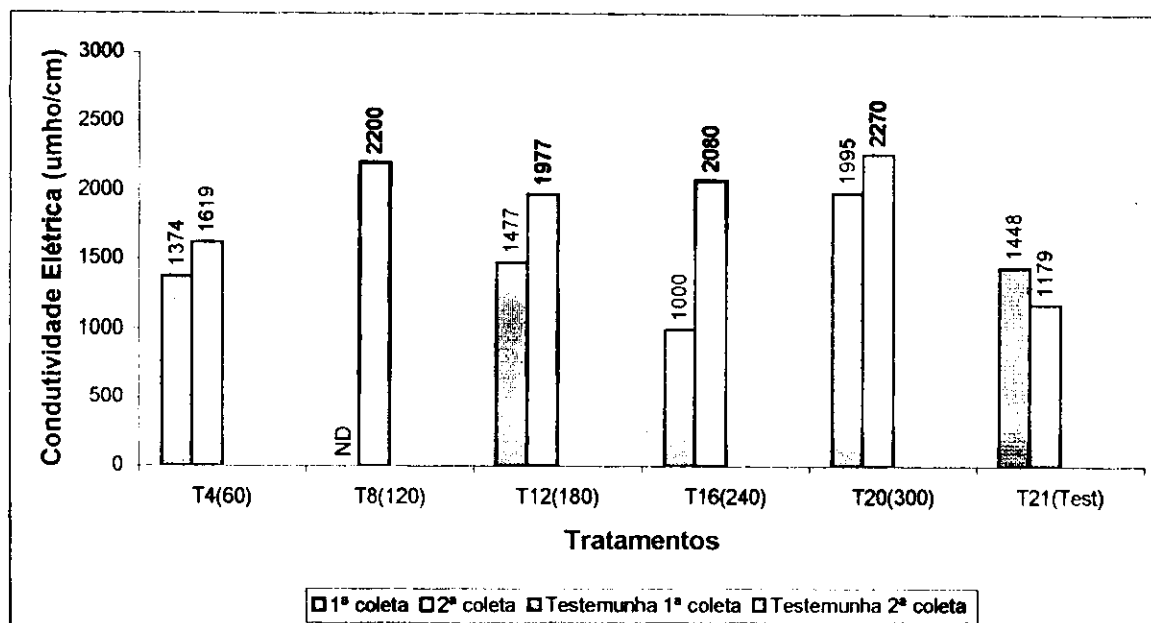


Figura 5.4: Variação da condutividade elétrica em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

Os valores de condutividade elétrica da primeira coleta foram inferiores aos valores da segunda coleta, tanto para os vasos que receberam adubação complementar (Figura 5.3) quanto para os demais (Figura 5.4). Analisando a segunda coleta de líquido percolado dos vasos sem adubação complementar, observa-se que os valores da condutividade elétrica foram bem maiores do que o valor da testemunha. Para os vasos que receberam adubação complementar, os valores variaram entre  $945\mu\text{mho/cm}$  – T11(180) a  $2.730\mu\text{mho/cm}$  – T15(240) e para os que não receberam adição de NPK, esses valores ficaram entre  $1.000\mu\text{mho/cm}$  – T16(240) e  $2.270\mu\text{mho/cm}$  – T20(300).

### 5.3 – Cálcio

A Tabela 5.3 apresenta as concentrações de cálcio encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.5 e 5.6 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.3: Variação da concentração de cálcio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Vtit(ml) 1ª coleta	Vtit(ml) 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
T3(60)	10	9	243	220
T4(60)	8	11	208	275
T7(120)	ND	10	ND	250
T8(120)	ND	7	ND	163
T11(180)	4	12	105	293
T12(180)	8	9	195	225
T15(240)	11	12	273	300
T16(240)	ND	6	ND	153
T19(300)	8	9	200	228
T20(300)	ND	9	ND	225
T21(Test)	ND	9	ND	223

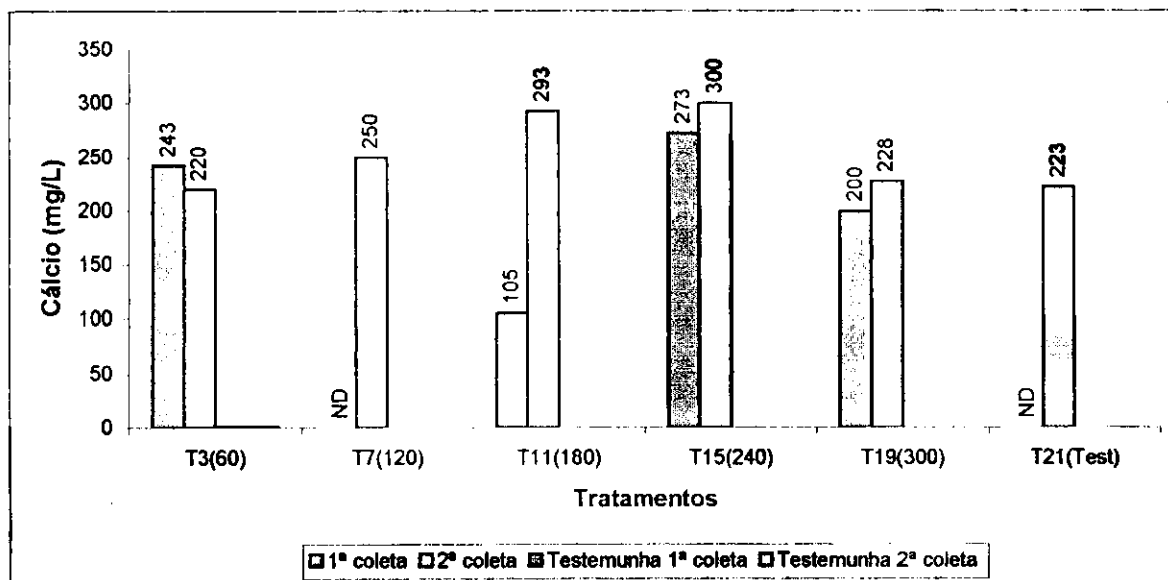


Figura 5.5: Variação da concentração de Cálcio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar



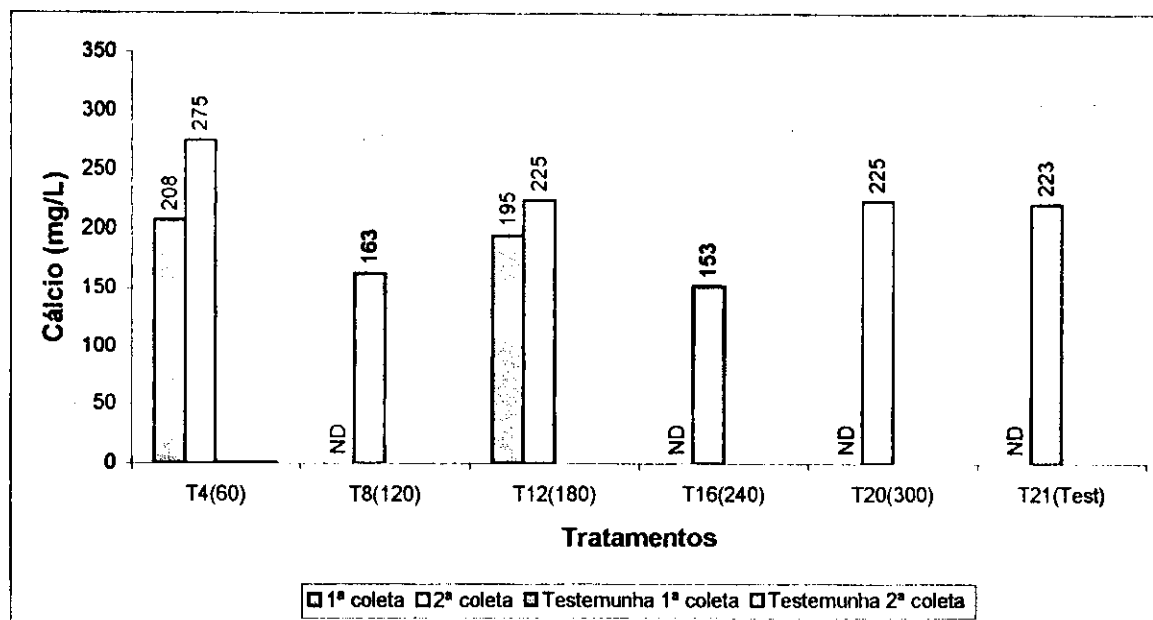


Figura 5.6: Variação da concentração de cálcio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

