



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Orlando Antunes Cintra Filho

**INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA PELA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE
DE LAGOA ANAERÓBIA EM CULTURA DE MILHO**

Campinas
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo

Orlando Antunes Cintra Filho

INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PELA
IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA ANAERÓBIA EM CULTURA
DE MILHO

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

Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Campinas
2008



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo

Orlando Antunes Cintra Filho

**INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
PELA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA
ANAERÓBIA EM CULTURA DE MILHO**

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

Handwritten signature of Bruno Coraucci Filho in blue ink.

Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho
Presidente e Orientador – UNICAMP/FEC

Handwritten signature of Ronaldo Stefanutti in blue ink.

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (UNICAMP/FEC)

Handwritten signature of Renato Monte Alegre in blue ink.

Prof. Dr. Renato Monte Alegre (UNICAMP/FEA)

Campinas, 25 de Janeiro de 2008

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

C493i	<p>Cintra Filho, Orlando Antunes</p> <p>Influência na qualidade da água subterrânea pela irrigação com efluente de lagoa anaeróbia em cultura de milho / Orlando Antunes Cintra Filho.-- Campinas, SP: [s.n.], 2008.</p> <p>Orientador: Bruno Caraucci Filho</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.</p> <p>1. Águas subterrâneas. 2. Água – Purificação – Tratamento biológico. 3. Água na agricultura. 4. Água – reutilização. I. Caraucci Filho, Bruno. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.</p>
-------	---

Titulo em Inglês: Influence on the quality of the underground water from corn crop irrigation with sanitary effluent from an anaerobic pond

Palavras-chave em Inglês: Águas subterrâneas, Água purificação tratamento biológico, Água na agricultura, Água reutilização

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ronaldo Stefanutti, Ranulfo Monte Alegre

Data da defesa: 25/01/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Dedicatória

À memória do meu saudoso pai Orlando A. Cintra, à minha mãe Isabel Moreno Cintra, guerreira incondicional que me forneceu as armas e estratégias para todas minhas conquistas.

À esposa Berenice e filhos Monique e Rafael, que nos momentos árdus deste trabalho foram meus maiores incentivadores, sempre compreensíveis quanto à minha ausência em alguns momentos e jamais permitiram que eu esmorecesse.

Com amor e paixão

Agradecimento

Primeiramente, agradeço a Deus pela Saúde e disposição para conclusão deste trabalho.

Um especial agradecimento ao amigo, companheiro e orientador Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, pelo incentivo, ensinamentos, apoio e confiança, sempre com muita disposição e alegria.

Ao amigo Dr. Ronaldo Stefanutti, pelo apoio em todos os momentos, pelas sábias e fundamentais “dicas”.

Ao Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo, que disponibilizou seus conhecimentos e experiências nos momentos decisivos.

À Dra. Edna Ivani Bertncini, pela disposição apoio especial na fase de montagem do experimento.

Ao amigo e mestre Eng. Sanitarista José E. Vanzo, que com sabedoria me provocou para este desafio. Com seus valiosos conselhos, orientações e tão explícitos exemplos me conduziram a encontrar os melhores caminhos para minhas realizações profissionais.

Ao sábio e valioso amigo, Eng. Dr. João Batista Comparini, que além das preciosas contribuições na banca de qualificação, sempre me acompanhou, incentivou e facilitou o desenvolvimento deste trabalho

Ao amigo e parceiro Eng. José Paulo Zamarioli, que não mediu esforços para me apoiar e incentivar durante todas as etapas da pesquisa, proporcionando-me tranquilidade com compreensão nos momentos de ausência do trabalho para dedicação aos meus estudos e desenvolvimento da pesquisa.

Ao Eng. Sanitarista Leonardo Silva Macedo, pelos ensinamentos e incentivo para o ingresso nessa empreitada.

Ao amigo Eng. Sanitarista Américo Sampaio, pela prontidão em apoiar a pesquisa.

Ao Luciano Reami, inseparável amigo, parceiro nos trabalhos desenvolvidos, sempre disponível e equilibrado na sua competência e sabedoria.

Ao Sr. Paulo Eduardo Ribeiro Maciel, por ceder generosamente, a área para desenvolvimento do trabalho;

Aos bolsistas do laboratório de reuso, do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC, Lucas e Emanuel, pelo apoio na preparação de amostras para análises de metais;

Ao Dr Francisco Anaruma pela realização dos ensaios de pesquisa de ovos de Helmintos entre outras contribuições.

Aos colegas da Divisão de Controle Sanitário e Ambiental da SABESP em Franca, sem eles seria impossível meu desdobramento para dedicação neste trabalho, aos Técnicos do Laboratório: Luís Salomão, Paulo Vitor, Josimar, Elaine, Karla, Márcia e Cláudia, aos Coletores Hidelbrando, Marcos, Gelson, Ademar, Flávio e Santina, às Técnicas Administrativas Lílian e Remilde, ao eng. André Bagatim e ao fiel colaborador direto em vários momentos da pesquisa, o biomédico Nassif Abrão.

Aos amigos e irmãos do time das Divisões de Controle Sanitário e Ambiental da Diretoria Regional da SABESP: Osvaldo Beltrame, Ana Maria, Carlinhos, Dirceu, Batista, Oswaldo Júnior, Roberto Messias, Tadeu, Augusto, Marco Antônio, Maurício Polezi, Mauro Ignácio e Vasti, pelo incentivo e apoio.

À SABESP, pela disponibilidade da estrutura dos laboratórios e parceria na pesquisa.

Ao PROSAB e FINEP pelos recursos empregados.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

Chico Xavier

Resumo

CINTRA FILHO, Orlando A., **Influência na Qualidade da Água Subterrânea pela Irrigação com Efluente de Lagoa Anaeróbia em Cultura de Milho**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2008 118p. Dissertação (Mestrado), 2008

O trabalho teve a finalidade de avaliar o impacto da irrigação com efluente sanitário oriundo de lagoa anaeróbia, na cultura do milho. O objetivo principal da pesquisa foi avaliar as alterações na qualidade da água do aquífero subterrâneo sob a influência direta da irrigação diferenciada por três cenários: água de superfície com adubo químico, efluente anaeróbio desinfetado e efluente anaeróbio não desinfetado. Como efluente sanitário anaeróbio foi utilizado efluente da lagoa anaeróbia da ETE Lagoa Paulistano II, que trata esgoto sanitário estritamente residencial, proveniente do bairro Paulistano II do Município de Franca, SP. O processo é operado pela Companhia de Saneamento Básico de Estado de São Paulo – SABESP. A técnica de irrigação foi disposição do efluente em sulcos rasos. Foram testadas três taxas de aplicação, correspondente a volumes de 50, 100 e 150 litros por aplicação para os três cenários, com 4 repetições cada, totalizando 36 parcelas. O experimento foi realizado no período entre novembro de 2005 e janeiro de 2008, onde foram realizadas duas safras, sendo uma de período chuvoso e outra no período de estiagem. As análises laboratoriais foram desenvolvidas no laboratório regional da SABESP, com sede em Franca, que é acreditado pelo Instituto Nacional Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO segundo os critérios da Norma ISO/IEC 17025. Os resultados evidenciaram que, no período do estudo, não houve evidências de comprometimento na qualidade da água do aquífero subterrâneo sob os três cenários pesquisados. No entanto, mesmo com estas evidências, foi recomendado um período mais prolongado dessas avaliações, pois é questionada a possibilidade do tempo de avaliação não ter sido suficiente para ocorrer a migração dos resíduos da irrigação para o aquífero.

Palavras Chave: lagoa anaeróbia, água subterrânea, solo, reuso, agricultura.

ABSTRACT

This work had the purpose of evaluating the impact of corn crop irrigation with sanitary effluent from an anaerobic pond. The main objective of this research was to verify possible changes on the quality of the aquifer under the direct influence of three different irrigation scenarios: surface water with chemical fertilizer; disinfected anaerobic effluent; and, raw anaerobic effluent. Sanitary anaerobic effluent was withdrawn from ETE Lagoa Paulistano II, an anaerobic pond that treats strictly domestic wastewater from Paulistano II, a neighborhood from the city of Franca, SP. This treatment system is owned and operated by SABESP (Companhia de Saneamento Básico de Estado de São Paulo). Shallow furrows were utilized as irrigation system for the application of the anaerobic effluent. Three different application rates were tested, corresponding to daily volumes of 50, 100, and 150 liters for each of the three scenarios, with four repetitions, totalizing 36 parcels. The experiment was accomplished during the period of November of 2005 to January of 2008, when two harvests were made, respectively one for the rainy period and another for the dry period. Laboratory analyses were performed at the regional laboratory of SABESP, located in Franca, which is accredited by INMETRO, the National Institute for Metrology, Normalization and Industrial Quality, according to criteria of the ISO/IEC 17025 standard. Results obtained during the study period showed that there was no evidence of worsening the aquifer quality. Despite the results, it was recommended that future research on this topic should cover a larger testing period. This seems to be necessary because it was questioned if the time for the migration of the irrigation effluent residues to the aquifer was achieved.

KEY WORDS: anaerobic pond, underground water, aquifer, soil, reuse, agriculture.

Lista de ilustrações

Figura 3.1-1 -Distribuição de água na Terra	6
Figura 3.2-1 – Localização do Aquífero Guarani na América do Sul	7
Figura 3.3-1 – Esquema de uma lagoa anaeróbia	Erro! Indicador não definido.
Figura 3.6-1 - Diagrama para classificação de água de irrigação de (U.S. Salinity Laboratory Satff - Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos) citado por STEFANUTTI, 2006	23
Figura 4.1-1 – Vista geral da área do experimento	44
Figura 4.2-1– Representação gráfica para determinação do fluxo do aquífero subterrâneo.	46
Figura 4.3-1 - Aplicação de calcáreo	47
Figura 4.4-1 - Posicionamento de poços e parcelas do campo experimental na Fazenda Marfim – Restinga-SP	48
Figura 4.4-2– Vista da área do experimento com poços de monitoramento instalados na Fazenda Marfim – Rifaina-SP	50
Figura 4.5-1– Desenho representativo do corte dos sulcos	51
Figura 4.5-2– Sulcos irrigados com efluente	51
Figura 4.5-3– Tanque de armazenamento dos efluentes instalados no campo experimental na Fazenda Marfim, Rifaina-SP	52
Figura 4.5-4– Detalhe do dosador utilizado para aplicação de efluentes.	53
Figura 4.5-5– Descarregamento de efluente nos tanques da área experimental da Fazenda Marfim, Restinga-SP	53
Figura 4.5-6– Capitação de água do açude na Fazenda Marfim, Restinga-SP	54
Figura 4.5-7– Detalhe da medição do volume de água utilizado na irrigação	55
Figura 4.5-8– Detalhe da adubação na linha do plantio no experimento da Fazenda Marfim, Restinga-SP	55
Figura 4.5-9– Detalhe do plantio do milho com auxílio de cordão marcado no campo experimental da Fazenda Marfim, Restinga-SP.	56
Figura 4.5-10– Detalhe da coleta de solo utilizando o trado Uhland	57
Figura 4.5-11- Curva característica de água no solo profundidade 0,0 a 0,25 m da Fazenda Marfim, Retinga-SP	58
Figura 4.5-12 - Curva característica de água no solo, profundidade de 0,25 a 0,50 m da Fazenda Marfim, Restinga-SP	59
Figura 4.6-1 – Conjunto utilizado para amostragens nos poços de monitoramento.	60
Figura 4.6-2 – Detalhe da instalação da mangueira utilizada para amostragens dos poços de monitoramento do campo experimental na Fazenda Marfim, Restinga-SP	61
Figura 4.6-3 – Coletores de amostras de água drenagem livre	62
Figura 4.6-4 – Detalhe da colocação dos coletores de amostras de água de drenagem no campo experimental da Fazenda Marfim, Restinga-SP.	63
Figura 4.7-1 – Espectrofotômetro de Absorção Atômica da SABESP utilizado para análises de metais nas amostras de água subterrâneas e solo.	64
Figura 5.1-1 – Precipitações pluviométricas nos períodos das duas safras durante o experimento na Fazenda Marfim, Restinga-SP.	67

Figura 5.6-1 -Variação da condutividade elétrica nos poços de monitoramento	75
Figura 5.7-1 – Variação de turbidez nos poços de monitoramento.	76
Figura 5.8-1 - Quantidade de nitrogênio aplicado na primeira safra, para os diferentes cenários e parcelas com profundidade de irrigação de: 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco).	78
Figura 5.8-2 - Quantidade de nitrogênio aplicado na segunda safra, para os diferentes cenários e parcelas com profundidade de irrigação de: 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco).	79
Figura 5.8-3 - Variação dos teores médios de nitratos nos poços de monitoramento à montante e à jusante da área sob influência da irrigação. Fazenda Marfim, Franca-SP	80
Figura 5.9-1 – Valores médios de Coliformes totais, condutividade e nitratos nos poços monitorados nos três cenários após irrigações nas duas safras.	81
Figura 5.10-1 - Valores de Bactérias Heterotróficas durante o experimento	82
Figura 5.13-1 – Resultados bacteriológicos de amostras dos coletores de superfície (0,50 m abaixo da linha de plantio)	87
Figura 5.13-2 – Resultados de condutividade, nitratos e cloretos nas amostras dos coletores de superfície (0,50 m abaixo da linha de plantio)	88
Figura 5.13-3 – Resultados de DBO e DQO nas amostras dos coletores de superfície (0,50 m abaixo da linha de plantio) e nos efluentes e água de irrigação.	89

Lista de Tabelas

Tabela 3.2-1- Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, CETESB, 1990-1997.	9
Tabela 3.4-1 – Aumento da produtividade agrícola (t/ha.ano)	16
Tabela 4.5-1 – Resultados da análise e capacidade de retenção de água pelo solo da Fazenda Marfim, Restinga-SP	58
Tabela 4.9-1 – Metodologias analíticas utilizadas nas amostras de água.	66
Tabela 5.2-1- Características físico-químicas e microbiológicas dos efluentes desinfetados utilizados na irrigação do milho na Fazenda Marfim, Restinga-SP.	69
Tabela 5.2-2 - Características físico-químicas e microbiológicas dos efluentes não desinfetados utilizados na irrigação do milho na Fazenda Marfim, Restinga-SP.	70
Tabela 5.3-1 – Qualidade da água subterrânea coletada nos poços 11 e 12, à montante da área de irrigação e da direção do fluxo do lençol (NA), na Fazenda Marfim, Restinga-SP.	71
Tabela 5.5-1 – Concentrações de metais na água subterrânea sob influência da irrigação no cenário ÁGUA (água + fertilizantes), amostras coletadas nos poços 7 e 8. Fazenda Marfim, Restinga-SP	73
Tabela 5.5-2 – Concentrações de metais na água subterrânea sob influência da irrigação no cenário EAD (efluente desinfetado), amostras coletadas nos poços 5 e 6. Fazenda Marfim, Franca-SP	74
Tabela 5.5-3 – Concentrações de metais na água subterrânea sob influência da irrigação no cenário EAB (efluente anaeróbico bruto), amostras coletadas nos poços 3 e 4. Fazenda Marfim, Restinga-SP	74
Tabela 5.12-1 – Qualidade da água da mina à montante da área do experimento, utilizada por morador da Fazenda Marfim, Restinga, SP.	84
Tabela 5.12-2 – Qualidade da água da mina à jusante da área do experimento, utilizada por morador da Fazenda Marfim, Restinga, SP.	85
Tabela 5.13-1 – Resultados médios nos coletores de água drenada	87
Tabela 5.14-1– Resultados dos teores de metais pesados em amostras de solo coletadas nos sulcos irrigados a 0-0,20m de profundidade. Médias de 04 repetições.	90
Tabela 5.15-1 – Resultados da avaliação de presença e viabilidade de ovos de helmintos em amostras coletadas na superfície do solo, 45 dias após a última irrigação.	91
Tabela 5.15-2– Resultados da avaliação de presença e viabilidade de ovos de helmintos em amostras coletadas na superfície do solo, 90 dias após a última irrigação.	92

