



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**Luciano Reami**

**Avaliação de produtividade agrícola e de  
concentrações de metais nos grãos, de cultura  
de milho irrigada com efluente anaeróbio**

**Campinas  
2008**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Luciano Reami**

**Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de  
metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente  
anaeróbio**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

**Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho**

**Campinas  
2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R23a Reami, Luciano  
Avaliação de produtividade agrícola e de  
concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho  
irrigada com efluente anaeróbio / Luciano Reami. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Bruno Coraucci Filho  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Esgotos. 2. Aguas residuais de irrigação. 3.  
Milho. 4. Tratamento anaeróbio. 5. Tratamento de  
efluentes. I. Coraucci Filho, Bruno. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil.  
III. Título.

Título em Inglês: Evaluation of agricultural productivity and of metals  
concentration in grains of corn irrigated with anaerobic effluent

Palavras-chave em Inglês: Wastewater, Anaerobic effluent, Irrigation, Corn, Soil  
disposition, Post-treatment

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Jurandyr Povinelli, Roberto Feijó de Figueiredo

Data da defesa: 24/01/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Luciano Reami**

**Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de  
metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente  
anaeróbio**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho  
**Presidente e Orientador/Universidade Estadual de Campinas**

Prof. Dr. Jurandyr Povinelli  
**Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo**

Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo  
**Universidade Estadual de Campinas**

Campinas, 24 de janeiro de 2008

## **Dedicatória**

*Aos meus pais Jose Valdecyr e Innocência Angelina*

# Agradecimentos

A Deus, por tudo;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, pela orientação, dedicação, apoio, e pelos ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti, pela orientação, dedicação, apoio, e pelos ensinamentos;

A Dra. Edna Ivani Bertoncini, pela colaboração na condução da pesquisa;

Ao Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo, pelo apoio;

A Sabesp, Superintendência de Franca;

A FINEP, e ao PROSAB, (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) pelos recursos empregados na pesquisa;

Ao Sr. Paulo Eduardo Ribeiro Maciel, por ceder a área para a pesquisa;

Ao Químico MSc Rui César Rodrigues Bueno, pelo apoio e incentivo;

Ao Dr. João Baptista Comparini, pelo apoio e incentivo;

Ao Eng. Nathanael Silva Jr, pelo apoio e incentivo;

Ao Eng. Orlando Antunes Cintra Filho, pelo apoio e colaboração direta no trabalho;

Aos estagiários Aruana Rocha Barros e Guilherme Otoni, pela ajuda e dedicação;

A todos os funcionários da Estação de tratamento de Esgoto de Franca, da equipe do laboratório (Luiza Paula C.B.Peixoto, Vânia Pontes O Napolitano, José Reinaldo do Carmo, Luciana de Castro), da equipe da manutenção (Renato Nascimento Alves, Denílson Freitas Cintra, Marcos M. Cason, Luiz Antonio da Silva, Cássio D. Faria,

Adilson Leite, Miguel Luis de Souza, Aparecido Donizetti Ferreira, Messias Ari de Andrade), da equipe de apoio e administração (Wilson D. Estevan -Tita, José Eurípedes Lobato, José Roberto da Silva, João Neves Silveira, Amarildo Bianco, Dóris de Deus S. Cintra, Pedro Evaldo Belli), valorosos amigos.

A todos os funcionários do laboratório de Controle Sanitário da Sabesp de Franca (em especial ao Nassif Abrão, Sr. Hildebrando, Luis Antonio Salomão, Márcia Ap.

Bortolieiro, Cláudia R. A. P. Crisol, Paulo Vitor Albano, Josimar Augusto Campos e outros que indiretamente colaboraram.

Ao Antonio Sergio Spolaor e ao Wanderlei Pim, pela colaboração em campo.

Aos bolsistas do laboratório de Reúso, do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC, Lucas Erickson de O. Marino, Emanuel Jose N. Marques, e Fernando de Carlo.

Ao Luiz Pazetto, da Sabesp, pelas valiosas dicas de informática.

*“Nunca a natureza diz uma coisa e a sabedoria outra”*

*Juvenal*



## **Resumo**

REAMI, Luciano. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbico**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil -UNICAMP, 2008. 138p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

O trabalho teve a finalidade de avaliar o impacto da irrigação com efluente sanitário, oriundo de tratamento em lagoa anaeróbia, na produtividade da cultura do milho, e na concentração de metais nos grãos. Utilizando a técnica de irrigação por sulcos rasos, foram testados 3 tratamentos correspondentes a adubo mineral e água natural disponível (nascente), efluente anaeróbico desinfetado com hipoclorito de cálcio, e efluente anaeróbico não desinfetado. A produtividade foi semelhante ao da adubação nitrogenada convencional para a 2ª safra, e para a 1ª safra semelhante somente para os tratamentos efluente anaeróbico e efluente anaeróbico desinfetado. Houve diferença significativa entre os resultados em relação aos tratamentos, para a quantidade de espigas por plantas e a altura das plantas. Em relação aos metais acumulados nos grãos, não resultou em concentrações nocivas a saúde humana, e houve apenas diferença significativa para o metal cobre para a 2ª safra.

**PALAVRAS CHAVE:** esgoto sanitário, irrigação, cultura de milho, pós tratamento, efluente anaeróbico, disposição no solo

## **Abstract**

REAMI, Luciano. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbico**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil -UNICAMP, 2008. 138p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

This work had the objective to evaluate the impact of wastewater irrigation on the productivity of corn using effluent from an anaerobic pond, and on physico-chemical and microbiological system soil-water-plant. Using the technique of irrigation by shallow furrows, will be tested 3 treatments corresponding to fertilizer and natural water available, effluent anaerobic disinfected with calcium hypochlorite, and anaerobic effluent not disinfected. They are provided two cropland, one of the rainy season and other in dry period. The productivity was similar to the fertilization nitrogen conventional for the second crop, and for the first crop similar only by the anaerobic treatment and anaerobic desinfected treatment. There was significant difference between the results on treatments for a number of ears per plant and the height of plants, And for accumulated metals in the grains, did not result in harmful concentrations to human health, and there was only significant difference for the metal covers for the 2nd harvest.

**KEY WORDS:** wastewater, anaerobic effluent; irrigation; corn; disinfection, soil disposition, post-treatment

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	<b>Página</b>
Figura 3-1 – Esquema típico de Estação de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização .....	47
Figura 3-2 - Fases de crescimento do milho, de acordo com Fancelli et. al. (2000).....	51
Figura 3-3 - Diagrama para classificação de água de irrigação de (U.S. Salinity Laboratory Satff - Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos) citado por Stefanutti (2006).....	58
Figura 3-4 - Concentrações de Cu, Ni e Zn, em amostras de efluente a ETE Graminha	61
Figura 3-5 - Concentração média de Cr nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L/sulco por turno de irrigação.....	62
Figura 3-6 - Concentração média de Ni nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L/sulco por turno de irrigação.....	63
Figura 3-7 - Concentração média de Zn nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L /sulco por turno de irrigação.....	63
Figura 3-8 - Concentração média de Pb nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L/sulco por turno de irrigação.....	64

Figura 4-1 - Representação das linhas equipotenciais e sentido de fluxo do lençol freático .....	70
Figura 4-2 - Vista geral da área do experimento .....	71
Figura 4-3 - Aplicação de calcário PRNT 90 na área experimental .....	73
Figura 4-4 - Coleta de amostra de solo não deformada.....	74
Figura 4-5 - Gráfico da curva característica de concentração de água no solo nas profundidade 0-25 cm .....	75
Figura 4-6 - Gráfico da curva característica de concentração de água no solo nas profundidades 25-50 cm .....	76
Figura 4-7 – Croqui com disposição das parcelas e poços de monitoramento.....	81
Figura 4-8 –Adubação na linha de plantio .....	82
Figura 4-9 - Plantio do milho.....	83
Figura 4-10 - Tanque de 50 L padronizado para quantificação do efluente aplicado .....	84
Figura 4-11 – Sulcos irrigados e vista geral de um bloco do experimento.....	85
Figura 4-12 - Tanques para armazenamento e distribuição do efluente nos sulcos, de acordo com os volumes determinados para cada parcela. ....	85
Figura 4-13 – Método utilizado para colheita das espigas ao longo da linha de plantio utilizando-se da barra de um metro para demarcação (gabarito).....	86
Figura 4-14 - Debulhamento das espigas e armazenamento em sacos de papel.....	87
Figura 4-15 - Amostragem das espigas quanto ao tamanho - parcela esgoto anaeróbio EA 100 L/sulco .....	87
Figura 4-16 - Amostragem das espigas quanto ao tamanho – parcela Água + adubo A 100 L/sulco.....	87
Figura 4-17 - Amostragem das espigas quanto ao tamanho – parcela efluente anaeróbia desinfetado - EAD 150 L/sulco .....	88
Figura 4-18 - Adubação na linha de plantio – 2ª safra .....	92
Figura 4-19 - marcação do espaçamento de plantio ao longo da linha com cordão demarcado .....	93
Figura 4-20 – detalhe de uma formiga carregando parte de uma folha de planta recém germinada .....	94

Figura 4-21 - Situação em 30/05/2007, parcela EB, 150 l/sulco, após penduamento, estágio fenológico 6 .....	95
Figura 5-1 - Gráfico de pH e condutividade elétrica para diferentes camadas de solo (sup, 0-20, 20-40, e 40-60 cm de profundidade) .....	103
Figura 5-2 - Gráfico da quantidade de nitrogênio aplicado na 1ª safra, para os diferentes tipos tratamento, e parcelas com profundidade de irrigação de 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco). ....	107
Figura 5-3 - Gráfico da quantidade de nitrogênio aplicado na 2ª safra, para os diferentes tipos tratamento, e parcelas com profundidade de irrigação de 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco). ....	111

## LISTA DE TABELAS

	<b>página</b>
Tabela 3-1 - Alguns parâmetros exigidos para a qualidade da água de irrigação.....	41
Tabela 3-2- Produtividade de culturas irrigadas com esgoto sanitários (ton.ha <sup>-1</sup> ).....	52
Tabela 3-3 - Classes de salinidade para águas de irrigação segundo EPA.....	57
Tabela 3-4- Limites de metais nos alimentos, de acordo com ANVISA .....	61
Tabela 4-1 - Resultado de análise de fertilidade de solo .....	71
Tabela 4-2 - Resultado da análise de micronutrientes e metais pesados no solo (1).....	72
Tabela 4-3 - Resultado da análise de solo e volumes por sulco para irrigação.....	74
Tabela 4-4 - Resumo das características do efluente desinfetado – 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> Safras .....	77
Tabela 4-5 - Resumo das características do efluente Não desinfetado – 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> Safras.....	78
Tabela 4-6 - Precipitação, aplicação e ocorrências durante a 1 <sup>a</sup> Safra.....	89
Tabela 4-7- Resultados da análise de solo para determinação de adubação .....	91
Tabela 4-8 - Precipitação, aplicação e ocorrências durante a 2 <sup>a</sup> Safra.....	95
Tabela 5-1 - Porcentagem da quantidade de espigas por plantas em cada tratamento, média de 4 blocos, 1 <sup>a</sup> safra.....	98
Tabela 5-2 - Teste de Tukey para médias de tratamento para nenhuma espiga.....	98
Tabela 5-3 - Teste de Tukey para médias de taxas para nenhuma espiga.....	99
Tabela 5-4 - Teste de Tukey para médias de tratamento para uma espiga.....	99
Tabela 5-5 - Teste de Tukey para médias de taxas para uma espiga.....	99
Tabela 5-6 - Teste de Tukey para médias de tratamento para duas espigas .....	100
Tabela 5-7 - Teste de Tukey para médias de taxas para duas espigas.....	100

Tabela 5-8 - Teste de Tukey para médias de tratamento para três espigas .....	101
Tabela 5-9 - Teste de Tukey para médias de taxas para três espigas.....	101
Tabela 5-10 - Teste de Tukey para médias de tratamento – altura dos pendões .....	102
Tabela 5-11 - Teste de Tukey para médias de taxas – altura dos pendões.....	102
Tabela 5-12 - Produtividade obtida na 1ª safra para cada tratamento nas respectivas lâminas de irrigação, média de 4 repetições.....	104
Tabela 5-13 – Resultados do teste de Tukey aplicado aos resultados de produtividade da 1ª Safra .....	104
Tabela 5-14 - Concentração de Cobre nos grãos de milho - 1ª safra.....	108
Tabela 5-15 - Teste de Tukey para médias de Tratamento - Cobre .....	108
Tabela 5-16 - Teste de Tukey para média de Taxas - Cobre.....	109
Tabela 5-17- Concentrações de Zinco nos grãos - 1ª safra .....	109
Tabela 5-18 - Teste de Tukey para médias de Tratamento - Zinco .....	110
Tabela 5-19 - Teste de Tukey para média de Taxas - Zinco.....	110
Tabela 5-20 - Porcentagem de espigas por planta em cada tratamento – 2ª safra .....	112
Tabela 5-21 - Teste de Tukey para médias de tratamento – nenhuma espiga.....	112
Tabela 5-22 -Teste de Tukey para medias de taxas – nenhuma espiga .....	113
Tabela 5-23 - Teste de Tukey para médias de tratamento – uma espiga.....	113
Tabela 5-24 - Teste de Tukey para medias de taxas – uma espiga .....	114
Tabela 5-25 - Teste de Tukey para médias de tratamento – duas espigas.....	114
Tabela 5-26 - Teste de Tukey para medias de taxas – duas espigas .....	114
Tabela 5-27 - Teste de Tukey para médias de tratamento – 3 espigas .....	115
Tabela 5-28 - Teste de Tukey para médias de lâmina – 3 espigas.....	115
Tabela 5-29 - Produtividade obtida na 2ª safra para cada tratamento nas respectivas lâminas de irrigação, média de 4 repetições.....	116
Tabela 5-30 - Teste de Tukey para médias de tratamento - produtividade .....	117
Tabela 5-31 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro da taxa 50 L/sulco - produtividade .....	117
Tabela 5-32 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro da taxa 100 L/sulco - produtividade .....	118

Tabela 5-33 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro da taxa 150 L/sulco - produtividade .....	118
Tabela 5-34 - Teste de Tukey para médias de taxas - produtividade.....	118
Tabela 5-35 - Teste de Tukey para médias de lâmina dentro do tratamento “Água + adubo” do fator de tratamento - produtividade.....	119
Tabela 5-36 - Teste de Tukey para médias de lâmina dentro do tratamento “Efl. Anaeróbio Desinfetado.” do fator de tratamento - produtividade.....	119
Tabela 5-37 - Teste de Tukey para medias de lâmina dentro do tratamento “Efl. anaeróbio” do fator de tratamento - produtividade.....	119
Tabela 5-38 - Teste de Tukey para médias de tratamento, para as alturas de pendões .....	120
Tabela 5-39 - Teste de Tukey para médias de taxas – altura dos pendões.....	120
Tabela 5-40 - Concentração de Zinco nos grãos - 2ª safra.....	121
Tabela 5-41 - Teste de Tukey para médias de tratamento - Zinco .....	121
Tabela 5-42 - Teste de Tukey para média de Taxas - Zinco.....	122
Tabela 5-43 - Concentração de Cobre nos grãos - 2ª safra.....	122
Tabela 5-44 - Teste de Tukey para médias de Tratamento - Cobre .....	123
Tabela 5-45 - Teste de Tukey para médias de Taxas - Cobre.....	123



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\Psi$	Potencial matricial da água do solo
$\Psi_c$	Potencial matricial crítico
A	Tratamento água + adubação mineral
Ab	Área de abrangência do sulco
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Água Disponível
Ai	Área de influência do sulco (m <sup>2</sup> )
Al	Alumínio
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
AWWA	American Water and Wastewater Association
B	Boro
C. NTK	Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl
Ca	Cálcio
CC	Capacidade de Campo
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental,
Cl	Cloro
Co	Cobalto

CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
d.m.s.	Diferença mínima significativa
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
dS.m <sup>-1</sup>	deciSimens por metro
DTPA	Diethylene triamine pentaacetic acid
μS.cm <sup>-1</sup>	microSiemens por metro ou centímetro
mmho.cm <sup>-1</sup>	milimós por centímetro
Dg	Densidade global do solo
DOU	Diário Oficial da União
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Dr	Densidade real do solo;
EA	Tratamento efluente anaeróbio
EAD	Tratamento efluente anaeróbio desinfetado
Efluente lagoa anaeróbia	Efluente de processo de tratamento de esgoto por anaerobiose, ou sem oxigênio.
Efluente primário	Efluente de tratamento primário, após processo de sedimentação
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environment Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
Fe	Ferro
FAO	Food and Agriculture Organization
FEC	Faculdade de Engenharia Civil
G.L.	Grau de liberdade
GPS	Global Positioning System
H	Profundidade de irrigação (cm)
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
ha	Hectare

Hb	Lâmina bruta de irrigação (lâmina a ser aplicada em cada irrigação);
Hg	Mercúrio
Hi	Lâmina hídrica líquida ou lâmina de água facilmente disponível;
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial
ISO 9001-2000	International Standard Organization, versão 9001, do ano de 2000
K	Potássio
Kc	Coeficiente de demanda hídrica da cultura
Kp	Coeficiente do tanque
KCl	Cloreto de potássio
L	Litros
Mg	Magnésio
mE/l	miliequivalente por litro
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
Mo	Molibidênio
Ms	Massa do solo seco a 105 a 110 °C
Na <sup>+</sup>	íon sódio
Ca <sup>2+</sup>	íon cálcio
Mg <sup>2</sup>	Íon magnesio
NBR	Normas Brasileiras
NC	Necessidade de calcário
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Íon amônio
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Nitrato de amônio
NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de amônia
Ni	Níquel
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ortofosfato
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PM	Ponto de Murcha Permanente
PRNT	Poder relativo de neutralização total do calcário
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PVC	Poli cloreto de vinila
R	Reserva de água no solo;
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
S	Enxofre
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
TSD	Total de Sais Dissolvidos
SB	Saturação de Bases
UA	Umidade Atual
UC	Umidade Crítica
Ufx	UFV, UFRN, UFRGS; UFRJ; UFC; UFPE; UFCG; UFMG; UFES; UFSC: Universidades Federais Brasileiras
UnB	Universidade de Brasília
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
USDA	United States Department of Agriculture
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverse Mercator – sistema de coordenadas
VTEA	Volume total de efluente aplicado por sulco
WHO	Water Health Organization
Zn	Zinco
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Sulfato de Zinco

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1. INTRODUÇÃO .....	23
2. OBJETIVOS.....	29
2.1 - Objetivo Geral .....	29
2.1.    Objetivos Específicos.....	29
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
3.1.    Disposição de efluentes no solo.....	31
3.2.    Irrigação.....	36
3.3.    Curvas características da água no solo .....	39
3.4.    Condições básicas para uma irrigação eficiente .....	40
3.5.    Frequência de irrigação .....	41
3.6.    Lagoas de estabilização .....	45
3.7.    Cultura de milho .....	47
3.8.    Produtividade da cultura de milho.....	51
3.9.    O solo.....	52
3.10.    Nutrição mineral das plantas .....	54
3.11.    Salinidade da água de irrigação.....	56
3.12.    Presença de metais no fruto .....	60
3.13.    Legislação brasileira.....	64

4. MATERIAL E MÉTODOS .....	67
4.1. Local de implantação do campo experimental.....	67
4.2. Hidrogeologia Regional.....	69
4.3. Caracterização agronômica e capacidade de retenção de água do solo.....	71
4.4. Caracterização dos efluentes anaeróbios desinfetado e não desinfetado.....	76
4.5. Instalação do experimento .....	79
4.6. 1ª safra (período chuvoso) .....	82
4.7. 2ª Safra (período seco) .....	91
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	97
5.1. 1ª Safra.....	97
5.2. 2ª Safra.....	110
5.3. Comparação de resultados entre a primeira e a segunda safra.....	123
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	127
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	131

## 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como proposta avaliar o impacto da irrigação com efluente sanitário, oriundo de tratamento em lagoa anaeróbia, na produtividade da cultura do milho, e na concentração de metais nos grãos, para 3 tratamentos, efluente anaeróbio, efluente anaeróbio desinfetado, e o convencional (adubo químico e água).

O reúso deste efluente foi estudado em um sistema de tratamento pelo método de irrigação utilizando técnica por sulcos rasos. A adoção do sistema de irrigação por sulcos rasos como pós-tratamento permite o retorno dos elementos básicos aos seus ciclos biogeoquímicos, sendo, também, um processo de recuperação ambiental de resíduos gerados pelas atividades humanas. O sistema de tratamento (lagoa + pós-tratamento no solo) gasta pouca energia e utiliza poucas unidades mecanizadas, podendo ser considerado um processo de baixo custo e pouco consumo de energia. Foram desenvolvidas duas safras, uma em período chuvoso e outra em período seco, com aplicação de lâminas hídricas, correspondentes às profundidades de irrigação de 0,25, 0,50 e 0,75 m.

A primeira safra foi com base na taxa de mineralização do nitrogênio, e a segunda safra baseada na demanda hídrica inteiramente suprida pelo efluente, (desinfetado e não desinfetado), e foi mantida a mesma disposição das parcelas e

lâminas já determinadas. Em cada aplicação foram caracterizados os efluentes, bem como para cada safra foram feitas análises físicas e químicas do solo para determinação da taxa de adubação. A necessidade estratégica de se preservar os recursos naturais como a água, suas fontes e mananciais, conduz à tomada de ações que resultam em medidas que culminam no tratamento de efluentes e o seu reúso.

A água pode ser algumas vezes reciclada e usada de novo no mesmo local, por exemplo, quando uma unidade industrial recicla a água para processos de refrigeração. Também, a água reciclada oriunda de tratamento de esgotos domésticos (por lagoas de estabilização, processos anaeróbios ou lodos ativados) que pode ser usada para fins não potáveis, como agricultura, jardinagem, parques públicos, irrigação de campos de golfe etc. O uso de esgoto na agricultura está em crescimento devido à escassez de água para irrigação.

O Brasil é um país que apresenta alto potencial para a adoção da técnica de reúso com aplicação em irrigação, pois a água pode ser usada nas extensas áreas cultivadas, além de possibilitar o tratamento de efluentes com técnicas alternativas de baixo custo. Por outro lado, se os esgotos forem lançados *in natura* nos corpos hídricos causam, ainda, a eutrofização destes corpos de água.

Destaca-se a esta realidade a Resolução CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente nº 357, de 17 de março de 2005 (em substituição a antiga CONAMA 20), a qual aplica valores mais restritivos aos parâmetros de lançamento de efluentes, onde se destaca a concentração de nitrogênio amoniacal como padrão de lançamento, restrito a 20 mg/L, além de novos índices, os quais desqualificam a maioria dos sistemas de tratamento por lagoa quanto a esses novos padrões de lançamento. Este novo padrão requer adequação dos sistemas de tratamentos, em nível terciário, necessidade de desinfecção, entre outros.

Muitos sistemas de tratamento de esgotos empregados até a presente data, principalmente em pequenas ou médias comunidades, como por exemplo, tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, entre outros são



reconhecidos como de baixo custo de implantação, operação e, por este motivo, de larga aceitação. Em função das exigências do padrão de qualidade tanto para lançamento, quanto para corpo receptor, prescritas na Resolução CONAMA 357 deverão passar por novas adaptações. A alternativa de reúso da água, ou do uso do efluente tratado em culturas agrícolas, por meio de irrigação, cujo efluente além de suprir a demanda hídrica, é também rico em nitrogênio, e fósforo, essenciais para o cultivo agrícola, é uma das opções. A Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), por exemplo, que é uma empresa que opera sistemas de tratamento de esgoto em cerca de 360 municípios do estado de São Paulo, vem buscando soluções eficazes, de baixo custo e simplicidade operacional para aplicação em tais casos, e havendo legislação que autorize esta técnica, constituirá uma opção viável.

A conscientização ambiental da sociedade, além da pressão exercida por órgãos fiscalizadores e do Ministério Público, faz com que se busquem formas de tratamento e disposição final ambientalmente corretas, de forma que as constituintes das matérias-primas consumidas pelas atividades humanas retornem para os ecossistemas de uma forma positiva, reduzindo a contaminação do meio.

O esgoto sanitário é geralmente composto de 99% de água e 1% de matéria orgânica e inorgânica, incluindo os macronutrientes essenciais às plantas, como o nitrogênio, o fósforo e o potássio, além de micronutrientes, como o cobre e o zinco.

O tratamento de efluentes secundários de esgotos domésticos por meio do processo de irrigação é promissor visto que reutiliza os nutrientes originados da decomposição da matéria orgânica, sendo, no entanto, necessário um maior estudo sobre a remoção de patógenos. A presença de matéria orgânica e nutrientes promove a melhoria da fertilidade do solo, além de melhor estruturação dos seus agregados. Quanto aos patógenos, estes podem vir a ter uma remoção suplementar satisfatória devido a ação dos raios ultravioleta da luz solar, e da ação dos predadores biológicos no solo, conforme OMS - Organização Mundial de Saúde (1989).

Porém, para o desempenho adequado do sistema de irrigação, referindo-se ao tratamento do efluente e a produtividade agrícola, são necessários cuidados na implantação e operação do sistema, como: aplicação em solo com boa capacidade de drenagem para evitar a sua salinização, além de manter uma boa aeração necessária a reações bioquímicas que ocorrem com a degradação da carga orgânica do resíduo, e para o bom desempenho da planta na zona radicular; operação com lâminas hídricas (cargas hidráulicas) que mantenha as condições necessárias para a depuração do esgoto e para o desenvolvimento da planta, e que não contamine o lençol freático.