Os líquidos percolados dos tratamentos que receberam adubação complementar (Figura 5.5) apresentaram concentrações de cálcio mais elevadas do que os tratamentos que não receberam adubação complementar (Figura 5.6). Observa-se que as concentrações de cálcio nos líquidos percolados do tratamento com adubação variaram entre 105 mg/L T11(180), primeira coleta e 300 mg/L T15(240), valor encontrado na segunda coleta. Em ambos os tratamentos as concentrações encontradas na segunda coleta superaram os valores da primeira, indicando que a irrigação tende a lixiviar este elemento do solo, transferindo-o para os líquidos percolados e numa situação de campo, este elemento é incorporado no lençol freático.

#### 5.4 – Magnésio

A Tabela 5.4 apresenta as concentrações de magnésio encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.7 e 5.8 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.4: Variação da concentração de magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Vtit(ml) 1ª coleta	Vtit(ml) 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
T3(60)	17	23	165	219
T4(60)	17	17	166	164
T7(120)	ND	23	ND	222
T8(120)	ND	15	ND	143
T11(180)	12	29	112	276
T12(180)	19	17	178	161
T15(240)	20	29	189	278
T16(240)	ND	15	ND	139
T19(300)	16	26	156	250
T20(300)	ND	18	ND	172
T21(Test)	17	17	158	161

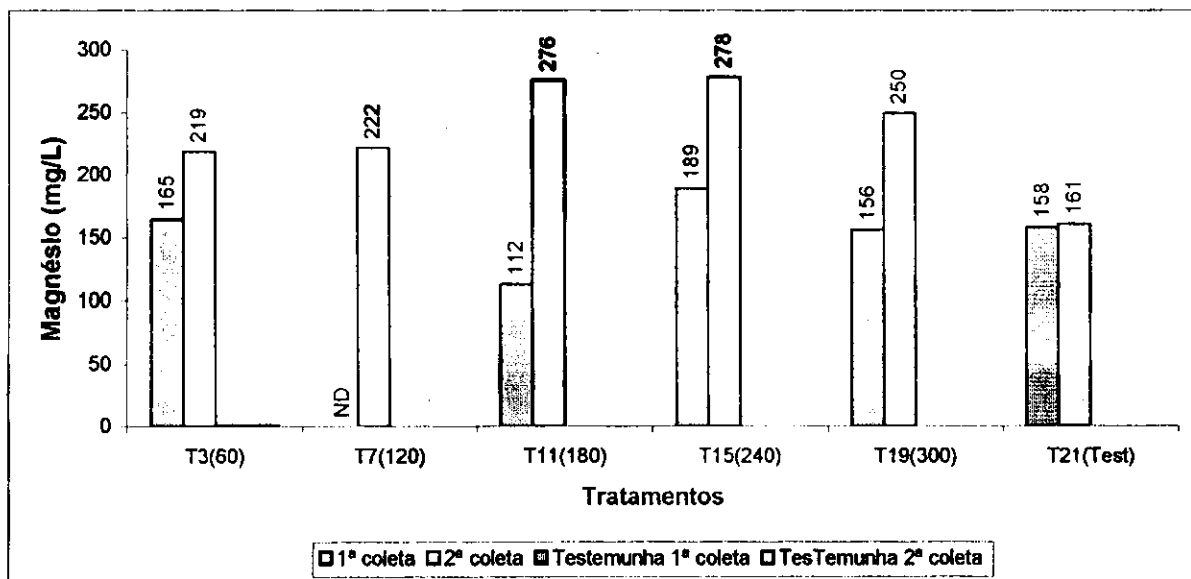


Figura 5.7: Variação da concentração de magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

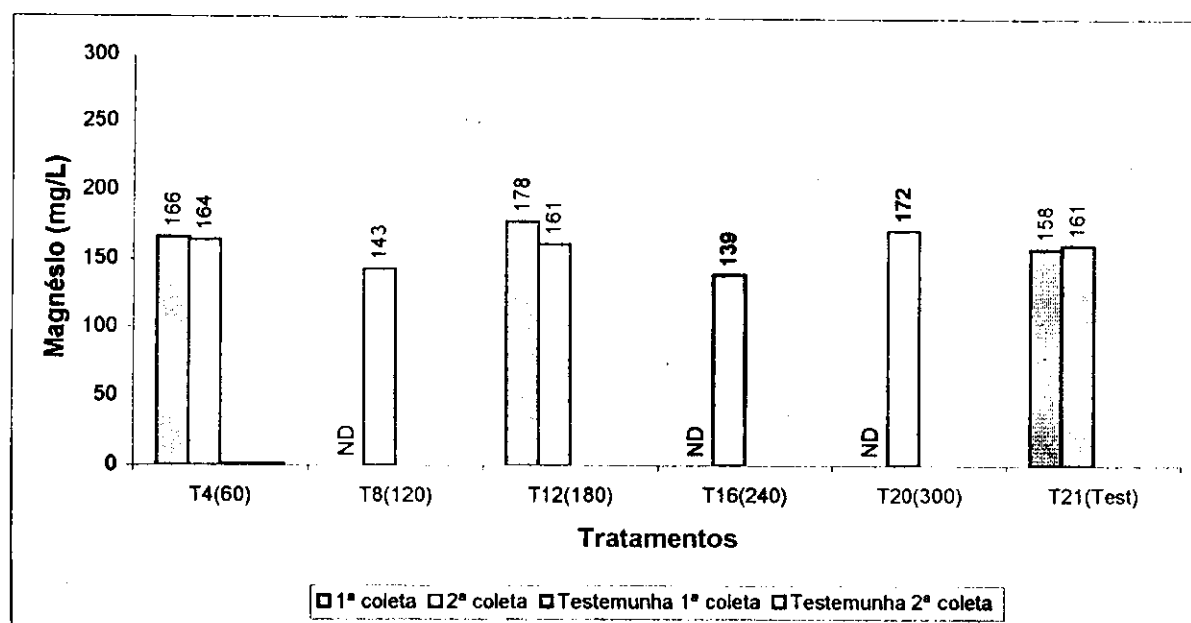


Figura 5.8: Variação da concentração de magnésio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

As concentrações de magnésio oscilaram entre 112mg/L - T11(180) a 278mg/L - T15(240) para água percolada dos tratamentos com adubação complementar (Figura 5.7) e entre 139mg/L T16(240) a 178 mg/L T12(180) para o líquido percolado do tratamento sem adubação complementar de NPK (Figura 5.8). Observou-se que houve um aumento entre 25% - T3(60) até 59% na concentração de magnésio dos líquidos percolados do tratamento com adubação, particularmente no tratamento T11(180). Este aumento não foi observado nos líquidos oriundos do tratamento sem adubação complementar, onde se verificou uma certa estabilidade das concentrações de ambas as coletas. Não foi possível fazer uma melhor análise do comportamento de magnésio no tratamento sem adubação visto que não foram produzidos líquidos percolados na primeira coleta. O líquido testemunha não apresentou grandes variações, estando entre 158mg/L e 161mg/L.