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	4
2.1	Objetivo Geral	4
2.2	Objetivos específicos	4
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	Distribuição da água no planeta	5
3.2	Aquífero Guarani	6
3.3	Lagoa de estabilização anaeróbia	9
3.4	Reuso da água	12
3.4.1	Reuso da água para a agricultura.	13
3.5	Considerações sobre a irrigação	19
3.6	Restrições de salinidade no efluente de irrigação	22
3.7	Qualidade da água relacionada com o reuso	24
3.7.1	Bactérias	28
3.7.2	Coliformes totais e Escherichia coli	28
3.7.3	Bactérias Heterotróficas	29
3.7.4	Estreptococos	31
3.7.5	Vírus	31
3.7.6	Protozoários	32
3.7.7	Helmintos	32
3.7.8	Turbidez	33
3.7.9	Ferro	34

3.7.10	Metais Pesados	34
3.7.11	Condutividade elétrica	35
3.7.12	Cloretos	35
3.7.13	Fósforo Total	36
3.7.14	Sódio	37
3.7.15	Alumínio	38
3.7.16	Amônia (nitrogênio amoniacal)	39
3.7.17	Nitratos	40
3.7.18	Nitrito	41
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	Escolha do local do experimento	43
4.2	Determinação do fluxo da água no lençol freático	45
4.3	Características e preparação do solo na área do experimento	46
4.4	Poços de monitoramento	47
4.5	Delineamento experimental	50
4.5.1	Cenários de irrigação	50
4.5.2	Alimentação da irrigação	52
4.5.3	Adubação	55
4.5.4	Plantio	56
4.5.5	Quantidade de água necessária para irrigação	56
4.5.6	Precipitações pluviométricas	59
4.6	Monitoramento na qualidade da água subterrânea	59
4.6.1	Monitoramento de água drenada	61

4.7	Análises de metais no solo	63
4.8	Amostragem e avaliação da presença de ovos de helmintos no solo.	64
4.9	Ensaio laboratoriais nas amostras de água	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1	Precipitações pluviométricas	67
5.2	Efluente aplicado na irrigação	68
5.3	Qualidade da água nos poços à montante da área irrigada.	71
5.4	Qualidade da água nos poços à jusante da área irrigada.	72
5.5	Metais pesados	72
5.6	Condutividade elétrica	75
5.7	Turbidez	76
5.8	Nitrogênio aplicado e nitrato residual	77
5.9	Coliformes totais e E.coli	80
5.10	Bactérias heterotróficas	81
5.11	Enterococcus	83
5.12	Qualidade da água de minas utilizadas na fazenda.	83
5.13	Qualidade da água drenada nos coletores de superfície	86
5.14	Presença de metais pesados no solo	90
5.15	Presença de ovos de helmintos no solo	91
6	CONCLUSÕES	93
7	RECOMENDAÇÃO	94
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da legislação brasileira quanto aos padrões para lançamento de efluentes nos corpos d'água e a politização ambiental da sociedade como um todo, culminou em um mecanismo de cobrança eficaz aos os responsáveis pelo saneamento, pressionando-os quanto à necessidade de adequar o tratamento de esgoto sanitário de forma a não comprometer o meio ambiente.

Este estudo contempla uma avaliação quanto da possibilidade na interferência da qualidade da água subterrânea, observando o comportamento na concentração de alguns parâmetros biológicos e físico-químicos antes, durante e após a irrigação com efluente de lagoa anaeróbia através da técnica de sulcos rasos em cultura de milho (*Zea mays*). Para tanto são consideradas as características climáticas e do solo na região de Franca-SP. O experimento foi desenvolvido em área agrícola da Fazenda Marfin localizada na área rural do município de Restinga-SP, destinada exclusivamente para este estudo, anteriormente era utilizada para pastagens. Foi adotada a técnica de sulcos rasos devido a mesma ser a mais indicada para a obtenção dos parâmetros pesquisados.

Estas pesquisas fazem parte de uma rede de projetos de editais do CT-HIDRO e projetos temáticos apoiados pela FINEP (FNDCT), Ação Transversal – PROSAB (diversos Editais, no Tema 2), os quais foram e estão sendo desenvolvidas pela FEC/UNICAMP, tendo como objetivo geral o reuso de efluente sanitário tratado proveniente de lagoa anaeróbia/facultativa em solo agrícola. Nesse projeto a SABESP – UN do Pardo e Grande com sede em Franca tem uma destacada participação.

O crescimento dos impactos sobre as águas subterrâneas, provenientes de práticas agrícolas são, aparentemente, um fenômeno recente, associados ao aumento do uso de fertilizantes químicos e pesticidas sintéticos (KRAFT, 1999).

Com o uso de efluente de lagoa anaeróbia lançado diretamente no solo é esperado que a presença de nutrientes seja disponibilizada para as plantas, tais como nitrogênio e fósforo. No entanto, existe a preocupação quanto à grande quantidade de microrganismos e alguns compostos químicos, existentes nos esgotos, podendo contaminar o solo e percolar para as águas subterrâneas.

Embora a introdução de microrganismos externos em um ambiente natural, que já possua uma flora microbiana autóctone estabelecida, gere uma competição entre essas duas comunidades, o que acontece normalmente é que a comunidade autóctone prevaleça na competição por nutrientes, terminando por eliminar o grupo que foi introduzido, minimizando o efeito de percolação de microrganismos para níveis mais profundos do solo (ALEXANDER, 1977; ODUM, 1988).

As observações tiveram como foco a irrigação da cultura do milho, por meio da técnica de irrigação por sulcos rasos de infiltração. Foram aplicadas, diferentes taxas hidráulicas de aplicação, considerando a adequação sob a visão agrônômica e preservação da qualidade sanitária do aquífero subterrâneo, com benefícios à produção agrícola.

A adoção do sistema de irrigação como pós-tratamento de efluente de lagoas anaeróbias permite o retorno dos elementos básicos ao ciclo biogeoquímico, é também um processo de recuperação ambiental dos resíduos gerados por atividades humanas. 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 estudo aprofundado sobre a remoção de patógenos. A presença de matéria orgânica e nutrientes promove a melhoria da fertilidade do solo, além de promover melhor estruturação dos seus agregados. Quanto aos

patógenos, estes podem vir a ter remoção suplementar satisfatória devido a ação dos raios ultravioletas da luz solar, da dessecação e da ação dos predadores biológicos no solo, conforme OMS(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 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 mantenham as condições necessárias para a depuração do esgoto e para o desenvolvimento da planta.

Neste sentido, pretendia-se buscar respostas às seguintes hipóteses:

- 1 – Se a quantidade de nitrogênio presente no efluente anaeróbio, quando utilizados na irrigação de cultura de milho pelo método de sulcos rasos, poderia comprometer a qualidade da água subterrânea com o aumento do teor de nitratos em níveis acima do permitido na legislação;
- 2 – Se com o contínuo lançamento de efluentes para irrigação, mesmo que este fosse estritamente residencial e com baixos teores de metais, haveria comprometimento dos níveis desses metais no solo e aquífero subterrâneo;
- 3 – Se após irrigações num período mínimo de duas safras de milho as condições sanitárias do aquífero sob influência dessas irrigações envolvendo três cenários: água + fertilizantes, efluente anaeróbio desinfetado e efluente anaeróbio não desinfetado iriam comprometer a qualidade da água subterrânea a ponto de inviabilizar seu uso para fins de potabilidade;
- 4 – Se haveria a necessidade de praticar a desinfecção do efluente anaeróbio antes de lança-lo na irrigação.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

A pesquisa teve como objetivo geral a avaliação quanto à eventual possibilidade de ocorrência de impacto, quando da prática da irrigação via aplicação de efluente anaeróbio de origem sanitária, na qualidade da água subterrânea durante e após as duas safras de milho, considerando as características climáticas e do solo da região do experimento.

2.2 Objetivos específicos

Posicionar e perfurar poços de monitoramento da qualidade da água no aquífero sob a área de plantio e irrigação de milho com esgoto sanitário.

Aplicar taxas hidráulicas de acordo com os propósitos da irrigação.

Avaliar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, tais como turbidez, pH, nitratos, condutividade, metais, coliformes totais e *E.coli*

Avaliar os efeitos na água subterrânea sob os três tratamentos propostos: água + nutrientes, efluente anaeróbio não desinfetado e efluente anaeróbio desinfetado.

Avaliar a necessidade da desinfecção do efluente anaeróbio antes da irrigação.

Fazer uma avaliação quanto aos vários aspectos da legislação vigente, incluindo contribuições para futuras elaborações de normas e legislação ambiental.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Distribuição da água no planeta

A WHO (2006) chama atenção para a estimativa de HINRICHSEN et al. (1998), que dentro dos próximos 50 anos mais de 40% da população mundial irá viver em países que enfrentarão escassez de água.

A importância da água quanto a sua quantidade, qualidade e preservação vem sendo o principal tema de debates entre profissionais e pesquisadores envolvidos com saneamento e meio ambiente, pois o homem já se sensibilizou quanto à notória progressão de população no planeta e decrescente disponibilidade de fontes de água potável.

No Planeta Terra 99,4 % da água encontram-se indisponíveis para consumo humano, existindo apenas 0,6 % de água doce líquida, das quais 97,5% são as águas subterrâneas (CETESB, 2004).

A Figura 3.1-1 apresenta a distribuição das águas no planeta, mostrando a pequena porcentagem de água disponível para abastecimento e a importância das águas subterrâneas.

O Brasil é um país privilegiado porque possui 12% das reservas mundiais de água doce apresentando disponibilidade hídrica de 40.732 m³/hab/ano (ANA, 2002 citado por CETESB, 2004). Aproximadamente 80% das águas brasileiras estão na Bacia Amazônica, e 1,6% no Estado de São Paulo (SABESP, 2004 citado por CETESB, 2004). Entretanto, como no resto do mundo, as interferências no ciclo de renovação, principalmente das águas superficiais, têm diminuindo a quantidade e qualidade de água disponível para consumo. Tais interferências são: extração excessiva, uso inadequado, lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos de água, ausência de controle de erosão, ausência de matas ciliares, bem como ao crescente aumento de custo no seu tratamento,

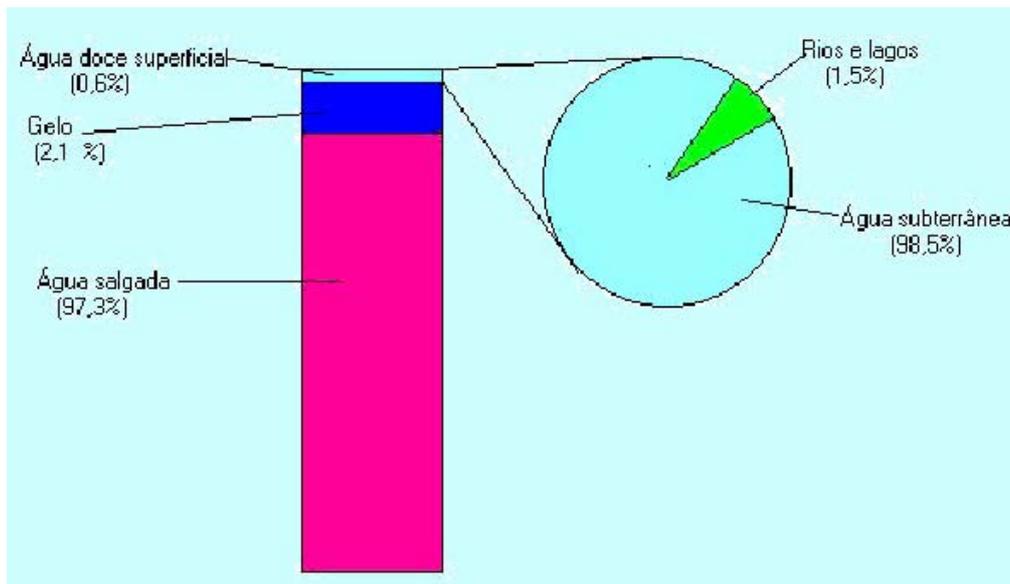


Figura 3.1-1 -Distribuição de água na Terra

Fonte: www.meioambiente.pro.br/agua/guia/ociclo

3.2 Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani é considerado o principal reservatório de água subterrânea da América do Sul e um dos maiores sistemas do mundo, ocupando área total de 1,2 milhões de km² na Bacia do Paraná e parte da Bacia do Chaco-Paraná. Estende-se pelo Brasil (840.000 Km²), Paraguai (58.500 Km²), Uruguai (58.500 Km²) e Argentina, (255.000 Km²), área equivalente aos territórios de Inglaterra, França e Espanha juntas. Sua maior ocorrência se dá em território brasileiro (2/3 da área total) abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Tem uma área de recarga de 150.000 Km² e é constituído pelos sedimentos arenosos da Formação Pirambóia na Base (Formação Buena Vista na Argentina e Uruguai) e arenitos Botucatu no topo (Misiones no Paraguai, Tacuarembó no Uruguai e Argentina).



Figura 3.2-1 – Localização do Aqüífero Guarani na América do Sul
fonte: Revista Super Interessante nº 07 ano 13

O Aqüífero Guarani constitui-se em uma importante reserva estratégica para o abastecimento da população, para o desenvolvimento das atividades econômicas e do lazer. Sua recarga natural anual (principalmente pelas chuvas) é de 160 Km³/ano, sendo que desta, 40 Km³/ano constitui o potencial explorável sem riscos para o sistema aqüífero. As águas em geral são de boa qualidade para o abastecimento público e outros usos, sendo que em sua porção confinada, os poços tem cerca de 1.500 m de profundidade e podem produzir vazões superiores a 700 m³/h. (www.ambiente.sp.gov.br, 2007)

No Estado de São Paulo, o Guarani é explorado por mais de 1000 poços e ocorre numa faixa no sentido sudoeste-nordeste. Sua área de recarga ocupa cerca de 17.000 Km² onde se encontram as maiores parte dos poços. Esta área é a mais vulnerável e deve ser objeto de programas de planejamento e gestão ambiental permanentes para se evitar a contaminação da água subterrânea,

sobrexplotação do aquífero com o conseqüente rebaixamento do lençol freático e o impacto nos corpos d'água superficiais.

A CETESB, entre 1990 e 1997, monitorou o Aquífero Guarani e a Tabela 3.2-1, apresenta os principais parâmetros indicativos da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

Embora tenha sido observada amplitude de variação de 0 a 4,7 mg/l para o parâmetro nitrato neste sistema aquífero, em 98% das análises realizadas o teor observado foi menor ou igual a 1,0 mg/l.

Esta amplitude de variação é obtida em função de um ponto isolado, onde a concentração de nitrato, apesar de estar bem acima da mediana, não ultrapassa o valor de alerta utilizado como crítico para poços com indício de contaminação (5 mg/l). O mesmo tipo de avaliação se aplica para o parâmetro potássio.

A constatação da presença de coliformes totais em 19% das amostras, e de coliformes fecais em 13% das amostras deve ser averiguada, uma vez que pode estar ocorrendo devido ao poço não se encontrar adequadamente protegido e as amostras terem sido contaminadas por ocasião da coleta, ou ainda, o aquífero estar contaminado.