Neste sentido, buscou-se respostas as seguintes hipóteses:

1 - Se a quantidade de nitrogênio, presente no efluente anaeróbico aplicado via irrigação pelo método de sulcos rasos, for compatível com a adubação nitrogenada na fase de cobertura, então a produtividade agrícola será estatisticamente semelhante para os tratamentos com taxas compatíveis entre efluente anaeróbico, efluente anaeróbico desinfetado e água natural + adubo mineral;

2 – Se as taxas hidráulicas de aplicação de efluente tratado ao longo das safras, considerando a taxa ideal, estabelecida para a profundidade da zona de raiz, determinada analiticamente em amostra de solo, e uma taxa 50 % acima da ideal e outra 50 % abaixo do ideal, para os tratamentos com efluente anaeróbico, efluente anaeróbico desinfetado e água natural + adubo mineral resultarem em produtividade agrícola compatíveis, então a produtividade será proporcional às taxas aplicadas;

3 – Se a produtividade agrícola, para taxas de aplicação de efluente tratado para o tratamento “efluente anaeróbico” forem estatisticamente compatíveis com a produtividade referente às taxas e tratamento “efluente anaeróbico desinfetado”, então não há interferência da desinfecção na produtividade agrícola.

4 – Se a quantidade de metais pesados de interesse sanitário e de saúde publica analisados nos grãos de cada parcela, entre os tratamentos efluente anaeróbico, efluente anaeróbico desinfetado e água natural + adubo mineral, nas respectivas taxas

aplicadas, forem estatisticamente proporcionais, então a absorção de metais nos grãos é diretamente proporcional às taxas aplicadas, e à qualidade do efluente em relação a metais pesados;

5 – Se as quantidades de espigas por plantas forem estatisticamente semelhantes entre as taxas e entre os tratamentos testados, então as taxas aplicadas (hídricas e de nitrogênio) e os tratamentos são determinantes na quantidade de espigas por plantas.

6 – Se as alturas em relação ao pendão forem semelhantes estatisticamente entre as taxas e os tratamentos testados, então as taxas aplicadas (hídricas e de nitrogênio) e os tratamentos são determinantes na altura do pendão.

Este projeto, desenvolvido na cidade de Franca, é continuidade do experimento do Programa em Saneamento Básico – PROSAB, referente ao Edital 4, tema 2 – esgoto sanitário. O projeto Prosab neste edital, teve início nos experimentos na cidade de Limeira, SP e seqüência na cidade de Franca, SP. Para esta continuidade foram desenvolvidos três trabalhos científicos visando os aspectos da água; solo; e, planta. Estes trabalhos são apresentados na forma de três dissertações de Mestrado sendo uma referente à produtividade de colheita; outra, referente aos eventuais efeitos da irrigação na qualidade da água nos aquíferos subterrâneos e água de percolação do solo; e, por último, uma outra dissertação referente aos aspectos relacionados às características do solo e seus efeitos na planta. Estes projetos contribuíram também para a transferência de tecnologia para a Sabesp através dos pesquisadores envolvidos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivo Geral**

O objetivo geral da pesquisa foi propiciar o pós-tratamento de efluente anaeróbio de lagoa, avaliando a produtividade agrícola de uma cultura de milho e a concentração de metais nos grãos em um sistema, pelo método de aplicação no solo, pela técnica da irrigação por sulcos rasos, aliando os critérios de projeto da engenharia sanitária com os critérios de projeto da engenharia agrônômica.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- 1 – determinar de produtividade de cada tratamento nas primeira e segunda safra;
- 2 – determinar da concentração de metais acumulados nos grãos para os diferentes tratamentos, nas primeira e segunda safras;
- 3 – medir a altura das plantas por amostragem, para os diferentes tratamentos, nas primeira e segunda safra;
- 4 – quantificar a porcentagem de espigas por plantas em cada parcela nas primeira e segunda safra.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Disposição de efluentes no solo**

O emprego de esgoto doméstico no solo é uma das práticas mais antigas de disposição de esgotos. Atenas foi uma das primeiras cidades da antigüidade a se beneficiar do sistema. O método foi aplicado em um sistema de irrigação na Alemanha por mais de trezentos anos e se tornou uma prática comum em fazendas da Inglaterra no final do século passado. Melbourne, na Austrália, adota este tipo alternativo de tratamento de esgoto desde 1897 (Bernardes, 1986), dispondo em uma fazenda com mais de 10 mil hectares, sendo o reúso de efluentes aplicado na produção de biomassa para alimentar o gado. Asano & Levine (1996) destacam que o reúso e recuperação de efluentes teve seu início mais intensivamente destacado nos Estados Unidos a partir da década de 60.

Carr, Blumenthal & Mara (2004) citam que, segundo Gleick (2000), em todo o mundo é estimado que 18% das terras agriculturáveis são irrigadas e essas são responsáveis por 40% da produção mundial de alimentos. Ainda os mesmos autores citam que Hussain et al. (2001) estimam que pelo menos 20 milhões de ha em 50 países praticam a irrigação com esgoto bruto ou parcialmente tratado. A Organização

Mundial da Saúde, através de WHO - Water Health Organization (2006) cita a estimativa de Hinrichsen, Robey & Upadhyay (1998), que nos próximos 50 anos mais de 40% da população mundial irá viver em países que enfrentarão escassez de água.

Para WHO (2006), o esgoto é freqüentemente uma fonte confiável de água para a irrigação durante o ano inteiro em termos de volume, e contém nutrientes necessários ao crescimento das plantas, e desta forma o seu valor nutricional tem sido reconhecido ao longo do tempo pelos agricultores de todo o mundo. O uso do esgoto na agricultura é uma forma de reciclagem de nutrientes e de água, além de reduzir os impactos ambientais aos corpos d'água e ao solo.

Exemplos de aplicação do sistema são relatados por diversas referências como Landa et al. (1997), que citam a aplicação de efluentes tratados no Vale Mezquital, o qual abriga uma população de 21 milhões de habitantes e que produz cerca de  $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de esgoto. Este volume de efluente tem sido utilizado para irrigar 85.000 hectares no vale de Mezquital desde o século passado e, é aplicado em culturas de milho, arroz, tomate, forragem de aveia e alfafa. A aplicação de efluentes têm proporcionado aumento na produção das culturas que são cultivadas em solo de baixa fertilidade, com reduzido teor de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio.

No Brasil, a experiência é pequena, conhecendo-se alguns trabalhos com tratamento no solo por professores da UNICAMP, com esgotos sanitários e industriais (Figueiredo, 1985; Nour, 1990, e Coraucci Filho, 1992), e desde então estão em continuidade, como neste presente trabalho. No estágio atual de desenvolvimento da pesquisa nacional, principalmente pelo programa PROSAB, que se iniciou em 1996, outras Instituições tem colaborado de maneira eficiente e determinada com experimentos com o emprego do método da irrigação em milho; capim, mamona, flores e frutas como o mamão, entre outras. Além da irrigação a prática de uso de esgoto sanitário em hidroponia e piscicultura. Algumas das Instituições como a Unicamp no início (Edital 1) e paulatinamente outras Universidades, que foram realizando propostas de projetos a partir do Edital 2 (pode-se citar: Além da UNICAMP, a UFV; USP; UFRN, UFRGS; UFRJ; UnB; UFC; UFPE; UFCG; UFMG; UFES; UFSC, entre outras).

A Sabesp opera uma ETE com tratamento por escoamento superficial no solo, construída em Populina, SP (Paganini, 1997), com objetivo principal de tratar o efluente doméstico bruto, produzir biomassa para alimentação animal - *in natura* e adequar o efluente para o lançamento em cursos de água e outras aplicações possíveis.

O tratamento de águas residuárias em processos de disposição no solo apresenta-se como uma forma de tratamento, reúso, disposição final e recarga do aquífero. De todos estas formas citados, a recarga do aquífero merece um certo cuidado, visto que a lixiviação de nutrientes, sais e sólidos dissolvidos pode acarretar a sua contaminação, conforme ressalta Bower (1998).

A carência de água para consumo é uma realidade em regiões áridas como Israel, Líbano e países vizinhos (Angelakis, 1999), e o reúso de efluente é uma solução para diminuir o consumo de água para fins agrícolas. Em Israel, o índice de reciclagem de esgoto aplicado na irrigação atinge aproximadamente 75% (Arlosoroff, 2002, citado por WHO, 2006) e conforme Friedler (1999), num futuro próximo, em Jeezrael Valley, Israel, a aplicação do efluente na irrigação poderá corresponder a cerca de 80% da irrigação. No estado da Califórnia (EUA) o esgoto tratado é largamente empregado na irrigação de uvas há vários anos (EPA - Environment Protection Agency, 1992), e neste estado, há registro de início de reúso de efluentes a partir de 1918. Atualmente, na Califórnia (EUA), aproximadamente 67% do esgoto reciclado é usado na irrigação (California State Water Resources Control Board, 2003, citado por WHO, 2006).

Entretanto, o reúso de efluentes não pode ser encarado como uma aplicação indiscriminada, sem critérios. Deve haver, conforme Coraucci Filho (1998), um elo perfeito entre a Engenharia Sanitária e a Engenharia de Irrigação, de forma que o esgoto seja tratado no solo evitando a contaminação do lençol freático, ou a saturação em nutrientes e metais pesados no solo, entre outros. Para isso, Haruvy (1997) e Vieira (1995), já ressaltavam a necessidade de se escolher as plantas adequadas para o sistema, assim como dimensionar o projeto de irrigação (turno de rega, taxa de aplicação, dentre outros), de modo a manter as condições sanitárias mínimas exigidas por norma.

Conforme Cepis (2000), a Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Banco Mundial preocupados com a aplicação indiscriminada de esgoto na agricultura, convocaram, em 1985, uma reunião entre técnicos e cientistas, com o objetivo de discutir os aspectos sanitários envolvidos. Ressaltaram a importância desta modalidade de tratamento, visto a necessidade de se conservar os recursos hídricos, dispor os resíduos adequadamente, controlar a contaminação da água, e produzir alimentos em muitos lugares do mundo.

Estudos mais recentes desenvolvidos pelo Programa de Saneamento Básico-PROSAB, coordenada por Campos (1999), trazem considerações importantes sobre a aplicação de esgoto por sistemas de irrigação. Conforme os autores, a aplicação do despejo efluente favorece a vegetação, em virtude das condições de irrigação da cultura e de disponibilidade de nutrientes, porém até a aquela data não havia legislação que regulamente tal prática para o esgoto humano no estado de São Paulo.

O solo e as raízes podem ser considerados o reator deste sistema de pós-tratamento e reúso. Desta forma, a escolha adequada da cultura a ser irrigada é de fundamental importância para a preservação da estrutura do solo diante de processos erosivos e alterações da sua estrutura física. A estrutura das raízes dessa cultura auxilia no monitoramento da infiltração do efluente, sendo as responsáveis pela remoção de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo. A conversão da matéria orgânica para matéria mineralizada é proporcionada pelos microrganismos presentes no solo.

O Nitrogênio presente no esgoto doméstico, logo após a oxidação, primeira etapa de redução, é transformado em de íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que são absorvidos pelas plantas. O íon amônio pode ser retido pelos minerais e pela matéria orgânica, enquanto o íon nitrato é arrastado pela água superficial e por aquela que percola no solo, podendo atingir o lençol freático (Bernardes, 1986). O nitrato tem alta mobilidade no meio (solo) e em solos arenosos a percolação é mais efetiva do que em outros tipos de solo. (Coraucii Filho et al., 1999b). O uso de efluentes em solos com baixa permeabilidade, reduz a percolação e possíveis problemas de contaminação de lençóis freáticos (Gilde et al., 1971).



Embora o nitrogênio seja um nutriente vital para o crescimento das plantas, quando a sua aplicação excede a demanda do vegetal e a capacidade de desnitrificação do solo, ele pode lixiviar para os lençóis freáticos em forma de nitrato (Almasri e Kaluarachchi, 2004).

Em alguns casos, os índices de salinidade das águas recicladas podem ser mais elevados que as fontes de água tradicionais, e isso pode acarretar em mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo (Hamilton et al., 2005). Altas concentrações de sódio no solo, provocadas pela aplicação de esgoto doméstico, causam inchamento e impermeabilização do solo. O aumento da concentração de sais na zona de raiz causa um declínio no potencial osmótico da solução solo-água e reduz a disponibilidade da água para a planta (Hamilton et al., 2005). Consideram -se críticos os valores da Relação de Adsorção de Sódio (RAS), maiores que 10 (classificação da USDA - United States Department of Agriculture), encontrados em solos tratados com efluentes. A aplicação de calcário a estes solos pode equilibrar os elevados teores de sódio presentes, reduzindo os danos do excesso deste elemento para o solo e plantas.

A colmatagem do solo pode ocorrer, em função da alta salinidade, quando se utiliza irrigação em baixa taxa, e pode ser agravada com índices pluviométricos abaixo de 700 mm/ano, para a WHO (2006), os efeitos da salinidade, em geral, são mais preocupantes em regiões áridas e semi-áridas.

Com relação à concentração de nutrientes que possam vir a atingir o lençol, o nitrato, oriundo da oxidação de compostos amoniacais, tem sido o composto mais estudado. Porém, Taylor & Neal (1982) enfatizam que a recuperação do nitrato deve ser feita pela vegetação. Para a eficiente remoção de nutrientes, é necessário o conveniente manejo e controle do sistema e a adequada coordenação da irrigação, plantio e colheita. Segundo Overman & Ku, citado por Campos (1999), quando a irrigação não tem propósitos agrícolas, a vegetação a ser usada deverá remover ao máximo os nutrientes e evitar que os mesmos atinjam o lençol freático. Os autores verificaram que a eficiência na remoção de nutrientes decresce com o aumento das lâminas hídricas.

### **3.2. Irrigação**

O dimensionamento do sistema de irrigação será função das características climáticas, geológicas e topográficas, que afetam parâmetros básicos, tais como o deflúvio superficial, evapotranspiração, capacidade de infiltração, dentre outros.

Segundo EPA (1976), tem-se dois tipos de sistemas de irrigação: um, em que o objetivo é maximizar a produção da cultura agrícola, deixando o tratamento do efluente em segundo plano; e, outro, em que o tratamento do efluente é o objetivo da irrigação. O segundo sistema é denominado irrigação a alta taxa e poderá ser utilizado com reservas em cultura secundária (eucaliptos, por exemplo, que tem a característica de alta evapotranspiração).

O primeiro sistema opera com baixas taxas de aplicação, e dessa forma, são necessárias grandes áreas para aplicação dos efluentes, o que propicia maior diluição de poluentes, minimizando os impactos adversos no solo e vegetação.

Para a remoção eficiente de nutrientes na irrigação de alta taxa, a cultura escolhida deve ser tal que assimile a alta concentração de esgoto de forma a evitar a percolação de nutrientes ao lençol freático. Este processo requer menor área para a aplicação, porém o impacto sobre o meio é maior. Devido à alta porcentagem de evapotranspiração, a concentração de sólidos dissolvidos inorgânicos no líquido percolado pode ser indesejável.

A irrigação pode ser definida como a aplicação de água no solo com o objetivo de atender a demanda hídrica da planta. Porém, conforme ressalta Vieira (1995), irrigar não é “molhar”, e sim disponibilizar à planta a quantidade requerida de água através de sistema de irrigação compatível com o tipo de solo, declividade do terreno, a capacidade de retenção do solo, de acordo com a cultura, tendo como objetivo aumentar a produtividade e qualidade do produto ou obter colheitas fora das épocas

normais, sem os inconvenientes da saturação do solo e das perdas por percolação, as quais podem comprometer o lençol freático.

Segundo a Organização Mundial da Saúde, WHO (2006), a maioria da água aplicada na vegetação é perdida pela evapotranspiração ocorrida na superfície da planta, por essa razão, a água requerida pela vegetação é usualmente equivalente à quantidade de água perdida pela evapotranspiração. A taxa de evapotranspiração depende do tipo de vegetação e de fatores climáticos, que podem ser estimados segundo os dados meteorológicos da região (Allen et al., 1998, citado por WHO, 2006)

A definição de uma taxa hidráulica que atenda às condições agrícolas baseia-se no potencial matricial do solo para a cultura implantada. O potencial matricial da água do solo ( $\Psi$ ) é uma energia negativa, que consiste na retenção da água no solo pela ação das forças de atração das partículas do solo (adsorção) e de capilaridade, contra a qual a planta tem que exercer um esforço pelo menos superior, para poder absorver a água necessária ao seu metabolismo e satisfazer a demanda de evaporação da atmosfera. A planta tem capacidade de absorver a água retida no solo na faixa que vai de um potencial maior (-0,1 a -0,33 atm) a um potencial menor (-15,0 atm). A irrigação define como sendo capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PM), respectivamente, tais faixas, e a diferença entre estas duas tensões, é denominada de água disponível (AD). O potencial matricial crítico ( $\Psi_c$ ), que varia de cultura para cultura, com o clima, a natureza do solo, o método de irrigação empregado, dentre outros fatores, é obtido experimentalmente. Para o caso do milho este potencial está definido entre -0,5 a -1,5 e por exemplo para cana de açúcar de -0,8 a -1,5, conforme Vieira (1995).

Partindo-se da necessidade de água de uma determinada cultura, adota-se um valor para o potencial matricial crítico. Este valor é aplicado na curva característica da umidade do solo, que é a relação entre o potencial matricial crítico e a umidade do solo, obtendo-se a umidade crítica (UC), que corresponde a um limite inferior de umidade para uma cultura irrigada naquele solo. Quando a umidade do solo atinge a umidade crítica é realizada nova irrigação .

Nas regiões áridas e semi-áridas, a irrigação é essencial para a viabilidade econômica da agricultura, conforme salienta Pescod (1992), enquanto que em regiões úmidas e semiúmidas a irrigação é requerida de forma suplementar, com o objetivo de corrigir a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano, não comprometendo, assim, o metabolismo da planta, conforme Vieira (1995).

De acordo com Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2005), para fins de definição, a densidade global do solo ( $D_g$ ), juntamente com a porosidade, dá uma idéia do seu grau de compactação. A densidade global varia de valores menores que  $1 \text{ g/cm}^3$  geralmente em solos turfosos, a valores de até  $1,9 \text{ g/cm}^3$ . O solo é composto de partículas sólidas de várias formas e diferentes dimensões. O espaço poroso pode ser preenchido com quantidades variáveis de água (solução) e ar (gases).

Existem diversas formas de se medir a umidade do solo. O Processo método Gravimétrico é o método clássico e o mais utilizado na determinação do conteúdo de água do solo. As amostras são retiradas em vários locais e profundidades, no campo, podendo constituir-se de amostras simples ou compostas. Essas amostras podem ser deformadas, utilizando-se trados comuns, ou não deformadas, de volume conhecido, utilizando-se trados especiais, como, por exemplo, o trado de Uhland. Deve-se ter muito cuidado para evitar perdas de água, por evaporação, pelo solo durante a amostragem. As amostras de solo são colocadas em latas de alumínio e estas, vedadas com fita adesiva. Essas amostras são levadas para o laboratório o mais rápido possível. As amostras são pesadas e levadas à estufa a  $105-110^\circ\text{C}$ , onde permanecem até atingirem peso constante, geralmente 48h são suficientes.

Para se determinar as propriedades físicas de um solo, é necessária uma amostragem criteriosa, para que uma determinada amostra represente as condições reais existentes naquele solo.

Para coleta de amostras não deformadas, que são utilizadas para densidade global ou aparente, pontos da curva de retenção de água, estabilidade de agregados,

condutividade hidráulica e outros estudos específicos devem ser seguidos alguns cuidados e recomendações.

Para determinação da densidade global, utiliza-se a Equação 3.1

$$D_g = m_s / V$$

**Equação 3.1**

Onde:

$D_g$  = densidade global

$m_s$  = Massa do solo seco a 105 a 110 °C (g)

$V$  = volume da amostra de solo não deformada (volume do cilindro amostrador em  $dm^3$ )

Panoras (2001), em experimento realizado em Salónica, Grécia, com efluente de lagoa de estabilização, água de poço e efluente de lodos ativados, constatou nenhuma diferença significativa no rendimento milho foram observados entre os três tratamentos água de qualidade. No entanto, diferenças significativas foram observadas com relação ao rendimento entre os métodos de irrigação testados. Sulco de irrigação produziu cerca de 10% em relação ao método da irrigação localizada.

### **3.3. Curvas características da água no solo**

De acordo com Embrapa (2005), o conteúdo de água no solo está constantemente mudando e uma determinada amostra representa apenas a condição de água naquele momento, uma vez que o sistema é dinâmico. Portanto, essa desigualdade na distribuição de água no solo resulta em variações na amostragem que introduzem incertezas em qualquer estimativa de água em condições de campo. Essa incerteza é denominada erro de amostragem ou simplesmente variabilidade. Portanto, na amostragem, devem-se tomar as devidas precauções para reduzir os efeitos dessa variabilidade. Como a composição do solo é variável quanto à proporção das frações sólida, líquida e gasosa, a sua massa específica ou densidade atual não é um bom parâmetro para se caracterizar um solo, visto que ela é também variável. Portanto, há

necessidade de se definir outras grandezas intensivas. A densidade das partículas é impropriamente denominada densidade real do solo. A densidade das partículas depende da composição mineralógica do solo e varia pouco nos solos minerais. O Potencial da Água no solo ou na planta representa o estado de energia da água no solo ou na planta e governa todos os processos de transporte de água no sistema solo–planta–atmosfera. O entendimento e a aplicação desse conceito possibilitam uma visão global dos processos de absorção e transporte de água do solo para a planta, no interior da planta e das folhas para a atmosfera (transpiração).

A curva característica de retenção de umidade ou curva de retenção de água, ou simplesmente curva característica de água do solo, é uma propriedade ou característica físico-hídrica do solo que relaciona o conteúdo volumétrico de água e o potencial matricial do solo. Muitas vezes, é expresso como carga hidráulica ( $h$ ) em unidades de coluna d'água (cm, m). Como o próprio nome indica, é típica para cada solo, variando de acordo com a classe textural do solo, o conteúdo de matéria orgânica, grau de compactação, classe de solo, geometria dos poros e outras propriedades físicas do solo. A curva característica é geralmente determinada em laboratório e de preferência em amostras não deformadas.

### **3.4. Condições básicas para uma irrigação eficiente**

Para desenvolver uma irrigação eficiente, Gheyi (1999) aconselha a adoção das seguintes medidas básicas:

- Aplicação da quantidade de água necessária;
- irrigação com água de qualidade aceitável;
- estabelecimento de uma frequência adequada de irrigação;
- emprego dos métodos convenientes de irrigação;
- prevenção da salinização na zona radicular por meio de lixiviação;

- controle do acúmulo de água sobre a superfície do solo, mediante uma drenagem apropriada;
- manejo adequado dos nutrientes para os cultivos.
- aplicação da quantidade de água necessária.

A qualidade da água depende das condições climáticas locais, das características físicas e químicas do solo, da tolerância da cultura à salinidade, das práticas agronômicas e da técnica de irrigação empregada.

Os parâmetros químicos necessários para avaliar a qualidade da água, conforme Gheyi (1999), são: concentração total de sais dissolvidos, condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio, íons tóxicos e pH, entre outros. A Tabela 3-1 descreve alguns valores mínimos exigidos para a qualidade da água para a irrigação.

**Tabela 3-1 - Alguns parâmetros exigidos para a qualidade da água de irrigação**

Parâmetro	Qualidade da água para irrigação
pH	6,5-8,4
Sólidos Dissolvidos Totais	<2000
Nitrogênio Total	<30
Cloro	<350
Sódio	<70
Boro	<3

Fonte: adaptado de EPA,1992<sup>(1)</sup> mg L<sup>-1</sup>, exceto pH. <sup>(1)</sup>

### 3.5. Frequência de irrigação

De acordo com EMBRAPA (2005), a irrigação deve ser realizada antes que a umidade do solo alcance teores abaixo do valor mínimo necessário para a obtenção de uma boa produtividade agrícola. Este valor limite corresponde ao potencial matricial crítico do solo ( $\Psi_c$ ), ou seja, valor abaixo do qual a planta começa a perder em

produtividade devido ao esforço que a mesma tem de realizar para absorver a água do solo contra os esforços de adsorção e capilaridade da água no solo. A este potencial matricial, corresponde uma umidade denominada umidade crítica (UC), situada entre os valores de umidade correspondente à capacidade máxima de retenção de água no solo, denominada capacidade de campo (CC), e acima da qual o líquido lixivia para o aquífero, e à umidade remanescente quando ocorre a murcha da planta, denominado ponto de murcha permanente (PM).

Os valores de UC, CC e PM são retirados da curva característica de água no solo. A capacidade de campo corresponde a um potencial matricial de -0,1 bar, o ponto de murchamento corresponde a um potencial matricial de -15,0 bar, e a umidade crítica varia em função do tipo de cultura escolhida. No caso do milho, varia entre -0,5 bar e -1,5 bar.

Desta forma, para suprir as necessidades da planta, deve-se controlar a umidade do solo para valores entre a UC e a CC. Quando a umidade do solo atinge valores próximos a umidade crítica, aplica-se uma quantidade de água correspondente à lâmina hídrica líquida ( $H_i$ ), que é calculada em função de parâmetros característicos do solo e da cultura irrigada. Desta forma restaura-se a umidade do solo para valores próximos à capacidade de campo.

Para a determinação da lâmina hídrica utiliza-se a Equação 3.2:

$$H_i = \frac{(CC - UC)}{10} \times D_g \times h,$$

**Equação 3.2**

Onde

$H_i$  = lâmina hídrica líquida (mm)

$D_g$  = densidade global ( $\text{g/cm}^3$ )

$h$  = profundidade de irrigação (cm)



Para determinação do volume nos sulcos utiliza-se a Equação 3.3:

$$V = 1,05 \times A_i \times H_i$$

**Equação 3.3**

onde:

$A_i$  = área de influência do sulco ( $m^2$ )

$V$  = volume a ser aplicado no sulco (L)

De acordo com Fancelli et. al. (2000), em situações ideais, o controle de irrigação visa manter o conteúdo de água no solo na zona de umidade ótima. Para tal, torna-se necessário conhecer o armazenamento crítico de água no solo. Esse armazenamento define duas zonas de umidade: sub-ótima e ótima, cujo limite superior corresponde à capacidade de água disponível.