## 5.5 – Sódio

A Tabela 5.5 apresenta as concentrações de sódio encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.9 e 5.10 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.5: Variação da concentração de sódio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Leitura 1 <sup>a</sup> coleta	Leitura 2 <sup>a</sup> coleta	Conc(mg/L) 1 <sup>a</sup> coleta	Conc(mg/L) 2 <sup>a</sup> coleta
T3(60)	46	21	1664	870
T4(60)	42	19	1565	796
T7(120)	ND	23	ND	922
T8(120)	ND	21	ND	856
T11(180)	37	27	1412	1078
T12(180)	46	25	1664	1000
T15(240)	ND	28	ND	1101
T16(240)	42	25	1559	1017
T19(300)	39	28	1462	1121
T20(300)	ND	31	ND	1206
T21(Test)	41	11	1512	510

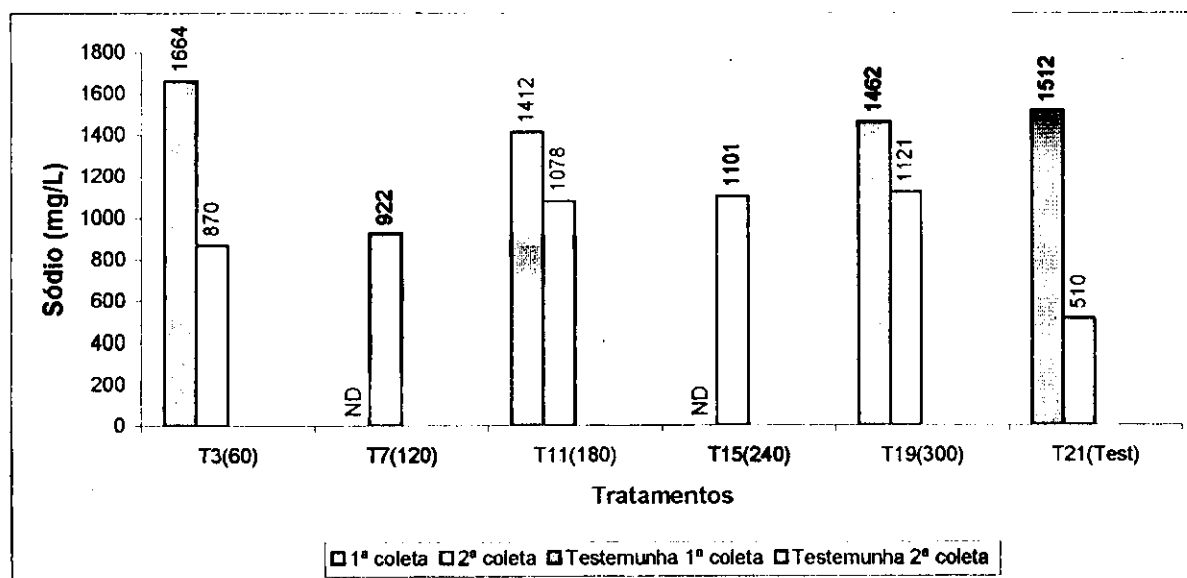


Figura 5.9: Variação da concentração de sódio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

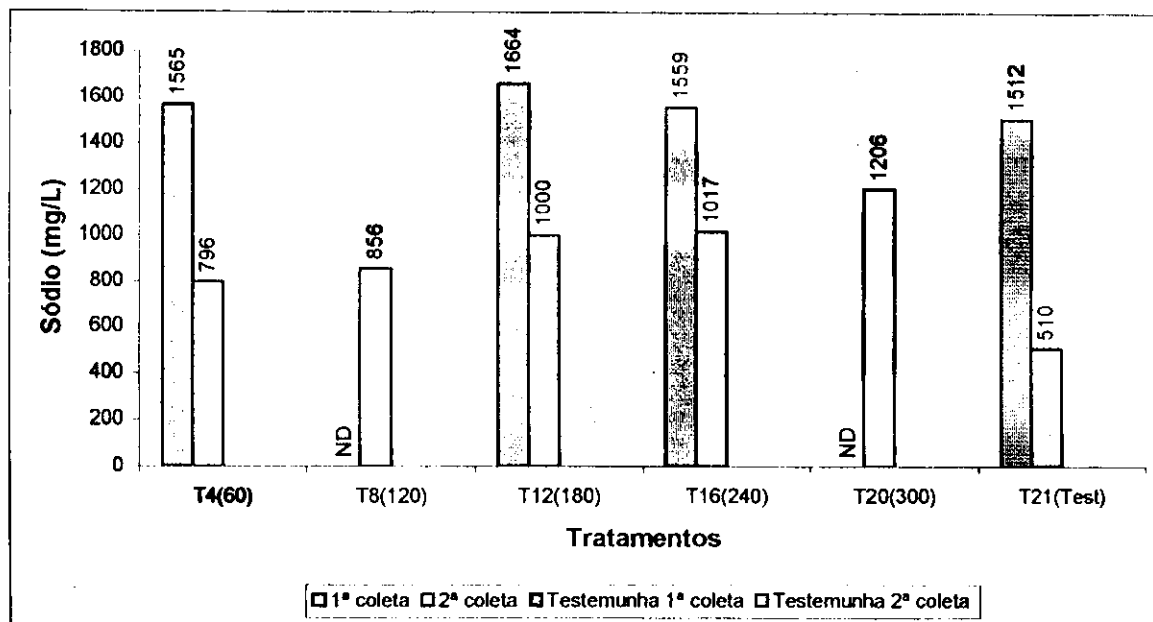


Figura 5.10: Variação da concentração de sódio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

Os valores de sódio para ambos os tratamentos diminuíram entre a primeira e segunda coleta. No tratamento com adubação (Figura 5.9) os valores mínimo e máximo foram de 870mg/L e 1.664mg/L para os tratamentos T3(60) – segunda coleta e T3(60) – primeira coleta, respectivamente. Em ambos os tratamentos a maior redução foi observada no tratamento T3(60) e T4(60) com 48% e 49% respectivamente. Nos demais tratamentos (Figura 5.10) também houve redução, indicando que este elemento foi retirado do solo através da água de irrigação. Também se observou uma redução do sódio no líquido oriundo da testemunha, com 66% entre a primeira e segunda coletas.

## 5.6 – Potássio

A Tabela 5.6 apresenta as concentrações de potássio encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.11 e 5.12 apresentam o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.6: Variação da concentração de potássio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Leitura 1ª coleta	Leitura 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
T3(60)	10	3	445	139
T4(60)	9	3	404	126
T7(120)	ND	3	ND	152
T8(120)	ND	3	ND	130
T11(180)	8	5	338	208
T12(180)	9	3	404	148
T15(240)	10	5	429	212
T16(240)	ND	3	ND	143
T19(300)	9	4	388	187
T20(300)	ND	4	ND	169
T21(Test)	10	3	437	121