A atual rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo é composta por 143 poços tubulares profundos, que captam água de diferentes sistemas aquíferos.

São realizadas duas campanhas anuais de coleta de água e analisado 33 parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos.

Tabela 3.2-1- Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, CETESB, 1990-1997.

Parâmetro	Unidade	Padrão (1)	Nº de Análises Realizadas	Amplitude de Variação	Mediana
Nitrato	mgN/L	10	196	0,0 - 4,70	0,05
Potássio	mgK/L	-	183	0,2 - 14,20	2,80
Ferro total	mgFe/L	0,3	180	< 0,005 - 0,21	0,04
Cloreto	mgCl/L	250	192	< 0,10 - 12,5	1,00
Cálcio	mgCa/L	-	201	< 0,02 - 40,0	6,00
Dureza total	mgCaCO ₃ /L	500	203	2,60 - 115,0	30,00
Sol. Totais Diss.	mg/L	1000	201	12 - 236	88
Cromo total	mgCr/L	0,05	124	< 0,05	-
Fluoreto	mgF/L	0,6-1,7	134	0,08 - 0,42	0,10
Condutividade	µS/cm		194	8 - 315	82
pH		6,5 - 8,5	201	4,8 - 9,39	6,47
Temperatura	°C		199	20 - 35	24,00
Coli total	NMP/100mL	0	193	0 - 1600	-
Coli Fecal	NMP/100mL	0	198	0 - 240	-

Regiões abrangidas no Estado de São Paulo: Araraquara, Bauru, Franca, Ribeirão Preto e Sorocaba

UGRHI's: 04, 08, 09, 10, 12, 13, 14, 16 e 17.

(1) Padrão de Potabilidade Portaria 518 - MS

3.3 Lagoa de estabilização anaeróbia

Uma tarefa quase impossível é determinar onde e quando se utilizaram lagoas de estabilização de esgotos sanitários pela primeira vez, visto que há séculos se emprega o princípio de tanques que recebiam aplicação de fezes, visando a produção de peixes. Essa prática era comum na China, onde usavam as fezes humanas ao invés de suínas. (BURBARELLI, 2004)

Um sistema de lagoa anaeróbia constitui um dos processos mais simplificados para o tratamento dos esgotos doméstico, onde predomina ambiente estritamente anaeróbio. Esta condição da falta de oxigênio é facilmente alcançada graças ao lançamento de elevadas cargas de demanda química de oxigênio (DBO) que se sobrepõe às taxas de incorporação de oxigênio.

Como a taxa de reprodução das bactérias anaeróbias é baixa a estabilização da matéria orgânica se torna lenta. Temperatura ambiente média

próxima dos 22°C favorece essa taxa de reprodução bacteriana, viabilizando uso de lagoas anaeróbias em países de clima tropical como o Brasil.

O tratamento de esgoto em lagoas anaeróbias em uma descrição bem simplificada está fundamentado na estabilização da matéria orgânica por microorganismos que, na ausência de oxigênio, promovem a transformação dos compostos orgânicos tais como lipídeos, proteínas e carboidratos em metano, gás carbônico, gás sulfídrico e amônia. Como principais responsáveis por esta importante conversão pode-se destacar a ação de grupos específicos de bactérias heterotróficas através de seus processos metabólicos, sendo cada grupo de bactérias responsável por uma das quatro etapas do processo de estabilização anaeróbia, que são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CAMPOS et al, 1999).

Na hidrólise ocorre lenta transformação materiais particulados complexos em materiais dissolvidos mais simples através da ação das bactérias fermentativas. A eficiência desse processo é influenciada diretamente pelos seguintes fatores: temperatura, tempo de residência, composição do substrato, tamanho das partículas, pH, concentração de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e concentração dos produtos da hidrólise.

Na acidogênese, em meio ácidos, os compostos oriundos da hidrólise são transformados em substâncias mais simples como: ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfetos de hidrogênio (responsável pelos maus odores).

Na acetogênese predominam bactérias de um grupo metabólico intermediário, que produz substrato para as metanogênicas. É nesta fase que os produtos gerados na acidogênese são oxidados e convertidos a hidrogênio, gás carbônico e acetatos.

A metanogênese é a etapa final da degradação anaeróbia dos compostos orgânicos, transformados pelas bactérias metanogênicas em biogás composto basicamente por metano e dióxido de carbono.

As lagoas anaeróbias são constituídas através de uma simples e profunda escavação no solo com uma altura que varia de 4 a 5 metros e área pequena quando comparada com outros tipos de lagoas com presença de oxigênio. O volume da lagoa anaeróbia é dimensionado de forma a permitir um tempo de detenção hidráulica entre 2 e 6 dias. A Figura 3.3-1 ilustra um esquema básico de lagoa anaeróbia.

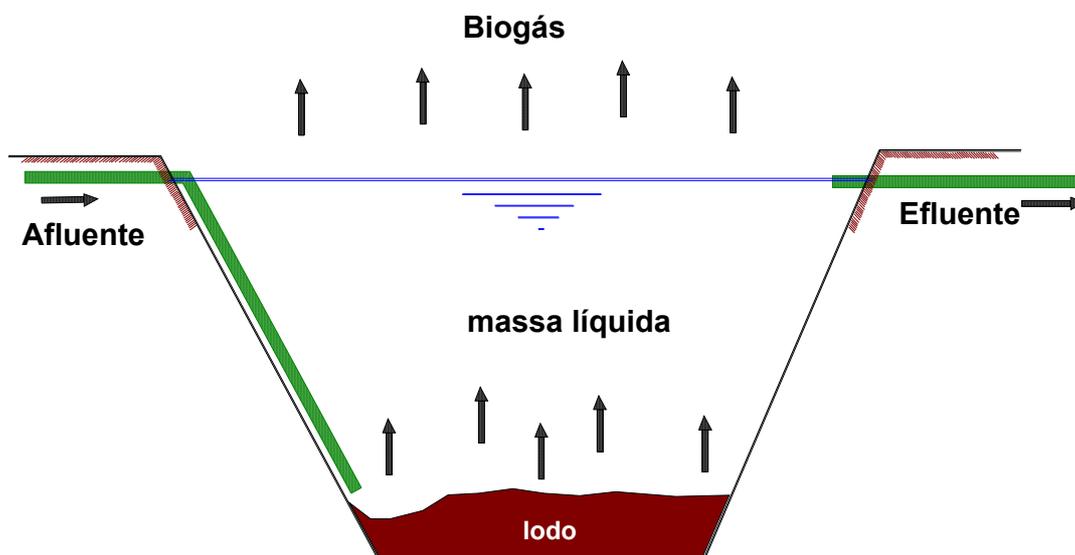


Figura 3.3-1 – Esquema básico de uma lagoa anaeróbia

Cálculo do volume da lagoa com base no tempo de detenção hidráulica é feito através da equação 1:

$$V = t.Q$$

onde:

V = volume requerido para a lagoa (m^3);

t = tempo de detenção hidráulico (d)

Q = vazão média a ser tratada (m^3/d)

Uma lagoa anaeróbia tem a vantagem de produzir pouco lodo (segundo MENDONÇA (1990), esta taxa é da ordem de 0,03 a 0,04 m³/hab.ano) e remover até 60% da carga de DBO.

Devido a baixa eficiência na remoção de matéria orgânica os sistemas de lagoas anaeróbias necessitam de um tratamento complementar para atender as exigências dos órgãos ambientais.

3.4 Reuso da água

O termo reuso para água vem sendo amplamente utilizado por vários especialistas, no entanto, a sua interpretação nem sempre tem a mesma combinação entre as varias fontes.

Para a Organização Mundial da Saúde (1973) o reuso tem as seguintes definições:

“**reuso indireto:** ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída”;

“**reuso direto:** é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável”;

“**reciclagem interna:** é o reuso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e controle de poluição”.

LAVRADOR FILHO, 1987 sugere uma terminologia para uniformização de linguagem para a definições de reuso:

“*Reuso da Água:* é o aproveitamento de águas proveniente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas.”

“Reuso indireto não planejado de água: ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Nesse caso, o reuso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante. Após sua descarga no meio ambiente, o efluente é diluído e sujeito a processos de como autodepuração, sedimentação, entre outros, além de eventuais misturas com outros despejos advindos de diferentes atividades humanas”.

“Reuso planejado de água: ocorre com os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d’água superficiais e subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de uso benéfico.”

Nem sempre a identificação e classificação de água de reuso é simples, pois grande parte de corpos d’água fica a dúvida de sua origem ter recebido lançamentos de parcelas de águas oriundas do reuso.

3.4.1 Reuso da água para a agricultura.

A agricultura é diretamente dependente do suprimento de água, considerando que a escassez dos recursos hídricos se torna cada vez mais acentuada, o reuso das águas para utilização na agricultura vem sendo uma alternativa em nosso país.

De maneira geral, as pesquisas relacionadas ao reuso do esgoto doméstico através de processos de irrigação estão relacionadas às lagoas de estabilização (KONIG et al., 1997 e MARA, 1999), atendendo as recomendações da OMS.

Várias regiões do mundo, a aplicação controlada de efluente tratado na agricultura vem sendo realizada e no Brasil com perspectivas para o mesmo rumo. A presença de macro e micronutrientes para a fertilização do solo e o baixo custo de implantação do sistema de lagoas, são fatores que estimulam o reuso da água para fins agrícolas diminuindo a poluição dos mananciais e a não dependência de fertilizantes químicos. Desta forma pesquisas voltadas para o uso de esgotos para irrigação de culturas vem aumentando significativamente.

Ao entender o solo como elemento depurador e o sistema solo-planta como reator renovável, reator este regido pelas leis da natureza, pode-se entender também, neste contexto, os esgotos como fonte de energia, e não como grande problema ambiental (PAGANINI, 1997).

No Brasil o uso consumptivo de água para a agricultura, em grandes números, é de 70% do total consumido atualmente. Os 30% remanescentes destinam-se a usos domésticos e industriais, em partes iguais. É muito provável que, antes do término desta década, a agricultura apresente uso consumptivo próximo a 80%, aumentando os conflitos de uso que hoje ocorrem nas grandes bacias hidrográficas brasileiras, principalmente naquelas com desenvolvimento agrícola e urbano significativo (HESPANHOL, 2003).

Com o desenfreado crescimento populacional, a expansão industrial e a notória degradação dos mananciais, no Brasil cada vez mais a disponibilidade de água com qualidade vem se tornando mais restritiva, provocando desta forma a utilização de águas de reuso nas indústrias.

Destaca também que o esgoto é freqüentemente fonte confiável de água para a irrigação durante o ano inteiro, e nele estão contidos nutrientes necessários ao crescimento das plantas, pelo que, o seu valor 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. MORELLI, 2005, ressalta que o reuso reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por água de qualidade inferior; tal substituição é possível em função da qualidade requerida para o atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade.

A aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle de poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas. Os maiores benefícios dessa forma de reuso são aqueles

associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública (HESPANHOL, 2003).

Estes benefícios econômicos estão associados à produtividade, graças aos teores de nitrogênio e fósforo que acompanham o esgoto desde sua fase “fresca” até as diferentes etapas de processos de tratamento, inclusive o efluente final. A presença desses dois importantes nutrientes reduz consideravelmente a quantidade de fertilizantes comerciais.

O Nitrogênio presente no esgoto doméstico, logo após a oxidação é transformado em amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^{2-}), 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 que percola podendo atingir o lençol freático (BERNARDO, 1986). O nitrato tem alta mobilidade no meio (solo) e em solos arenosos a percolação é rápida (CORAUCCI FILHO et al., 1999). O uso de efluentes em solos com baixa permeabilidade, reduz a percolação e possíveis problemas de contaminação de lençóis freáticos (GILDE et al., 1971).

Alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil evidenciam as vantagens do reuso de efluentes domésticos na agricultura. Entre eles pode-se destacar os desenvolvidos na UNICAMP, utilizando efluentes domésticos e industriais (FIGUEIREDO, 1985; NOUR, 1990, e CORAUCCI FILHO, 1992), o estudo de PAGANINI, 1997 em Populina-SP, sobre lançamento de efluente doméstico diretamente no solo com objetivo de tratar o esgoto e produzir biomassa para alimentação animal.

A Tabela 3.4-1 apresenta o aumento de produtividade agrícola em experimento realizado em Nagpur, Índia por SHENDE (1985)

Tabela 3.4-1 – Aumento da produtividade agrícola (t/ha.ano)

Irrigação efetuada com	Trigo 8 anos(*)	Feijão 5 anos(*)	Arroz 7 anos(*)	Batata 4 anos(*)	Algodão 3 anos(*)
Esgoto bruto	3,34	0,9	2,97	23,11	2,56
Efluente primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,3
Efluente de Lagoa de Estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,7	0,72	2,03	17,16	1,7

(*) n° de anos para cálculo da produtividade média
 fonte: Shende, 1985

No entanto, CORAUCCI FILHO et. al.,1998 alertam que o reuso de efluentes no solo não pode ser encarado como mero descarte, mas adotar objetivos e critérios da Engenharia Sanitária e os da Engenharia de Irrigação, de forma que o esgoto seja tratado no solo, sem qualquer possibilidade de contaminação do lençol freático, ou de saturação de nutrientes no solo, entre outros.

Outros exemplos de aplicação do sistema são relatados por diversas referências como LANDA et al.,1997 citam que a aplicação de efluentes no Vale Tula, no México, que o recebe os esgotos da Cidade do México, com população de 18 milhões de habitantes e que produz cerca de $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de águas residuárias (80% corresponde ao esgoto e 20% a água da chuva, que só ocorre na estação chuvosa). Este volume de efluente tem sido utilizado para irrigar 90.000 hectares no vale de Mezquital a mais de um século, e é aplicado em culturas de milho, arroz, tomate, forragem de aveia e alfafa. Os esgotos contribuem com cerca de 2400 kg de matéria orgânica, 195 kg de nitrogênio e 81 kg de fósforo por ano por hectare. Em áreas com mais de 80 anos de irrigação o fósforo aumentou de 6 para 20 g/m^2 no solo, o nitrogênio de $0,2 \text{ kg/m}^2$ para $0,8 \text{ kg/m}^2$ e a matéria orgânica de 2% para 5%. Metais pesados tiveram aumento de 3 a 6 vezes sobre os valores originais do solo, mas não excederam às recomendações da FAO (FRIEDEL et al., 2000).

3.4.1.1 Alternativas técnicas para reuso da água no solo

A utilização da água de reuso para beneficiamento das áreas agrícolas pode ser praticada de diversas formas e a seguir serão apresentadas algumas alternativas para disposição da água de reuso, seja com a aplicação direta do esgoto doméstico ou em uma de suas fases de tratamento.

3.4.1.2 Aspersão

Para esta técnica a água de reuso é conduzida em tubulações pressurizadas e aplicada ao solo sob a forma gotas por aspersores fixos ou móveis. O sistema é pressurizado com o uso de bombas ou cota hidráulica disponível. Embora seja um processo bastante eficiente por promover irrigação uniforme, sua operação exige pessoal treinado, manutenção, equipamentos e acessórios com custos relevantes.

Este tipo de irrigação pode ser aplicado solos com qualquer tipo de vegetação, no entanto quanto se utiliza esgoto, pode apresentar problemas de formação de aerossóis e conseqüente situação insalubre para seus operadores.

3.4.1.3 Gotejamento

A irrigação por gotejamento é praticada através de uma tubulação principal e de maior diâmetro, onde são conectados tubos com diâmetros inferiores a 25 mm e perfurados, de tal forma a permitir gotejamento distribuído uniformemente ao longo de toda área a ser irrigada.