Quando a umidade do solo se encontra na zona de umidade sub-ótima, a planta fecha os estômatos no intuito de equilibrar a perda de água com a quantidade absorvida. Conseqüentemente, há perda de rendimento devido à absorção e assimilação de dióxido de carbono serem reduzidas.

Quando a umidade do solo se encontra na zona de umidade ótima, a planta apresenta total abertura dos estômatos. Conseqüentemente, há uma máxima taxa de absorção de água, nutrientes minerais provenientes do solo e de dióxido de carbono. Sendo assim, o rendimento esperado não é reduzido.

Existem pelo menos três métodos para avaliação da quantidade de água no solo, a saber, de acordo com Fancelli et. al. (2000): método tensiométrico, método do tanque Classe A, e o método gravimétrico. No controle de irrigação utilizando tensiômetro, calcula-se o armazenamento crítico a partir da umidade crítica, que por sua vez está associada a um valor de potencial mátrico crítico de interesse.

No controle da irrigação utilizando métodos climatológicos (posto meteorológico automatizado e tanque classe A, principalmente), estima-se que o armazenamento

crítico em função do fator de depleção de água no solo e da evapotranspiração máxima da cultura.

Por outro lado, o controle da irrigação pode visar a maximização da profundidade efetiva do sistema radicular. Para tal, pode-se propiciar uma deficiência hídrica controlada durante parte da fase vegetativa em que o sistema radicular é um dreno relativamente forte, no intuito de aumentar a profundidade efetiva do sistema radicular e, conseqüentemente, o volume de solo explorado pelas raízes. O tensiômetro é um instrumento destinado à mensuração da força com que a água é retida no solo.

Os componentes do sistema de irrigação devem ser operados com o objetivo principal de aplicação de uma lâmina correta de irrigação em tempo oportuno, no intuito de obtenção do rendimento máximo econômico.

O método de irrigação localizada é caracterizado pela aplicação de água no volume de solo efetivamente ocupado pelo sistema radicular da cultura de interesse. A variação de armazenamento da água no solo é pequena em função de ser um método com aplicações de alta frequência com baixa vazão do emissor. A irrigação localizada não é usada na cultura de milho devido, entre outros fatores, não se adaptar à cultura e ao seu alto custo de implantação, Fancelli et. al. (2000).

O controle da umidade atual (UA) pelo método gravimétrico, método que apresenta resultados reais de campo, apresentado por VIEIRA (1999), baseia-se no ensaio de umidade do solo, em peso. A coleta das amostras do solo para a obtenção da umidade foi feita com o auxílio de um trado. Quando a UA atinge o valor da UC, irrigam-se os sulcos referentes a esta profundidade de irrigação com a lâmina hídrica correspondente, retornando a umidade do solo à capacidade de campo.

O controle da umidade pelo tanque Classe A, apresentado por VIEIRA (1999), requer a instalação de um pluviômetro e de um tanque Classe A (evaporímetro). O balanço hídrico realizado pelo tanque Classe A requer os seguintes dados iniciais: UA, UC, Dg, PM, Kc (coeficiente de demanda hídrica da cultura) e Kp (coeficiente do

tanque). SOUZA (2004, apud Bellingieri 2004) desenvolveu uma planilha para o controle diário (Tanque Classe A) que apresenta: lâmina necessária para a restituição da CC; umidade armazenada no solo; déficit hídrico acumulado (soma dos volumes necessários para suprir a água evaporada, e infiltrada); e, correção automática com a introdução da umidade do solo. Assim, quando volume necessário a ser aplicado for igual ao volume referente a lâmina hídrica, procede-se a irrigação.

### **3.6. Lagoas de estabilização**

Para Sperling (2002), uma das maiores vantagens das lagoas de estabilização é a sua capacidade de remoção de organismos patogênicos, neste caso, cistos de protozoários e ovos de helmintos são removidos essencialmente pela ação da sedimentação. Segundo um estudo feito pelo autor, com 186 lagoas facultativas e de maturação espalhadas em diferentes partes do mundo, apresentou valores médios de eficiência na remoção de coliformes: 98% para lagoas facultativas primárias, de 90% para lagoas facultativas secundárias, e de 94% para cada lagoa de maturação em série.

Segundo Faruqui, Scott & Raschid-Sally (2004), as lagoas de estabilização e os tratamentos químicos primários com filtros de areia são dois exemplos de métodos simples que apresentam eficiência em relação à segurança à saúde humana, além de requererem um custo muito inferior aos processos convencionais de tratamento secundário de esgoto.

De acordo com Sperling (2002), as lagoas de estabilização são processos de tratamento de esgotos utilizados principalmente para a remoção de matéria orgânica. No entanto, com algumas adaptações no fluxograma e na geometria das lagoas, podem ser alcançadas elevadíssimas eficiências de remoção de organismos patogênicos ou, de forma mais específica, dos seus principais indicadores (coliformes e ovos de helmintos). É possível obter-se ainda uma significativa remoção de nitrogênio e até mesmo de fósforo.

O esgoto afluyente entra continuamente em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de fenômenos contribui para a purificação dos esgotos.

Parte da matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Este lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, metano e outros. Apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo sem alteração na sua natureza.

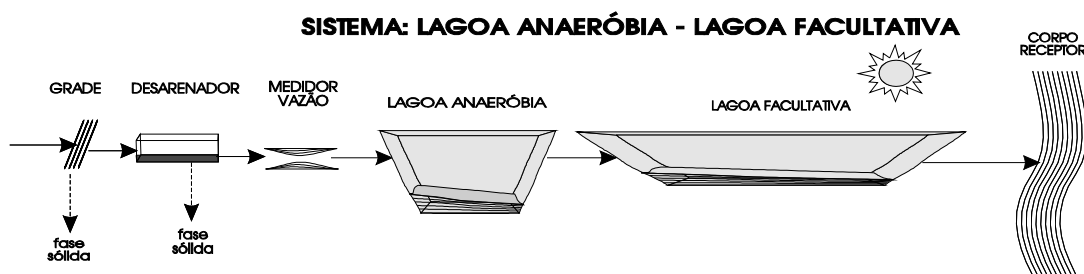
A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel ou filtrada), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada), não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. A sua decomposição se dá pela ação de bactérias facultativas, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre (daí a designação de facultativas, que define o próprio nome da lagoa). Essas bactérias utilizam-se da matéria orgânica como fonte de energia, alcançada através da respiração. Na respiração aeróbia, há a necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Há, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico.

As lagoas facultativas são classificadas em lagoas primárias e secundárias. Quando as lagoas facultativas recebem esgoto bruto, são denominadas lagoas primárias. Uma lagoa secundária é aquela que recebe seu afluyente de uma unidade de tratamento precedente, tal como lagoas anaeróbias.

Na lagoa anaeróbia, o esgoto bruto entra numa lagoa de menores dimensões e mais profunda (em torno de 3,5 a 5,0 m). Devido às menores dimensões dessa lagoa, a fotossíntese basicamente não ocorre. Predominam as condições anaeróbias nessa primeira lagoa, denominada, em decorrência, *lagoa anaeróbia*.

Nas lagoas anaeróbias ocorre sedimentação da matéria orgânica presente na forma de sólidos sedimentáveis. Em termos bioquímicos, as bactérias anaeróbias têm uma taxa metabólica e de reprodução mais lenta do que as bactérias aeróbias. Assim sendo, para um período de permanência de apenas 2 a 5 dias na lagoa anaeróbia, a decomposição da matéria orgânica é apenas parcial. Mesmo assim, essa remoção da DBO, da ordem de 40% a 70% (em condições bem favoráveis), apesar de insuficiente, representa uma grande contribuição, aliviando sobremaneira a carga para a lagoa facultativa, situada a jusante

**Figura 3-1 – Esquema típico de Estação de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização**



Fonte: von Sperling (2002)

As lagoas de maturação possibilitam um pós-tratamento do efluente de qualquer dos sistemas de lagoas de estabilização descritos anteriormente ou, em termos mais amplos, de qualquer sistema de tratamento de esgotos. O principal objetivo das lagoas de maturação é o da remoção de organismos patogênicos, e não da remoção adicional de DBO. As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração.

### 3.7. Cultura de milho

De acordo com Fancelli et. al. (2000), a água é um dos principais elementos de seleção do tipo de vegetação que se desenvolve em uma região. Praticamente todos os

processos metabólicos dos vegetais são influenciados por sua presença. Para o milho, as maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão. Para que não haja a necessidade de irrigação, a cultura desse grão exige um mínimo de 350-500 mm de precipitação no verão. A falta de água pode ocasionar aumento na quantidade de aminoácidos livres, porém estresses hídricos podem causar a redução no vigor vegetativo e na altura da planta, bem como na produção e fertilidade do pólen, além de alterar o sincronismo de florescimento das inflorescências masculinas e femininas. A incidência de ventos em lavouras de milho pode aumentar a demanda de água por parte da planta, tornando-a mais suscetível aos períodos curtos de estiagem, além de promover o acamamento da cultura.

A quantidade de água disponível para a cultura encontra-se na dependência da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água do solo e da densidade radicular da planta. Em regiões tropicais, a profundidade efetiva de raízes raramente ultrapassa 30 cm e, em condições de clima temperado, podem atingir valores superiores a 1,0 m, Fancelli et. al. (2000).

Para estimar o fator umidade no clima de uma região, tem que se considerar as perdas hídricas através da evapotranspiração, não bastam as informações de precipitação pluvial. A evapotranspiração pode ser definida como potencial, que considera a perda natural da água para a atmosfera, e a real, que diz respeito à quantidade real de água que retorna à atmosfera. Um balanço entre esses processos meteorológicos (precipitação e evapotranspiração), denominado Balanço Hídrico, pode indicar a disponibilidade hídrica de uma região, no decorrer do ano, o que contribuirá no planejamento da cultura, Fancelli et. al. (2000)

A cultura do milho apresenta ciclo variável entre 110 e 180 dias, em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio), período este compreendido entre a semeadura e a colheita. O ciclo da cultura de milho possui as seguintes etapas: germinação e emergência, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e maturidade. O ciclo dessa cultura foi dividido em 11 estádios distintos de desenvolvimento, segundo Fancelli (1986), adaptado de Nel & Smit (1978).

O estágio 0, compreende da semeadura à emergência e tem que ocorrer em temperatura e umidade favoráveis. A germinação ocorre em duas semanas à 10,5 °C ; em quatro dias à 15,5 °C e em três dias à 18,0 °C. A maior influência na duração dessa etapa encontra-se relacionada com a profundidade de semeadura. Em condições favoráveis, a emergência das plântulas de milho ocorrerá entre 6 a 10 dias após a semeadura. Uma semana após a emergência, a plântula apresenta-se com duas folhas totalmente expandidas, encontrando-se apta a iniciar o processo fotossintético.

No estágio 1, a folha possui quatro folhas totalmente desdobradas e normalmente coincide com a segunda semana após a emergência da planta. Operações inadequadas em períodos posteriores a este estágio poderão afetar a densidade e distribuição de raízes, com a conseqüente redução na produtividade da cultura.

No estágio 2, a planta possui oito folhas e nesse estágio constata-se a máxima tolerância da espécie ao excesso de chuvas e encharcamento. Todavia, inundações por período de tempo maior que cinco dias poderão acarretar prejuízos consideráveis e irreversíveis à planta. A destruição total das folhas expostas nesse período acarretará queda na produção de 10 a 25%.

No estágio 3, a planta possui 12 folhas e está relacionado à sexta ou sétima semana após a emergência, sendo caracterizado pela presença de 85 a 90% da área foliar. Neste estágio, a distribuição das chuvas, a disponibilidade de nutrientes, bem como a duração do intervalo compreendido entre o 3º e 5º estágio “espigamento”, constituem nos fatores decisivos na definição da produção e rendimento da cultura, principalmente quanto ao tamanho da espiga. Como o número potencial de grãos é confirmado neste período, a ocorrência de deficiências nutricionais, baixa disponibilidade hídrica, granizo, ou ataques de pragas e doenças, podem comprometer seriamente a produção.

No estágio 4, ocorre a emissão do pendão e pelo crescimento acentuado dos estilo-estigmas da espiga. Temperaturas elevadas, escassez de umidade, baixa

luminosidade e deficiências nutricionais podem antecipar demasiadamente a emissão do pendão, bem como a formação e maturação do grão do pólen.

No estágio 5, há o florescimento e a polinização. Devido à importância do estilo-estigma para a concretização da produção, deve-se evitar neste estágio a sua destruição, principalmente pela ocorrência de pragas (lagarta na espiga).

No estágio 6, há a formação de grãos leitosos, que é extremamente dependente da disponibilidade de água. Neste período, a fotossíntese mostra-se imprescindível e evidencia-se a translocação efetiva de nitrogênio (N) e fósforo (P) para os grãos em formação.

No estágio 7, há a formação de grãos pastosos. Este período é destinado exclusivamente ao ganho de peso por parte do grão. A deficiência hídrica fatalmente acarretará maior porcentagem de grãos leves e pequenos, comprometendo a produção.

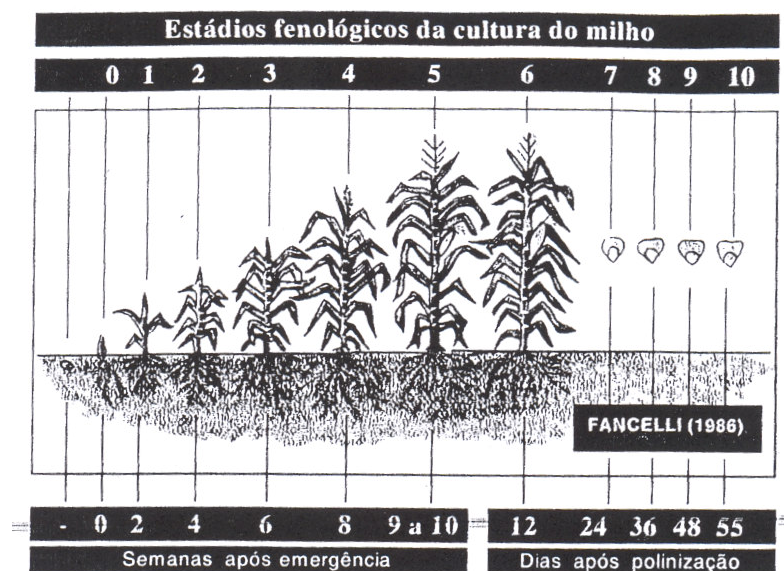
No estágio 8, há o início da formação de “dentes”, os grãos encontram-se em fase de transição, do estado pastoso para o farináceo, tornando-se cada vez mais endurecidos. Esse período é o momento ideal de corte do milho para a silagem.

No estágio 9, há a formação dos grãos “duros”, constata-se acelerada perda de umidade em toda a planta, há maturação morfológica das sementes.

No estágio 10, os grãos tornam-se maduros fisiologicamente. Há a paralisação total de acúmulo de matéria seca nos grãos, coincidindo com o processo de senescência natural das folhas das plantas, as quais, gradativamente, começam a perder a sua coloração verde característica. O ponto de maturidade fisiológica caracteriza o momento ideal para a colheita, em função da máxima produção (máxima massa de matéria seca).

A Figura 3-2 representa as 10 fases do crescimento do milho.





**Figura 3-2 - Fases de crescimento do milho, de acordo com Fancelli et. al. (2000)**

### **3.8. Produtividade da cultura de milho**

De acordo com Vilarinho (2005), em países como França, Itália e Estados Unidos da América, a produtividade média de milho é superior a 8.000 quilos por hectare (kg/ha), enquanto no Brasil está em torno de 3.300 kg/ha, inferior à produtividade média mundial que, em 2001, foi de 4.427 kg/ha. No entanto, a produtividade brasileira tem crescido sistematicamente, passando de 1.874 kg/ha, em 1990, para 3.330 kg/ha, em 2004. Esse aumento de produtividade se dá, em parte, pelo uso cada vez mais amplo, por parte dos agricultores, de cultivares melhoradas e aperfeiçoamento das condições de cultivo, com a adoção de tecnologias modernas, como correção do solo, adubação, controle eficiente de plantas daninhas e pragas, uso de máquinas mais eficientes e precisas para plantio, aplicação de defensivos, etc.

Na Tabela 3-2, de acordo com Beringielli (2005), são descritos os valores de produtividade para diferentes culturas.

**Tabela 3-2- Produtividade de culturas irrigadas com esgoto sanitários (ton.ha<sup>-1</sup>)**

Água de irrigação	Trigo <sup>a</sup>	Batata <sup>a</sup>	Algodão <sup>a</sup>	Sorgo <sup>b</sup>	Milho <sup>b</sup>	Girassol <sup>b</sup>
Efluente primário	3,45	20,78	2,3	8,7	8,9	2,2
Efluente lagoa estabilização	3,45	22,31	2,41	8,6	8,6	2,3
Água + NPK <sup>c</sup>	2,7	17,16	1,71	9,1	8,1	1,9

Fonte: <sup>a</sup> Feigin et. al. (1991) e <sup>b</sup> Marecos do Monte e Mara (1987), Citados por Beringielli (2005), <sup>c</sup> Nitrogênio, fósforo e potássio

Piveli (2006), em experimento desenvolvido na cidade de Lins (SP), utilizando efluente tratado de lagoa facultativa em cultura de milho, concluiu que, onde se utilizou efluente como fonte de água e nutrientes a produção equivalente a 7,02 ton/ha ficou um pouco abaixo das parcelas em que o efluente foi utilizado como fonte de água, mas com adubação complementar, que foi equivalente a 8,30 ton/ha, que por sua vez, ficou bastante próximo ao resultado obtido com irrigação convencional (com adubação convencional), equivalente a 8,33 ton/ha. Concluiu que apesar disso, a diferença não é muito grande e o uso do esgoto tratado representa uma economia substancial de água e de fertilizantes.

### **3.9. O solo**

De acordo com Melo et.al. (2001), o solo, em boas condições para o crescimento de plantas, é constituído, em seu horizonte superficial (horizonte A), por aproximadamente 50% de material sólido, 25% de água e 25% de ar. A proporção de água e de ar no solo pode variar de maneira bastante acentuada e muito rapidamente, estando associada principalmente aos tamanhos e quantidades de poros existentes, disponibilidade de água e drenagem do terreno. A fase sólida, ao contrário, é mais constante.

A fase sólida comporta uma fração inorgânica (mineral) geralmente dominante, apresentando, entretanto, sempre associada uma fração orgânica, cuja importância é

maior em volume que em peso, face sua baixa densidade em relação à fase mineral, Melo et.al. (2001).

A matéria orgânica viva, representada pela macro e microfauna, desempenha igualmente um papel muito importante na formação e no funcionamento dos solos. Pode-se dizer que graças à quantidade e à diversidade dos seres vivos presentes, o solo constitui um verdadeiro reator biológico. Um dos principais processos no qual eles se acham envolvidos concerne à degradação da matéria orgânica e, por conseguinte, apresentam papel relevante nos ciclos dos elementos que dependem diretamente da matéria orgânica, como o do carbono e do nitrogênio. Além disso, os seres vivos participam também da degradação das rochas e dos minerais e de associações organo-minerais que estruturam o solo em diferentes escalas, Melo et.al. (2001).

Entre as propriedades físicas do solo podem ser citadas: textura, estrutura, porosidade, cor, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica, pegajosidade, friabilidade, condutividade térmica, densidade, Melo et.al. (2001).

O sistema de poros de um solo apresenta-se bastante variado, tanto no que diz respeito à quantidade, quanto às dimensões. A porosidade representa uma importante propriedade do solo, pois a ela se relaciona diretamente a circulação e retenção de água, a drenagem e a aeração, Melo et.al. (2001).

Nos solos saturados, a água preenche totalmente os poros. O funcionamento mais normal de um solo ocorre em meio não saturado, ou seja, quando o solo é umedecido através da percolação lenta da água capilar. Quando a água circula lentamente na porosidade fina, o solo desempenha um papel de filtro, retendo substâncias, sejam elas nocivas ou não, Melo et.al. (2001).

A matéria orgânica é de grande importância para a formação de agregados numa ampla variedade de tipos de solos. A fração orgânica do solo apresenta elevada capacidade de retenção de água, Melo et.al. (2001).

A taxa de infiltração da água no solo é afetada pelo volume de poros, enquanto que a capacidade de retenção de água é afetada pelo número e distribuição dos poros e pela sua superfície específica, Melo et.al. (2001).

A capacidade de troca catiônica (CTC), que define a habilidade do solo em reter e adsorver cátions, está relacionada à presença de cargas negativas na superfície das partículas coloidais (argilominerais, óxidos e oxihidróxidos de Fe e Al e compostos orgânicos – húmus), Melo et.al. (2001).

O pH é outra propriedade química essencial, pois é ele quem define o comportamento dos elementos químicos no solo e também o comportamento dos seres vivos (fauna e flora), Melo et.al. (2001).

Em geral, os solos se situam em meios aerados, com muito oxigênio (ambiente oxidante). Entretanto, em certas situações a água pode ocupar totalmente os poros do solo e a aeração é baixa (caso dos solos hidromórficos). Nesta situação a difusão do oxigênio é mais baixa. O mesmo ocorre com solos ricos em matéria orgânica, onde o consumo de oxigênio pelas bactérias é muito grande. Quando o oxigênio começa a faltar (condições anaeróbias), outros elementos ou moléculas de potencial de oxi-redução mais baixo tornam-se fontes de energia e receptores de elétrons. Os elementos mais afetados por estas condições de oxi-redução são Fe e Mn, Melo et.al. (2001).

### **3.10. Nutrição mineral das plantas**

Ainda de acordo Melo et.al. (2001), para crescer e produzir, as plantas necessitam de 16 elementos químicos, considerados essenciais, e de outros que, embora ainda não considerados como essenciais, têm efeito positivo sobre o desenvolvimento dos vegetais.

Três dos constituintes das plantas, C, H e O, são retirados do ar, na forma de gás carbônico, e da água. O gás carbônico penetra pelos estômatos da folha e, no interior do cloroplasto, sofre um processo de redução através da via metabólica denominada ciclo de Calvin, transformando-se em carboidratos. É o processo da fotossíntese.

A água, adsorvida predominantemente pelo sistema radicular das plantas, sofre fotólise, liberando oxigênio, que é devolvido à atmosfera através dos estômatos, e íons hidrogênio, usados para formar poder redutor (NADPH), que é utilizado nas reações de oxirredução que ocorrem no ciclo de Calvin.

Os elementos N, P, K, Ca, Mg e S, denominados macronutrientes, pois aparecem na composição do tecido vegetal em maiores quantidades, as plantas os retiram primordialmente do solo.

No caso específico do nitrogênio, em algumas espécies de plantas, ocorrem associações com microrganismos que são capazes de utilizar o N<sub>2</sub> presente na atmosfera em um processo denominado fixação simbiótica do nitrogênio.

Os elementos Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B e Cl, denominados micronutrientes, pois aparecem na composição do tecido das plantas em menores proporções, também são retirados, em quantidades mais significativas, do solo.

Os elementos Co e Ni já poderiam ser considerados essenciais dentro dos conceitos de essencialidade atualmente adotados. O Co, por participar da composição de biomoléculas essenciais como a cobalamina e as enzimas desidratases, fosforilases, mutases e transferases. O Ni, por sua vez, participa do sítio ativo da enzima uréase.

Elementos como Hg, Pb, Al e Cr têm sido estudados mais sob o ponto de vista da fototoxicidade. Paganini, Souza & Bocchiglieri (2004), citando Paganini (2003), ressaltam que a disposição no solo com esgotos com altos teores de metais pesados deve ser levada com critério. Sua acumulação ao longo do perfil vertical do solo pode

propiciar fitotoxicidade às plantas, além de constituir um risco à saúde humana, na medida em que esses metais podem ser introduzidos na cadeia alimentar.

Lemos (2000), considera os elementos que apresentam maior risco a saúde pública, assim como os mais comumente encontrados em casos de contaminação de solos: alumínio, ferro, crômio, antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio, vanádio e zinco. Presentes no esgoto doméstico em maior concentração são encontrados: zinco, cádmio, cobre níquel, chumbo, e, crômio (Coraucchi Filho et al., 1999).

### **3.11. Salinidade da água de irrigação**

Para avaliar a qualidade físico-química da água é necessário averiguar os seguintes parâmetros: concentração total de sais dissolvidos, condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio, íons tóxicos ou reativos aos elementos de irrigação e pH, entre outros. A capacidade da água de conduzir corrente elétrica é maior, quanto maior for a concentração de eletrólitos. Isto pode ser medido através da condutividade elétrica que está relacionada com a concentração de sais solúveis. A condutividade elétrica pode ser medida principalmente em deciSiemens por metro ou microSiemens por centímetro ( $\text{dS.m}^{-1}$ ;  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), ou ainda por outras unidades correlatas.

Paganini (1997) cita que a literatura australiana recomenda a classificação das águas de irrigação de acordo com o total de sais dissolvidos (TSD), conforme Tabela 3-3

**Tabela 3-3 - Classes de salinidade para águas de irrigação segundo EPA**

Descrição	TSD (mg/l)	CE (µS/cm) (25°C)
Baixa salinidade	0 – 175	0 – 270
Média salinidade	125 – 500	270 – 780
Alta salinidade	500 – 1500	780 – 2340
Muito alta salinidade	1500 – 3500	2340 – 5470
Extremamente alta salinidade	> 3500	> 5470

A presença de altas concentrações de sódio na água de irrigação pode dificultar a agregação do solo e o seu endurecimento, podendo também ser tóxico às plantas visto que a presença de sais atua no potencial osmótico afetando a capacidade de absorção d'água pelas raízes. Além disso, pode acarretar a perda de permeabilidade no solo pela adsorção dos íons de sódio às partículas do solo, as quais geralmente acumulam-se nas primeiras camadas do solo.

Segundo a Portaria 518/04, o limite máximo de sódio na água para consumo humano é de 200 mg.l<sup>-1</sup>. A presença de sódio no esgoto doméstico em concentrações da ordem de 30 a 50 mg.l<sup>-1</sup> pode causar problemas de salinidade, conforme Coraucci Filho et. al. (1999<sup>a</sup>).