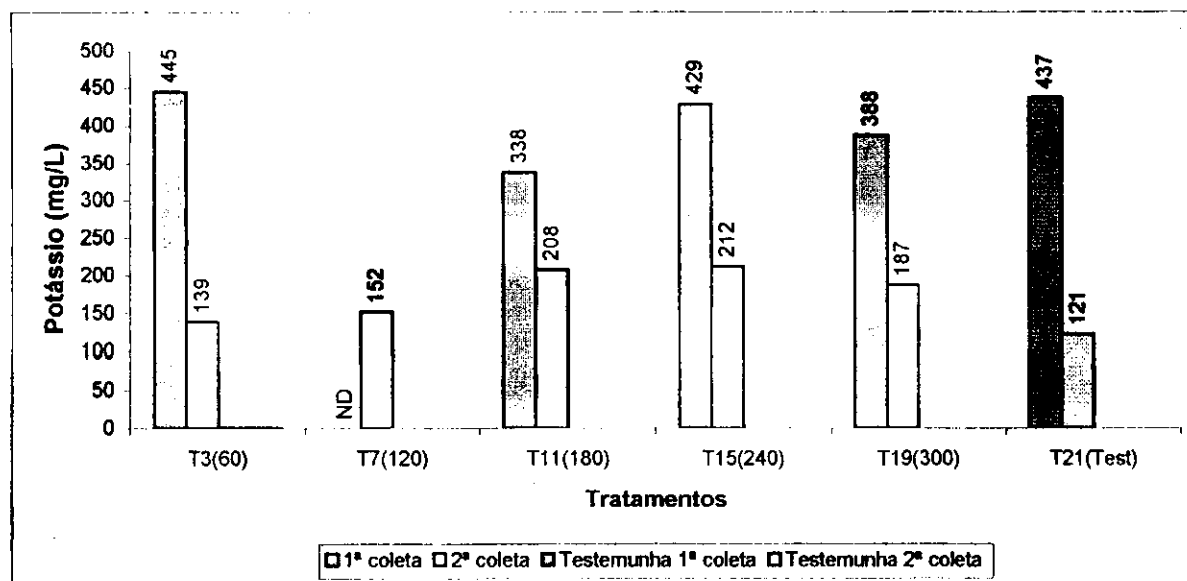


Figura 5.11: Variação da concentração de potássio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

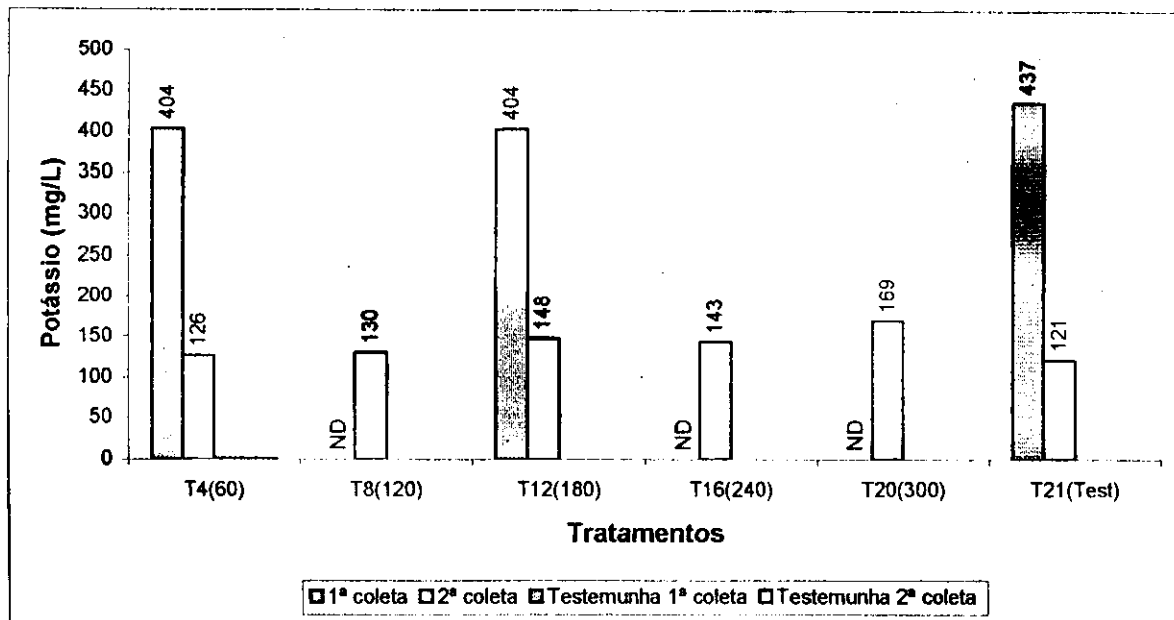


Figura 5.12: Variação da concentração de Potássio em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

Os valores das concentrações de potássio nos líquidos percolados de ambos os tratamentos (com e sem adubação complementar), foram menores na segunda coleta quando comparados aos valores da primeira. Com adubação complementar (Figura 5.11), esses valores foram bem mais altos – até 445mg/L – visto que esta introduziu compostos de potássio, aumentando sua concentração no solo e, portanto, sendo transferido ao líquido percolado através da irrigação. Na segunda coleta, no tratamento com adubação, houve uma tendência de aumento das concentrações de potássio com o aumento da concentração de adubação complementar.

### 5.7 – Carbonato

As concentrações de carbonatos estiveram ausentes na água percolada, visto que este composto químico só está presente em águas com pH superior a 8,5.

## 5.8 – Bicarbonato

A Tabela 5.7 apresenta as concentrações de bicarbonato encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.13 e 5.14 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.7: Variação da concentração de bicarbonato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Vtit(ml) 1ª coleta	Vtit(ml) 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
BR	0,3	0,3		
T3(60)	1,9	1,1	98	49
T4(60)	1,8	1,4	92	67
T7(120)	ND	1,7	ND	85
T8(120)	ND	1,4	ND	67
T11(180)	1,7	1,3	85	61
T12(180)	1,5	0,9	73	37
T15(240)	1,5	0,9	73	37
T16(240)	ND	0,7	ND	24
T19(300)	1,4	1,4	67	67
T20(300)	ND	1,3	ND	61
T21(Test)	1,5	1,2	73	55

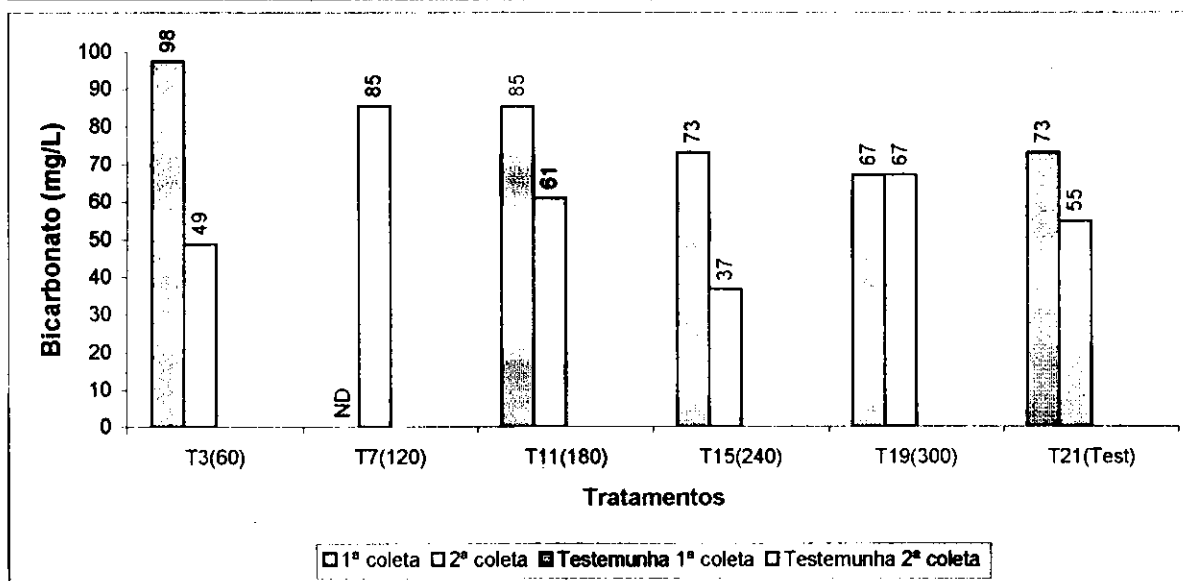


Figura 5.13: Variação da concentração de bicarbonato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar



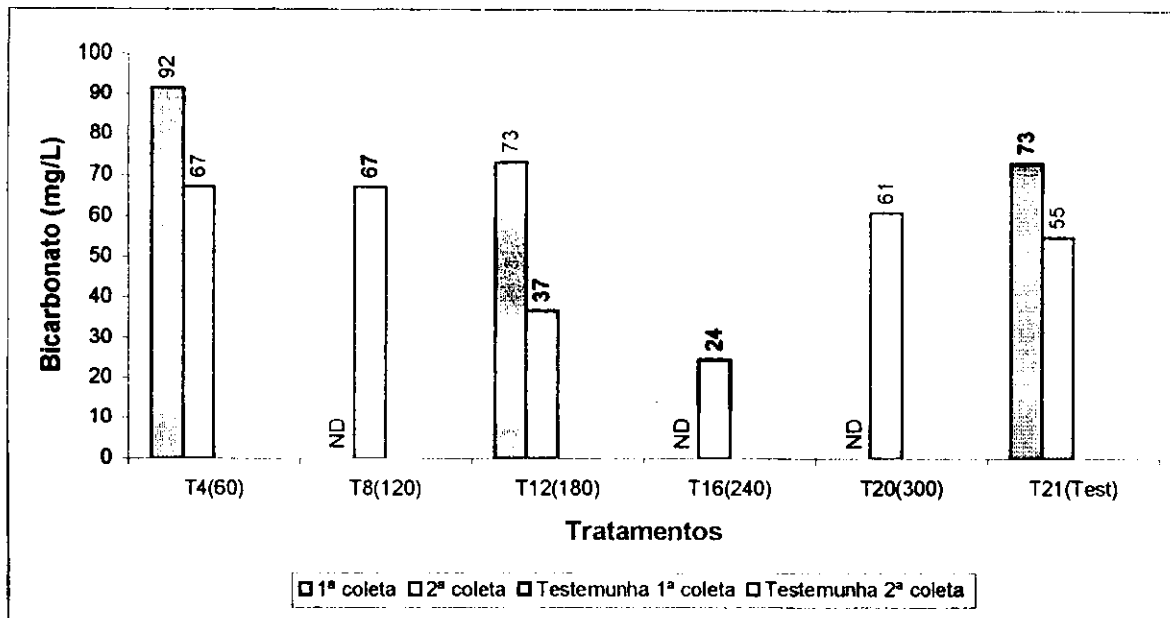


Figura 5.14: Variação da concentração de bicarbonato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

Com relação às concentrações de bicarbonatos nos líquidos percolados de ambos os tratamentos, estas variaram entre 36,6mg/L – T15(240) e 97,6mg/L – T3(60) para a água percolada dos vasos com adubação (Figura 5.13) e entre 24,4mg/L – T16(240) e 91,5mg/L – T4(60) (Figura 5.14) dos vasos sem adubação. Em ambas as coletas nos dois tratamentos observou-se uma diminuição dos valores destacando-se 50% em T3(60), com adubação e 49% em T12(180), sem adubação, comparando-se com a diminuição ocorrida no líquido testemunha T21, com 25%.

## 5.9 – Amônia

A Tabela 5.8 apresenta as concentrações de amônia encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.15 e 5.16 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.8: Variação da concentração de amônia em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Absorbância 1ª coleta	Absorbância 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
T3(60)	0,03	0,02	3,1	1,1
T4(60)	0,02	0,01	1,4	1,0
T7(120)	0,02	0,01	2,0	0,9
T8(120)	ND	0,01	ND	0,5
T11(180)	0,01	0,01	0,9	0,6
T12(180)	0,00	0,01	0,0	1,0
T15(240)	0,01	0,02	1,0	1,6
T16(240)	0,02	0,01	2,0	0,9
T19(300)	0,02	0,02	1,8	1,1
T20(300)	0,02	0,02	2,2	1,1
T21(Test)	0,03	0,01	3,2	0,0

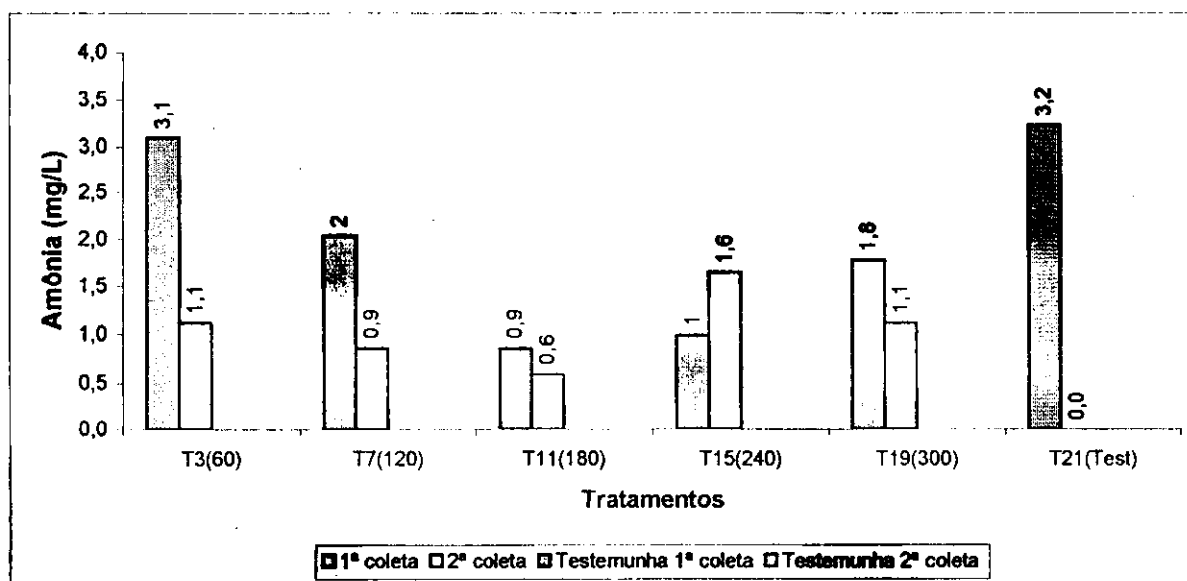


Figura 5.15: Variação da concentração de Amônia em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

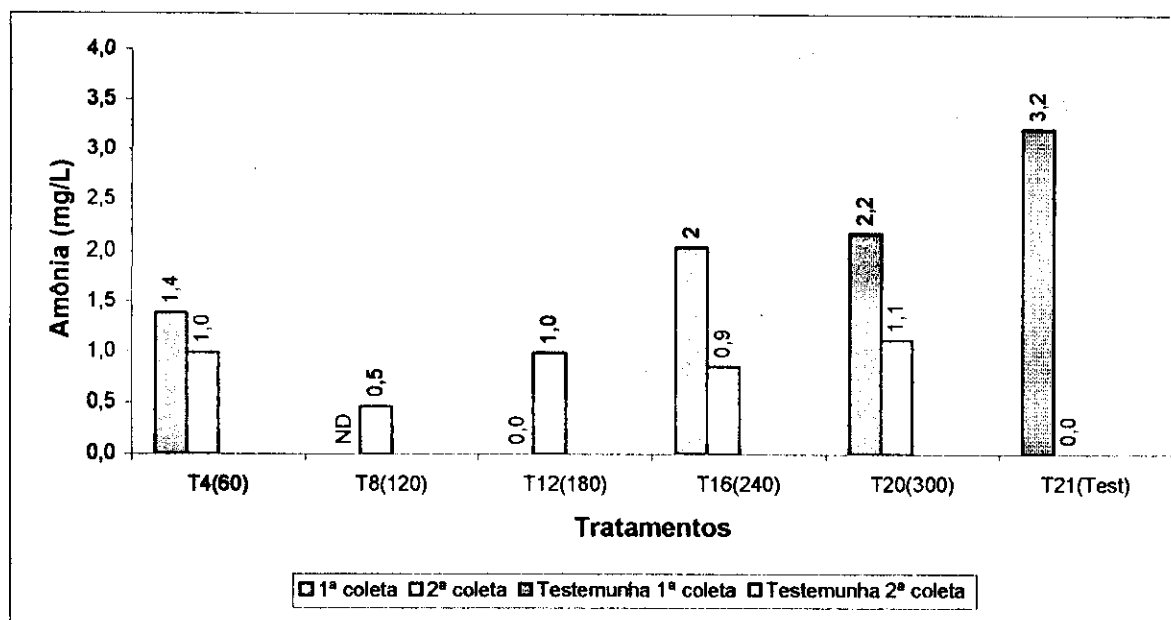


Figura 5.16: Variação da concentração de amônia em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