Este processo pode fazer uma irrigação superficial ou sub-superficial; utiliza a água de reuso de forma econômica e eficiente. Tem como desvantagem os constantes problemas de entupimento dos orifícios nas mangueiras, ou seja, a água usada para irrigação exige um pré tratamento para remoção de sólidos em suspensão.

3.4.1.4 Inundação

Neste caso o solo a ser irrigado deve estar sob área plana e preparado de forma a se obter profundidade que possibilite um alagamento uniforme com a água de reuso.

O processo é especialmente indicado para culturas que suportam inundações periódicas. É um processo de fácil operação e baixo custo.

3.4.1.5 Escoamento à superfície

No processo de escoamento à superfície, a água de reuso é lançada na parte superior de um plano inclinado (rampa) a ser irrigado de forma uniforme (com uso de aspersores ou tubos perfurados) e a parcela líquida que flui no final da rampa é o efluente do processo que é direcionado para um corpo receptor.

A declividade da rampa varia entre 2 e 8 %, de forma a evitar zonas mortas com empoçamentos que propiciem digestão anaeróbia com liberação de gases, somada à proliferação de insetos ou mesmo velocidades excessivas que provoquem erosão e caminhos preferenciais que diminuam a eficiência do tratamento (PAGANINI, 1997).

3.4.1.6 Irrigação por sulcos

Como o próprio nome diz, a irrigação é realizada pelo lançamento da água de reuso em canais (sulcos) por gravidade. Estes sulcos se localizam entre as fileiras da cultura e tem seu dimensionamento em função do volume de água de reuso a ser disposta no solo a ser irrigado.

O espaçamento entre os sulcos serão influenciados pelo tipo de cultura a ser irrigada. Estes sulcos podem ter formatos triangular ou retangular.

Este processo tem como grande vantagem a sua facilidade operacional, seguido de baixo custo de implantação.

3.5 Considerações sobre a 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 nitrogênio de forma a evitar a percolação desse nutriente 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 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 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 (Y) 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 capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PM) e a diferença entre estas duas tensões, é denominada de água disponível (AD). O potencial matricial crítico (Y_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 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 ao limite inferior de umidade para a 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, 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 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 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 48 horas são suficientes.

Para se determinar as propriedades físicas de um solo, é necessária amostragem criteriosa, para que 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 a seguir:

$$rg = \frac{ms}{V}$$

Onde:

rg = densidade global

ms = Massa do solo seco a 105 a 110 °C

V= volume da amostra de solo não deformada (volume do cilindro amostrador)

3.6 Restrições de salinidade no efluente de irrigação

Entre as preocupações para uso de efluentes na irrigação destaca-se a salinização, que pode ocorrer em solos propícios, em função das características do solo e do relevo. Com práticas inadequadas de irrigação, como a utilização de água com elevada salinidade, uso excessivo de água na irrigação ou a baixa drenagem do solo pode resultar na salinização. Os sais presentes no solo podem ser trazidos à superfície pelo fenômeno de capilaridade, fenômeno que é mais significativo quando o lençol freático é pouco profundo, ou há irrigação em excesso. Este problema poderá estar associado à irrigação com efluente tratado. As medidas de controle envolvem ações preventivas e métodos alternativos de irrigação, como a irrigação por gotejamento, a utilização da sobre-irrigação, para lixiviação de sais e de sistema de drenagem para escoamento de água utilizada (PIVELI, 2005).

A CETESB, 2005, sugere que a Condutividade Elétrica do efluente tratado deve ser inferior a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 25°C) para evitar risco de salinização do solo e que a razão de adsorção de sódio (RAS) no efluente deve ser limitada em relação

à condutividade elétrica para evitar risco de sodificação do solo. A RAS pode ser calculada por meio da fórmula:

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

Em que:

Na = concentração de sódio expressa em mE L⁻¹ (miliequivalente por litro)

Ca = concentração de cálcio expressa em mE L⁻¹

Mg = concentração de magnésio expressa em mE L⁻¹

Para conversão das concentrações de Na, Ca, e Mg de mg/L para mE/L devem ser divididas respectivamente por 23, 20 e 12,2.

Em função da condutividade elétrica e do RAS com o diagrama da Figura 3.6-1, a água para irrigação pode ser classificada quanto ao perigo de salinização do solo.

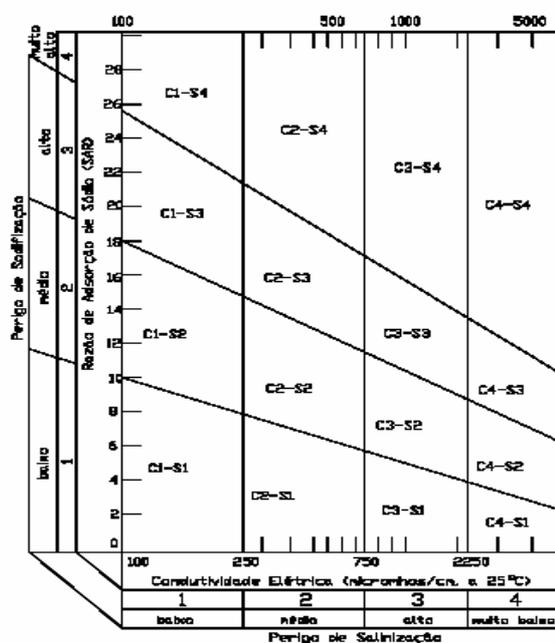


Figura 3.6-1 - Diagrama para classificação de água de irrigação de (U.S. Salinity Laboratory Staff - Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos) citado por STEFANUTTI, 2006

Interpretações do diagrama da Figura 3.6-1 quanto ao perigo de salinização:

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 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. Presta-se 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.

3.7 Qualidade da água relacionada com o reuso

Em geral os esgotos domésticos são constituídos em cerca de 99% de água e 1% de colóides suspensos e dissolvidos, compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo os macronutrientes essenciais às plantas, como o nitrogênio, o fósforo e o potássio, além de micronutrientes, como o cobre e o zinco.

Vários estudos indicam impactos positivos na irrigação com esgotos sobre a produção das culturas devido aos nutrientes e a matéria orgânica dos esgotos (SCOTT et al., 2000). Quanto aos impactos negativos, a salinidade do solo tem aumentado em regiões como o Vale Mezquital, tendo atingido a atividade microbiana. Em regiões com drenagem deficiente a salinidade tem causado maiores problemas (FRIEDEL et al., 2000).

A EPA recomenda que seja monitorada a salinidade do solo por meio da RAS (Razão de Absorção de Sódio), de forma contínua, para permitir tomada de decisões quanto à impermeabilização do solo e a baixa eficiência do sistema. Segundo Organização Mundial de Saúde, WHO, 2006, dependendo do tipo de solo e das condições de lavagem e drenagem, problemas relacionados à salinidade poderão ocorrer quando a Condutividade Elétrica for maior que 3 dS/m ou 3000 μ S/cm, os Sólidos Dissolvidos maior que 500 mg/L (sendo severos se >2000 mg/L) e a RAS de 3 a 9.

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 declínio no potencial osmótico da solução solo-água e reduz a disponibilidade da água para a planta (HAMILTON et al., 2005). NUCCI et al., 1978 consideram críticos os valores da Relação de Absorção de Sódio (RAS) maiores que 10, 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 do elemento para o solo e plantas.

SILVA, 2003 cita que a CETESB em sua página na internet informou que, 71% dos municípios do Estado de São Paulo são abastecidos por água subterrânea. Isto mostra a importância da recarga dos aquíferos e a qualidade em que estes devam se manter.

O reuso de efluentes de esgoto doméstico para fins agrícolas deve receber especial atenção quanto aos poluentes presentes antes de serem lançados no solo. Os contaminantes podem ser de origem inorgânicos ou orgânicos.

Para WEBER et. al., 2006, a maioria das regulamentações sobre o reuso de esgoto quando refere-se aos contaminantes químicos, tipicamente limita-se a parâmetros como a DQO (Demanda Química de Oxigênio), a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH, e SST (Sólidos Suspensos Totais), alguns produtos

químicos específicos, metais pesados, óleos minerais e alguns pesticidas, além parâmetros relacionados aos microrganismos patogênicos. Porém, mais recentemente vem surgindo preocupação a respeito dos fármacos e hormônios. Para SALGOT et al., 2006, já há preocupação internacional em se criar requerimentos para a inclusão de parâmetros químicos nas diretrizes que regulamentam o uso de esgotos na agricultura, pois os produtos químicos em concentrações baixas podem não causar algum problema imediato, mas podem a longo prazo apresentar efeitos crônicos ou bioacumulação.

A maioria dos fármacos é detectada em esgotos domésticos tratados ou não e também em corpos d'água que receberam esgotos, pois eles são drogas utilizadas em diversos fins terapêuticos de humanos e animais (TOZE, 2006). Segundo FEDESA, 1997, citado por KUMMERER, 2001, somente na Europa, cerca de 10.000 toneladas de antibióticos são consumidos por ano, sendo que 5.000 toneladas são utilizadas em atividades veterinárias e as outras 5.000 toneladas na medicina humana.

Um dos principais objetivos dos processos de tratamento de esgoto é a eliminação de agentes patogênicos para reuso. As diretrizes de qualidade das águas residuárias e as normas para seu reuso são expressas de acordo com o número máximo permissível de bactérias do tipo *E. coli* e de ovos de helmintos. Na prática, a *E. coli* pode ser empregado como o principal indicador de agentes patogênicos, considerando que os mesmos predominam nas fezes humanas e tem como característica a sobrevivência no ambiente, além da sua eliminação em processos de tratamento de esgoto ser similar aos organismos patogênicos. Entretanto, a *E. coli* limita a indicação de presença ou ausência de grupos de bactérias patogênicas, pois não é seguro para identificar a possibilidade de presença de outros organismos como protozoários, helmintos e vírus.

Geralmente, as normas ou diretrizes sobre a qualidade das águas residuárias que se pretendem empregar na irrigação de cultivos sem restrição, incluindo legumes e verduras consumidas cruas, possuem regras explícitas. Indica

o número máximo de coliformes e requisitos mínimos de tratamento, primário, secundário ou terciário, segundo a cultura que se quer irrigar.

Conforme SUEMATSU & NAVARRETE, 1995, as normas estabelecidas nos últimos 50 anos têm sido, em geral, muito restritivas. Elas se baseiam em avaliações teóricas de possíveis riscos para a saúde e da sobrevivência de agentes patogênicos nas águas residuárias, no solo e nas plantas, além de experiências epidemiológicas de risco real.

Até certo ponto, as primeiras normas basearam-se em concepção de risco nulo. As normas do Departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia permitiam, até então, um total de 2,2 a 23 NMP 100 mL⁻¹, segundo a cultura e o sistema de irrigação (SILVA, 2003).

A CETESB, 2001, estabeleceu valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Com relação às águas subterrâneas, Dias (2000) propôs adotar o padrão de potabilidade da Portaria 1469 de 1990 (atualizado pela Portaria 518 de 2004), do Ministério da Saúde, para as substâncias legisladas nesta Portaria.

A Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 classifica as águas e estabelece padrões para o lançamento de efluentes nos corpos d'água de acordo com sua classificação.

A Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 – Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências.

Recentemente a CETESB, 2006 disponibilizou para discussão entre os especialistas uma Instrução Técnica nº 31 – “Irrigação com água de reuso proveniente de esgoto sanitário tratado”, que deverá disciplinar o reuso agrícola no Estado de São Paulo.

3.7.1 Bactérias

As bactérias são os organismos em maior número nos esgotos sanitários, são seres unicelulares e dependendo da espécie, e se reproduzem por divisão binária simples. Uma fração importante da população de bactérias presentes nos esgotos sanitários faz parte da microbiota do trato gastrointestinal dos seres humanos, como exemplo a *E. coli*, a *Klebsiella spp.* e a *Enterobacter spp.*, destacando-se o grupo dos coliformes termotolerantes (anteriormente denominados coliformes fecais), que devido às suas características são os mais importantes organismos escolhidos como indicadores de contaminação bacteriológica em águas de maneira geral. Mesmo não sendo caracterizado como causadoras de doenças, a presença de coliformes termotolerantes está associada à provável presença de organismos patogênicos de origem fecal na água.

Além das bactérias não patogênicas, oriundas do trato intestinal de humanos e animais, os esgotos sanitários também contêm bactérias patogênicas que causam doenças gastrointestinais em humanos, como febre tifóide, cólera, diarreia e disenteria tais como a *Salmonella spp.* e *Shigella spp.*

Geralmente, estes organismos patogênicos são bem sensíveis à ação de desinfetantes físicos e químicos, em especial ao cloro e seus derivados.

3.7.2 Coliformes totais e *Escherichia coli*

O grupo coliforme consiste de bacilos Gram-negativos, anaeróbios facultativos, não esporulados, que fermentam lactose formando ácido e gás em 24 – 48 h em meio líquido ou sólido na faixa de 32 – 35 °C (LEDERBERG, 1992; PELCZAR, 1996; TORTORA, 2002). Os gêneros incluídos no grupo coliforme são *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Escherichia*.

Os coliformes totais são comumente encontrados nas fezes de animais de sangue quente, material vegetal e no solo, por isso a *E. coli* é a mais utilizada

como indicador direto de contaminação por fezes, pois sua presença está intimamente ligada à presença de contaminação fecal.

A Portaria 516 MS no 518/2004 de 25 de março de 2004 orienta que preferencialmente seja avaliada a presença de *E. coli* para certificar a qualidade bacteriológica de águas de abastecimento, como pode ser constatada na definição de *Escherichia coli*: Bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol com produção de ácido e gás a $44,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

3.7.3 Bactérias Heterotróficas

Bactérias heterotróficas são aquelas que utilizam a matéria orgânica ou compostos orgânicos como fonte de carbono para seu crescimento e para a síntese de material celular. Na maioria dos casos, as bactérias heterotróficas são classificadas como quimiorganotróficas, ou seja, utilizam o carbono orgânico tanto como fonte de carbono como fonte de energia (LEDERBERG, 1992; TORTORA et al, 2002).

Segundo PELCZAR, 1996, microrganismos heterotróficos são incapazes de utilizar o dióxido de carbono (CO_2) como única fonte de carbono, exigindo um ou mais compostos orgânicos.

Esses microrganismos são de grande importância na monitoração em áreas de aplicação de efluentes como forma de tratamento, pois o controle da população bacteriana total é de fundamental importância, visto que, densidade muito elevada destes microrganismos na água pode determinar a deterioração de sua qualidade, com o desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis, bem como a produção de limo ou películas.

Além desses problemas, podem representar risco à saúde dos consumidores, pois embora a maioria das bactérias da flora normal da água não seja considerada patogênica, algumas delas podem atuar como patógenos oportunistas causando doenças em pessoas com o sistema imunológico debilitado, como pacientes em recuperação.

Populações muito elevadas de bactérias em águas potáveis podem incluir gêneros tais como *Pseudomonas* e *Flavobacterium*, que podem constituir risco à saúde de pacientes debilitados. Outro aspecto importante é a influência inibidora exercida por alguns microrganismos, que em número elevado, podem impedir a detecção de coliformes.

Estudos comparativos demonstram que embora haja relação direta entre a frequência de detecção de coliformes e a densidade bacteriana até níveis de 500 UFC/ 100 mL, quando a população excede 1000 UFC/ 100 mL a frequência de detecção de coliformes decresce. Essa ação inibitória tem sido evidenciada em relação aos gêneros *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Proteus*, *Bacillus*, *Actinomyces*, sarcinas e leveduras.