É importante que sejam tomados os devidos cuidados quando da aplicação de efluentes no solo, principalmente evitando uma eventual salinização no solo devido às concentrações excessivas do íon Na<sup>+</sup> no mesmo. Para avaliação da salinidade, utiliza-se a Relação de Adsorção do Sódio (RAS), citado por Stefanutti (2006):

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

**Equação 3.4**

Onde:

RAS = Razão de adsorção de sódio

As concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são determinadas no extrato saturado do solo ou no efluente a ser utilizado, em mg/l, e para a equação devem ser utilizadas em miliequivalente por litro (mE/l). Desta forma, as concentrações de Na, Ca, e Mg para serem convertidas em mE/l devem ser divididas respectivamente por 23, 20 e 12,2.

Em função da condutividade elétrica e do RAS, de acordo com o diagrama da, a água para irrigação pode ser classificada quanto ao perigo de salinização do solo.

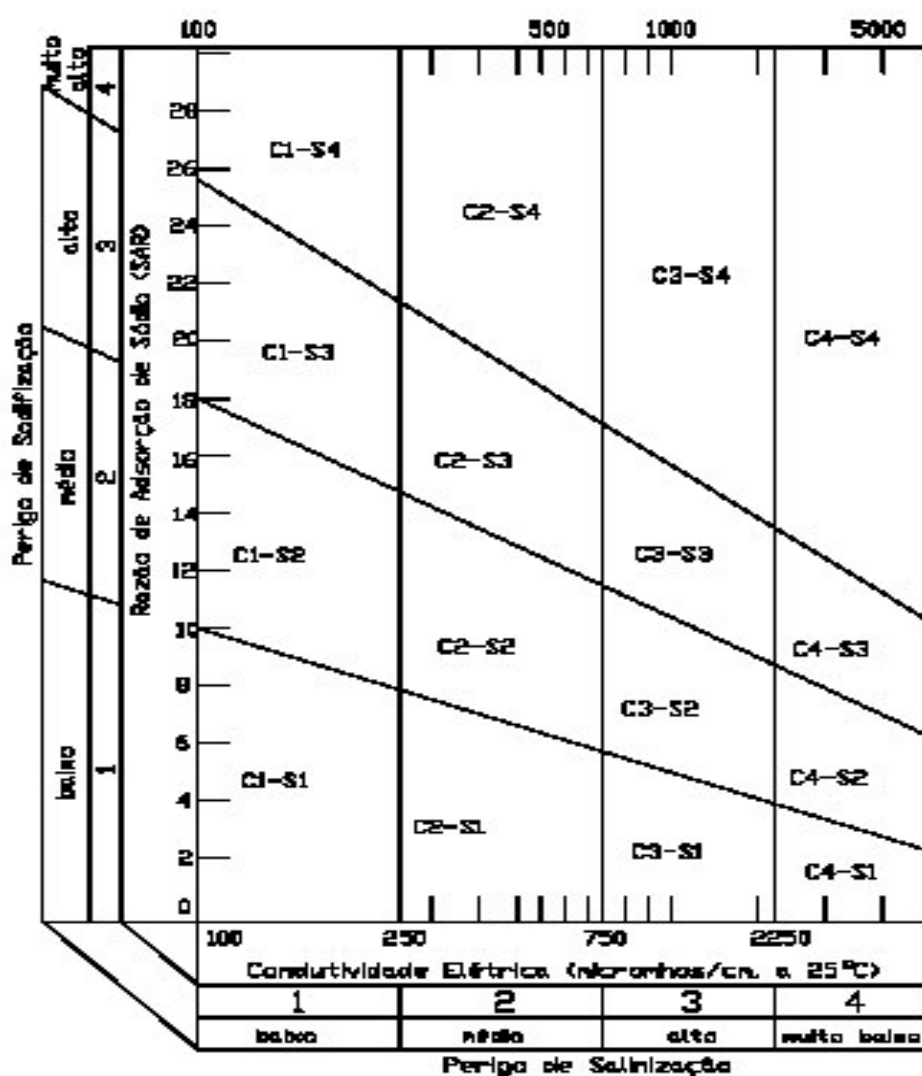


Figura 3-3 - Diagrama para classificação de água de irrigação de (U.S. Salinity Laboratory Staff - Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos) citado por Stefanutti (2006)



Quanto ao perigo de salinização (relacionados aos sais presentes no efluente, entre eles o sódio, o cálcio e o magnésio, detectado pela condutividade elétrica):

C1: Águas com baixa salinidade. Pode ser usada na maioria das lavouras e em quase todos os solos, com pequeno risco de salinização, salvo se a permeabilidade for extremamente baixa;

C2: Águas com salinidade média. Pode ser usada na em solos que apresentam lixiviação moderada. As plantas com baixa tolerância salina podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem perigo;

C3: Águas com salinidade alta. Não pode ser usada em solos de drenagem deficiente. Se presta para culturas com boa tolerância salina;

C4: águas com salinidade extremamente alta. Não devem ser usadas para irrigação, salvo em plantas com alta resistência salina em solos bastante permeáveis, e abundantemente irrigadas.

Quanto ao perigo de sodificação (relacionado ao sal sódio) :

S1: água com baixa proporção de sódio, pode ser usado quase em todos os tipos de solo, sem risco de acumulação de quantidades nocivas de sódio permutável. Faz-se ressalvas apenas as lavouras muito sensíveis ao sódio;

S2: água com proporção média de sódio, envolve certo risco em condições de lixiviação deficiente, em terrenos de textura fina com elevada capacidade catiônica. Pode ser usada em solos orgânicos ou de textura grossa com boa permeabilidade.

S3: água com proporção elevada de sódio, pode conduzir à quantidades perigosas de sódio permutável na maior parte dos solos, aceitável apenas em condições de boa drenagem e lixiviação intensa;

S4: água com proporção muito elevada de sódio, geralmente é inadequada para irrigação.

As propriedades físicas dos solos são muito afetadas pelo aumento da impermeabilidade, causando drástica redução da sua condutividade hidráulica. Em solos argilosos, a atuação do sódio age na sua desestruturação química, o que pode

acelerar de forma acentuada o fenômeno da colmatção. Outra preocupação da presença de sais na solução do solo é que eles atuam no potencial osmótico, afetando a capacidade de absorção radicular de água pela planta e conseqüentemente no metabolismo.

A recuperação de solos salinos e alcalinos é trabalhosa e exige emprego de técnicas de irrigação, drenagem e mecanização, além de aplicação de corretivos. Ela consiste principalmente no uso de água de boa qualidade para promover a lixiviação para camadas inferiores do solo, ou na adição de gesso para proporcionar a substituição do  $\text{Na}^{2+}$  por  $\text{Ca}^{+}$ .

Por fim, é prática na engenharia de irrigação desestimular o uso de águas de irrigação contendo concentração salina em torno de  $700 \text{ mg.L}^{-1}$ . Concentrações superiores a este valor são prejudiciais a algumas plantas, e teores acima de  $2.000 \text{ mg.L}^{-1}$  são nocivos à maioria dos cultivos.

De acordo com Piveli (2006) a condutividade elétrica do efluente tratado deverá estar abaixo de  $750 \mu\text{S/cm}$  (a  $25^{\circ}\text{C}$ ) para evitar o risco de salinização do solo.

### **3.12. Presença de metais no fruto**

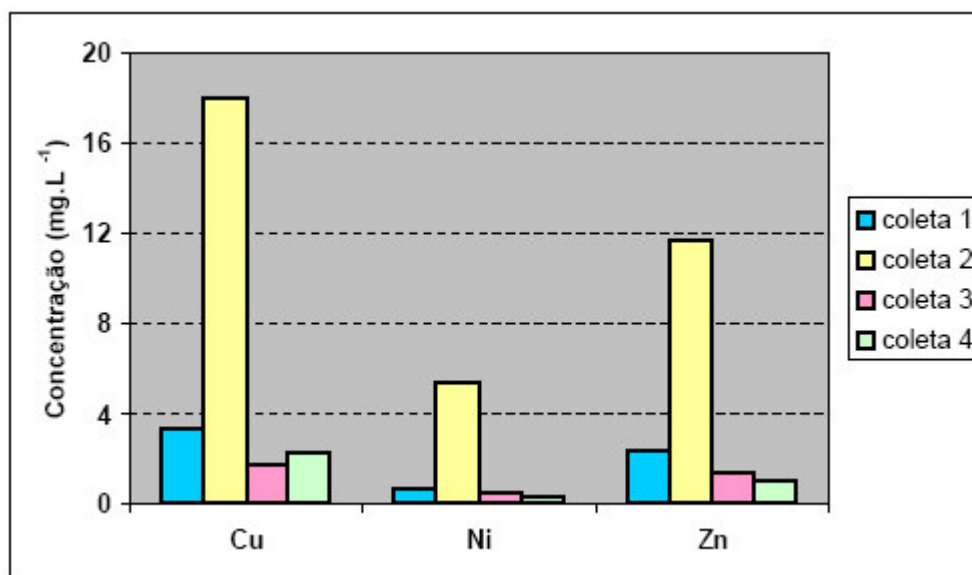
O Decreto no 55.871, de 26/03/1965, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, estabelece os Limites Máximos de Tolerância para presença de substâncias, com concentrações acima da qual, se considera alimento impróprio para consumo humano, com a ingestão destes alimentos ou água, prejudiciais à saúde. Na tabela descreve-se alguns limites de metais considerados neste trabalho.

**Tabela 3-4- Limites de metais nos alimentos, de acordo com ANVISA**

<b>Elemento</b>	<b>mg/kg</b>
Cromo	0,1
Níquel	5,0
Zinco	50
Chumbo	0,5

Vieira (2004) avaliou a concentração de metais nos grãos de milho em experimento realizado em Limeira SP, utilizado efluente anaeróbio, de lagoa anaeróbia, em irrigação por sulcos.

As características do efluente utilizado por Vieira (2004) quanto aos metais Cu, Ni, e Zn estão expressas no gráfico da Figura 3-4

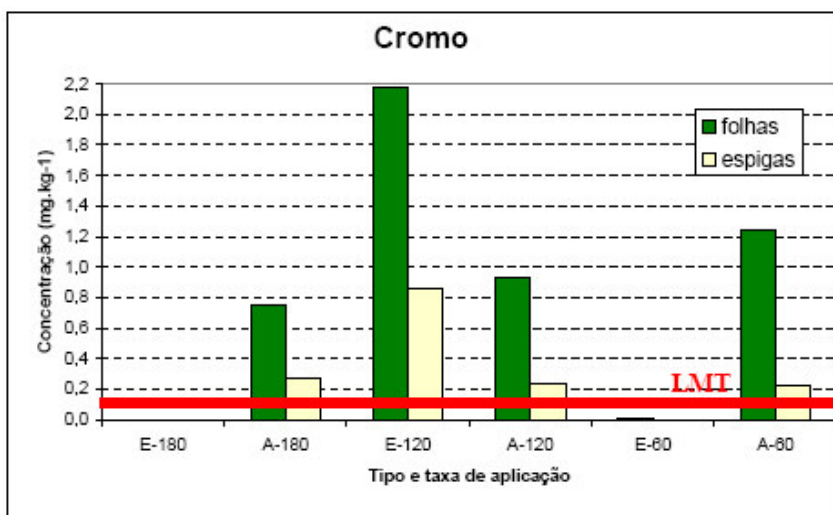


**Figura 3-4 - Concentrações de Cu, Ni e Zn, em amostras de efluente a ETE Graminha**

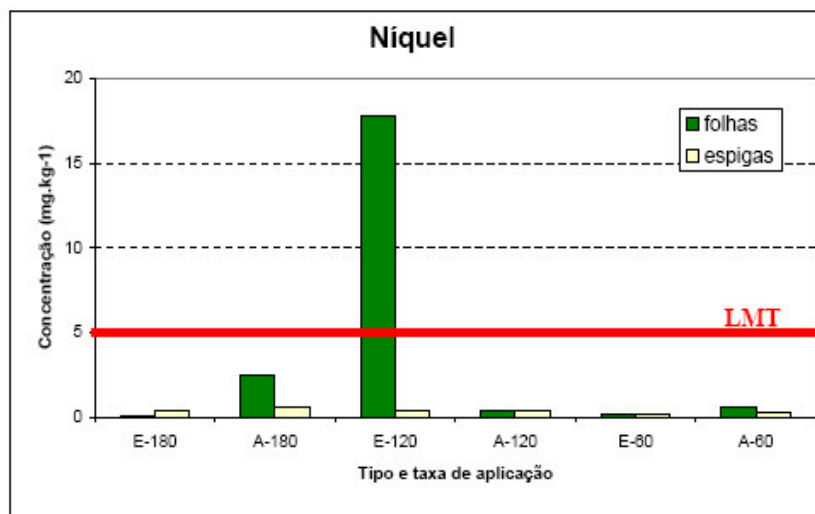
Nas Figura 3-5 a Figura 3-8 são apresentados os valores de concentrações de alguns metais pesados, incorporados às folhas e grãos de milho, via irrigação com os efluentes, na segunda safra realizada, de acordo com suas respectivas lâminas de hídricas. Foi observado que nos grãos de milho, os metais cromo, zinco e chumbo,

tiveram valores acima do recomendado pela ANVISA, para consumo humano, sendo recomendado não se utilizar destes efluentes na irrigação. No entanto, não se deve generalizar, pois, no caso dos efluentes da ETE Graminha (Limeira SP), é sabido as elevadas concentrações de metais nos esgotos, por causa da existência de muitas indústrias, de “fundo de quintal”, que trabalham na confecção de bijuterias.

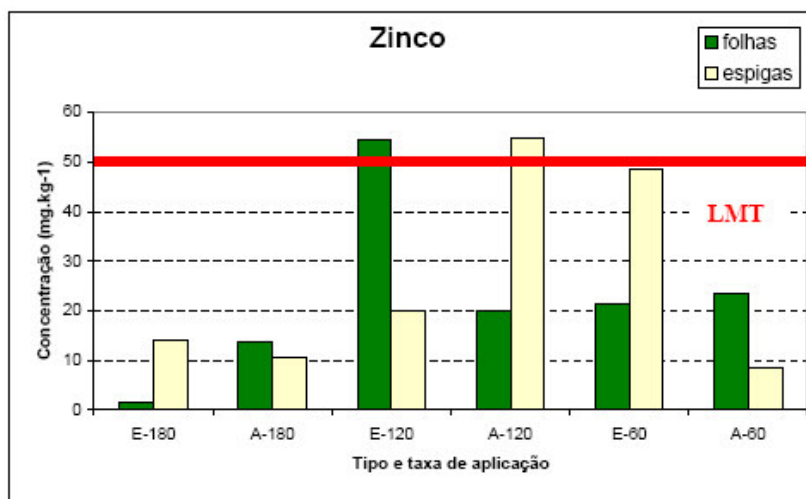
**Figura 3-5 - Concentração média de Cr nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L/sulco por turno de irrigação**



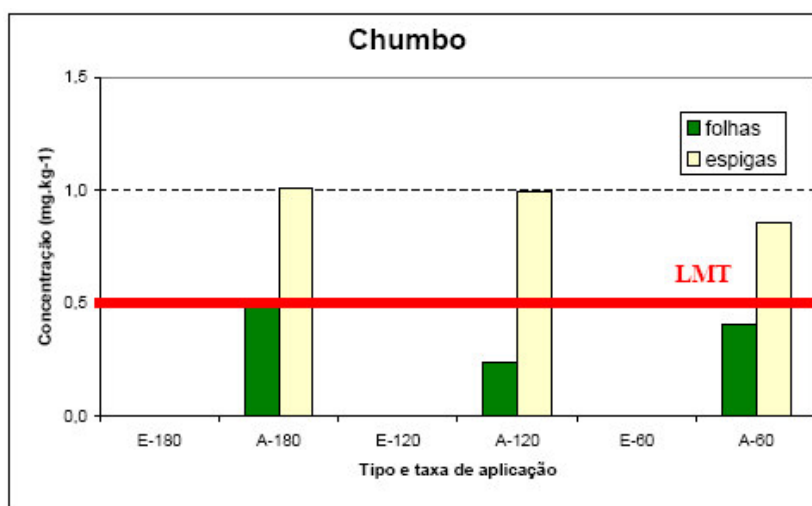
**Figura 3-6 - Concentração média de Ni nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L/sulco por turno de irrigação**



**Figura 3-7 - Concentração média de Zn nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L /sulco por turno de irrigação**



**Figura 3-8 - Concentração média de Pb nas folhas e espigas de milho irrigado com efluente (E) e com água (A), com taxas de 60,120 e 180 L/sulco por turno de irrigação**



Anjos e Mattiazzi (2000) pesquisaram metais pesados em plantas de milho cultivadas com biossólido (ou lodo de esgoto), que é um subproduto do tratamento de esgotos, e detectaram que para o metal cobre, as plantas que se desenvolveram nos tratamentos com biossólido, independentemente do tipo de solo, apresentaram maiores teores em todas as partes analisadas, do que as plantas desenvolvidas nos tratamentos testemunha. Os teores de Zn encontrados, em todas as partes das plantas de milho, nos tratamentos com biossólido foram maiores, o que evidencia que a adição do resíduo promoveu maior disponibilidade do elemento.

### 3.13. Legislação brasileira

Atualmente há pelo menos três referências de legislação e normativas a respeito da utilização de efluentes, na forma de reúso em fertirrigação. Citam-se os seguintes:

Lei Nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991 (Projeto de lei nº 100/91, do deputado Uebe Rezeck), Diário Oficial do Estado de São Paulo, v.101, n.241, 20/12/91. Gestão Luiz Antonio Fleury Filho Assunto: Meio Ambiente, que “Dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Mogi Guaçu e Médio Grande, estabelece critérios para o uso e ocupação do solo nesta área e dá outras providências”. Citam-se dentre outros artigos de interesse:

**“Artigo 6.º** – Somente será permitida a irrigação ou fertirrigação de solo através da aplicação de efluentes líquidos industriais de origem orgânica, desde que seja comprovado que as características químicas dos mesmos confirmam alta biodegradabilidade no solo, não havendo presença de compostos orgânicos metálicos.”

**“Parágrafo único** – Deverão, necessariamente, ser respeitadas as taxas de aplicação de acordo com as características geológicas da área, estabelecidas através de prévio estudo técnico, aprovado pelos órgãos estaduais de controle ambiental.”

NORMAS BRASILEIRAS - NBR-13.969/97 – ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – OS USOS PREVISTOS PARA O ESGOTO TRATADO (item 5.6.2 NBR 13.969 / 97), Cita-se:

“Devem ser considerados todos os usos que o usuário precisar, tais como lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção das água nos canais e lagos dos jardins, nas descargas dos banheiros, etc. Não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramas rastejantes(por exemplo, melão e melancia). Admite-se seu reúso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras arvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita.”

RESOLUÇÃO N o 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, (publicada no DOU - Diário Oficial da União, em 09/03/06), Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Cita-se:

**“Art. 3º** O reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:”

**“II** - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;”

**“§ 2º** As diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso definidas nos incisos deste artigo serão estabelecidos pelos órgãos competentes”.

Em julho de 2005 a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, órgão pertencente ao Governo do Estado de São Paulo, divulgou para colher opinião pública entre entidades interessadas, a minuta de uma proposta para Instrução técnica (nº 33) com objetivo de disciplinar a prática de reúso de água proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitários, visando a proteção da qualidade dos meios solo e água subterrânea, bem como a proteção da saúde humana. Esta minuta estabelece entre outros fatores que área escolhida não deve estar contida no domínio das Áreas de Preservação Permanente – APP ou de reserva legal, não estar contida no domínio de área de proteção de poços, não estar em áreas de proteção máxima de aquífero, e áreas de proteção aos mananciais, afastamento de 50 metros de vias de domínio público, em irrigação de culturas, afastamento de, no mínimo, 500 metros de núcleos populacionais, afastamento de 200 metros de cursos d’água e coleções hídricas, profundidade mínima do nível do aquífero freático na área irrigada de 3 metros, e declividade máxima de até 15 % para a área destinada à irrigação.



## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Local de implantação do campo experimental**

Para determinação do local de implantação do experimento foram levados em consideração vários fatores, tais como, se o tipo de solo era apropriado para fins agrícolas, a proximidade com a fonte do efluente que será utilizado, se a demanda de água da cultura era compatível com quantidade de efluente disponível, além de outros aspectos que poderão constar em legislação pertinente, tais como distancias de poços existentes, nascentes, residências, nível de lençol freático entre outras.

Deve-se ressaltar que no Brasil ainda não existe legislação homologada específica que trata de padrões e critérios para irrigação com efluentes de sistemas de tratamento de esgoto. Porém, para escolha da área para instalação do projeto foi observado que não deveria estar contida no domínio das Áreas de Preservação Permanente – APP ou de reserva legal, que não deveria estar contida no domínio de área de proteção de poços, não estar em áreas de proteção máxima de aquífero, e áreas de proteção aos mananciais, afastamento de pelo menos 50 metros de vias de domínio público, pelo menos 500 metros de núcleos populacionais, e profundidade mínima do nível do aquífero freático na área irrigada de 3 metros, além de fatores que pudessem ou não interferir na pesquisa, tais como segurança (quanto a furtos de

materiais e frutos – milho), possibilidade da água de lençol estar contaminada, sombra de árvores nas proximidades entre outros.

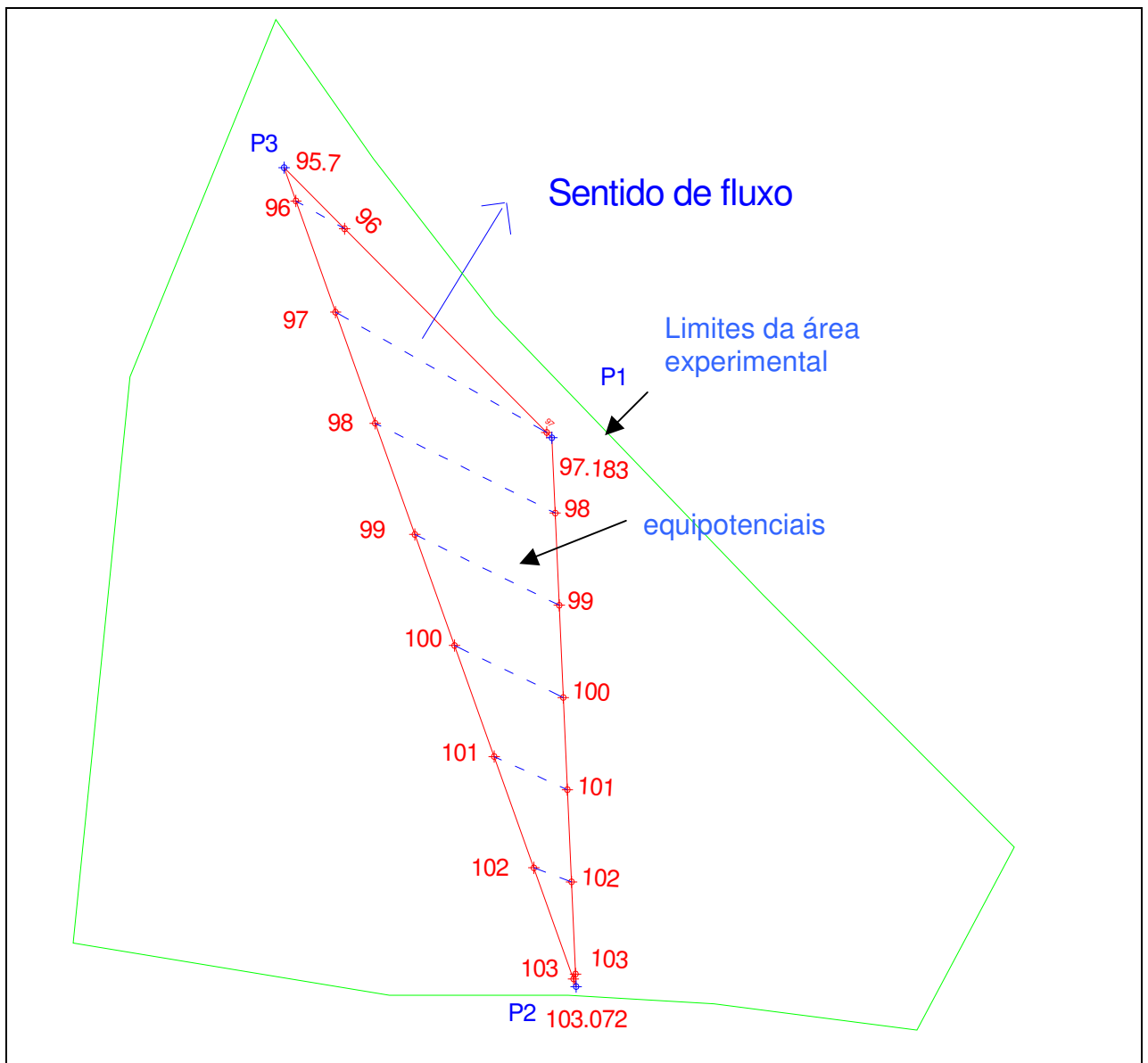
A princípio, optou-se por avaliar a possibilidade de utilização de algumas áreas internas e externas da Estação de tratamento de esgoto de Franca, SP, pertencente a Sabesp, a ETE Franca. A primeira área investigada foi interna a ETE Franca e existente próxima aos digestores anaeróbios, a segunda era parte dos jardins da ETE Franca, e, a terceira área investigada está situada em terreno ao lado da ETE Franca e também pertencente a Sabesp, porém ambas não foram escolhidas devido, respectivamente, a existência de excesso de área sombreada no local, ao espaço disponível ser insuficiente, água de lençol freático possivelmente estar contaminada e a má qualidade de solo para fins agrícolas devido a presença de cascalhos.