A concentração de amônia nos líquidos percolados dos tratamentos com adubação complementar da primeira coleta (Figura 5.15) variaram entre 0,9mg/L – T11(180) e 3,1mg/L – T3(60) e foram superiores aos da segunda coleta (Figura 5.16). Nesta os valores variaram entre 0,5mg/L – T8(180) e 2,2mg/L – T20(300). Os valores da segunda coleta, apesar de serem inferiores aos valores da primeira, ainda superam em muito o valor da testemunha, visto que nesta segunda coleta não foi detectada a presença de amônia.

### 5.10 – Nitrato

A Tabela 5.9 apresenta as concentrações de nitrato encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.17 e 5.18 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.9: Variação da concentração de nitrato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Leitura 1ª coleta	Leitura 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
T3(60)	ND	1,8	ND	40,0
T4(60)	ND	1,8	ND	40,7
T7(120)	ND	1,9	ND	43,2
T8(120)	ND	1,9	ND	44,3
T11(180)	ND	1,6	ND	36,9
T12(180)	ND	1,7	ND	39,0
T15(240)	ND	1,8	ND	40,9
T16(240)	ND	1,9	ND	42,7
T19(300)	ND	1,1	ND	26,0
T20(300)	ND	1,8	ND	42,0
T21(Test)	ND	1,6	ND	36,3

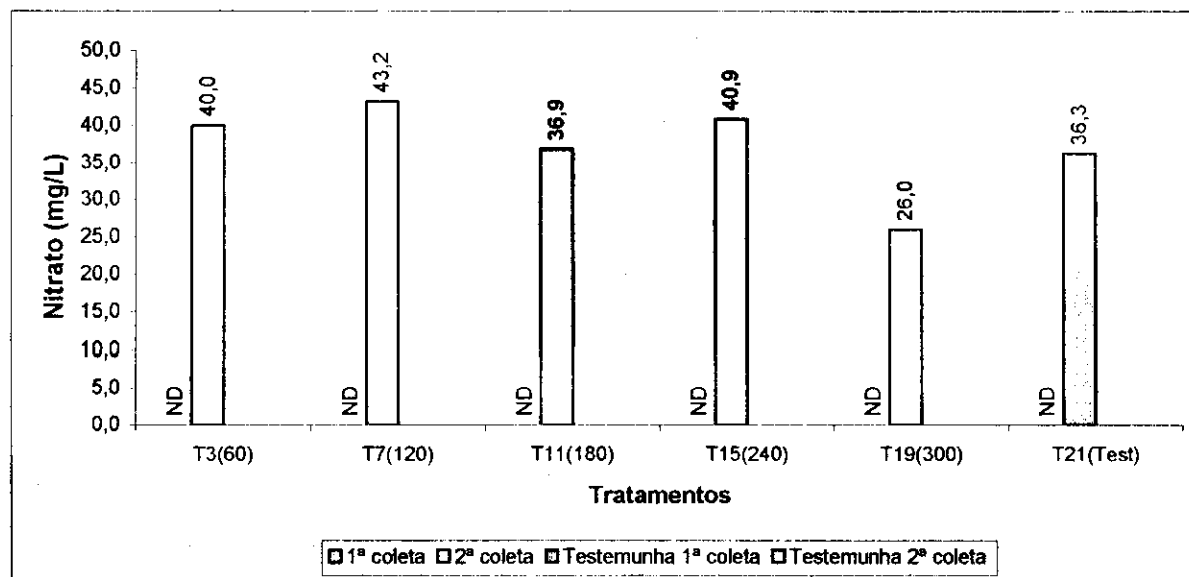


Figura 5.17: Variação da concentração de nitrato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar

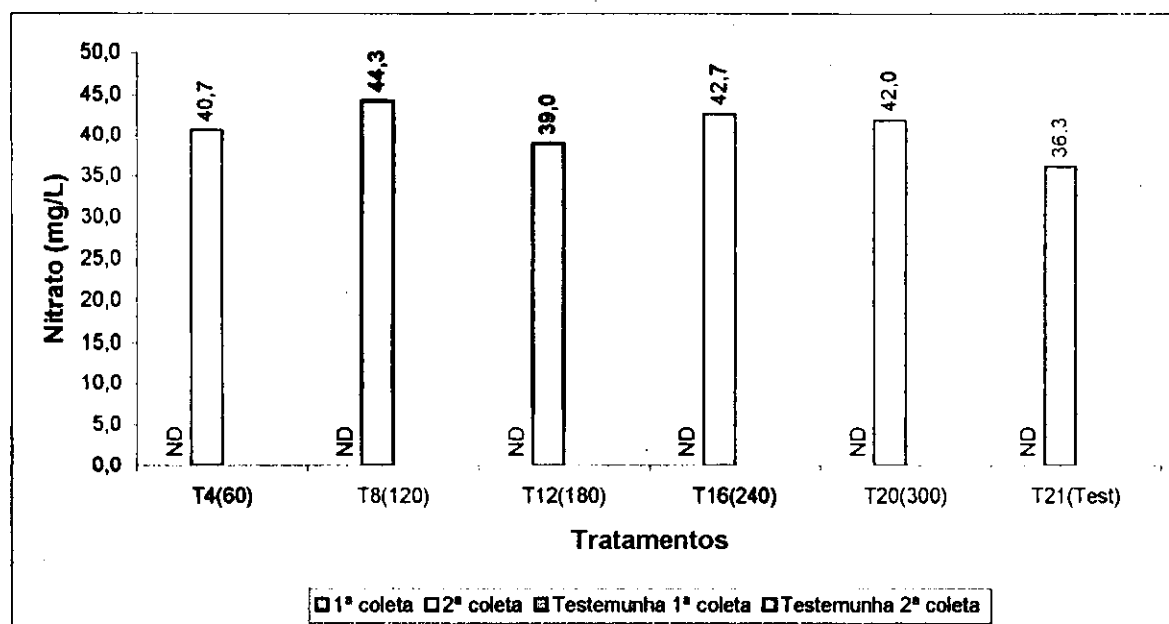


Figura 5.18: Variação da concentração de nitrato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

As concentrações de nitrato não foram determinadas na primeira coleta devido a problemas laboratoriais relacionadas ao desconhecimento das concentrações esperadas no líquido percolado. Os resultados da segunda coleta mostraram valores bastante elevados para ambos os tratamentos. Dessas concentrações elevadas destacam-se as observadas nos líquidos percolados do tratamento sem adubação (Figura 5.18), as quais variaram entre 39,0mg/L - T12(180) e 44,3mg/L - T8(120), superando as observadas no tratamento com adubação (Figura 5.17), que variaram entre 26,0mg/L - T19(300) e 43,3mg/L - T7(120). Estas elevadas concentrações confirmam a mobilidade deste elemento no solo, o qual é lixiviado para o lençol freático através da irrigação comprometendo a qualidade da água subterrânea. Sabe-se que elevadas concentrações de nitrato em água e quando consumidas por recém nascidos pode ocasionar uma doença conhecida com o nome de metemoglobinemia. Além do mais, essa lixiviação reduz a disponibilidade deste composto para a planta podendo comprometer o seu crescimento vegetativo e reduzir sua produtividade no campo.