Em termos de aplicação, a determinação da densidade de bactérias heterotróficas em águas é um importante instrumento auxiliar no controle bacteriológico para:

- 1- Avaliação das condições higiênicas de poços, fontes, reservatórios, piscinas e sistemas de distribuição de água para consumo humano;
- 2- Avaliação da eficiência da remoção de bactérias nas etapas de operação de estação de tratamento de água;
- 3- Estimativa da biomassa de bactérias heterotróficas presentes em corpos d'água;
- 4- Determinação das possíveis causas de deterioração da qualidade da água (CETESB, 1986).

De acordo com os padrões de potabilidade da água para consumo humano estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 de 25 de março de 2004, o número de bactérias heterotróficas deve ser ≤ 500 UFC/mL.

3.7.4 Estreptococos

As bactérias do gênero *Streptococcus* são cocos gram-positivos, geralmente ocorrendo aos pares ou em cadeias curtas e apresentam reação negativa na prova da catalase. Possuem capacidade de hidrolisar esculina e de crescerem à temperatura de 45 °C, na presença de sais biliares na concentração de 40%. Provavelmente, são responsáveis por mais males e causam variedade de doenças maior que qualquer outro grupo bacteriano. Entre elas estão a febre escarlatina, faringites e pneumonia pneumocócica. O gênero *Enterococcus* compreende estreptococos que normalmente habitam o trato intestinal. As linhagens antibiótico-resistentes são freqüentes e estão se tornando causa grave de infecções nosocomiais (TORTORA et al, 2002).

Segundo WALLIS, 2003, a contaminação por organismos do gênero *Enterococcus* em águas superficiais, pode ter origem no esgoto doméstico ou pelo escoamento superficial da água de chuva sobre áreas destinadas à pecuária. Através de testes fenotípicos foi determinada a origem da contaminação, onde a diversidade da população de microrganismos do gênero *Enterococcus* no esgoto doméstico é maior do que nas fezes de gado bovino e ovino. Isto torna possível a determinação da origem da contaminação baseada na diversidade de espécies desse gênero.

3.7.5 Vírus

Os vírus são os organismos patogênicos de menores dimensões, com ordem de grandeza de nanômetro, constituídos pela associação de material genético (DNA ou RNA) com cobertura protéica protetora que só se multiplicam no interior de células vivas. Apresentam sobrevivência similar ou pouco superior à das bactérias no meio ambiente, sendo, no entanto, mais resistentes aos processos de tratamento.

Nos esgotos sanitários, os vírus entéricos são os de maior interesse, pois se multiplicam no trato gastrointestinal do homem e eliminados pelas fezes. Podem causar vários tipos de doenças, nem sempre restritas ao aparelho digestivo; entre elas destacam-se: a hepatite infecciosa (vírus da hepatite A), as gastroenterites (enterovírus e parvovírus) e as diarreias (rotavírus e adenovírus).

3.7.6 Protozoários

Os protozoários são organismos unicelulares, eucariotas, quimioheterotróficos e pertencem ao reino protista. O ciclo de vida dos protozoários relacionados aos esgotos sanitários é composto basicamente por duas fases: um estágio de alimentação e reprodução no trato intestinal do hospedeiro e um estágio de resistência ou inativo, em que ocorre formação de cápsula protetora (cisto) que permite sua sobrevivência até mesmo fora do hospedeiro. Os cistos excretados por seres humanos ou animais podem infectar imediatamente um novo hospedeiro humano, podendo um único cisto desencadear um processo infeccioso. Os cistos apresentam sobrevivência moderada no meio ambiente, porém são bem mais resistentes que bactérias e vírus à ação dos desinfetantes usualmente empregados em processos de tratamento de água e esgotos, particularmente ao cloro. Por outro lado, apresentam tamanho (4-60 µm) e densidades que favorecem a potencial remoção por sedimentação e filtração.

Entre os protozoários patogênicos com presença comum nos esgotos sanitários destacam-se a *Entamoeba histolytica*, a *Giardia lamblia*, a *Balantidium coli* e recentemente, grande destaque tem sido dado ao *Cryptosporidium*.

3.7.7 Helmintos

Os helmintos são organismos eucariotas, pluricelulares, quimioheterotróficos, pertencentes ao reino Animalia, se destacam sob o ponto de vista de saúde pública por viverem como parasitas humanos, apresentam-se nos

esgotos sob as formas de ovos e larvas visíveis ao microscópio, não sendo classificados como microrganismos em função do tamanho (os ovos atingem de 20 a 50 µm). Um problema significativo é a resistência à ação da maioria dos desinfetantes assim como a longa duração dos seus ovos ativos no meio ambiente.

A maior eficiência de sua remoção dos esgotos é verificada nas etapas de sedimentação e filtração, em função do tamanho e à densidade dos ovos e larvas.

A maioria dos helmintos apresenta um ciclo biológico complexo, que se inicia com a ingestão de ovos ou larvas pelo hospedeiro, seguido do desenvolvimento no organismo dos estádios de larva, da reprodução sexuada das mesmas, da produção de ovos, e por último, da excreção de ovos e larvas nas fezes.

A contaminação de seres humanos pode ocorrer pela ingestão de ovos ou larvas (ex.: *Ascaris lumbricoides*) ou por penetração de larvas na pele ou na mucosa (ex.: *Ancylostoma duodenale*). Em geral, basta um ovo ou larva para desencadear um processo infeccioso.

3.7.8 Turbidez

A turbidez está associada à dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água; é causada por matérias sólidas em suspensão.

A quantificação de turbidez é medida através do turbidímetro, comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por suspensão padrão. Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), o limite máximo de turbidez em água potável deve ser 5 UT. As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas de turbidez acima do limite, pois o próprio solo exerce a função de filtro natural das partículas em suspensão.

Sob o ponto de vista sanitário, a turbidez é um bom indicador primário para o nível de pureza da água, inclusive quanto à possibilidade da presença de vírus e bactérias. Águas com turbidez acima de 1,0 UT podem conter materiais particulados que protegem a ação rápida de agentes desinfectantes na exterminação de microorganismos como bactérias e vírus, pois os mesmos podem se abrigar nessas partículas e retardar o efeito do agente desinfectante.

3.7.9 Ferro

Ferro residual, mesmo com teores baixos, está presente em quase todas as águas subterrâneas. Suas fontes são minerais escuros (máficos), tais como magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre o ferro é acompanhado pelo Manganês. No estado de oxidação Fe^{2+} forma compostos solúveis. Nos ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Desta forma, águas com alto conteúdo de ferro, ao saírem dos poços são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ou outra substância oxidante ficam coloridas com tom do amarelado para o vermelho ferrugem, o que lhes confere aparência nada agradável.

Os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria MS nº 518/2004 de 25 de março de 2004 exigem que água de abastecimento público não ultrapasse os 0,3 mg Fe/L, que é o limite estabelecido em função de problemas estéticos relacionados à presença do ferro na água e do sabor ruim que o ferro lhe confere. O ferro e o manganês, ao se oxidarem precipitam-se sobre as louças sanitárias, azulejos e roupas, manchando-as.

3.7.10 Metais Pesados

PIVELI, 2006 cita que a disposição de esgoto no solo pode ocasionar aumento, diminuição, ou mesmo, não alterar os teores dos metais pesados disponíveis no solo. A maior parte dos trabalhos que evidenciaram aumento nos

teores de metais pesados no solo mediante irrigação com efluente, as irrigações referem-se a experimento de longos períodos de aplicação de esgoto tratado. As características do efluente, a alta força iônica bem como alto teores em matéria orgânica dissolvida, são susceptíveis a alterar o comportamento dos metais, tornando-os usualmente absorvidos nas superfícies do complexo argilo-húmico. Portanto é fundamental o monitoramento nos teores de metais pesados ao longo do tempo em solos destinados à disposição de resíduos, inclusive, solos irrigados com esgoto tratado.

3.7.11 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura, e pode ser relacionada à quantidade de sais dissolvidos existentes na água, e portanto, representa medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 0,1 dS/m indicam ambientes impactados.

A condutividade elétrica também fornece boa indicação das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água.

3.7.12 Cloretos

Os cloretos se apresentam nas águas subterrâneas através de solos e rochas. Nas águas superficiais são fontes importantes as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L. Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas

indústrias farmacêuticas, curtumes, etc. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da língua salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução eleva o nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água. Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde. O cloreto provoca sabor "salgado" na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade.

Os Cloretos eram utilizados como indicadores da contaminação por esgotos sanitários, onde eram associados a elevação do nível de cloreto em rio com o lançamento de esgotos sanitários. Hoje, porém, o teste de coliformes fecais é mais preciso para esta função.

3.7.13 Fósforo Total

O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala doméstica constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. No entanto, esta terceira forma não é muito importante nos estudos

de controle de qualidade das águas, porque os polifosfatos sofrem hidrólise se convertendo rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

A quantidade de fósforo adicionado ao solo pela irrigação com efluente, normalmente não tem sido excessiva. Porém, aumentos nos teores de fósforo em solos (principalmente na camada superficial) irrigados com efluentes de esgoto tem sido comuns. As plantas, uma vez colhidas no local de renovação de águas residuárias, tem sido eficazes em remover esse nutriente. Também, a capacidade do solo em reter fósforo tem contribuído para prevenir que esse nutriente seja lixiviado para fora da zona radicular, podendo determinar a sustentabilidade dos cultivos que usam irrigação com efluente. No entanto há trabalhos evidenciando a migração deste elemento nos solos, notadamente nos arenosos, irrigados com esgoto tratado e existe carência de informações concernentes aos mecanismos que envolvem a migração e a retenção deste nutriente (FAKINER & POLGLASE, 1997)

3.7.14 Sódio

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. Seus principais minerais fonte (feldspatos plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga.

Todas águas naturais contêm algum sódio já que seus sais estão na forma de sais altamente solúveis em água, podendo ser considerado um dos elementos mais abundantes na Terra. Ele se encontra na forma iônica (Na^+), e na matéria das plantas e animais, já que é um elemento essencial para os organismos vivos. Aumento dos níveis na superfície da água podem provir de esgotos, efluentes industriais e uso de sais em rodovias para controlar neve e gelo. A última fonte citada também contribui para aumentar os níveis de sódio nas águas

subterrâneas. Nas áreas litorâneas a intrusão de águas marinhas pode também resultar em níveis mais altos. Concentrações de sódio na superfície natural das águas varia consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local, descargas de efluentes e uso sazonal de sais em rodovias. Valores podem estender-se de 1 mg/L ou menos até 10 mg/L ou mais em salmoura natural. O limite estabelecido pela OMS para sódio nas águas potáveis é 200 mg/L.

Muitas superfícies de água, incluindo aquelas que recebem efluentes, tem níveis bem abaixo de 50 mg/L. Entretanto, as concentrações das águas subterrâneas freqüentemente excedem 50 mg/L. Sódio é comumente medido onde a água é utilizada para beber ou para agricultura, particularmente na irrigação, pois sua quantidade presente na água é uma condição limitante de seu uso na agricultura. Quando elevado o sódio em certos tipos de solo, sua estrutura pode degradar-se pelo restrito movimento da água afetando o crescimento das plantas.

3.7.15 Alumínio

O alumínio é produzido e consumido em grandes quantidades em muitas nações, sendo o Brasil um grande produtor; em torno de 762.000 t/ano. É o principal constituinte de grande número de componentes atmosféricos, particularmente de poeira derivada de solos e partículas originadas da combustão de carvão. Em áreas urbanas, a concentração de alumínio na poeira das ruas varia de 3,7 a 11,6 µg/kg. No ar, a concentração varia de 0,5 ng/m³ sobre a Antártica a mais de 1000 ng/m³ em áreas industrializadas. Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. O alumínio deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação, e conseqüente anaerobiose, não for muito forte, o teor de alumínio diminui no corpo de água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto,

com a alta turbidez. Outro aspecto chave da química do alumínio é sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas. Nesta forma, ele é extremamente tóxico à vegetação e pode ser escoado para os corpos d'água.

A principal via de exposição humana não ocupacional é pela ingestão de alimentos e água. A toxicidade aguda por alumínio metálico e seus compostos é baixa, variando o LD50 oral de algumas centenas a 1.000 mg de alumínio 1 kg peso corpóreo por dia. A osteomalacia é observada em humanos expostos ao alumínio. Há considerável evidência que o alumínio é neurotóxico. Em experimentos com animais, porém há grande variação desse efeito, dependendo da espécie analisada. O acúmulo de alumínio no homem tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer. Brown (1989, apud MOORE, 1990) correlacionou o aumento do risco relativo da ocorrência do Mal de Alzheimer com o nível de alumínio na água de abastecimento. Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio.

3.7.16 Amônia (nitrogênio amoniacal)

Nitrogênio amoniacal pode estar presente em água natural, em baixos teores, tanto na forma ionizada (NH_4^+) como na forma tóxica não ionizada (NH_3) devido ao processo de degeneração biológica de matéria orgânica animal e vegetal.

De acordo com as condições existentes na água a amônia pode acumular-se na água ou transformar-se em nitrito e/ou nitrato pela ação de bactérias aeróbias. Este processo é conhecido como nitrificação. O processo inverso também é possível quando ocorre a redução dos nitratos à amônia ou até a nitrogênio via ações microbianas e sob certas condições físico-químicas. Este processo é chamado de desnitrificação.

A Amônia só é tóxica e estável em águas alcalinas. Em águas ácidas seu efeito é bastante reduzido. Concentrações mais altas podem ser encontradas em esgotos brutos e efluentes industriais, particularmente de refinarias de petróleo onde a amônia é um sub-produto do processo de refino. A amônia é um importante componente de fertilizantes. Altas concentrações de amônia em águas de superfície, acima de 0,1 mg/l (como N), podem ser indicação de contaminação por esgoto bruto, efluentes industriais, particularmente de refinarias de petróleo, ou do afluxo de fertilizantes. A concentração excessiva de amônia é tóxica para a vida aquática, sendo que na forma não ionizada (NH_3) mesmo em baixas concentrações podem ser fatais para os peixes, pois afetam o sistema nervoso central do anfíbio, reduzindo sua capacidade de consumir oxigênio e diminuindo sua resistência a doenças.

A partir das concentrações encontradas do íon amônio total pode-se deduzir os seguintes valores de amônia livre em função dos valores de pH:

pH	Amônia Livre
6	0%
7	1%
8	4%
9	25%
10	78%

3.7.17 Nitratos

É a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas. Concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrogênio nitrato são dejetos humanos e animais. Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos como algas, florescem na presença destes e, quando em elevadas concentrações em

lagos e represas, pode conduzir a crescimento exagerado, processo denominado de eutrofização.

As principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas são de origem antrópica difusa, podendo ser citadas: aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgotos, ausência de redes coletoras de esgotos e influência de rios contaminados na zona de captação de poços. O nitrogênio de origem mineral ocorre em rochas denominadas evaporitos que não têm registro de ocorrência no Estado de São Paulo. Dessa forma, pode-se dizer que o nitrato observado nas águas subterrâneas tem origem no ciclo biológico desse elemento na natureza. Entretanto, concentrações de nitrogênio nitrato acima de 5,0 mg/L indicam alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas. Assim, essa concentração foi adotada como valor alerta pela CETESB. A Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004 estabelece como limite máximo em águas de abastecimento público 10 mg/L de nitratos.

3.7.18 Nitrito

O Nitrito é um estado intermediário do ciclo do nitrogênio, é formado durante a decomposição da matéria orgânica e prontamente oxidada a nitrato. Esses processos ocorrem em instalações de tratamento de água, sistemas de distribuição de água e águas naturais. Em águas superficiais a presença de nitritos pode indicar a decomposição parcial de matéria orgânica, descarga excessiva oriunda de estação de tratamento de esgoto ou poluição industrial.