Após consulta ao proprietário de uma fazenda localizada no município de Restinga SP, vizinho ao município de Franca, foram investigadas outras duas áreas. Na primeira, que é um pasto para criação de gado, foi feita a investigação do lençol freático com a perfuração de 3 furos, e neste local após 12 metros de profundidade, que era a profundidade de alcance da sonda, não foi encontrado água. Como a pesquisa previa a avaliação da contaminação do lençol freático, tal área foi descartada. Desta forma, foi oferecida uma outra área nesta mesma fazenda, também utilizada para pastagem. Nesta área foram feitas investigações do nível do lençol freático ( com poços entre 7,60 a 13,10 metros), e análise de solo. Além das características da área, do solo e de topografia, o proprietário que é usuário de biossólido, aceitou ceder a área para pesquisa, por ele ter boa aceitação quanto às técnicas relacionadas ao saneamento se pré-dispôs a adotar a irrigação em larga escala, tornando-se um usuário do sistema, caso a técnica venha a ser regulamentada. Após estas investigações, concluiu-se que a área era adequada, e procedeu-se a montagem do campo experimental.

## **4.2. Hidrogeologia Regional**

O local escolhido possui área total disponível de 7387 m<sup>2</sup>, e coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator – sistema de coordenadas) de um dos pontos é 243732 E, 7715351N. O levantamento planimétrico foi feito com aparelho de GPS (Global Positioning System), e foi feita investigação do subsolo através do método de sondagem (SPT). Foram feitos 3 furos não alinhados, tendo o primeiro com nível de água aos 4,8 m em relação à superfície, o 2º com 4,2 m em relação à superfície, o 3º com 4,3 m em relação à superfície. A partir destes dados foi feito também o levantamento altimétrico para determinação das linhas equipotenciais do lençol freático.

Em função das linhas equipotenciais do lençol freático, foi projetado o posicionamento das parcelas, ou o delineamento experimental, conforme Figura 4-1 e Figura 4-2.



**Figura 4-1 - Representação das linhas equipotenciais e sentido de fluxo do lençol freático**



**Figura 4-2 - Vista geral da área do experimento**

### **4.3. Caracterização agronômica e capacidade de retenção de água do solo**

Foram coletadas amostras para análises físicas e químicas do solo para cálculo da calagem, além da abertura de trincheira para avaliação da textura e perfil do solo. As análises químicas indicaram as características de fertilidade do solo a ser utilizado, como sendo Latossolo Vermelho, textura média, de acordo com a classificação da EMBRAPA, e com as características descritas nas Tabela 4-1 e Tabela 4-2 realizadas, nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

**Tabela 4-1 - Resultado de análise de fertilidade de solo**

Amostra	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
(m)		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----						----%---
0-20	5,5	46	9	1,6	22	8	31	31,6	62,4	51
20-40	5,5	34	5	1,1	15	6	31	22,1	52,9	42

**Tabela 4-2 - Resultado da análise de micronutrientes e metais pesados no solo (1)**

Amostra	B	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Zn	Pb
(m)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----							
0-20	0,21	5,5	0,6	-(2)	-	-	0,6	0,24
20-40	0,18	4,7	0,5	-	-	-	0,5	0,14

(1) Extração com DTPA      (2) abaixo do limite de detecção do método

Para extinção da vegetação existente, foi aplicado o herbicida “Velpar K” na dosagem de 1,5 kg para 0,5 ha, (1,5 kg em 150 L de água), aplicado com equipamento tipo “leque” com 4 bicos, sendo dosado 75 mL por bico.

De acordo com os resultados de análise do solo, e de acordo com a Equação 4.1 para determinação da quantidade de calcário, foi feito o cálculo da quantidade de calcário dolomítico a ser usado para correção de acidez do solo. Foi determinada a necessidade de utilização de cerca de 1,5 toneladas de calcário dolomítico PRNT 90, para a área do experimento, de 0,5 ha.

$$NC = ((V2-V1)/PRNT) * CTC$$

**Equação 4.1**

Onde:

NC = necessidade de calcário – ton/ha

V2 = saturação por bases do solo, que se quer alcançar-%

Para a cultura do milho, com produtividade de 8 t ha<sup>-1</sup>: V%=80

V1 = saturação por bases atuais - %

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário

CTC = capacidade de troca de cátions do solo - mmolc dm<sup>-3</sup>

A aplicação de calcário foi feita com auxílio de um trator com equipamento de distribuição de calcário acoplado, conforme Figura 4-3



**Figura 4-3 - Aplicação de calcáreo PRNT 90 na área experimental**

A escolha da irrigação por sulcos foi feita de forma a evitar a liberação de aerossóis no ar que ocorre quando da utilização de aspersores para irrigação com esgoto. A utilização deste processo de irrigação traz outras vantagens, tais como a redução de equipamentos mecânicos que possam vir a interromper o processo e a minimização dos gastos de energia.

A determinação dos volumes de efluentes por sulco e por rega, de acordo com as profundidades de irrigação, foi estabelecido em função da análise de capacidade de retenção de água no solo, tendo sido coletado amostra indeformável para tal análise, e os resultados estão descritos na Tabela 4-3

Para coleta foi utilizado trado Uhland para amostra não deformada, conforme Figura 4-4. Foram tiradas 4 amostras nas profundidades 0 - 25 e 25 - 50 cm, foram levadas ao laboratório de solos da Unicamp e foram obtidas as densidades real (relação entre massa e volume), e a global do solo, que é a relação entre a massa de uma amostra de solo seco a 110 °C e o volume dessa amostra não deformada, incluindo os

espaços ocupados pelo ar e pela água. As amostras de solo foram criteriosamente coletadas e devidamente identificadas, colocadas em latas de alumínio, vedadas com fita adesiva e acondicionadas em caixas, protegidas, para evitar sua deformação durante o transporte.



**Figura 4-4 - Coleta de amostra de solo não deformada**

**Tabela 4-3 - Resultado da análise de solo e volumes por sulco para irrigação**

Capacidade de Retenção de Água											
Ponto	Prof. Irrig. (cm)	Dr (g/cm3)	Dg (g/cm3)	CC (%)	UC (%)	PM (%)	H (mm)	Hi (mm)	R (mm)	Hb (mm)	Hb (mm)
										Aspersão	Sulcos
01	50	2,73	1,145	29,55	27,33	26,72	16,20	12,71	3,49	18,20	25,40
	100	2,74	1,143	29,40	27,41	26,74	30,40	22,75	7,66	32,50	45,50
02	50	2,74	1,30	29,10	27,08	26,20	18,90	13,13	5,72	18,80	26,30
	100	2,73	1,21	28,95	26,93	25,95	36,30	24,44	11,86	34,90	48,90
Médio								12,90		18,50	25,80
								23,60		33,70	47,20

Sendo:

Hb = lâmina bruta de irrigação (lâmina a ser aplicada em cada irrigação);

Hi = lâmina hídrica líquida ou lâmina de água facilmente disponível;



Dr = densidade real do solo;

Dg= densidade global do solo;

CC = umidade do solo na capacidade de campo;

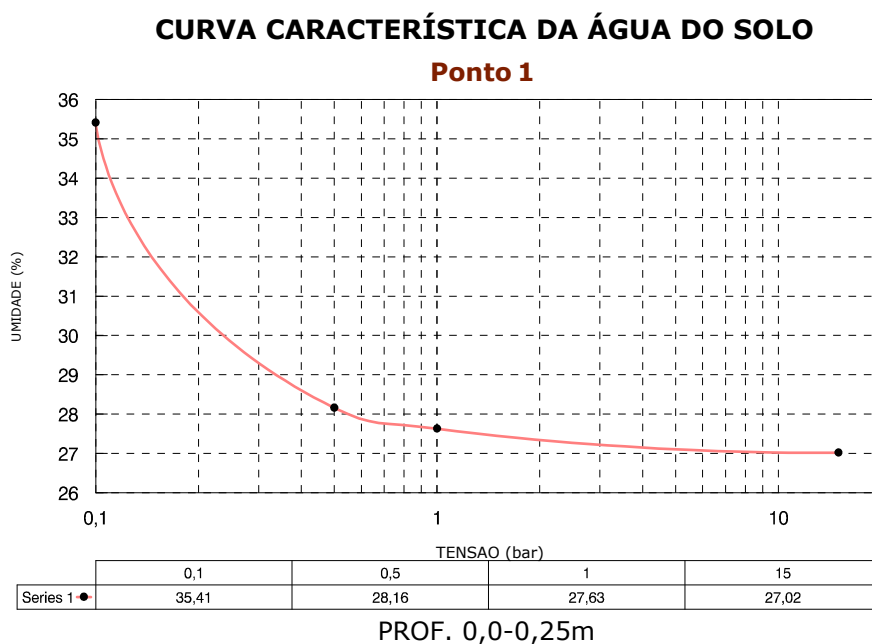
UC = umidade crítica do solo;

PM = ponto de murchamento permanente,

R = reserva de água no solo;

Profundidade de Irrigação: 50 cm = zona de raiz, ideal para a variedade do milho utilizado, e profundidade de irrigação de 100 cm = posição dos coletores de drenagem livre.

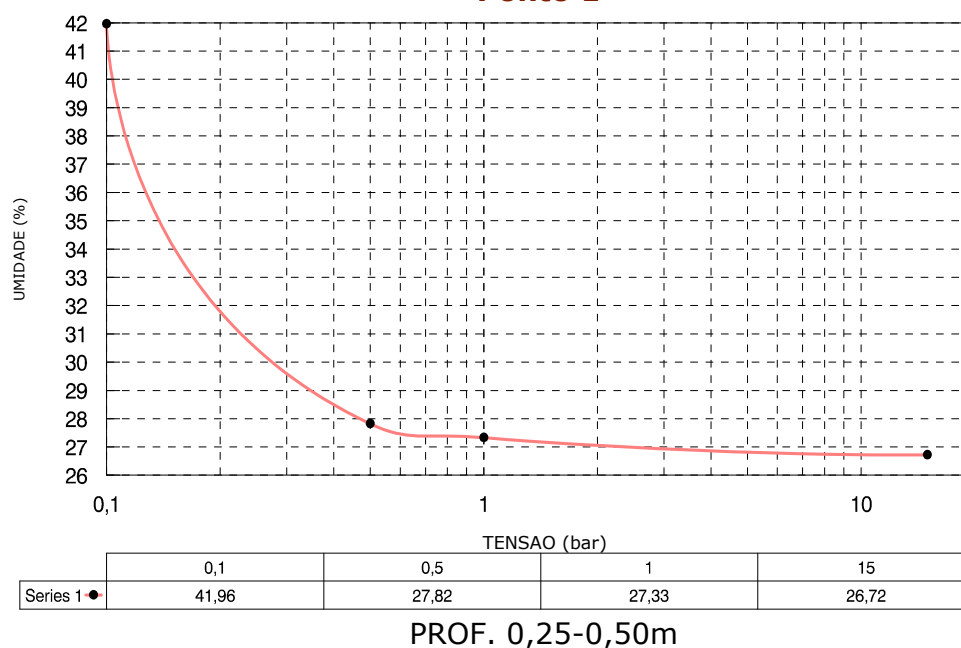
As Figura 4-5 e Figura 4-6, correspondem as curvas de retenção de água no solo referentes ao ponto 1 nas respectivas profundidades 0-25 cm e 25 – 50 cm



**Figura 4-5 - Gráfico da curva característica de concentração de água no solo nas profundidade 0-25 cm**

## CURVA CARACTERÍSTICA DA ÁGUA DO SOLO

### Ponto 1



**Figura 4-6 - Gráfico da curva característica de concentração de água no solo nas profundidades 25-50 cm**

### 4.4. Caracterização dos efluentes anaeróbios desinfetado e não desinfetado

O efluente sanitário utilizado foi o da ETE lagoa Paulistano II, localizada no Bairro Paulistano II, em Franca, SP. O sistema é operado pela concessionária Sabesp, e é composto por 3 lagoas em série, sendo a primeira anaeróbia, com tempo de detenção de aproximadamente 2,5 dias, a segunda facultativa e a terceira de maturação. O efluente utilizado foi o da saída da lagoa anaeróbia. Devido à área escolhida ser agrícola e estar distante aproximadamente 20 km da ETE, o transporte do efluente anaeróbio foi feito através de veículo pertencente a Sabesp, com capacidade para 6,5 m<sup>3</sup> por viagem. Todos os parâmetros analisados relacionados ao esgoto afluente, efluente anaeróbio e água dos poços foram feitos nos laboratórios de Saneamento da FEC/UNICAMP e no laboratório de Controle Sanitário da Sabesp, cujos

métodos estão certificados pela ISO 9001-2000 (International Standard Organization, versão 9001, do ano de 2000) e credenciados no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial) e de acordo com o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – 20a ed.- AWWA (American Water and Wastewater Association).

Na Tabela 4-5 são descritos os resumos dos resultados analíticos do efluente desinfetado (com hipoclorito de cálcio, a 32 mg/L) e não desinfetado, referentes às amostras coletadas nas 1ª e 2ª safras, no total de 16 amostras de cada tipo de efluente.

**Tabela 4-4 - Resumo das características do efluente desinfetado – 1ª e 2ª Safras**

Parâmetro	Unidade	Média	Mediana	Desv. Pad.	maior valor	menor valor
Alumínio total	µg Al/L	647,93	500,00	397,34	1545,00	180,00
Antimônio	µg /L	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00
Arsênio	µg As/L	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00
Bário	µg Ba/L	436,43	500,00	161,61	500,00	50,00
Cadmio	µg Cd/L	50,00	50,00	0,00	50,00	50,00
Chumbo	µg Pb/L	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00
Cobre	µg Cu/L	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00
Coliformes Totais	NMP/100mL	8,9,E+05	1,7,E+03	2,3,E+06	8,7,E+06	1,0,E+00
Cor Aparente	U.C.	772,86	592,00	454,78	1756,00	406,00
Cromo Total	µg Cr/L	46,43	50,00	13,35	50,00	0,05
DBO (5 dias. 20 °C)	mg O <sub>2</sub> /L	87,86	75,00	46,79	201,00	35,00
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	365,14	235,00	326,97	1452,00	204,00
Bac. E. coli (fecal)	NMP/100mL	2,3,E+05	1,2,E+02	5,4,E+05	2,0,E+06	1,0,E+00
Ferro Total	µg Fe/L	1626,71	1553,00	854,96	3640,00	684,00
Manganês Total	µg Mn/L	117,43	116,00	46,66	217,00	0,08
Mercúrio	µg Hg/L	4,64	5,00	1,33	5,00	0,01
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /L	2,73	2,81	1,19	4,78	1,00
Selênio	µg Se/L	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00
Sódio	mg Na/L	72,40	72,45	16,26	98,34	46,74
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> -/L	19,78	20,00	9,14	49,00	10,00
Zinco	µg Zn/L	101,86	100,00	42,89	218,00	0,10
pH		7,10	7,10	0,13	7,30	6,90
Turbidez	NTU	154,86	94,00	222,33	916,00	51,00
Condutividade	mS/cm	999,07	952,50	177,64	1282,00	700,00
Alcalinidade	mg/L	263,15	272,00	49,84	342,00	144,00
SST	mg/L	101,57	103,00	20,98	128,00	62,00
SSF	mg/L	27,29	22,00	15,34	48,00	9,00
SSV	mg/L	74,00	78,00	12,19	88,00	53,00

Parâmetro	Unidade	Média	Mediana	Desv. Pad.	maior valor	menor valor
NTK	mg/L	52,33	51,00	8,21	64,00	42,00
N. Amon.	mg/L	42,59	41,25	12,11	67,10	23,00
Temperatura	°C	18,13	17,50	3,23	23,00	15,00

**Tabela 4-5 - Resumo das características do efluente Não desinfetado – 1ª e 2ª Safras**

Parâmetro	Unidade	Média	Mediana	Desv. Pad.	maior valor	menor valor
Alumínio total	µg Al/L	395,00	395,00		395,00	395,00
Antimônio	µg /L	10,00	10,00		10,00	10,00
Arsênio	µg As/L	10,00	10,00		10,00	10,00
Bário	µg Ba/L	500,00	500,00		500,00	500,00
Cadmio	µg Cd/L	50,00	50,00		50,00	50,00
Chumbo	µg Pb/L	100,00	100,00		100,00	100,00
Cobre	µg Cu/L	100,00	100,00		100,00	100,00
Coliformes Totais	NMP/100mL	6,8,E+06	2,7,E+06	1,2,E+07	4,8,E+07	1,6,E+05
Cor Aparente	U.C.	1176,00	1176,00		1176,00	1176,00
Cromo Total	µg Cr/L	50,00	50,00		50,00	50,00
DBO (5 dias. 20 °C)	mg O <sub>2</sub> /L	79,14	77,50	37,68	190,00	38,00
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	271,50	262,50	85,60	419,00	130,00
E. coli (fecal)	NMP/100mL	1,2,E+06	9,3,E+05	1,2,E+06	4,9,E+06	4,1,E+04
Ferro Total	µg Fe/L	1646,00	1646,00		1646,00	1646,00
Fósforo Total	Mg P/L	11,00	11,00		11,00	11,00
Manganês Total	µg Mn/L	134,00	134,00		134,00	134,00
Mercúrio	µg Hg/L	5,00	5,00		5,00	5,00
Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /L	1,03	1,03		1,03	1,03
Selênio	µg Se/L	10,00	10,00		10,00	10,00
Sódio	mg Na/L	61,00	64,00	15,00	80,00	35,00
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> -/L	30,84	30,84		30,84	30,84
Zinco	µg Zn/L	100,00	100,00		100,00	100,00
pH		7,03	7,10	0,23	7,30	6,50
Turbidez	NTU	100,69	74,00	80,39	371,00	27,00
Condutividade	mS/cm	855,87	807,00	123,80	1154,00	720,00
Alcalinidade	mg/L	256,20	252,00	45,10	335,00	186,00
SST	mg/L	148,88	102,00	122,90	419,00	31,00
SSF	mg/L	33,25	33,50	22,47	65,00	2,00
SSV	mg/L	121,25	78,50	102,55	354,00	29,00
NTK	mg/L	55,29	54,00	10,69	76,00	44,00
N. Amon.	mg/L	43,41	45,20	9,78	60,70	26,00
N. Orgânico	mg/L	21,33	22,50	8,57	30,00	5,00
Helmintos	ovos/larvas	69,50	69,50	27,58	89,00	50,00
Protozoários	cistos	25,50	25,50	19,09	39,00	12,00
Temperatura	°C	17,25	17,00	2,92	23,00	14,00

Utilizando os seguintes valores: Sódio = 66,70 mg/l (média entre as médias para efl. desinfetado e não desinfetado)

- Cálcio = 13,23 mg/l
- Magnésio = 1,30 mg/l
- Condutividade elétrica = 926,47 mS/cm = 0,926 dS/m

Utilizando a equação Equação 3.4, o RAS equivale a 4,68.

De acordo com o diagrama para classificação de água de irrigação:

C3C1 = águas com salinidade alta e baixa sodificação. não pode ser usada em solos de drenagem deficiente. se presta para culturas com boa tolerância salina.

De acordo com tabela da FAO/ONU (Food and Agriculture Organization/Organização das Nações Unidas), citado pela CETESB (2006), o valor de RAS está correlacionado com a condutividade elétrica, o que indica menores possibilidades de problemas com permeabilidade do solo.

#### **4.5. Instalação do experimento**

A partir do posicionamento projetado dos poços de monitoramento, em função do sentido do fluxo da água no lençol freático, foram feitas as demarcações das parcelas, sendo 12 para cada um dos 3 tratamentos (água + adubo (A), efluente anaeróbio desinfetado (EAD) e tratamento efluente anaeróbio (EA)), totalizando 36 parcelas. Para o planejamento estatístico do campo experimental levaram-se em consideração os seguintes dados:

- 4 blocos, 4 repetições: G.L. = 4-1 = 3
- 3 tratamentos: Água + adubação mineral, efluente anaeróbio desinfetado e efluente anaeróbio bruto: G.L. = 3-1 = 2

- 3 Lâminas (0,25 m, 0,50 m e 0,75 m): G.L. = 3-1 = 2
- 3 Tratamentos X 3 Lâminas: G.L. = (3 -1) x (3 - 1) = 4
- Resíduo: G.L. = 24

(G.L.= Grau de liberdade)

Grau de liberdade total = 3 + 2 + 2+ 4 +24 = 35

As parcelas foram delineadas com 4 sulcos, de largura media de 0,30 m e prof. de 0,20 m, sulcos estes com 6 metros de comprimento cada um, espaçados entre si de 1,00 m, entre eixos. As parcelas foram agrupadas em 4 blocos alinhados, considerando cada parcela um tratamento, conforme Figura 4-7.

Foram implantados, na linha central de plantio, de cada parcela, 2 coletores de drenagem livre, distantes um do outro aproximadamente 1,50 m e instalados a 1,00 m de profundidade. Os coletores foram confeccionados utilizando parte de tubo de PVC de diâmetro 6” e comprimento de 0,40 m, adaptando convenientemente, tela de mosquiteiro a uma grade de “ralo”, acoplado a “cap”, ambos de PVC. Nesse conjunto de peças, foi conectada mangueira de borracha, para sucção do líquido armazenado neste coletores. Estes coletores foram instalados a 1,00 m de profundidade e as mangueiras posicionadas na superfície para retirada do líquido. Estes coletores constituem-se nas estações de monitoramento da qualidade de água percolada, avaliada por Cintra (2008).

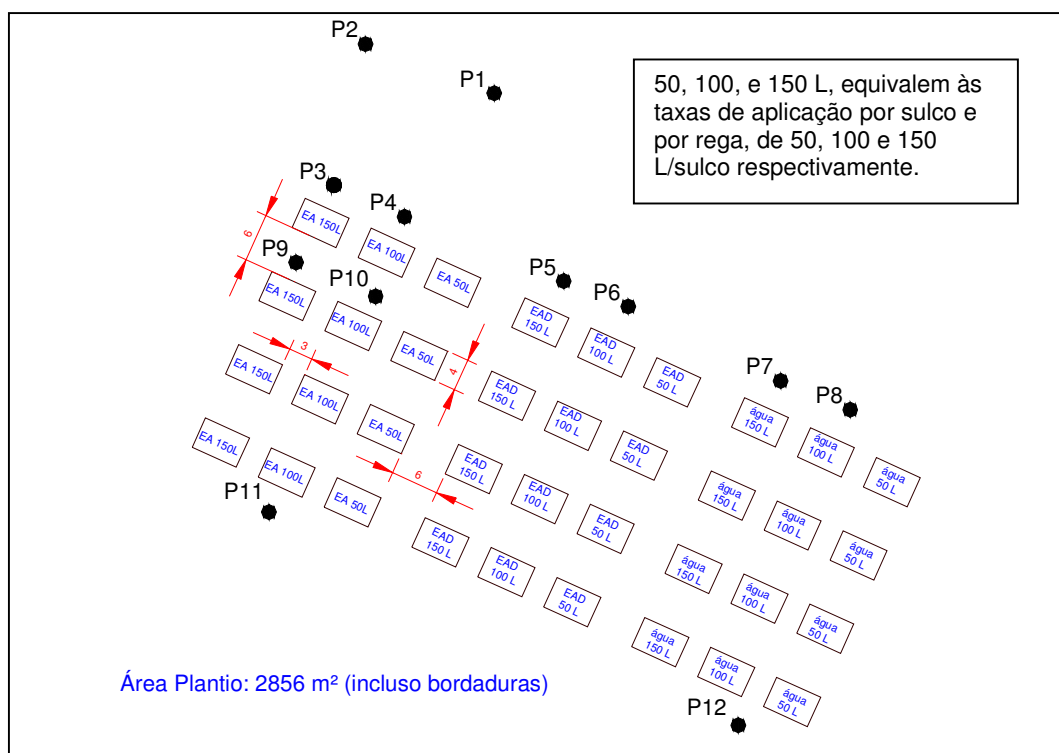
Foram perfurados 12 poços para a coleta de água subterrânea (poços de observação e monitoramento) com profundidade total variando entre 7,60 m e 13,10 m e tendo o nível d`água interno destes poços, em média, de 3 metros de altura (variável). Os poços foram confeccionados conforme a norma CETESB 6410 (1988) “Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas”, tendo sido todos os poços desinfetados, através da correção de pH e aplicação de hipoclorito de sódio, com dosagem determinada em laboratório, antes da irrigação.

A qualidade das águas analisadas nos poços e nos coletores de drenagem livre foram analisadas e os dados tratados por Cintra Filho (2008).

A montagem da área experimental foi concluída com a instalação dos tanques de armazenamento de efluentes (anaeróbio e anaeróbio desinfetado), pela montagem das tubulações para irrigação e, pela instalação do sistema de bombeamento para o tratamento água com adubação mineral.

A adubação de plantio foi feita de forma igualitária para todas as parcelas, correspondentes a 20 kg N/ha, na forma de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 60 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  /ha, na forma de super simples; e, 33 kg  $\text{K}_2\text{O}$ /ha, na forma de KCl, estimado para produtividade de milho, aproximada entre 7 e 8 ton/ha, conforme Figura 4-8.

Na Figura 4-7 esta representado a disposição das parcelas, e o posicionamento dos poços de monitoramento, identificados por P1 a P12.



**Figura 4-7 – Croqui com disposição das parcelas e poços de monitoramento**



**Figura 4-8 –Adubação na linha de plantio**

#### **4.6. 1ª safra (período chuvoso)**

Para a primeira safra foi plantado o milho Pioneer 30K75 em todas as parcelas. A variedade 30K75 da Pioneer, que segundo o catálogo técnico da Pioneer, caracteriza-se por apresentar elevado potencial produtivo, ampla adaptação geográfica e defensividade às principais doenças tropicais, em especial, a *Phaeosphaeria* e *Cercospora*. O Pioneer 30K75 é recomendado para o período normal e tardio de plantio no Sul e Centro. Ele também é uma excelente opção para a safrinha pelo seu pendoamento precoce, longa fase de enchimento de grãos e por manter uma elevada defensividade, mesmo nessa época especial de plantio.