### 5.11 – Fósforo Total

A Tabela 5.10 apresenta as concentrações de amônia encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.19 e 5.20 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.10: Variação da concentração de Fósforo Total em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Leitura 1 <sup>a</sup> coleta	Leitura 2 <sup>a</sup> coleta	Conc(mg/L) 1 <sup>a</sup> coleta	Conc(mg/L) 2 <sup>a</sup> coleta
T3(60)	ND	0,146	ND	3,2
T4(60)	ND	0,006	ND	0,0
T7(120)	ND	0,156	ND	3,5
T8(120)	ND	-0,012	ND	0,0
T11(180)	ND	0,091	ND	1,9
T12(180)	ND	-0,005	ND	0,0
T15(240)	ND	0,137	ND	3,0
T16(240)	ND	0,22	ND	5,1
T19(300)	ND	0,054	ND	0,9
T20(300)	ND	0,11	ND	2,3
T21(Test)	ND	0,065	ND	1,2

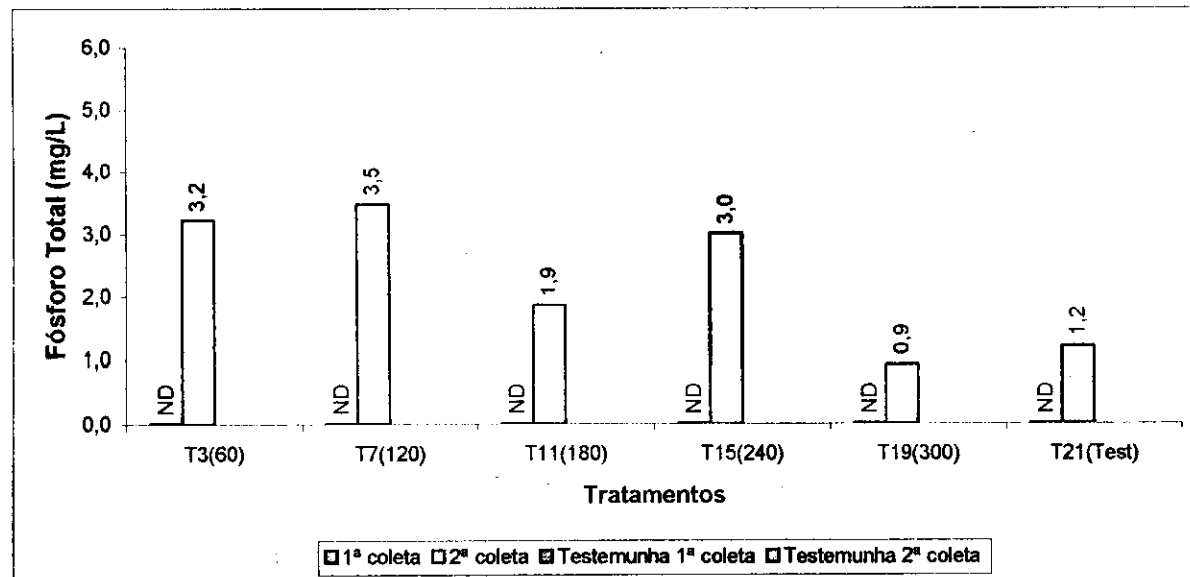


Figura 5.19: Variação da concentração de fósforo total em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar.

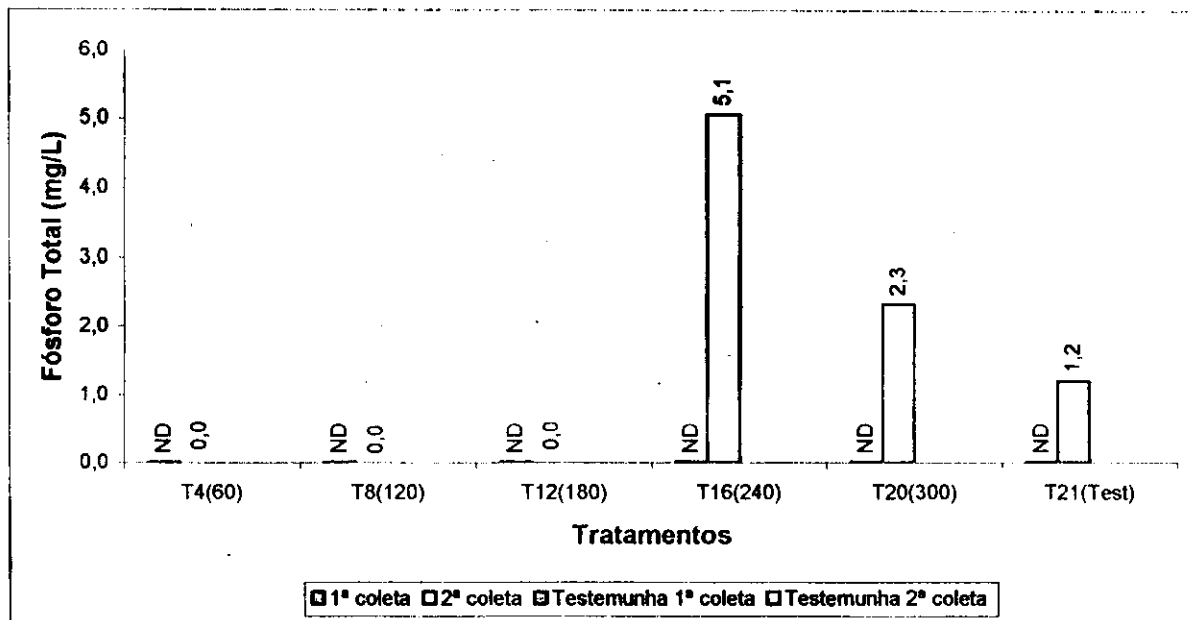


Figura 5.20: Variação da concentração de fósforo total em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

A concentração de fósforo total só foi possível ser determinada na segunda coleta, visto que o desconhecimento das concentrações deste elemento nos líquidos percolados fez com que se usasse concentrações de amostras impróprias para uma boa determinação. No entanto, os valores obtidos na segunda coleta, em ambos os tratamentos, mostraram concentrações inferiores a 3,6mg/L – T7(120) nos vasos que receberam adubação (Figura 5.19), não havendo uma tendência do comportamento das concentrações de fósforo total relacionada com os valores dos tratamentos. Nos tratamentos entre T60 e T180 nos vasos sem adubação (Figura 5.20), os líquidos provenientes não continham fósforo total indicando que este elemento permaneceu no solo, estando disponível para o crescimento da planta, visto se tratar de um elemento importantíssimo no metabolismo vegetal.

### 5.12 – Ortofosfato Solúvel

A Tabela 5.11 apresenta as concentrações de ortofosfato solúvel encontradas nos líquidos percolados dos vasos que receberam ou não adubação complementar. As Figuras 5.21 e 5.22 mostram o comportamento das concentrações deste parâmetro.