Em águas poluídas a presença de nitrito pode indicar a presença de bactérias redutoras de nitrato quando as condições presentes são anaeróbias. Concentrações até 0,1 mg/l são inofensivas, já em concentrações entre 0,1 e 0,5 podem provocar danos a certas espécies de peixes. Existe perigo elevado em caso de concentrações superiores a 1 mg/L, pior ainda, se combinado com teores

baixos de cloretos e de oxigênio dissolvido, podendo causar metemoglobinemia, também conhecida como doença do sangue marrom.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Escolha do local do experimento

Para determinação do local de implantação do experimento foram levados em consideração vários fatores, entre eles:

- Disponibilidade de área com segurança contra invasões;
- Topografia e tipo de solo apropriado para fins agrícolas;
- Disponibilidade de efluente anaeróbio;
- Nível do lençol freático;
- Proximidade de infraestrutura para ensaios laboratoriais;

Deve ressaltar que no Brasil ainda não existem legislações homologadas específicas que tratam 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 três metros.

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 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 da Fazenda Marfim, localizada no município de Restinga SP, vizinho a cidade 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 três furos, e neste local após 12 metros de profundidade, que era a profundidade de alcance da sonda para as coletas, não foi encontrado água. Como a pesquisa prevê a avaliação da contaminação do lençol freático, tal área foi descartada.

A outra área de 7387 m² num terreno plano de pastagem com inclinação de aproximada de 5 % com coordenadas UTM 243732 E, 7715351N, foram feitas investigação do nível do lençol freático e análise de solo, que após aprovação do proprietário, foi adotada como ideal para montagem do campo experimental. A Figura 4.1-1 apresenta fotografia do campo experimental.



Figura 4.1-1 – Vista geral da área do experimento

4.2 Determinação do fluxo da água no lençol freático

Para orientação da instalação do experimento foi determinado a direção do fluxo do lençol freático com o seguinte critério:

1) Perfuração até o nível do lençol de três poços não alinhados na área da pesquisa;

2) Determinados os níveis de água nos poços em relação ao solo; foi feita linha imaginária ligando os três poços formando um triângulo;

3) Em cada lado do triângulo, foi dividido em números inteiros representando as grandezas das cotas da água no lençol no interior dos poços;

4) Foram unidos os pontos de mesma cota da água;

5) Foi traçada perpendicular às linhas de cota do nível de água;

6) Foi traçada perpendicular, obtendo assim a linha de fluxo do lençol freático, a orientação do sentido do fluxo foi da maior para a menor cota do nível de água.

O levantamento planimétrico foi feito com aparelho de GPS e foi feita investigação do subsolo através do método de sondagem (SPT). Foram feitos 3 furos tendo o primeiro com nível de água aos 4,8 m em relação a superfície, o 2º com 4,2 m em relação a superfície, o 3º com 4,3 m em relação a superfície. A partir destes dados foi feito também o levantamento altimétrico para determinação das linhas equipotenciais do lençol freático.

No caso da área escolhida, a Figura 4.2-1 mostra a linha de fluxo do aquífero subterrâneo.

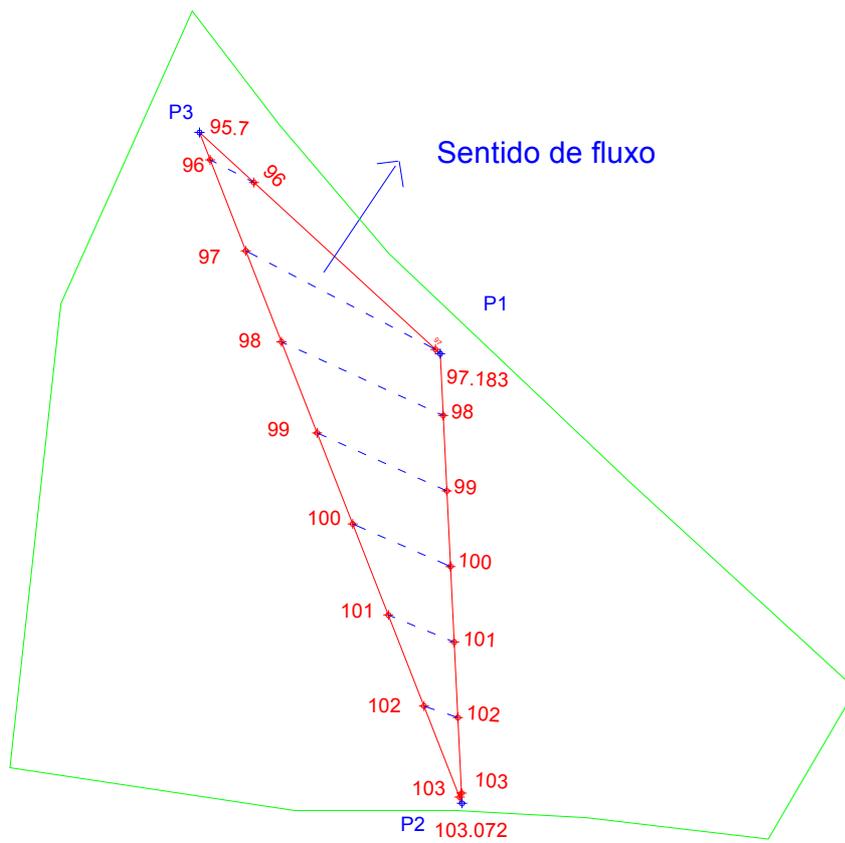


Figura 4.2-1– Representação gráfica para determinação do fluxo do aquífero subterrâneo.

4.3 Características e preparação do solo na área do experimento

O solo da área do experimento é do tipo latossolo vermelho, textura média de acordo com a classificação da EMBRAPA, 1997.

O solo sempre foi utilizado para pastagem de bovinos, portanto não tem histórico de adição de produtos agrícolas.

Para correção da acidez do solo foi aplicado calcário dolomítico, como mostra a Figura 4.3-1.



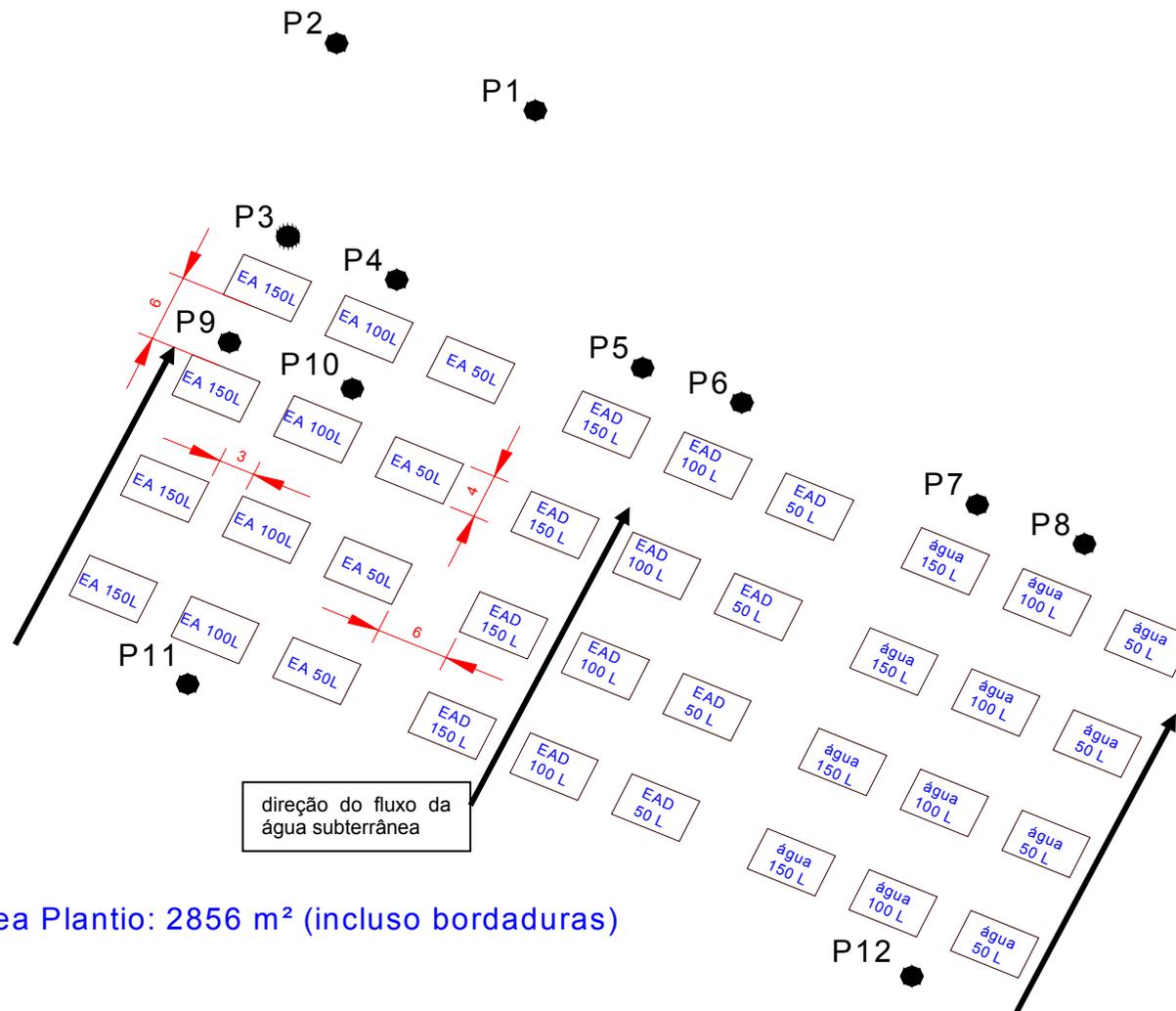
Figura 4.3-1 - Aplicação de calcáreo

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 T.

4.4 Poços de monitoramento

Foram perfurados 12 poços para a coleta de água subterrânea com profundidade total variando entre 7,60 m e 13,10 m, o nível de água nos poços varia de acordo com a época do ano (de 0,4 m a 3,0 m). A distribuição dos poços é apresentada na Figura 4.4-1

As construções desses poços tiveram como referência a norma CETESB nº 6410 “Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas” - 1988



Área Plantio: 2856 m² (incluso bordaduras)

Figura 4.4-1 - Posicionamento de poços e parcelas do campo experimental na Fazenda Marfim – Restinga-SP

Como mostrado na Figura 4.4-1, os poços foram perfurados em locais estratégicos para obtenção das seguintes informações quanto à qualidade das águas subterrâneas:

Poços 11 e 12 Poços de referência para a avaliação da qualidade da água subterrânea sem qualquer interferência de aplicações: denominados nesse estudo como “brancos” (poços de montante da área de estudo)

Poços 1 e 2 Água subterrânea nos locais mais críticos quanto às possibilidades de interferências na qualidade da água com influência das irrigações na área da pesquisa (poços de jusante da área de estudo).

Poços 7 e 8 Água subterrânea com possibilidades de interferência direta do cenário de irrigação com água in natura e adição de fertilizantes (poço intermediário na área de estudo, para o cenário ÁGUA).

Poços 5 e 6 Água subterrânea com possibilidades de interferência direta do cenário de irrigação com efluente anaeróbico desinfetado (poço intermediário na área de estudo, para o cenário EAD)

Poços 3 e 4 Água subterrânea com possibilidades de interferência direta do cenário de irrigação com efluente anaeróbico bruto (poço intermediário na área de estudo, para o cenário .EA)

Poços 9 e 10 Água subterrânea com possibilidades de interferência direta do cenário de irrigação com efluente anaeróbico (poço intermediário na área de estudo, entre as parcelas, para o cenário EA)

A Figura 4.4-2 apresenta foto mostrando os poços de monitoramento instalados na área do experimento.



Figura 4.4-2– Vista da área do experimento com poços de monitoramento instalados na Fazenda Marfim – Rifaina-SP

Todos os poços foram desinfetados com aplicação de hipoclorito de sódio com ajuste de pH para a faixa ideal para desinfecção. A dosagem de hipoclorito foi determinada em laboratório, antes da irrigação.

4.5 Delineamento experimental

4.5.1 Cenários de irrigação

Com a definição do fluxo de água no lençol freático, foi feita distribuição de 12 tratamentos para cada das seguintes alternativas de irrigação do solo:

Água + adubo (ÁGUA) – Cenário 01;

Efluente Anaeróbio Desinfetado (EAD) – Cenário 02;

Efluente Anaeróbio sem desinfecção (EA) – Cenário 03;

Foi um total de 36 parcelas, cada constituída de quatro sulcos paralelos com profundidade de 0,2 m, largura média de 0,3 m e comprimento de 6,0 m. O espaçamento livre entre as linhas do plantio foi de 1,0 m

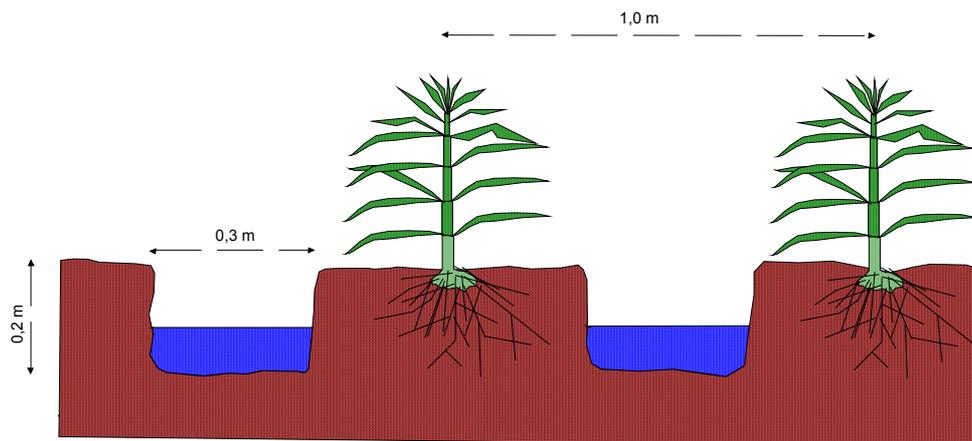


Figura 4.5-1– Desenho representativo do corte dos sulcos



Figura 4.5-2– Sulcos irrigados com efluente

4.5.2 Alimentação da irrigação

Na irrigação com efluente anaeróbio foram utilizados cinco tanques cilíndricos de fibra de vidro, sendo dois tanques com capacidade de 2,5 m³ utilizados para efluente anaeróbio desinfetado e três com capacidade unitária de 2,0 m³ utilizados para o efluente sem desinfecção.

Os tanques foram instalados na parte alta da área do campo experimental sob base de 0,6 m de altura, permitindo que o abastecimento dos sulcos sejam realizados por mangotes com diâmetro de uma polegada e meia sob ação da gravidade.

A Figura 4.5-3 apresenta foto com os três tanques utilizados para armazenamento dos efluentes não desinfetado.



Figura 4.5-3– Tanque de armazenamento dos efluentes instalados no campo experimental na Fazenda Marfim, Rifaina-SP

Para medição dos volumes aplicados na irrigação foi utilizado bombona de polietileno com capacidade para 50 L adaptada com um registro na saída. A Figura 4.5-4 ilustra este dosador utilizado nas irrigações.



Figura 4.5-4– Detalhe do dosador utilizado para aplicação de efluentes.

A origem do efluente anaeróbio foi da ETE Lagoa Jardim Paulistano II, localizada no município de Franca e distante a menos de 15 km da Fazenda Marfim. O transporte foi realizado em caminhões tanques com equipamento de sucção de propriedade da SABESP, conforme apresentado na Figura 4.5-5.