Para cada linha de plantio foi aberto um pequeno sulco com aproximadamente 3 cm de profundidade, ao longo destas linhas e utilizando um cordão para demarcação do espaçamento de 15 em 15 cm, (não utilizou-se nesta ocasião a técnica dos desbaste), conforme Figura 4-9.





**Figura 4-9 - Plantio do milho**

Neste período, foi feita uma aplicação de herbicida para controle do crescimento da vegetação, que se formara nas parcelas e entre elas. A germinação do milho ocorreu 3 dias após o plantio, e passados 6 dias, já atingira cerca de 6 cm (estádio “zero” – referente ao período da semeadura ‘ao estágio de emergência). A adubação de cobertura ocorreu coincidindo com o estágio “2” - de crescimento do milho (cerca de 8 folhas desdobradas). Foram aplicados 80 kg N/ha na forma de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  para o tratamento água +adubo, e 40 kg  $\text{K}_2\text{O}$ /ha na forma de KCl, para todas as parcelas.

Neste período foi aplicado o inseticida Kothrine C25, para combater a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), que estava danificando as folhas, na diluição de 30 mL do produto/20 L de água.

A primeira irrigação ocorreu no período coincidindo com o estágio “3” - de crescimento do milho. O estágio “3” caracteriza-se pela planta possuir 12 folhas e está relacionado à sexta ou sétima semana após a emergência. Esta fase é caracterizada pela presença de 85 a 90% da área foliar.

Para cada um dos 3 tratamentos, foram previstos 12 parcelas, sendo cada grupo de 4 parcelas com volumes de aplicação, respectivamente, de 50 L/sulco, para

profundidade de 0,25 m; 100 L/sulco, para profundidade de 0,50 m; e, 150 L/sulco, para profundidade de 0,75 m. Além da 1ª aplicação, foram feitas mais 5, (total de 6).

As parcelas com tratamento “água + adubo” receberam em todas as regas (tanto na primeira quanto na segunda safras) água proveniente de uma pequena lagoa localizada nas proximidades do campo experimental, transportada via bombeamento. O efluente proveniente da ETE Lagoa Paulistano II foi transportado via caminhão tanque, dotado de equipamento de sucção, e armazenado em tanques de fibra de vidro.

Para quantificação da quantidade de efluente por sulco para cada turno de rega, determinado laboratorialmente (50, 100, e 150 L/sulco) eram quantificados através de tambores padronizados de 50 litros, conforme Figura 4-10.



**Figura 4-10 - Tanque de 50 L padronizado para quantificação do efluente aplicado**

Para desinfecção do efluente utilizado nas parcelas efluente anaeróbio desinfetado, utilizou-se a dosagem de 32 mg/L, de hipoclorito de cálcio, determinada experimentalmente por Tonon (2007), utilizando o efluente da lagoa anaeróbia da ETE Paulistano II e hipoclorito de cálcio. A cada dosagem nos tanques de armazenamento eram aguardados no mínimo 40 minutos, como tempo de contato para reação.

Após a 5ª irrigação, procedeu-se a contagem das espigas e medidas suas alturas. Os parâmetros adotados e medidos foram: número de plantas, total de cada parcela, número de plantas que pendoaram, altura do pendão, plantas com; 0 (zero), 1, e 2 espigas, altura da inserção da 1ª espiga, e quando foi o caso, a altura da 2ª espiga. Também, se determinou a quantidade de pés de milho com 3 espigas.



**Figura 4-11 – Sulcos irrigados e vista geral de um bloco do experimento**



**Figura 4-12 - Tanques para armazenamento e distribuição do efluente nos sulcos, de acordo com os volumes determinados para cada parcela.**

A colheita do milho da 1ª safra ocorreu 124 dias após o plantio. Para a colheita das espigas foi convencionado que seriam coletadas espigas ao longo de duas linhas de plantio centrais (não de bordadura) e ao longo de um metro de comprimento de cada linha. Desta forma foi utilizada uma barra padronizada de um metro de comprimento, para orientar a colheita, Figura 4-13.



**Figura 4-13 – Método utilizado para colheita das espigas ao longo da linha de plantio utilizando-se da barra de um metro para demarcação (gabarito).**

As espigas foram armazenadas em sacos de fios de nylon trançados, os quais foram devidamente identificados segundo a origem. Posteriormente foram levadas a estufa, reguladas na temperatura de 60°C, por 3 dias, para redução de umidade e foram debulhadas, conforme Figura 4-14. Foram selecionadas algumas espigas e registradas amostras quanto ao tamanho nos tratamentos EAD (esgoto desinfectado), EA (esgoto anaeróbio) e A (Água), conforme Figura 4-15 a Figura 4-17.

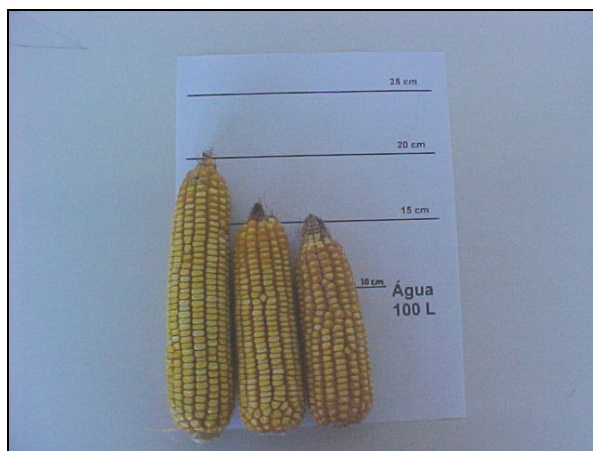




**Figura 4-14 - Debulhamento das espigas e armazenamento em sacos de papel**



**Figura 4-15 - Amostragem das espigas quanto ao tamanho - parcela esgoto anaeróbio EA 100 L/sulco**



**Figura 4-16 - Amostragem das espigas quanto ao tamanho – parcela Água + adubo A 100 L/sulco**



**Figura 4-17 - Amostragem das espigas quanto ao tamanho – parcela efluente anaeróbia desinfetado - EAD 150 L/sulco**

Para estabelecimento da concentração de metais nos grãos, os grãos de cada amostra foram moídos, e para cada amostra de cada parcela foi utilizado um grama. Nesta amostra foram adicionados 10 ml de ácido nítrico, e manteve em contato por 24 horas. Na seqüência, no bloco digestor, as amostras foram submetidas a elevação gradual de temperatura, até 120 °C, e mantidos até a volatilização do ácido nítrico. Na seqüência foi adicionado a cada amostra 0,5 ml de ácido perclórico, e manteve-se na temperatura de 220 °C até a evaporação de todo ácido. O material resultante de cada amostra foi transferido para um frasco de 100 ml, e o volume foi completado com água deionizada, até atingir 100 g em peso. Esta metodologia foi feita segundo Malavolta et.al.(1979). A leitura da concentração de metais em cada amostra foi feito no aparelho de absorção atômica.

Na Tabela 4-6 estão descritos todas as ocorrências referentes à primeira safra, desde o plantio até a última aplicação, que de acordo com Fancelli et. al. (2000), evidencia-se a translocação efetiva de nitrogênio (N) e fósforo (P) para os grãos em formação, não havendo mais a necessidade de disponibilização de nitrogênio no solo.

A precipitação pluviométrica era rigorosamente registrada por um funcionário da fazenda, que fazia a leitura em um pluviômetro instalado nas proximidades do campo experimental.

**Tabela 4-6 - Precipitação, aplicação e ocorrências durante a 1ª Safra**

Dia	Tratamento									Observação
	50 A	100 A	150 A	50 EAD	100 EAD	150 EAD	50 EA	100 EA	150 EA	
17/nov										Plantio
19/nov	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	chuva
20/nov	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	chuva
21/nov	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	chuva
23/nov	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	chuva
24/nov	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	chuva
25/nov	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	chuva
26/nov	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	chuva
27/nov	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	chuva
30/nov	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	chuva
1/dez	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	chuva
2/dez	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	chuva
3/dez	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	chuva
7/dez	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	chuva
8/dez	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	chuva
11/dez	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	chuva
12/dez	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	chuva
13/dez										Adubação de cobertura com nitrato de amônia nas parcelas
	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	tratamento água chuva
14/dez										Adubação de cobertura com cloreto de potássio em todas as parcelas
	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	chuva
18/dez	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	chuva
19/dez	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	chuva
20/dez	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	chuva
22/dez	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	chuva
23/dez										Aplicado o inseticida Kothrine C25 - combate a lagarta do cartucho
25/dez	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	chuva
26/dez	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	chuva
28/dez	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	1ª aplicação

Dia	Tratamento									Observação
	50 A	100 A	150 A	50 EAD	100 EAD	150 EAD	50 EA	100 EA	150 EA	
29/dez	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	Aplicado o inseticida Kothrine C25 - combate a lagarta do cartucho
2/jan	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	chuva
3/jan	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	chuva
4/jan	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	chuva
5/jan	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	chuva
6/jan	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	chuva
7/jan	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	chuva
9/jan	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	chuva
12/jan	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	2ª aplicação
17/jan	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	chuva
19/jan	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	3ª aplicação
20/jan										Surgimento do pendão
23/jan	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	4ª aplicação
26/jan	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	5ª aplicação
29/jan	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	chuva
30/jan	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	chuva
1/fev	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	6ª aplicação - última
Total aplicado + precipitação (mm)	970,8	1020,6	1071,0	970,8	1020,6	1071,0	970,8	1020,6	1071,0	

Onde:

A = Tratamento água + adubação mineral

EAD = Efluente anaeróbio desinfetado

EA = Efluente anaróbio

50, 100 e 150 = respectivamente parcelas com 50, 100 e 150 L/sulco por turno de rega.



#### 4.7. 2ª Safra (período seco)

O preparo do campo experimental para a 2ª safra ocorreu no início de março de 2007. Envolveram as operações de capinação, aplicação de herbicida tipo glifosato, e a regularização dos sulcos.

Foram feitas coletas e análises de solos, para determinação da adubação necessária. Os resultados da análise de solo na camada 0-20 cm estão representados na Tabela 4-7.

**Tabela 4-7- Resultados da análise de solo para determinação de adubação**

Parâmetros	Unidade	Tratamento aplicado		
		Água	Efluente anaeróbio desinfetado	Efluente anaeróbio
pH		5,9	6,0	5,4
Matéria orgânica	g/dm <sup>3</sup>	36,0	34,0	36,0
P	mg/dm <sup>3</sup>	79,0	26,0	15,0
K	mmolc/dm <sup>3</sup>	2,1	1,9	2,4
Ca	mmolc/dm <sup>3</sup>	65,0	52,0	38,0
Mg	mmolc/dm <sup>3</sup>	13,0	10,0	10,0
H+Al	mmolc/dm <sup>3</sup>	28,0	25,0	34,0
Al	mmolc/dm <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0
CTC	mmolc/dm <sup>3</sup>	108,1	88,9	84,4
V (Sat. Bases)	%	74,0	72,0	60,0
K/CTC	%	1,9	2,1	2,8
Mg/CTC	%	12,0	11,2	11,8
Ca/CTC	%	60,1	58,5	45,0
Ca/Mg		5,0	5,2	3,8
Mg/K		6,2	5,3	4,2
Ca/K		31,0	27,4	15,8
B	mg/dm <sup>3</sup>	0,2	0,2	0,2
Cu	mg/dm <sup>3</sup>	6,7	6,1	6,4

Parâmetros	Unidade	Tratamento aplicado		
		Água	Efluente anaeróbio desinfetado	Efluente anaeróbio
Fe	mg/dm <sup>3</sup>	35,0	32,0	34,0
Mn	mg/dm <sup>3</sup>	7,5	9,9	11,9
Zn	mg/dm <sup>3</sup>	2,8	2,3	3,0

Em função dos resultados analíticos do solo, segundo recomendação do Boletim 100 do IAC, Raij et al., (1997), para produtividade esperada de 6 a 8 ton/ha, foi determinado a necessidade de adubação de plantio. As quantidades determinadas foram aplicadas em todas as parcelas (todos os tratamentos), sendo 30 kg N/ha, na forma de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (90 g/linha); 70 kg P/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (140 g/linha), na forma de super simples; 50 kg K/ha (51,6 g/linha), na forma de KCl, e, 2 kg Zn/ha (6 g/linha); na forma de ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O. Ao longo de cada linha de plantio, com comprimento de 6 metros cada, a quantidade correspondente a cada componente foi aplicado com auxílio de um recipiente com volume determinado em laboratório, de acordo com o peso de cada insumo.



**Figura 4-18 - Adubação na linha de plantio – 2ª safra**

O plantio em todas as parcelas ocorreu em 13/03/2007. Foi plantado a variedade “Pionner 30F87”, que se caracteriza de acordo com o catálogo técnico da empresa Pionner, como híbrido simples modificado com potencial produtivo e precocidade com qualidade de grãos, sendo o indicado para a época normal e tardia de plantio para as regiões centro alto e baixo, mas seu melhor comportamento ocorre nas terras altas, principalmente acima de 800 metros de altitude. O critério de plantio foi o mesmo realizado na primeira safra, ou seja, os grãos foram colocados em cova de 3 cm de profundidade ao longo da linha de plantio e espaçados de 15 em 15 cm.



**Figura 4-19 - marcação do espaçamento de plantio ao longo da linha com cordão demarcado**

A germinação ocorreu uma semana após o plantio. Nesta primeira semana ocorreram chuvas espaçadas, totalizando 93 mm de precipitação, porém foi observado que em algumas parcelas ocorreram falhas de germinação, e em outros casos, uma grande presença de formigas, que estavam cortando as primeiras folhas e carregando para os buracos de formigueiro. Imediatamente foi providenciado a aplicação de formicida denominado “CLAP”, conforme orientação de um agrônomo, na diluição de 3 mL do produto para 2 L de água, e aplicado em vários olhos de formigueiro, dentro e fora da área de plantio, nas redondezas.



**Figura 4-20 – detalhe de uma formiga carregando parte de uma folha de planta recém germinada**

Apesar de ter havido o replantio de alguns pontos falhos, na semana seguinte não ocorreram mais chuvas. A primeira irrigação, tanto nas parcelas água + adubação mineral (A), como nas parcelas efluente anaeróbio desinfetado (EAD) e efluente anaeróbio bruto (EA) iniciaram-se três semanas após o primeiro plantio, em 03/04/2007, juntamente com a continuidade da aplicação do formicida. Desta data por diante ocorreram mais 15 regas, totalizando 16 turnos de rega, finalizando em 19/06/2007, quando as espigas já haviam formadas e adquirido volume (granado).

A adubação de cobertura ocorreu somente nas parcelas Água + adubação mineral, em 19/04/2007, 6 semanas após o plantio, correspondente ao estágio fenológico 3 de crescimento. Foi aplicado 60 kg N/ha, na forma de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (180 g/linha).



**Figura 4-21 - Situação em 30/05/2007, parcela EB, 150 l/sulco, após penduamento, estágio fenológico 6**

Na Tabela 4-8 estão descritos todas as ocorrências referentes a segunda safra, desde o plantio até a última aplicação, que de acordo com Fancelli et. al. (2000), evidencia-se a translocação efetiva de nitrogênio (N) e fósforo (P) para os grãos em formação, não havendo mais a necessidade de disponibilização no solo.

**Tabela 4-8 - Precipitação, aplicação e ocorrências durante a 2ª Safra**

Dia	Tratamento									Observação
	50 A	100 A	150 A	50 EAD	100 EAD	150 EAD	50 EA	100 EA	150 EA	
13/mar										Plantio
14/mar	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	chuva
16/mar	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	chuva
18/mar	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	chuva
19/mar	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	chuva
20/mar	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	Germinação
21/mar	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	Replantio onde não ocorreu germinação
22/mar	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	Aplicado formicida
25/mar	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	chuva
28/mar										Reaplicado formicida
3/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	1ª aplicação

Dia	Tratamento									Observação
	50 A	100 A	150 A	50 EAD	100 EAD	150 EAD	50 EA	100 EA	150 EA	
4/abr										Reaplicado formicida
7/abr	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	chuva
8/abr	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	chuva
12/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	2ª aplicação
13/abr										Reaplicado formicida
17/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	3ª aplicação
19/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	4ª aplicação, e adubação de cobertura
24/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	5ª aplicação
25/abr	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	Reaplicado formicida
26/abr	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	chuva
2/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	6ª aplicação
4/mai	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	7ª aplicação (igualitária – falta de efluente)
9/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8ª aplicação
11/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	9ª aplicação
14/mai										Caminhão em manutenção
18/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	10ª aplicação
22/mai	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	chuva
23/mai	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	chuva
25/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	11ª aplicação
27/mai	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	chuva
31/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	12ª aplicação
5/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	13ª aplicação
12/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	14ª aplicação
15/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	15ª aplicação
19/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	16ª aplicação
Total aplicado + precipitação (mm)	334,8	459,3	585,3	334,8	459,3	585,3	334,8	459,3	585,3	

Onde:

A = Tratamento água + adubação mineral

EAD = Efluente anaeróbio desinfetado

EA = Efluente anaróbio

50, 100 e 150 = respectivamente parcelas com 50, 100 e 150 L/sulco por turno de rega.



## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De um total de duas safras, nos sub-itens 5.1 e 5.2 serão descritos os resultados e a discussão para cada item avaliado para cada safra. Foram medidos e avaliados a produtividade agrícola, a quantidade de espigas por plantas e altura dos pendões, além da concentração de metais nos grãos. Apenas referente à primeira safra foi avaliado o pH e condutividade no solo após cinco turnos de regas. No item 5.3 será descrita a discussão dos resultados comparando-se as duas safras medidas.

### **5.1. 1ª Safra**

#### **A) Quantidade de espigas por plantas**

A porcentagem de espigas por plantas em cada tratamento, e de acordo com a dosagem está representada na Tabela 5-1, e os resultados do teste de Tukey, a 5% e a 1% nas tabelas seguintes.

**Tabela 5-1 - Porcentagem da quantidade de espigas por plantas em cada tratamento, média de 4 blocos, 1ª safra**

	50 L/sulco	100 L/sulco	150L/sulco
<b>Tratamento Água + adubo - %</b>			
Pés 0 Espiga	22,74	21,25	12,06
Pés 1 Espiga	46,63	36,67	47,86
Pés 2 Espiga	28,52	40,42	37,74
Pés 3 Espiga	2,12	1,67	2,33
<b>Tratamento Efluente Anaeróbio Desinfetado - %</b>			
Qtde 0 Espiga	29,35	33,82	39,83
Qtde 1 Espiga	48,99	43,91	47,25
Qtde 2 Espigas	20,85	21,01	12,08
Qtde 3 Espigas	0,81	1,26	0,85
<b>Tratamento Efluente Anaeróbio - %</b>			
Qtde 0 Espiga	34,10	26,95	30,68
Qtde 1 Espiga	48,12	53,68	51,79
Qtde 2 Espigas	16,53	17,47	17,13
Qtde 3 Espigas	1,26	1,89	0,20

Para plantas com nenhuma espiga, a média geral foi 33,91% e o coeficiente de variação igual a 45,61 %.

**Tabela 5-2 - Teste de Tukey para médias de tratamento para nenhuma espiga**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl.	12	41.166667	41.166667	a	A
		Anaer.Desinf					
2	3	Efl. Anaer.	12	37.08333	37.08333	ab	A
3	1	Água + adubo	12	23.500000	23.500000	b	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 15,76523 - d.m.s. 1% = 20,32053  
(d.m.s. = diferença mínima significativa)



**Tabela 5-3 - Teste de Tukey para médias de taxas para nenhuma espiga**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	50	12	35.500000	35.500000	a	A
2	2	100	12	33.666667	33.666667	a	A
3	3	150	12	32.583333	32.583333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 15,76523 - d.m.s. 1% = 20,32063

Em relação a plantas com nenhuma espiga, de acordo com Tukey a 5%, os tratamentos com efluentes anaeróbio e anaeróbio desinfetado apresentaram maiores porcentagens (maiores ocorrências), e diferenciaram-se do tratamento água + adubo, que apresentou menor porcentagem. A mesma observação não se faz entre as taxas aplicadas, que não houve diferenciação significativa para Tukey 1 %.

Para plantas com uma espiga, a média geral foi 57,86 % e o coeficiente de variação igual a 14,56 %.

**Tabela 5-4 - Teste de Tukey para médias de tratamento para uma espiga**

número ordem	número Trat.	tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	Efl. Anaer.	12	62.083333	62.083333	a	A
2	2	Efl. Anaer.Desinf.	12	56.166667	56.166667	a	A
3	1	Água + adubo	12	55.333333	55.333333	a	A

**Tabela 5-5 - Teste de Tukey para médias de taxas para uma espiga**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	60.750000	60.750000	a	A
2	1	50	12	59.500000	59.500000	a	A
3	2	100	12	53.333333	53.333333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 8,58966 - d.m.s 1% = 11,07166

Para plantas com uma espiga, para Tukey a 1%, as porcentagens não se diferenciaram tanto em relação a tratamento, quanto a taxas aplicadas.

Para plantas com duas espigas, a média geral foi 29,00 % e o coeficiente de variação igual a 45,80 %.

**Tabela 5-6 - Teste de Tukey para médias de tratamento para duas espigas**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	44.666667	44.666667	a	A
2	2	Efl.	12	21.666667	21.666667	b	B
3	3	Anaer.Desinf. Efl. Anaer.	12	20.666667	20.666667	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 13,53486 - d.m.s. 1% = 17,44579

**Tabela 5-7 - Teste de Tukey para médias de taxas para duas espigas**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	100	12	31.416667	31.416667	a	A
2	3	150	12	28.083333	28.083333	a	A
3	1	50	12	27.500000	27.500000	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 13,53486 - d.m.s. 1% = 17,44579

Para plantas com duas espigas, de acordo com Tukey a 1%, os tratamentos com efluentes anaeróbio e anaeróbio desinfetado apresentaram menores porcentagens (menores ocorrências) e diferenciaram-se do tratamento água + adubo, que apresentou maior porcentagem. A mesma observação não se faz entre as taxas aplicadas, que não houve diferenciação significativa para Tukey a 1 %.

Para plantas com três espigas, a média geral foi 1,69 % e o coeficiente de variação igual a 95,99 %.

**Tabela 5-8 - Teste de Tukey para médias de tratamento para três espigas**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	2.583333	2.583333	a	A
2	3	Efl. Anaer.	12	1.333333	1.333333	a	A
3	2	Efl. Anaer.Desinf.	12	1.166667	1.166667	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 1,65754 - d.m.s. 1% = 2,13650

**Tabela 5-9 - Teste de Tukey para médias de taxas para três espigas**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	100	12	1.916667	1.916667	a	A
2	1	50	12	1.750000	1.750000	a	A
3	3	150	12	1.416667	1.416667	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 1,65754 - d.m.s. 1% = 2,13650

Para plantas com três espigas não houve diferença significativa entre taxas e tratamentos para o teste de Tukey a 1%.

De acordo com as médias gerais apresentadas, prevaleceram em todos as parcelas plantas com uma espiga (57,86 %), seguido de plantas com nenhuma espiga (33,91 %), plantas com duas espigas (29,00 %) e plantas com três espigas (1,69 %)

De forma geral, verifica-se que nos tratamentos onde foram aplicados efluentes anaeróbios, (tanto desinfetado e não desinfetado), para porcentagem de plantas com nenhuma espiga e uma espiga, houve predominância em relação ao tratamento água+adubo, ou seja, o tratamento água + adubo apresentou maiores quantidades de

plantas com duas espigas e menor quantidade de plantas com nenhuma espiga, independentemente das taxas aplicadas.

### B) Medidas das alturas dos pendões

As medidas de altura dos pendões referentes as 4 repetições foram tratados no teste de Tukey, e os resultados são tratados nas tabelas seguintes. A média geral foi 1,80 m e o coeficiente de variância foi 4,74 %

Verifica-se, de acordo com o teste de Tukey a 1 % e 5 %, que o tratamento água + adubo diferencia-se dos tratamentos com efluente anaeróbio (sem e com desinfecção), apresentando média de maior de altura, e que não há distinção em relação as alturas quando se comparam entre as taxas aplicadas. (Tabela 5-10, Tabela 5-11)

**Tabela 5-10 - Teste de Tukey para médias de tratamento – altura dos pendões**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	1.996667	1.996667	a	A
2	2	Efl.	12	1.736667	1.736667	b	B
3	3	Anaer.Desinf. Efl. Anaer.	12	1.690000	1.690000	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.08735 - d.m.s. 1% = 0.11259

**Tabela 5-11 - Teste de Tukey para médias de taxas – altura dos pendões**

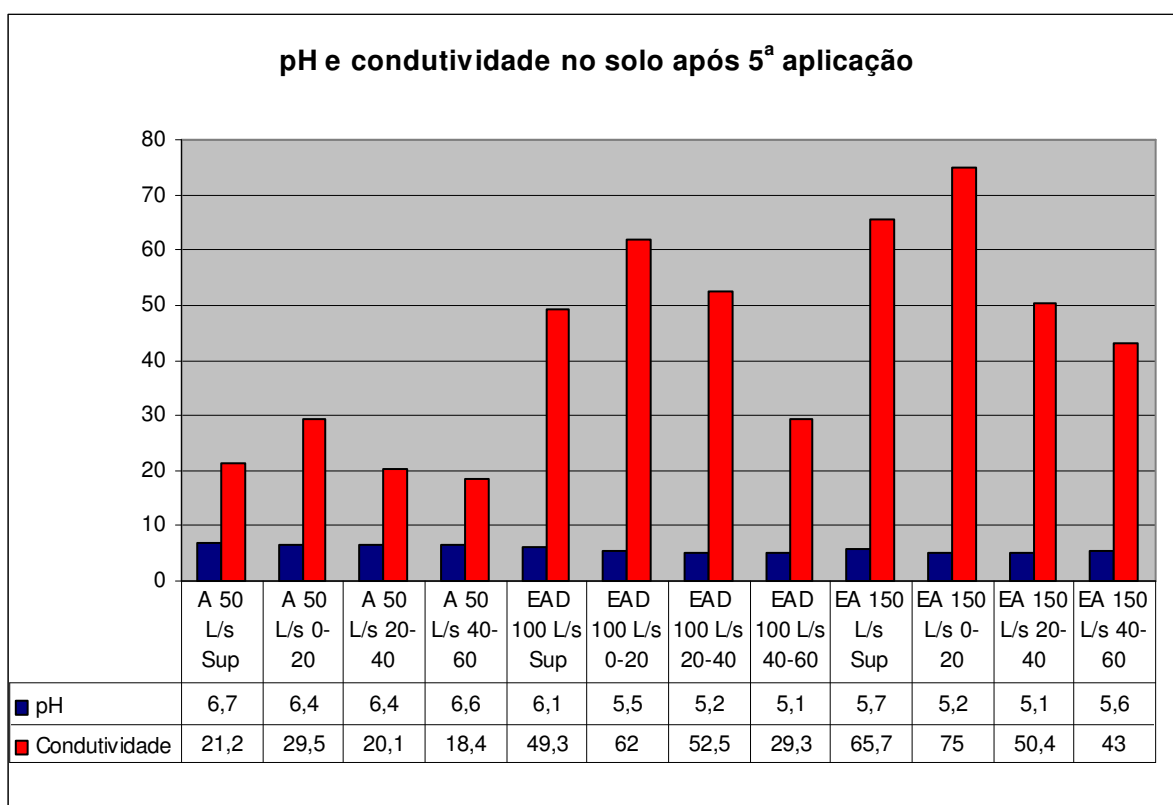
número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	100	12	1.828333	1.828333	a	A
2	1	50	12	1.815000	1.815000	a	A
3	3	150	12	1,780000	1,780000	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.08735 - d.m.s. 1% = 0.11259

### C) pH e condutividade do solo

Após a 5ª aplicação, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-20 cm; 20 – 40 cm; 40 – 60 cm e na superfície para análises de condutividade e pH. Os resultados com valores médios são apresentados na Figura 5-1 nos quais se pode observar a diferença entre os valores obtidos no tratamento irrigação com efluente anaeróbio e no tratamento com água + adubo.