Tabela 5.11: Variação da concentração de Ortofosfato em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com e sem adubação complementar

Tratamento	Leitura 1ª coleta	Leitura 2ª coleta	Conc(mg/L) 1ª coleta	Conc(mg/L) 2ª coleta
T3(60)	ND	0,023	ND	0,31
T4(60)	ND	0,014	ND	0,13
T7(120)	ND	0,015	ND	0,15
T8(120)	ND	0,008	ND	0,00
T11(180)	ND	0,007	ND	0,00
T12(180)	ND	0,01	ND	0,05
T15(240)	ND	0,013	ND	0,11
T16(240)	ND	0,011	ND	0,07
T19(300)	ND	-0,011	ND	0,00
T20(300)	ND	0,001	ND	0,00
T21(Test)	ND	0,002	ND	0,00

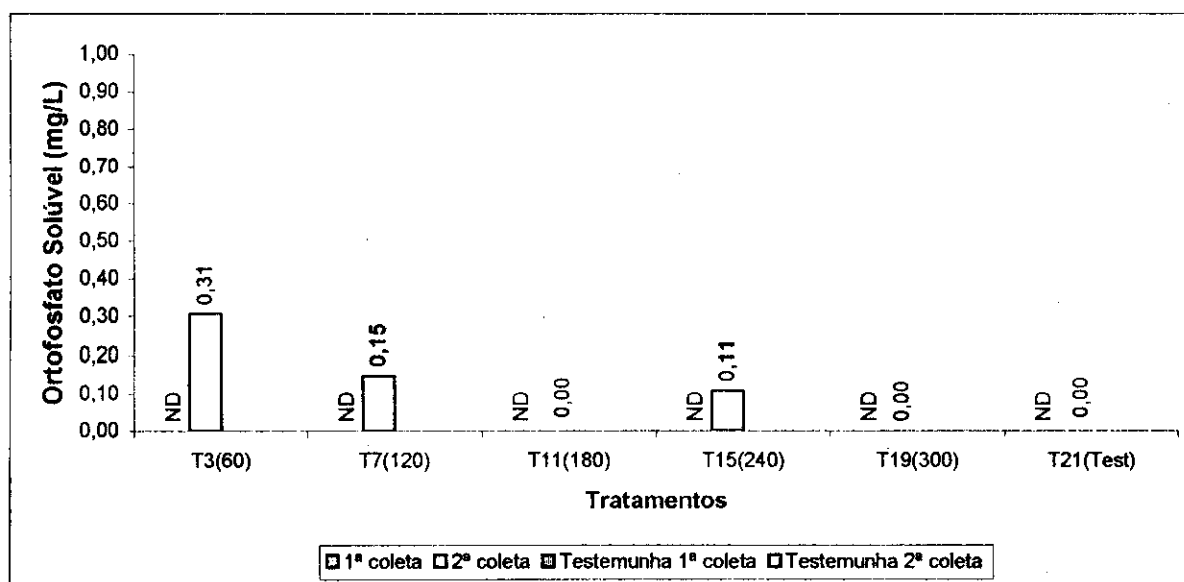


Figura 5.21: Variação da concentração de ortofosfato solúvel em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco com adubação complementar



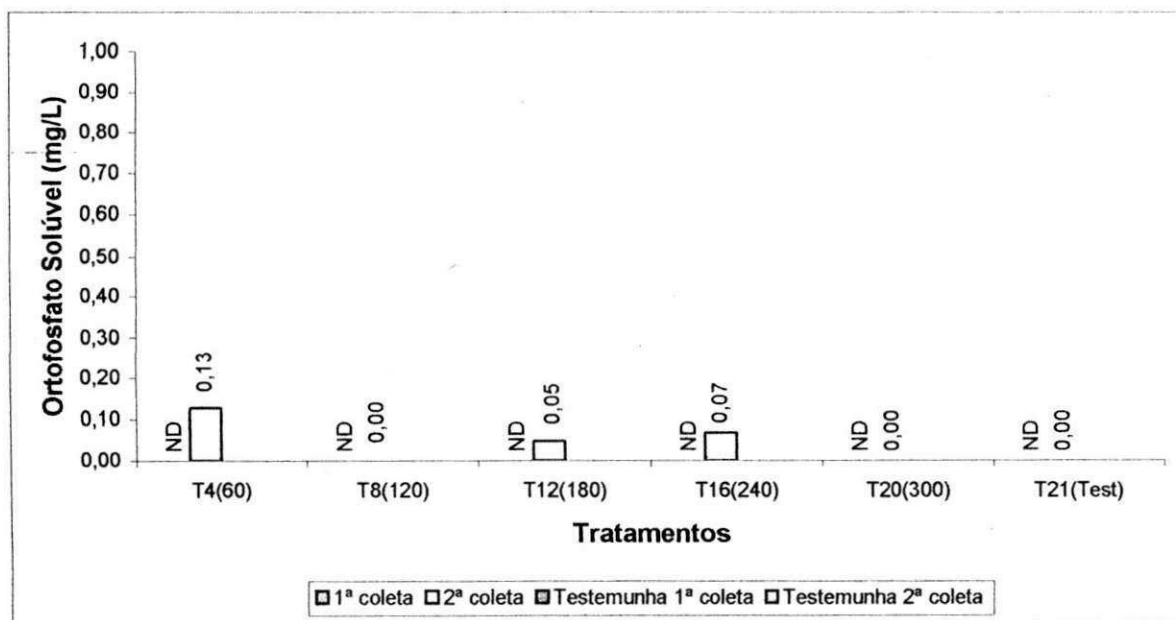


Figura 5.22: Variação da concentração de ortofosfato solúvel em líquido percolado por coluna de solo + lodo seco sem adubação complementar

As concentrações de ortofosfato solúvel nos líquidos percolados de ambos os tratamentos ou foram muito baixas ou estiveram ausentes. Quando este parâmetro esteve presente as concentrações variaram entre 0,11mg/L – T15(240) e 0,31mg/L – T3(60) no tratamento com adubação (Figura 5.21) e entre 0,05mg/L – T12(180) e 0,13mg/L – T4(60), no tratamento sem adubação (Figura 5.22).

## 6.0 - CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho foi possível concluir que:

- 1- O comportamento dos diferentes parâmetros analisados nos líquidos percolados variou dependendo da presença ou não de adubação complementar;
- 2- As concentrações crescentes de lodo nos vasos não necessariamente refletiram no aumento das concentrações da maioria dos parâmetros analisados;
- 3- As variações de pH não foram significativas nos dois tratamentos e nas duas coletas;
- 4- A condutividade elétrica aumentou da primeira para a segunda coleta e os valores foram mais elevados no tratamento com adubação;
- 5- Os teores de cálcio aumentaram da primeira para a segunda coleta em ambos os tratamentos;
- 6- As concentrações de amônia diminuíram da primeira para a segunda coleta em ambos os tratamentos;
- 7- O magnésio aumentou sua concentração entre a primeira e segunda coleta no tratamento com adubação e uma diminuição no tratamento sem adubação;
- 8- O sódio e o potássio diminuíram entre a primeira e segunda coleta nos líquidos percolados de ambos os tratamentos;
- 9- As concentrações de bicarbonato diminuíram entre a primeira e segunda coleta;
- 10- Destacaram-se as elevadas concentrações de nitrato (entre 25 e 45mg/L) dos líquidos percolados de ambos os tratamentos, com os maiores valores

no tratamento sem adubação, confirmando a mobilidade deste composto químico no solo;

11- As determinações de nitrato, fósforo total e ortofosfato solúvel só foram realizadas na segunda coleta devido a problemas operacionais.

## 7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AWWA – WPCF (1.989). Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. American Public Health Association. 17ª Edition, Washington D.C.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S. C. (1.999). Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto. SANEPAR, Curitiba.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. (1.988). Pedologia e Fertilidade do Solo Interações e Aplicações. MEC/ESAL/POTAFOS. Brasília – DF.

PRIMAVESI, A. (1.990). Manejo Ecológico do Solo. Editora Nobel S/ª 9ª EDIÇÃO, 3ª reimpressão. São Paulo.

GUEDES, J. M. (2.000). Características Físico-Químicas do Líquido Percolado Através de Colunas de Brita. Relatório De Estágio - DEC – Área De Saneamento, UFPB - Campus II, Campina Grande Pb.