Figura 4.5-5– Descarregamento de efluente nos tanques da área experimental da Fazenda Marfim, Restinga-SP

Para desinfecção do efluente utilizado no cenário Efluente Anaeróbio Desinfetado, foi dosado 32 mg/L de cloro ativo através de hipoclorito de cálcio 65%. Esta dosagem foi determinada experimentalmente por TONON, 2007, em experimento paralelo utilizando o mesmo efluente da lagoa anaeróbia da ETE Paulistano II. A cada dosagem nos tanques de armazenamento eram aguardados no mínimo 40 minutos, como tempo de contato para reação.

Para a irrigação com água, foi utilizado um conjunto motor-bomba para captação da água proveniente de um pequeno açude próximo à área do experimento, como apresentado na Figura 4.5-6.



Figura 4.5-6– Captação de água do açude na Fazenda Marfim, Restinga-SP

Os volumes de água utilizados nas irrigações foram medidos, tomando como referência os tempos de acionamento da bomba, uma vez que a vazão foi previamente verificada. A Figura 4.5-7 ilustra medição de volume de água utilizado na irrigação.



Figura 4.5-7– Detalhe da medição do volume de água utilizado na irrigação

4.5.3 Adubação

A adubação de plantio foi feita de forma igualitária para todas as parcelas aplicadas na linha do plantio e correspondentes a 20 Kg N/ha na forma de Sulfato de Amônio (NH_4SO_4), 60 Kg P_2O_5 /ha na forma de super simples e 33 kg K_2O /ha na forma de Cloreto de Potássio (KCl); quantidades estimadas para produtividade aproximada entre 7 e 8 ton/há..



Figura 4.5-8– Detalhe da adubação na linha do plantio no experimento da Fazenda Marfim, Restinga-SP

4.5.4 Plantio

A primeira safra foi plantada em meados de novembro de 2005 e a segunda em março de 2007.

Para plantio utilizou-se o milho Pioneer 30K75 em todas os cenários, sendo para cada linha de plantio foi aberto um pequeno sulco com aproximadamente três centímetros de profundidade, ao longo destas linhas.

Para a demarcação do espaçamento a cada 0,15 m foi usado um cordão com marcações; desta forma foi dispensado a técnica de desbaste.



Figura 4.5-9– Detalhe do plantio do milho com auxílio de cordão marcado no campo experimental da Fazenda Marfim, Restinga-SP.

4.5.5 Quantidade de água necessária para irrigação

Para se determinar os volumes de efluente necessário para os sulcos e por rega de acordo com as profundidades de irrigação foi usado os resultados de análise da capacidade de retenção de água no solo.

As taxas de irrigação estão de acordo com REAMI, 2008, que desenvolveu pesquisa paralela sobre a produtividade do milho e concentrações de metais nos

grãos, os dados para a determinação dos valores das taxas encontram-se descritas na Tabela 4.5-1.

Para as coletas de amostras do solo foi utilizado o trado Uhland para amostra não deformada, como ilustrado na Figura 4.5-10.

Foram retiradas quatro amostras nas profundidades entre 0 e 0,25 m e entre 0,25 e 0,50 m, para realização dos ensaios no laboratório de solos da UNICAMP.



Figura 4.5-10– Detalhe da coleta de solo utilizando o trado Uhland

Foram obtidas as densidades real e global do solo através da relação entre a massa de 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.

Tabela 4.5-1 – Resultados da análise e capacidade de retenção de água pelo solo da Fazenda Marfim, Restinga-SP

Capacidade de Retenção de Água											
Ponto	Prof. Irrig. (cm)	D _r (g/cm ³)	D _g (g/cm ³)	CC (%)	U _c (%)	P _M (%)	H (mm)	H _i (mm)	R (mm)	H _b (mm) Aspersão	H _b (mm) 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

Fonte: REAMI, 2008

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

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

D_r = densidade real do solo;

D_g = densidade global do solo;

CC = umidade do solo na capacidade de campo;

U_c = umidade crítica do solo;

P_M = ponto de murchamento permanente,

R = reserva de água no solo;

Prof. Irrig. 50 cm = zona de raiz, ideal para a variedade do milho utilizado,

100 cm = posição dos coletores de drenagem livre.

A Figura 4.5-11 e a Figura 4.5-12 a seguir, correspondem ao ponto 1 nas respectivas profundidades entre 0,0 e 0,25 m e 0,25 a 0,50 m.

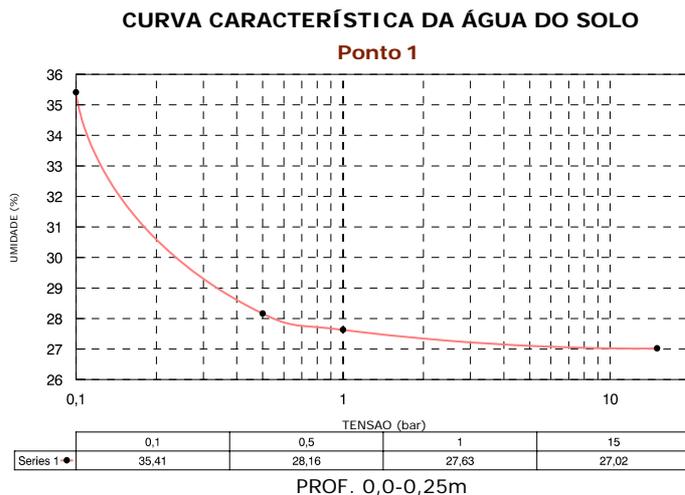


Figura 4.5-11- Curva característica de água no solo profundidade 0,0 a 0,25 m da Fazenda Marfim, Retinga-SP

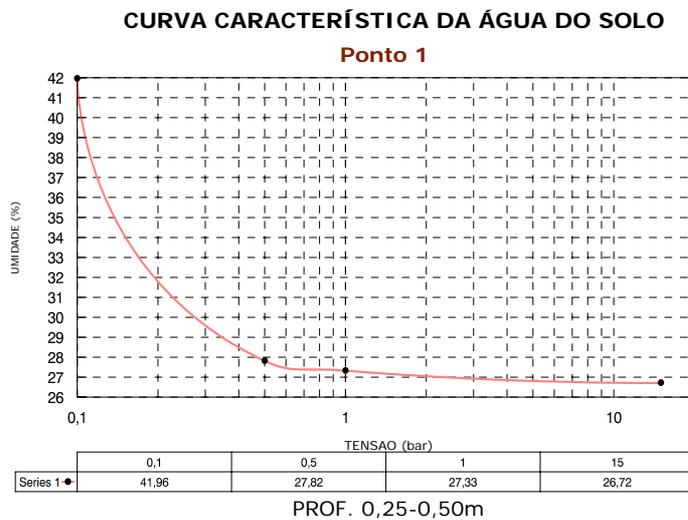


Figura 4.5-12 - Curva característica de água no solo, profundidade de 0,25 a 0,50 m da Fazenda Marfim, Restinga-SP

4.5.6 Precipitações pluviométricas

Durante as duas safras foram feitas as leituras diárias de precipitação pluviométrica no pluviômetro da Fazenda Marfim. Este mesmo pluviômetro é utilizado pela administração da fazenda para avaliar a quantidade necessária de irrigação nas suas lavouras. Os resultados dessas observações encontram-se nas Tabelas A.1 e A.2 do Anexo I.

4.6 Monitoramento na qualidade da água subterrânea

As coletas de amostras dos poços de monitoramento foram realizadas com o auxílio de bomba de vácuo, dois frascos com capacidade para um litro e um frasco pulmão com capacidade para 10 litros.

Com o uso da bomba de vácuo, foi evitado turbulências no momento da coleta, assim como a introdução de metais (componentes de bombas) no interior do poço, cujo conjunto pode ser observado na Figura 4.6-1.



Figura 4.6-1 – Conjunto utilizado para amostragens nos poços de monitoramento.

Em cada um dos poços foi colocada mangueira em cristal polietileno com diâmetro de $\frac{1}{4}$ polegada com distância de captação de 0,20 m do fundo do poço e extremidade de saída presa no interior do tubo e próximo ao cap de vedação de entrada do poço, conforme desenho esquemático na Figura 4.6-2.

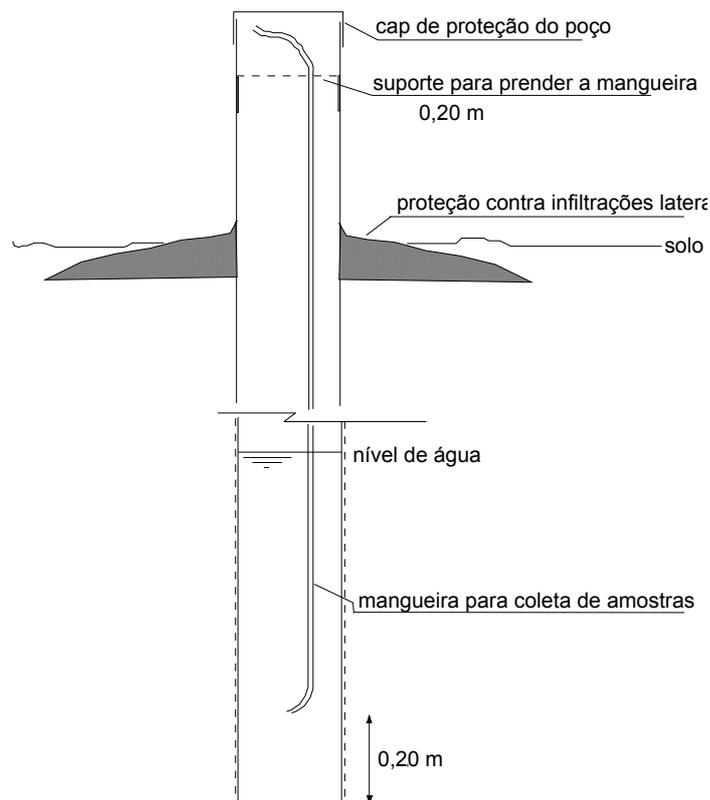


Figura 4.6-2 – Detalhe da instalação da mangueira utilizada para amostragens dos poços de monitoramento do campo experimental na Fazenda Marfim, Restinga-SP

Para fazer a amostragem nos poços de monitoramento, foi padronizado que primeiramente se completasse volume fixo de 9 litros no reservatório e, somente a partir daí realizar as coleta. Desta forma obteve-se um volume fixo de 10 litros de água retirada do poço antes de praticar a coleta, suficiente para promover a migração de água do solo no poço e também eliminar possíveis resíduos interferentes no interior dos frascos. Para ensaios físico-químicos foram retiradas amostras do segundo frasco de amostragem.

4.6.1 Monitoramento de água drenada

Foi implantado na linha central de plantio de cada parcela dois coletores de drenagem livre, distantes um do outro aproximadamente 1,50 m e instalados a 1,00 m de profundidade durante a primeira safra, no entanto como não foi

observado captação de água drenada, na segunda safra os mesmos foram retirados e reinstalados a profundidade de 50 centímetros.

Os coletores foram confeccionados utilizando parte de tubo de PVC com diâmetro de 6 polegadas e comprimento de 0,40 m, adaptando convenientemente, tela de mosqueteiro 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 nestes coletores. Um desenho esquemático da montagem desses coletores pode ser observado na Figura 4.6-3 e o detalhe da instalação na Figura 4.6-4.



Figura 4.6-3 – Coletores de amostras de água drenagem livre
STEFANUTTI, 2000



Figura 4.6-4 – Detalhe da colocação dos coletores de amostras de água de drenagem no campo experimental da Fazenda Marfim, Restinga-SP.

Nas amostras captadas nesses coletores foram realizadas análises dos seguintes parâmetros: *Coliformes totais*, *E.coli*, condutividade específica, nitratos, cloretos, pH, DBO, DQO, fósforo total e nitrogênio amoniacal.

4.7 Análises de metais no solo

Foi determinada a concentração de metais pesados (teor total) em amostras de solo irrigado com água do açude e efluentes. Foram determinados os metais mais comuns nos esgotos, a saber: Cádmio, Zinco, Cromo Cobre e Chumbo.

Foram coletadas amostras compostas no fundo dos sulcos de irrigação, na profundidade de 0,00 a 0,20m.

A preparação das amostras foram realizadas no laboratório de reuso do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC-UNICAMP. As amostras foram

previamente secas à temperatura ambiente, até peso constante. Em seguida foi realizada a abertura com digestão ácida, conforme método EPA 3051. Uma fração de 0,5 g de solo em 10 mL de HNO_3 foi submetida ao forno microondas CEM (MARS 5).

As leituras da concentração dos metais nas amostras digeridas foram feitas pela metodologia de espectrofotometria em absorção atômica, conforme recomendação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th edition.



Figura 4.7-1 – Espectrofotômetro de Absorção Atômica da SABESP utilizado para análises de metais nas amostras de água subterrâneas e solo.

4.8 Amostragem e avaliação da presença de ovos de helmintos no solo.

Durante as duas safras e em duas oportunidades, imediatamente após a última irrigação e após 70 dias respectivamente, foram coletadas amostras de solo na superfície da área irrigada (dentro dos sulcos) e avaliada a presença e viabilidade de ovos de helmintos, por meio da técnica centrifugo flutuação em

sulfato de Zinco a 1,35 g/ml (YANKO, 1987). As amostras de solo foram coletadas nos três cenários e com amostras compostas nos primeiros dois centímetros nas parcelas com cotas de irrigação de 50, 100 e 150 litros, armazenadas em sacos plásticos mantidos semi-abertos em bandeja, simulando algumas condições de campo.

As análises foram realizadas no laboratório do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC-UNICAMP.

4.9 Ensaios laboratoriais nas amostras de água

Os ensaios laboratoriais para as amostras de água foram realizados em laboratório Acreditado pelo INMETRO, segundo os critérios da Norma ISO/IEC 17025, pertencente à Divisão de Controle Sanitário e Ambiental, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, localizado na cidade de Franca, sede da Unidade de Negócio do Pardo e Grande – RG.

Os ensaios de avaliação da quantidade de cloro para desinfecção e caracterização dos efluentes foram realizados no Laboratório da UNICAMP.

As metodologias utilizadas foram retiradas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª Edição - 2005. A Tabela 4.9-1 mostra as metodologias utilizadas para cada ensaio:

Tabela 4.9-1 – Metodologias analíticas utilizadas nas amostras de água.

Parâmetro	Método de ensaio
Bactérias Heterotróficas	Contagem Padrão em Placas
Cloretos	Argentométrico
Cloro Residual Livre	DPD – Colorimétrico
Coliformes Totais	Substrato Enzimático
Pseudomonas Aeruginosas	Membrana Filtrante
Condutividade	Condutivímetro
Cor aparente	Colorimétrico
DBO	Repiométrico
DQO	Colorimétrico com refluxo fechado
E. coli	Substrato Enzimático
Fósforo total	Colorimétrico
Metais	Absorção Atômica
Nitratos	Íon Seletivo
pH	Potenciométrico
Sulfatos	Turbidimétrico
Turbidez	Nefelométrico

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi realizado com base nas análises de amostras da água subterrânea da área experimental durante as duas safras de milho, cada abrangendo período de 120 dias. A primeira safra ocorreu no período chuvoso e a segunda no período de seca.

5.1 Precipitações pluviométricas

As Tabelas A.1 e A.2 do Anexo 01 apresentam os dados de intensidades das precipitações diárias acrescidos das aplicações de irrigação e as ocorrências durante as safras.