**Figura 5-1 - Gráfico de pH e condutividade elétrica para diferentes camadas de solo (sup, 0-20, 20-40, e 40-60 cm de profundidade) .**



No solo, de acordo com os valores apresentados na Figura 5-1, verificou-se a influência de lixiviados em diferentes camadas do solo. Pode-se observar, que neles, a influência é diretamente proporcional às lâminas hídricas aplicadas e que, provavelmente com vários plantios um melhor gerenciamento deverá ser feito durante a prática da irrigação, o que se deve considerar a importância das estações de controle e monitoramento , constituídas de sondas de drenagem livre e de poços freáticos. Foi

observado também que, no solo que recebeu efluente anaeróbio, após os ciclos de irrigação, a condutividade elétrica se elevou em relação à parcela água+adubo, bem como o pH, mas não o suficiente para provocar alguma interferência nas plantas.

#### D) Produtividade agrícola

A produtividade referente à primeira safra, bem como os resultados do teste de Tukey estão representados nas Tabela 5-12 e Tabela 5-13.

**Tabela 5-12 - Produtividade obtida na 1ª safra para cada tratamento nas respectivas lâminas de irrigação, média de 4 repetições**

Taxa de aplicação	Grãos secos a 65° C -----Ton ha <sup>-1</sup> -----		
	Água + adubo	Efl. Anaeróbio Desinfetado	Efl. Anaeróbio
1ª safra			
50 L/sulco	8,02	5,91	5,65
100 L/sulco	7,28	6,10	6,07
150 L/sulco	9,17	6,94	7,43

**Tabela 5-13 – Resultados do teste de Tukey aplicado aos resultados de produtividade da 1ª Safra**

Taxa de aplicação	Grãos secos a 65° C -----Ton ha <sup>-1</sup> -----		
	Água + adubo	Efl. Anaeróbio Desinfetado	Efl. Anaeróbio
1ª safra			
50 L/sulco	8,02 <b>bC</b>	5,91 <b>aA</b>	5,65 <b>aA</b>
100 L/sulco	7,28 <b>bB</b>	6,10 <b>aA</b>	6,07 <b>aA</b>
150 L/sulco	9,17 <b>cC</b>	6,94 <b>bB</b>	7,43 <b>bB</b>
CV (%)	4,3		

Média seguida pela mesma letra maiúscula na horizontal não difere entre si (Tukey 5%)  
Média seguida pela mesma letra minúscula na vertical não difere entre si (Tukey 5%)

A produtividade desta primeira safra ficou para as parcelas irrigadas com efluentes anaeróbio e anaeróbio desinfetado, aquém daquelas parcelas irrigadas com água + adubo. A razão para isso ter ocorrido foi porque no primeiro e início do segundo estágio de desenvolvimento da cultura, devido à intensidade de chuva no local, o caminhão tanque (com efluentes) não pode ter acesso ao local. Entretanto verificou-se que houve diferença significativa na produtividade, quando se comparam as taxas hidráulicas de 50 e 100 L/sulco em relação a taxa de 150 L/sulco. A produtividade da colheita com água mais adubo foi maior e de acordo com a produtividade calculada e em torno de 8,0 t/ha. Para as parcelas com efluentes, a maior produtividade registrada foi para aquela com taxa de aplicação de 150 L/sulco, com 7,43 t/ha.

### **E) Quantidade de nitrogênio aplicado**

Quanto à aplicação de nutrientes, via adubo e efluentes, para avaliar a produtividade da colheita, foi adotado o princípio da máxima produtividade. Entretanto, como a proposta do projeto de pesquisa foi o de verificar a interferência das lâminas hídricas na qualidade da água subterrânea e eventuais impactos, desenvolvido por Cintra Filho (2008), aplicaram-se lâminas líquidas ideais para a máxima produtividade e outras (2 lâminas), mais conservadoras, para estimar-se novos procedimentos, caso ocorresse impactos negativos.

Na Figura 5-2 consta a quantidade de nitrogênio aplicada, via adubo (água + adubo) e via efluente anaeróbio, com e sem desinfecção. A última aplicação das lâminas hídricas com efluentes ocorreu no estágio “5”, caracterizado pelo florescimento e a polinização, sendo percebido o aparecimento do pendão e posteriormente o “cabelo” do milho. A partir desta fase já não mais se optou pela aplicação de efluente anaeróbio para suprimento de nitrogênio e outros componentes, mas apenas a irrigação com água.

Devido a intensa quantidade de chuvas durante o período referente a esta 1ª safra, cerca de 1017 mm, e à dificuldade do acesso do caminhão que transportava o

efluente, nesta primeira safra houve comprometimento em relação à quantidade de regas com efluente anaeróbio. A quantidade de nitrogênio aplicado via efluente ficou incompatível com a adubação mineral nas parcelas referente às laminas 25 cm e 50 cm (50 L/sulco e 100 L/sulco). Com isso, observando a Figura 5-2, verifica-se que o propósito de estabelecer taxas de aplicação ideal para suprimento de nitrogênio, com 50 % acima do ideal e 50 % abaixo do ideal não se concretizou.

A quantidade de nitrogênio aplicado no solo via irrigação por efluente pode ser estimada utilizando –se da média dos valores analíticos de nitrogênio total Kjeldahl – NTK, descrito nas Tabela 4-4 e Tabela 4-5 conforme a Equação 5.1:

$$\text{Dosagem aplic.} = [(\text{VTEA} \times \text{C. NTK}) \times 10^{-3} \text{ g/kg}] \times 10^4 \text{ m}^2/\text{ha} \times \text{Ab}^{-1} \quad \textbf{Equação 5.1}$$

VTEA = Volume total de efluente aplicado por sulco – m<sup>3</sup>

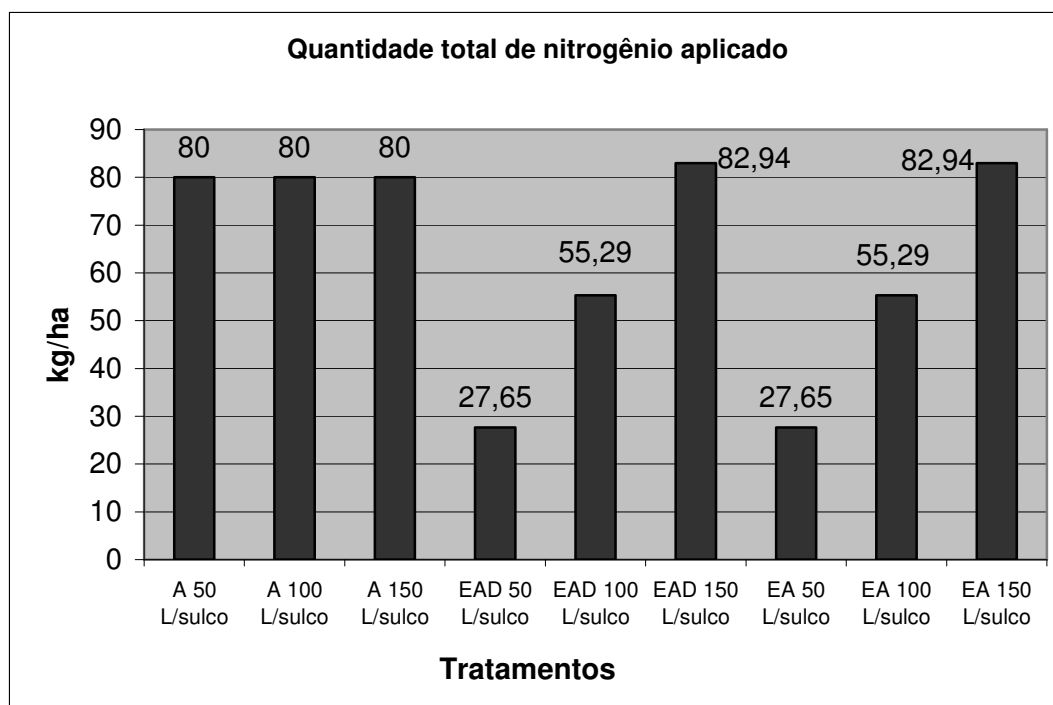
C. NTK = Concentração média de NTK

Ab = área de abrangência do sulco

Neste caso, considerando a área de influência de cada sulco corresponde a 6 m<sup>2</sup>, e o valor médio de NTK correspondente a 55,29 mg/L.

Na Figura 5-2 é representado a quantidade de nitrogênio total aplicado via adubação química referente a cobertura nas parcelas com tratamento “água + adubação química” e tratamento com efluente anaeróbio anaeróbio e não anaeróbio nas demais parcelas. Os volumes aplicados correspondem a soma de todos os volumes aplicados de efluentes por sulco, aplicados durante cada safra.





**Figura 5-2 - Gráfico da quantidade de nitrogênio aplicado na 1ª safra, para os diferentes tipos tratamento, e parcelas com profundidade de irrigação de 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco).**

Referente à altura das plantas, outro fator que pode ter contribuído para o maior crescimento das plantas nas parcelas “água + adubo” foi que a adubação mineral se deu bem antes do início da adubação via efluente, pois para adubação via efluente necessitava de certo tamanho das raízes para que pudessem absorver o nitrogênio do efluente, e na adubação mineral o nitrogênio foi aplicado na parte superior, mais próximo das raízes.

#### **F) Metais nos grãos**

Os resultados das análises dos metais, cobre, chumbo e cádmio, bem como os resultados das análises estatísticas são descritos na seqüência.

**Tabela 5-14 - Concentração de Cobre nos grãos de milho - 1ª safra**

Tratamento	Bloco	Taxas		
		50 L/sulco	100 L/sulco	150 L/sulco
		mg x kg <sup>-1</sup>		
Água + adubo	1	1,55	0,55	1,50
	2	1,35	0,30	0,50
	3	nd	1,20	1,30
	4	0,50	1,25	0,05
Efluente Anaeróbio Desinfetado	1	1,00	nd	2,45
	2	1,55	0,85	0,35
	3	0,75	nd	0,25
	4	1,20	1,10	0,70
Efluente Anaeróbio	1	1,05	0,40	1,60
	2	0,75	0,90	0,65
	3	1,05	1,40	0,80
	4	0,25	1,35	1,35

Obs.: Cada bloco equivale a uma repetição

Para concentração de cobre nos grãos, a média geral foi 0,97 mg x kg<sup>-1</sup> e o coeficiente de variação igual a 55,19 %. Para Tukey 5 % e 1%, as concentrações não se diferenciaram tanto em relação a tratamento, quanto em relação às taxas aplicadas, conforme Tabela 5-15 e Tabela 5-16.

**Tabela 5-15 - Teste de Tukey para médias de Tratamento - Cobre**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl. Desinf.	12	1.011667	1.011667	a	A
2	3	Efl. Bruto	12	0.987500	0.987500	a	A
3	1	Água + adubo	12	0.933333	0.933333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.54983- d.m.s. 1% = 0.70870

**Tabela 5-16 - Teste de Tukey para média de Taxas - Cobre**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	50	12	1.037500	1.037500	a	A
2	3	150	12	0.958333	0.958333	a	A
3	2	100	12	0.936667	0.936667	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.54983 - d.m.s. 1% = 0.70870

**Tabela 5-17- Concentrações de Zinco nos grãos - 1ª safra**

Tratamento	Bloco	Taxas		
		50 L/sulco	100 L/sulco	150 L/sulco
		mg x kg <sup>-1</sup>		
Água + adubo	1	24,00	15,95	25,70
	2	19,10	15,10	14,20
	3	9,30	18,00	21,65
	4	15,00	20,45	12,60
Efluente Anaeróbio Desinfetado	1	18,85	10,95	19,95
	2	21,10	16,35	15,95
	3	16,10	11,15	10,80
	4	19,70	20,95	12,95
Efluente Anaeróbio	1	17,90	10,55	30,20
	2	14,70	14,40	17,15
	3	14,85	19,25	11,00
	4	9,35	20,65	24,60

Obs.: Cada bloco equivale a uma repetição.

Para concentração de Zinco nos grãos, a média geral foi 16,95 mg x kg<sup>-1</sup> e o coeficiente de variação igual a 29,25 %. Para Tukey 5 % e 1%, as porcentagens não se diferenciaram tanto em relação a tratamento, quanto em relação às taxas aplicadas, conforme Tabela 5-18 e Tabela 5-19.

**Tabela 5-18 - Teste de Tukey para médias de Tratamento - Zinco**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	17.587500	17.587500	a	A
2	3	Efl. Bruto	12	17.050000	17.050000	a	A
3	2	Efl. Desinf.	12	16.233334	16.233334	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 5.05382 - d.m.s. 1% = 6.51414

**Tabela 5-19 - Teste de Tukey para média de Taxas - Zinco**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	18.062500	18.062500	a	A
2	1	50	12	16.662500	16.662500	a	A
3	2	100	12	16.145833	16.145833	a	A

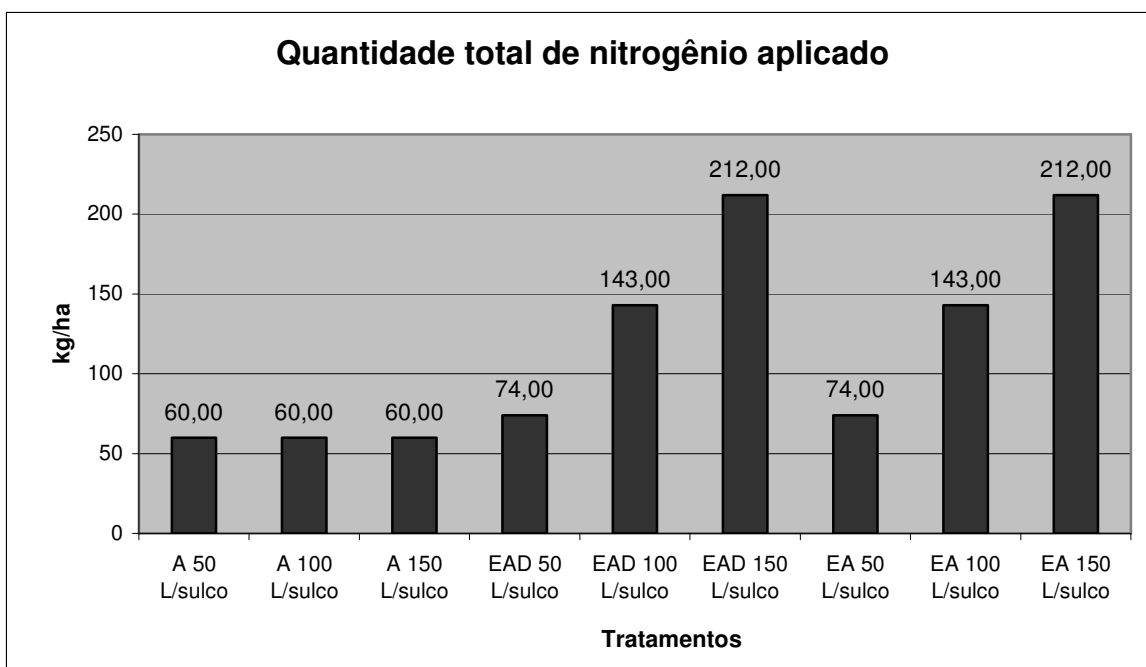
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.94255 - d.m.s. 1% = 0.21490

Para as concentrações de Cádmio e Chumbo nos grãos, as concentrações apresentaram-se abaixo do limite de detecção, portanto, não houve diferenças significativas de resultados, tanto entre os tipos de tratamento, quanto para as taxas aplicadas.

## 5.2. 2ª Safra

### A) Quantidade de nitrogênio aplicado

Conforme **Equação 5.1**, e considerando a mesma média de concentração de NTK utilizado para a 1ª safra, na Figura 5-3 é representado a quantidade de nitrogênio total aplicado via adubação química referente a cobertura nas parcelas com tratamento “água + adubação química” e via efluente nas demais parcelas.



**Figura 5-3 - Gráfico da quantidade de nitrogênio aplicado na 2ª safra, para os diferentes tipos tratamento, e parcelas com profundidade de irrigação de 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco) e 75 cm (150 L/sulco).**

Considerando que nesta segunda safra foram realizados 16 turnos de rega, a quantidade de nitrogênio aplicado via efluente anaeróbico, para as três taxas aplicadas, ficaram maiores em relação à adubação mineral de cobertura recomendada. A diferença principal é, como ocorreu na primeira safra, na adubação mineral o nitrogênio é todo disponibilizada na linha de plantio e muito próximo a raiz da planta, mesmo nos primeiros estádios fenológicos. Já a adubação via efluente anaeróbico é disponibilizado gradativamente de acordo com as regas, e para assimilação a planta necessita desenvolver raízes para alcançar a região do solo irrigada pelo sulco.

### **B) Quantidade de espigas por plantas**

A porcentagem de espigas por plantas em cada tratamento e de acordo com a dosagem está representada na Tabela 5-20 e os resultados do teste de Tukey, a 5% e a 1% nas tabelas seguintes.

**Tabela 5-20 - Porcentagem de espigas por planta em cada tratamento – 2ª safra**

	50 L/sulco	100 L/sulco	150L/sulco
<b>Tratamento Água + adubo - %</b>			
Pés 0 Espiga	7,46	4,51	1,45
Pés 1 Espiga	86,89	80,95	64,06
Pés 2 Espiga	5,66	14,29	32,75
Pés 3 Espiga	0,00	0,25	1,74
<b>Tratamento Efluente Anaeróbio Desinfetado - %</b>			
Qtde 0 Espiga	7,46	10,92	4,34
Qtde 1 Espiga	87,81	83,47	88,01
Qtde 2 Espigas	4,73	5,60	7,40
Qtde 3 Espigas	0,00	0,00	0,26
<b>Tratamento Efluente Anaeróbio - %</b>			
Qtde 0 Espiga	4,05	0,72	0,00
Qtde 1 Espiga	90,24	81,77	77,27
Qtde 2 Espigas	5,71	16,55	22,49
Qtde 3 Espigas	0,00	0,96	0,24

Para plantas com nenhuma espiga, a média geral foi 4,38% e o coeficiente de variação igual a 81,88 %.

**Tabela 5-21 - Teste de Tukey para médias de tratamento – nenhuma espiga**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl. Anaer.Desinf.	12	7.166667	7.166667	a	A
2	1	Água + adubo	12	4.333333	4.333333	ab	AB
3	3	Efl. Anaer.	12	1.666667	1.666667	b	AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 3,66202 - d.m.s. 1% = 4,72016

**Tabela 5-22 -Teste de Tukey para medias de taxas – nenhuma espiga**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	50	12	6.333333	6.333333	a	A
2	2	100	12	5.000000	5.000000	ab	A
3	3	150	12	1.833333	1.833333	b	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s.. 5% = 3,66202 - d.m.s. 1% = 4,72016

Em relação a plantas com nenhuma espiga, de acordo com Tukey a 5% e 1%, o tratamento efluente anaeróbico desinfetado apresentou maior porcentagem em relação aos demais tratamentos, principalmente com relação a taxa de 50 L/sulco.

Deve-se ressaltar que as parcelas com tratamento anaeróbico desinfetado na segunda safra foi o mais prejudicado em relação ao ataque de formigas, conforme descrito no item 4.7.

Para plantas com uma espiga, a média geral foi 81,13% e o coeficiente de variação igual a 21,82 %.

**Tabela 5-23 - Teste de Tukey para médias de tratamento – uma espiga**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	Efl. Anaer.	12	86.916667	86.916667	a	A
2	2	Efl. Anaer.	12	83.000000	83.000000	a	A
3	1	Desinf. Água + adubo	12	73.500000	73.500000	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s. 5% = 18,04575 - d.m.s. 1% = 23,26011

**Tabela 5-24 - Teste de Tukey para medias de taxas – uma espiga**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	50	12	89.166667	89.166667	a	A
2	2	100	12	80.166667	80.166667	a	A
3	3	150	12	74.083333	74.083333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s. 5% = 18.04575 - d.m.s. 1% = 23.26011

Para plantas com uma espiga, de acordo com Tukey a 5% e a 1%, tanto em relação aos tratamentos, quanto em relação às taxas aplicadas não ocorreram diferenças significativas com relação às porcentagens de espigas por plantas.

Para plantas com duas espigas, a média geral foi 12,41 mg x kg<sup>-1</sup> e o coeficiente de variação igual a 48,17 %.

**Tabela 5-25 - Teste de Tukey para médias de tratamento – duas espigas**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	16.000000	16.000000	a	A
2	3	Efl. Anaer.	12	15.583333	15.583333	a	A
3	2	Efl. Anaer.Desinf.	12	5.666667	5.666667	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s. 5% = 6,09484 - d.m.s. 1% = 7,85596

**Tabela 5-26 - Teste de Tukey para medias de taxas – duas espigas**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	19.666667	19.666667	a	A
2	2	100	12	12.166667	12.166667	b	AB
3	1	50	12	5.416667	5.416667	c	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s. 5% = 6,09484 - d.m.s. 1% = 7,85596



Para plantas com duas espigas, de acordo com Tukey a 5% e a 1%, o tratamento anaeróbio desinfetado apresentou diferença em relação aos demais tratamentos, com menor porcentagem de ocorrência, e com relação às taxas aplicadas, as porcentagens foram distintas e proporcionais, ou seja, maior dosagem, maior porcentagem de ocorrência de plantas com duas espigas por plantas.

Para plantas com três espigas, a média geral foi 0,36 % e o coeficiente de variação igual a 196,26 %.

**Tabela 5-27 - Teste de Tukey para médias de tratamento – 3 espigas**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetições	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	0.583333	0.583333	a	A
2	3	Efl. Anaer.	12	0.416667	0.416667	a	A
3	2	Efl. Anaer. Desinf.	12	0.083333	0.083333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s. 5% = 0,72222 - d.m.s. 1% = 0,93091

**Tabela 5-28 - Teste de Tukey para médias de lâmina – 3 espigas**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	0.666667	0.666667	a	A
2	2	100	12	0.416667	0.416667	a	A
3	1	50	12	0.000000	0.000000	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado d.m.s. 5% = 0,72222 - d.m.s. 1% = 0,93091

Para plantas com três espigas não houve diferenciação entre taxas e tratamentos para o teste de Tukey a 5% e a 1%.

De acordo com as medias gerais apresentadas, prevaleceram em todos as parcelas plantas com uma espiga (81,13 %), seguido de plantas com duas espigas (12,41 %), plantas com nenhuma espiga (4,38 %) e plantas com três espigas (0,36 %).

### C) Produtividade agrícola

A produtividade obtida na segunda safra está descrita na Tabela 5-29 , e o resultado do teste de Tukey nas tabelas seguintes. De acordo com este teste, a média geral foi de 6,79 ton/ha e o coeficiente de variação correspondente a 16,59 %

**Tabela 5-29 - Produtividade obtida na 2ª safra para cada tratamento nas respectivas lâminas de irrigação, média de 4 repetições.**

Taxa de Aplicação	Grãos secos a 65* C ----- -----Ton ha <sup>-1</sup> -----		
	Água + adubo	Efl. Anaer. Desinf.	Efl. Anaer.
2ª safra			
50 L/sulco	7,22	6,99	5,06
100 L/sulco	6,88	7,49	6,63
150 L/sulco	5,37	7,26	8,29

Em relação aos tratamentos efluente anaeróbio, efluente anaeróbio desinfetado e “água+adubo”, de acordo com o teste de Tukey para a 1%, não há distinção de produtividade entre eles (para todas as taxas).

Comparando-se ainda em relação aos tratamentos, dentro da taxa de 50 L/sulco, para Tukey 5% ocorre diferença significativa, ou seja, a produtividade para o tratamento “água + adubo” foi maior em relação aos tratamentos com efluente anaeróbio. Para a taxa de 100 L/sulco não ocorre diferença significativa, e para a taxa de 150 L/sulco, a produtividade do tratamento com efluente anaeróbio não desinfetado ficou superior aos demais tratamentos.

Para o teste de Tukey a 1% referente às lâminas (taxas de aplicação por sulco), na média geral, a produtividade não apresenta distinção entre taxas de 50, 100 e 150 L/sulco.

Relacionando-se aos tratamentos, para o tratamento “água+adubo” e para o tratamento efluente anaeróbico desinfetado, entre as três taxas não ocorrem diferenças significativas. Já para o tratamento efluente anaeróbico, para a taxa de 150 L/sulco ocorre diferença, ou seja, esta apresenta maior produtividade em relação às demais taxas.

Nas tabelas a seguir, são descritos os resultados dos testes de Tukey.

**Tabela 5-30 - Teste de Tukey para médias de tratamento - produtividade**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl.	12	7.245833	7.245833	a	A
		Anaer.Desinf.					
2	3	Água + adubo	12	6.663333	6.663333	a	A
3	1	Efl. anaeróbico	12	6.483333	6.483333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 1.14929 - d.m.s. 1% = 1.48138

**Tabela 5-31 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro da taxa 50 L/sulco - produtividade**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	4	7.220000	7.220000	a	A
2	2	Efl.	4	6.990000	6.990000	ab	A
		Anar.Desinf.					
3	3	Efl. anaeróbico	4	5.060000	5.060000	b	A

**Tabela 5-32 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro da taxa 100 L/sulco - produtividade**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl.	4	7.487500	7.487500	a	A
		Anaer.Desinf.					
2	1	Água + adubo	4	6.685000	6.685000	a	A
3	3	Efl. anaeróbico	4	6.635000	6.635000	a	A

**Tabela 5-33 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro da taxa 150 L/sulco - produtividade**

número ordem	número Trat.	Tratamento	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	Efl. anaeróbico	4	8.295000	8.295000	a	A
2	2	Efl.	4	7.260000	7.260000	ab	AB
		Anaer.Desinf.					
3	1	Água + adubo	4	5.365000	5.365000	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 1.99063 - d.m.s. 1% = 2.56582

**Tabela 5-34 - Teste de Tukey para médias de taxas - produtividade**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	100	12	6.995833	6.995833	a	A
2	3	150	12	6.973333	6.973333	a	A
3	1	50	12	6.423333	6.423333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 1.14929 - d.m.s. 1% = 1.48138

**Tabela 5-35 - Teste de Tukey para médias de lâmina dentro do tratamento “Água + adubo” do fator de tratamento - produtividade**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	50	4	7.220000	7.220000	a	A
2	2	100	4	6.865000	6.865000	a	A
3	3	150	4	5.365000	5.365000	a	A

**Tabela 5-36 - Teste de Tukey para médias de lâmina dentro do tratamento “Efl. Anaeróbio Desinfetado.” do fator de tratamento - produtividade**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	100	4	7.487500	7.487500	a	A
2	3	150	4	7.260000	7.260000	a	A
3	1	50	4	6.990000	6.990000	a	A

**Tabela 5-37 - Teste de Tukey para medias de lâmina dentro do tratamento “Efl. anaeróbio” do fator de tratamento - produtividade**

número ordem	número Trat.	Taxa L/sulco	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	4	8.295000	8.295000	a	A
2	2	100	4	6.635000	6.635000	ab	AB
3	1	50	4	5.060000	5.060000	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 1.99063 - d.m.s. 1% = 2.56582

#### **D) Altura dos pendões**

As medidas de altura dos pendões referentes às 4 repetições foram tratados no teste de Tukey, cujos resultados são tratados nas tabelas a seguintes. De acordo com este teste, a média geral foi de 1,70 m e o coeficiente de variação correspondente a 5,91 %.

Verifica-se, de acordo com o teste de Tukey a 1%, que o tratamento “água + adubo” diferencia-se dos tratamentos com efluente anaeróbio (sem e com desinfecção),

apresentando média de maior de altura, e que não há distinção em relação as alturas quando se comparam entre as taxas aplicadas.

**Tabela 5-38 - Teste de Tukey para médias de tratamento, para as alturas de pendões**

número ordem	número Trat.	nome	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	1	Água + adubo	12	1.792500	1.792500	a	A
2	3	Efl.	12	1.672500	1.672500	b	AB
3	2	Anaer.Desinf. Efl. Anaer.Bruto	12	1.646667	1.646667	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.10264 - d.m.s. 1% = 0.13229

**Tabela 5-39 - Teste de Tukey para médias de taxas – altura dos pendões**

número ordem	número Trat.	nome	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	1.726667	1.726667	a	A
2	1	50	12	1.696667	1.696667	a	A
3	2	100	12	1.688333	1.688333	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.10264 - d.m.s. 1% = 0.13229

### **E) Metais nos grãos**

A metodologia aplicada para a 2ª safra foi a mesma aplicada para a 1ª safra. Os resultados das análises dos metais Zinco, Cobre, Chumbo e Cádmio, e são descritos nas Tabela 5-40 a Tabela 5-45.

**Tabela 5-40 - Concentração de Zinco nos grãos - 2ª safra**

Tratamento	Bloco	Taxas		
		50 L/sulco	100 L/sulco	150 L/sulco
		mg x kg <sup>-1</sup>		
Água + adubo	1	21,25	19,40	17,95
	2	18,05	19,20	15,05
	3	20,65	13,55	20,95
	4	22,35	18,30	19,20
Efluente Anaeróbio Desinfetado	1	33,10	-	29,25
	2	25,95	23,70	26,95
	3	24,75	33,20	28,55
	4	32,50	26,95	29,20
Efluente Anaeróbio	1	30,55	27,25	23,45
	2	25,65	31,80	32,70
	3	23,90	22,10	37,75
	4	23,60	27,30	32,00

Para concentração de Zinco nos grãos, a média geral foi 25,16 mg x kg<sup>-1</sup> e o coeficiente de variação igual a 14,74 %. Com relação às médias de tratamento, para Tukey a 1 %, os tratamentos com “efluente anaeróbio” e “efluente anaeróbio desinfetado” apresentaram-se estatisticamente semelhantes entre si, porém diferenciaram-se em relação ao tratamento “água + adubo”, que apresentou média de concentração inferior. Comparando-se entre as médias por taxas aplicadas, verifica-se que não há diferença significativa entre elas, de acordo com Tukey a 1%.

**Tabela 5-41 - Teste de Tukey para médias de tratamento - Zinco**

número ordem	número Trat.	nome	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl.Anaer. Desinf.	12	28.504167	28.504167	a	A
2	3	Efl. Anaer.	12	28.170833	28.170833	a	A
3	1	Água + adubo	12	18.825000	18.825000	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 3.78383- d.m.s. 1% = 4.87718

**Tabela 5-42 - Teste de Tukey para média de Taxas - Zinco**

número ordem	número Trat.	nome	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	26.083334	26.083334	a	A
2	1	50	12	25.191666	25.191666	a	A
3	2	100	12	24.225000	24.225000	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 3.78383 - d.m.s. 1% = 4.87718

**Tabela 5-43 - Concentração de Cobre nos grãos - 2ª safra**

Tratamento	Bloco	Taxas		
		50 L/sulco	100 L/sulco	150 L/sulco
		mg x kg <sup>-1</sup>		
Água + adubo	1	2,55	2,45	2,50
	2	2,60	2,80	2,35
	3	2,75	2,65	2,90
	4	3,30	2,60	2,90
Efluente Anaeróbio Desinfetado	1	3,15		2,90
	2	2,60	2,55	2,50
	3	2,70	3,10	2,60
	4	2,65	2,65	2,95
Efluente Anaeróbio	1	2,30	2,45	2,25
	2	3,15	3,15	2,85
	3	2,25	2,30	3,00
	4	2,15	2,75	3,05

Para concentração de Cobre nos grãos, a média geral foi 2,69 mg x kg<sup>-1</sup> e o coeficiente de variação igual a 11,88 %. Em Tukey a 1%, tanto para médias de tratamento, quanto para médias entre taxas, não há diferença significativa entre os valores.



**Tabela 5-44 - Teste de Tukey para médias de Tratamento - Cobre**

número ordem	número Trat.	nome	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	2	Efl.Anaer. Desinf.	12	2.758333	2.758333	a	A
2	1	Água + adubo	12	2.695833	2.695833	a	A
3	3	Efl. Anaer.	12	2.637500	2.637500	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.32650- d.m.s. 1% = 0.42084

**Tabela 5-45 - Teste de Tukey para médias de Taxas - Cobre**

número ordem	número Trat.	nome	número repetição	médias	Médias originais	5%	1%
1	3	150	12	2.729167	2.729167	a	A
2	2	100	12	2.683333	2.683333	a	A
3	1	50	12	2.679167	2.679167	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado  
d.m.s. 5% = 0.32650 - d.m.s. 1% = 0.42084

Para as concentrações de Cádmio e Chumbo nos grãos, as concentrações apresentaram-se abaixo do limite de detecção, portanto, não houve diferenças significativas de resultados, tanto entre os tipos de tratamento, quanto para as taxas aplicadas.

### 5.3. Comparação de resultados entre a primeira e a segunda safra

#### A) Espigas por plantas

Em relação à porcentagem de nenhuma espiga, predomina para o efluente anaeróbio quando comparado com o tratamento “água + adubo”. Para porcentagem de uma espiga, em ambas as safras não ocorreram diferenças significativas para os diferentes tratamentos e taxas de aplicação. Em relação à porcentagem de duas

espigas, predomina para o efluente anaeróbio a menor incidência, quando comparado com o tratamento água + adubo. Para a porcentagem com três espigas, em ambas as safras não ocorreram diferenças com relação às taxas de aplicação e aos tratamentos.

Deve ser ressaltado que no plantio de primeira safra e no de segunda safra não foram utilizados a mesma variedade de semente de milho. Elas foram definidas por recomendações técnicas em função da época do ano do plantio.

### **B) Medida das alturas dos pendões**

Em ambas as safras, houve predominância de maior altura para o tratamento “água+adubo” em relação aos tratamentos com efluente anaeróbio e anaeróbio desinfetado, porém não ocorreram diferenças significativas em relação as taxas hidráulicas aplicadas.

### **C) Produtividade**

Comparando-se a produtividade agrícola entre a primeira e a segunda safra, verificou-se que existem diferenças significativas entre todas as taxas e tratamentos, apenas nota-se entre ambas, semelhanças quando se comparam as produtividades entre as taxas de 50 L/sulco, que se caracterizam por apresentarem produtividades inferiores para o tratamento anaeróbio, em relação ao tratamento “água + adubo”. Para esta situação a média de produtividade foi de 5,06 ton/ha na segunda safra e 5,65 ton/ha na primeira safra, que estão entre as menores produtividades alcançadas.

Deve-se ressaltar que na primeira safra a incidência de chuvas foi maior em relação à segunda safra, e que na segunda safra a quantidade nitrogênio aplicada via efluente foi superior em relação à primeira safra.

#### **D) Quantidade de nitrogênio aplicado**

Verificou-se que na primeira safra, como houve menos turnos de regas em função dos motivos já expostos no item 5.1, a produtividade via efluente anaeróbio ficou menor em relação ao tratamento “água+adubo”. Na segunda safra, houve maior uniformidade de produtividade, e de acordo com o teste de Tukey, discutido no item 5.2 (para produtividade agrícola), não houve diferenças significativas em relação aos tratamentos.

#### **E) Metais nos grãos**

Tanto para o Chumbo, quanto para o Zinco, em ambas as safras, as concentrações ficaram abaixo do limite de detecção, não havendo diferenças entre si. Em relação ao metal Cobre, a média geral na 1ª safra foi de  $0,97 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ , enquanto que para a 2ª safra a média geral foi de  $2,69 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ . Para o Zinco a média geral na 1ª safra foi de  $16,95 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ , enquanto que para a 2ª safra a média geral foi de  $25,16 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ .

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os dados apresentados, e com as hipóteses descritas no capítulo introdução, para estas 1ª e 2ª safras, as conclusões são descritas na seqüência.

A área experimental foi devidamente escolhida e preparada para a pesquisa. De um total de 5 áreas avaliadas, mediante estudo do comportamento hidráulico do aquífero subterrâneo e análise das características e do perfil do solo, optou-se pela área da Fazenda Marfín, Franca, SP.

Para a *hipótese 1*, se a quantidade de nitrogênio presente no efluente é compatível com a adubação nitrogenada convencional na fase de cobertura, e gera produtividade estatisticamente semelhante. A hipótese se confirma para a segunda safra, para todos os tratamentos utilizados, e se confirma para a primeira safra parcialmente, somente para os tratamentos efluente anaeróbio e efluente anaeróbio desinfetado.

Para esta pesquisa, referente à *hipótese 2*, se há proporcionalidade da produtividade agrícola em relação às taxas aplicadas, confirma-se parcialmente para a primeira safra, que apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos em

relação a taxa de 150 l/sulco (que apresentou maior produtividade), e para segunda safra, na média geral não se confirma.

A desinfecção é recomendada para atendimento à qualidade sanitária do efluente aplicado na irrigação, de acordo com a Organização Mundial de Saúde. Em relação à *hipótese 3*, verificou-se que não há diferenças significativas para a produtividade, em ambas as safras, para os tratamentos efluente anaeróbio e efluente anaeróbio desinfetado.

Para a hipótese 4, referente aos metais pesados nos grãos, constatou-se que, para a 2ª safra, houve diferenciação estatística apenas para os tipos de tratamentos, entre efluente anaeróbio (tanto com desinfecção, quanto sem) e o tratamento “água + adubo”, para o metal zinco. Neste caso, as médias das concentrações dos tratamentos efluente anaeróbio (tanto com desinfecção, quanto sem) ficaram ligeiramente acima das médias para o tratamento “água + adubo”, que pode ter sido devido ao acúmulo ocorrido nas duas safras, e este acúmulo superior ao acumulado pelo adubo utilizado. Para os metais cádmio e chumbo, os resultados das concentrações ficaram abaixo do limite de detecção.

Para as condições da pesquisa, respondendo a *hipótese 5*, referente à quantidade de espigas por plantas, a hipótese é confirmada em relação ao tratamento utilizado, pois houve diferença significativa entre os resultados, e a hipótese não é confirmada em relação às taxas aplicadas, por não haver diferença significativa dos resultados. Portanto, neste caso o tratamento foi determinante nos resultados e a taxa não foi. Os tratamentos com efluente anaeróbio apresentaram diferença em relação ao tratamento “água + adubo”, referente à maior quantidade de plantas com nenhuma espiga e menor quantidade de plantas com duas espigas.

Para as condições da pesquisa, respondendo a *hipótese 6*, referente as alturas dos pendões, a hipótese é confirmada em relação ao tratamento utilizado, pois houve diferença significativa entre os resultados, e a hipótese não é confirmada em relação às taxas aplicadas, por não haver diferença significativa dos resultados. Portanto, neste

caso o tratamento foi determinante nos resultados e a taxa não foi. Os tratamentos com efluente anaeróbio apresentaram diferença em relação ao tratamento água + adubo, tendo este em média apresentado maior altura dos pendões.

Recomenda-se que, se a opção na irrigação for pela técnica de sulcos rasos, deve se prever uma adubação proporcional aos primeiros estádios fenólicos, em que a planta ainda não tenha desenvolvido tamanho de raiz suficiente para absorção de nutrientes no sulco, evitando assim algum atraso no desenvolvimento da planta em função da não capacidade de absorção de nutrientes dispostos nos sulcos.

Embora o efluente possua uma quantidade de fósforo total significativa do ponto de vista da eutrofização, quando lançado em um corpo receptor, para fins de adubação de plantio não foi considerado. Um dos motivos é que a planta necessita na fase de plantio, o que não pode ser suprido pelo efluente, devido a não haver raízes, que são necessárias para absorção no sulco, por isso deve ser suprido com a adubação mineral convencional. E outro motivo é que, para as quantidades aplicadas no total, representaria da ordem de 15 a 30 % da demanda fósforo na fase de plantio.

Verificou-se também que o efluente aplicado foi adequado ao tipo de solo, sem causar impacto negativo nas plantas e na produtividade.

A viabilidade econômica de sistemas de irrigação com efluentes tratados dependerá evidentemente do meio de transporte do líquido até a área de aplicação. Será tanto mais viável, em relação a outras alternativas de pós tratamento, quanto mais próximo a área de aplicação for em relação a ETE (processo anaeróbio), e quanto menor for a necessidade de bombeamento, que além do custo de implantação, gera custo de energia elétrica para operação. Para cada caso, recomenda-se estudo de viabilidade econômica, comparando-se com outras alternativas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, A. R. M. DOS; MATTIAZZO, M. E. **Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.57, n. 4, 2000.p.769-776.

ALMASRI, M. N.; KALUARACHCHI, J. J., **Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground in agriculture-dominated watersheds**. Journal of Hydrology 295. 2004.p. 225-245.

AMAHMID, O.; ASMAMA, S.; BOUHOUM, K. - **The Effect Of Waste Water Reuse In Irrigation On The Contamination Level Of Food Crops By *Giardia* Cysts And *Ascaris* Eggs** - International Journal of Food Microbiology – 49 (1999) – pp: 19 – 26 – Elsevier Science B. V.;

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R.; SOBRINHO, P. A.; CHERNICHARO, C. A. L.; NOUR, E, A. A. **“Filtros anaeróbios”**. In **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Campos, J. R. (coordenador). – Rio de Janeiro, ABES, 1999. p.139-154.

ANGELAKIS, A N. Status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. **Water Research**, New York, v.33, n.10, p.2201-2217, 1999.

BELLINGIERI, P. H. **Avaliação de contaminação em água subterrânea, pela prática de irrigação com efluente desinfetado de lagoa anaeróbia no cultivo de milho.** 2005. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação.** Viçosa: UFV, 1986.

BRAILE, P.M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais.** São Paulo, Cetesb, 1993.

BRASIL. Lei Nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991 Dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Mogi Guaçu e Médio Grande, estabelece critérios para o uso e ocupação do solo nesta área e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, v.101, n.241, 20/12/91.

BRASIL. Normas Brasileiras - NBR-13.969/97 Estabelece os usos previstos para o esgoto tratado.ABNT – **Associação Brasileira De Normas Técnicas**, 1997

BRASIL. Resolução no 54, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências, **Diário Oficial da União**, Brasília, 09/03/06.

CEPIS. **Hojas de divulgación Técnica HDT37: Aspectos Sanitários de la utilización de Águas Residuales y Excretas en la Agricultura y Acuicultura** – La Declaración de Engelberg.OMS,1985.

CETESB, **Irrigação com água de reúso proveniente de esgoto sanitário tratado.** Minuta de Instrução técnica nº 31, São Paulo, 2005.



CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 1.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 1997.

CINTRA FILHO, O.A. **Influência na qualidade da água subterrânea pela irrigação com efluente de lagoa anaeróbia em cultura de milho**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento do esgoto doméstico no solo pelo método do escoamento superficial**. *Doutorado*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. 1992.

CORAUCCI FILHO, B. **Aplicação no solo de água residuária cítrica contendo óleo essencial utilizando a técnica de irrigação por sulcos de infiltração**. In: I Simpósio Latinoamericano de Tratamiento y Reúso del Agua y Residuos Industriales. UNAM. México, 1998.

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A .L.; ANDRADE NETO, C. O .; NOUR, E.A.A.; ANDREOLI, F. DE N.; SOUZA, H.N.; MONTEGGIA, L. O .; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, L.; AISSE, M.M.; FIGUEIREDO, R.F.; STEFANUTTI, R. **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo**. In: Campos, J.R. (coordenador). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, Rio de Janeiro: ABES, 1999a. 321-356p.

EMBRAPA, **Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo**, consultado em 2005 e em 20/03/2007: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul21.pdf>:

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2a . Guaíba: Agropecuária, 2000.

FARUQUI, N.I.; SCOTT, C.C.; RASCHID-SALLY, L., **Confronting the Realities of Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Lessons Learned and Recommendations.**

WASTEWATER USE IN IRRIGATED AGRICULTURE **Confronting the Livelihood and Environmental Realities.** 240p. 2004 [http://www.idrc.ca/es/ev-31595-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://www.idrc.ca/es/ev-31595-201-1-DO_TOPIC.html).

FINEP, <http://www.finep.gov.br/Prosab/esgoto.htm>, 2001.

FRIEDLER, E. Jeezrael Valley project for wastewater reclamation and reuse, **Israel. Water Science and Technology** . v.40, n.4,p347-354. England, 1999.

GALLEGOS, E.; WARREN, A. ; ROBLES, E.; CAMPOY, E.; CALDERON, A.; SAINZ, MA.G.; BONILLA, P.; ESCOLERO, O. **The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico.** Wat.Sci.Tech., 40(2): 45-52, 1999.

GHEYI, H.R.; KÖNIG,A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO,F.A.V. **Tratamento e Uso de Águas Residuárias.** UFPB: Campina Grande, 1999. 110 p.

GILDE, L.C. ; KESTER, A.S. ; LAW, J.P. ; NEELEY, C.H.; PARMELEE, D. M. **A spray irrigation system for treatment of cannery wastes.** *Journal Water Pollution Control Federation*, 43 (10): 2011-2025, 1971.

HAMILTON, A.J.; BOLAND, A.M.; STEVENS, D.; KELLY, J.; RADCLIFFE, J.; ZIEHRL, A.; DILLON, P.; PAULIN, B., **Position of the Australian horticultural industry with respect to the use of reclaimed water.** *Agricultural Water Management* 71, 2005.p. 181-209.

HARUVY, N. Wastewater irrigation decision-making: farm sector interests versus the nation's . **International Water & Irrigation Review.** Tel Aviv. 1997.v.17, n.4, p24-26, 28-31, 33-34.

HESPANHOL, I. Aspectos Técnicos e de Saúde Pública Relativos ao Uso de Esgotos na Agricultura e Aquacultura – In ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA DÉCADA DA ÁGUA. LISBOA. **Anais...** Portugal: 19 a 22 abril de 1988. Governo de Portugal, República Federal da Alemanha, PNUD, OMS, 1988. 68p.

KATO, M. T., et al. **Configurações de Reatores Anaeróbios**. in: Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo; JOSÉ ROBERTO CAMPOS, Rio de Janeiro – ABES – 1999, Capítulo 3 – págs.: 53 a 99;

LANDA, H.; CAPELLA, A.; JIMÉNEZ, B. **Particle size distribution in an effluent from an advanced primary treatment and its removal during filtration**. *J. Water Pollution Control Federation*, 114(3):621-638, 1988. *Water Sci. Tech.*, 36(4): 159-165, 1997.

LEMO, M.M.G. **Metodologia adotada para o estabelecimento dos valores de referência de qualidade para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE QUALIDADE DE SOLOS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Anais...** São Paulo: Cetesb, 2000.

MALAVOLTA, E. ; VITTI, Godofredo Cesar ; OLIVEIRA, S. A. . **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**. PIRACICABA: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARA, D.D. A Hybrid Waste Stabilization pond and Wastewater Storage and Treatment Reservoir System for Wastewater Reuse for Both Restricted and Unrestricted Crop Irrigation. **Waste Research**, v.33, n.2,p591-594. Great Britain, 1999.

MARA, D.D. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**. Technical Report Series No. 778. World Health Organization, Geneva, 1989.

MELO, W.J.; COMPARINI J.B., TSUTYA, M. **Biossólidos na Agricultura**, Sabesp/USP Nupogel, 2001.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3ed. New York: McGraw-Hill, 1334 p. 1991.

MORELLI, E. B., **Reúso de Água de Lavagem de Veículos**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, USP. 2005.

NOUR, E.A .A. **Tratamento de efluentes de uma indústria cítrica pelo processo de escoamento superficial no solo**.1990. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PANORAS A., EVGENIDIS G., BLADENOPOULOU S., MELIDIS V., DOITSINIS A., SAMARAS, ZDRAGKAS A., Th. MATSI, **Corn Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater**, In: 7th Conference on Environmental Science and Technology, Ermoupolis, Syros island, Greece, 2001

PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M., Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vol.9, Nº 3, p. 225-239. 2004.

PEARSON, H.W.. **The Reuse of Waste Stabilization Pond Effluents for Aquaculture and Agriculture**. In. Seminário Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización – Lima, Peru.1986. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – OMS/OPS. P. 89-99.

PESCOD, M.B. **Wastewater and use in agriculture**. Rome: FAO.1992 (FAO Irrigation and Drainage Paper 47)

PIVELI R. P. **Monitoramento de Sistema de Lagoas de Estabilização, Pós-Tratamento por Processo Físico-Químico, Desinfecção Final e Utilização Agrícola.** Tese de Livre-docência. Escola Politécnica da USP, EPUSP, Brasil, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. (IAC. Boletim técnico 100).

STEFANUTTI R. **Notas de aulas.** Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

TAYLOR, G.L.; NEAL, L.A. **Land Treatment of Waste as an Industrial Sitting Advantage.** In: Proceedings of the 37<sup>th</sup> Industrial Waste Conference, Purdue University, 1982.

TOZE, S. **Reuse of effluent water** – benefits and risks. *Agricultural Water Management* 80, p. 147-159. 2006.

TOZE, S., **Water reuse and health risks** – real vs. perceived. *Desalination* 187, p. 41-51. 2006.

U.S. Environmental Protection Agency. 1976. **Quality Criteria for Water. EPA-R3-73-033, A Report of the National Academy of Science-National Academy of Engineering Committee on Water Quality Criteria.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

TONON, D. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura.** 2007. 248p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VIEIRA, D.B. **As Técnicas de Irrigação**. 2.ed. São Paulo. Globo, 1995. 263p.

VIEIRA, C. B. **Estudo da absorção de metais em cultura de milho irrigado com efluente de esgoto doméstico empregado a reflexão total com radiação síncroton (SR-TXRF)** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VILARINHO, A. A. , **Densidade e espaçamento como fatores de produtividade na cultura do milho**, 2005, consultado em 21/03/2007, site: <http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=237>

VON SPERLING, M.,**Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental,UFGM, 2002. 196p.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater**, excreta and greywater. 218p. 2006.