Na Figura 5.1-1 são apresentadas os totais de precipitações pluviométricas ocorridas durante a primeira e segunda safra. Colunas na cor azul correspondem à precipitações naturais de chuvas (mm) e as colunas na cor marrom os volumes totais utilizados para irrigação (com respectivas cotas de água: 50, 100 e 150 L) convertidos em precipitações pluviométricas (mm).

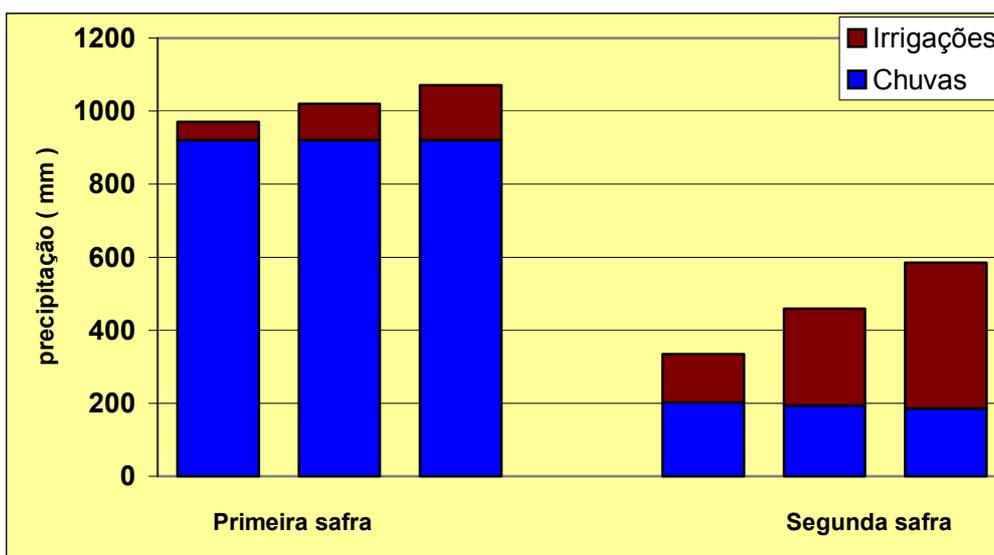


Figura 5.1-1 – Precipitações pluviométricas nos períodos das duas safras durante o experimento na Fazenda Marfim, Restinga-SP.

Como pode ser observado, conforme previsto no objetivo inicial, o experimento foi realizado contemplando período de chuva (primeira safra) e outro período de seca. As irrigações complementaram as necessidades hídricas durante as safras. Na primeira safra foram realizadas 6 irrigações intermediárias nos dias sem chuvas e na segunda safra, devido à estiagem houve a necessidade de 16 irrigações, conseqüentemente carga maior de efluente.

5.2 Efluente aplicado na irrigação

As irrigações foram realizadas com efluente de lagoa anaeróbia da ETE Paulistano II operada pela Sabesp, que recebe esgoto do Bairro Paulistano II do Município de Franca.

Os resultados médios das características físico-químicas e microbiológicas desse efluente estão contidos na Tabela 5.2-1 e Tabela 5.2-2, respectivamente para os efluentes desinfetado e não desinfetado.

Tabela 5.2-1- Características físico-químicas e microbiológicas dos efluentes desinfetados utilizados na irrigação do milho na Fazenda Marfim, Restinga-SP.

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Alumínio total	mg L ⁻¹	0,6479	0,5000	0,3973	1,5450	0,1800
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Bário	mg L ⁻¹	0,4364	0,5000	0,1611	0,5000	0,0500
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500		< 0,0500	< 0,0500
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,1000	< 0,1000		< 0,1000	< 0,1000
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Coliformes Totais	NMP/100mL	8,9 10 ⁵	1,7 10 ³	2,3 10 ⁶	8,7 10 ⁶	1,0 10 ⁰
Cor Aparente	U.C.	772	592	454	1756	406
Cromo Total	mg L ⁻¹	0,0463	0,0500	0,0135	0,0500	< 0,0005
DBO (5 dias. 20 °C)	mg O ₂ /L	87,86	75,00	46,79	201,00	35,00
DQO	mg O ₂ /L	365,14	235,00	326,97	1452,00	204,00
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	2,3 10 ⁵	1,2 10 ²	5,4 10 ⁵	2,0 10 ⁶	1,0 10 ⁰
Ferro Total	mg L ⁻¹	1,6267	1,5530	0,8549	3,6400	0,6840
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,1174	0,1160	0,0466	0,2170	< 0,0001
Mercúrio	mg L ⁻¹	0,0046	0,0005	0,0013	0,0050	0,0001
Nitratos	mg N-NO ₃ ⁻¹ L	2,73	2,81	1,19	4,78	1,00
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Sódio	mg L ⁻¹	72,40	72,45	16,26	98,34	46,74
Sulfatos	mg L ⁻¹	19,78	20,00	9,14	49,00	< 10,00
Zinco	mg L ⁻¹	0,1018	0,1000	0,0429	0,2180	< 0,0001
pH					7,30	6,90
Turbidez	NTU	154,86	94,00	222,33	916,00	51,00
Condutividade	dS/m	0,638	0,9525	0,5799	1,2820	0,0700
Alcalinidade	mg L ⁻¹	263,2	272,0	49,8	342,0	144,0
SST	mg L ⁻¹	101,57	103,00	20,98	128,00	62,00
SSF	mg L ⁻¹	27,29	22,00	15,34	48,00	9,00
SSV	mg L ⁻¹	74,00	78,00	12,19	88,00	53,00
NTK	mg L ⁻¹	52,33	51,00	8,21	64,00	42,00
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	42,59	41,25	12,11	67,10	23,00
Temperatura	°C	18,1	17,5	3,2	23,0	15,0

Tabela 5.2-2 - Características físico-químicas e microbiológicas dos efluentes não desinfetados utilizados na irrigação do milho na Fazenda Marfim, Restinga-SP.

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Alumínio total	mg L ⁻¹	0,3950	0,3950		0,3950	0,3950
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Bário	mg L ⁻¹	< 0,5000	< 0,5000		< 0,5000	< 0,5000
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500		< 0,0500	< 0,0500
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,1000	< 0,1000		< 0,1000	< 0,1000
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,1000	< 0,1000		< 0,1000	< 0,1000
Coliformes Totais	NMP/100mL	6,8 10 ⁶	2,7 10 ⁶	1,2 10 ⁷	4,8 10 ⁷	1,6 10 ⁵
Cor Aparente	U.C.	1176	1176		1176	1176
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500		< 0,0500	< 0,0500
DBO (5 dias. 20 °C)	mg O ₂ /L	79,14	77,50	37,68	190,00	38,00
DQO	mg O ₂ /L	271,50	262,50	85,60	419,00	130,00
<i>E. coli</i> (fecal)	NMP/100mL	1,2 10 ⁶	9,3 10 ⁵	1,2 10 ⁶	4,9 10 ⁶	4,1 10 ⁴
Ferro Total	mg L ⁻¹	1,6460	1,6460		1,6460	1,6460
Fósforo Total	mg L ⁻¹	0,0110	0,0110		0,0110	0,0110
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,1340	0,1340		0,1340	0,1340
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050		< 0,0050	< 0,0050
Nitratos	mg N-NO ₃ L ⁻¹	1,03	1,03		1,03	1,03
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Sódio	mg L ⁻¹	61,00	64,00	15,00	80,00	35,00
Sulfatos	mg SO ₄ L ⁻¹	30,84	30,84		30,84	30,84
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,1000	< 0,1000		< 0,1000	< 0,1000
pH					7,30	6,50
Turbidez	NTU	100,69	74,00	80,39	371,00	27,00
Condutividade	dS/cm	0,4915	0,7410	0,4848	0,1154	0,0072
Alcalinidade	mg L ⁻¹	256,20	252,00	45,10	335,00	186,00
SST	mg L ⁻¹	148,88	102,00	122,90	419,00	31,00
SSF	mg L ⁻¹	33,25	33,50	22,47	65,00	2,00
SSV	mg L ⁻¹	121,25	78,50	102,55	354,00	29,00
NTK	mg L ⁻¹	55,29	54,00	10,69	76,00	44,00
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	43,41	45,20	9,78	60,70	26,00
N. Orgânico	mg L ⁻¹	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	17,2	17,0	2,9	23,0	14,0

Pode-se observar que o processo de tratamento de esgoto recebe um afluente predominantemente residencial, pois durante todo o monitoramento houveram poucas variações significativas de parâmetros que caracterizassem recebimento de efluentes industriais.

Comparando os resultados observados com os valores recomendados pela Instrução Técnica N° 31, CETESB (2006), verifica-se que os efluentes estão dentro dos padrões recomendados pela legislação para os elementos analisados, exceto para os valores de coliformes e ovos de helmintos.

5.3 Qualidade da água nos poços à montante da área irrigada.

As amostras da água subterrânea coletada nos poços 11 e 12, localizados à montante da área irrigada, considerados como testemunhas (brancos) do experimento apresentaram durante o período de pesquisa os resultados apresentados na Tabela 5.3-1.

Tabela 5.3-1 – Qualidade da água subterrânea coletada nos poços 11 e 12, à montante da área de irrigação e da direção do fluxo do lençol (NA), na Fazenda Marfim, Restinga-SP.

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Coliformes Totais	NMP/100mL	19	3	48	156	0
<i>E.coli</i>	NMP/100mL	1	0	1	3	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/100mL	3	3	1	4	3
Bactérias. Heterotróficas	UFC/mL	2832	1515	2512	5700	24
Condutividade Específica	dS/m	0,0575	0,4240	0,4120	0,1930	0,0248
Cor Aparente	U.C.	16	11	17	56	< 3
Nitratos	mg N-NO ₃ L ⁻¹	1,02	1,00	0,47	1,79	0,28
Cloretos	mg N L ⁻¹	1,50	1,00	0,84	3,00	< 1,00
Sulfatos	mg L ⁻¹	3,27	1,52	3,84	10,00	< 1,00
pH	-				6,90	5,40
Temperatura da amostra	°C	26	25	1	27	24
Turbidez	NTU	1,48	0,86	2,11	9,40	0,20
Alumínio total	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300		< 0,0300	< 0,0300
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0030	< 0,0030		< 0,0030	< 0,0030
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010	0,0003	0,0016	< 0,0010
Bário	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500	0,0896	0,3250	< 0,0500
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010	0,0090	0,0268	< 0,0010
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050		< 0,0050	< 0,0050
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050	0,0180	0,0430	< 0,0050
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,7684	0,4360	0,8500	2,4800	< 0,0200
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,2158	0,1270	0,2368	0,7980	< 0,0100
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,0200	< 0,0200		< 0,0007	< 0,0007
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Sódio	mg L ⁻¹	1,4600	1,1550	1,0685	3,5600	< 0,2800
Zinco	mg L ⁻¹	0,0300	0,0300		< 0,0300	< 0,0300
<i>Enterococcus</i>	UFC/100mL	< 1	< 1		< 1	< 1

Segundo informações da Divisão de Controle Sanitário e Ambiental da UN Pardo e Grande da SABESP (Franca), com base em resultados de vários poços analisados de propriedade de sítiantes e fazendeiros, estes valores observados são típicos da qualidade das águas subterrâneas na região próximas do experimento.

Considerando que não foram constatados teores discrepantes dos parâmetros analisados, o local da amostragem pode ser considerado boa referência quando comparado com os poços de monitoramento expostos a interferência das irrigações durante a pesquisa.

Com exceção dos parâmetros bacteriológicos, a qualidade dos poços testemunha parâmetros permitidas estabelecidos na Portaria MS no 518/04.

5.4 Qualidade da água nos poços à jusante da área irrigada.

Nas Tabelas A.3 a A.15 do Anexo 02, estão registrados todos os resultados brutos obtidos das amostragens realizadas nos poços de monitoramento e nas duas minas localizadas nas proximidades da área do experimento. Para melhor avaliação da qualidade da água subterrânea e a eventual influência das irrigações será apresentado na sequência as variações ocorridas durante o experimento dos principais parâmetros considerados, sob a influência de irrigação dos cenários: com água + fertilizantes (ÁGUA), efluente anaeróbico desinfetado (EAD) e efluente anaeróbico bruto (EAB).

5.5 Metais pesados

A presença de metais pesados é uma das grandes preocupações quanto à proteção de aquíferos utilizados para abastecimento público, pois suas concentrações limitantes são muito restritivas. Durante o experimento foi realizado monitoramento contínuo em todos os poços, incluindo as águas das minas, para

avaliação de possíveis alterações nas concentrações de metais no aquífero sob o experimento.

Tabela 5.5-1, Tabela 5.5-2 e Tabela 5.5-3 mostram os resultados médios das concentrações de metais nos poços de monitoramento durante o período da pesquisa.

Tabela 5.5-1 – Concentrações de metais na água subterrânea sob influência da irrigação no cenário ÁGUA (água + fertilizantes), amostras coletadas nos poços 7 e 8. Fazenda Marfim, Restinga-SP

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Alumínio total	mg L ⁻¹	0,0300	0,0300		< 0,0300	< 0,0300
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0030	< 0,0030		< 0,0030	< 0,0030
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Bário	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500	0,0279	0,1250	< 0,0500
Cadmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010	0,0022	0,0068	< 0,0010
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050		< 0,0050	< 0,0050
Cromo Total	mg L ⁻¹	0,0160	0,0050	0,0170	0,0380	< 0,0050
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,0240	0,0200	0,0080	0,0360	< 0,0200
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,0246	0,0165	0,0199	0,0660	< 0,0100
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,0007	< 0,0007		< 0,0007	< 0,0007
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Sódio	mg L ⁻¹	0,7800	0,6800	0,3036	1,3900	< 0,2800
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300		< 0,0300	< 0,0300

Tabela 5.5-2 – Concentrações de metais na água subterrânea sob influência da irrigação no cenário EAD (efluente desinfetado), amostras coletadas nos poços 5 e 6. Fazenda Marfim, Franca-SP

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Alumínio total	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300		< 0,0300	< 0,0300
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0030	< 0,0030		< 0,0030	< 0,0030
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010	0,0005	0,0020	< 0,0010
Bário	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500	0,0151	< 0,0500	< 0,0500
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010	0,0021	0,0056	< 0,0010
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010	0,0032	0,0099	< 0,0010
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050		0,0050	< 0,0050
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050	0,0195	0,0460	< 0,0050
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,1190	0,0375	0,1754	0,3810	< 0,0200
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,0825	0,0165	0,1304	0,3500	< 0,0100
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,0007	< 0,0007		< 0,0007	< 0,0007
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Sódio	mg L ⁻¹	1,3950	1,1150	1,5173	6,4500	< 0,2800
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300		< 0,0300	< 0,0300

Tabela 5.5-3 – Concentrações de metais na água subterrânea sob influência da irrigação no cenário EAB (efluente anaeróbico bruto), amostras coletadas nos poços 3 e 4. Fazenda Marfim, Restinga-SP

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Alumínio total	mg L ⁻¹	0,0300	0,0300		0,0300	< 0,0300
Antimônio	mg L ⁻¹	0,0030	0,0030		0,0030	< 0,0030
Arsênio	mg L ⁻¹	0,0011	0,0010	0,0001	0,0012	< 0,0010
Bário	mg L ⁻¹	0,0562	0,0500	0,0102	0,0740	< 0,0500
Cádmio	mg L ⁻¹	0,0010	0,0010		0,0010	< 0,0010
Chumbo	mg L ⁻¹	0,0031	0,0020	0,0030	0,0089	< 0,0010
Cobre	mg L ⁻¹	0,0050	0,0050		0,0050	< 0,0050
Cromo Total	mg L ⁻¹	0,0050	0,0050		0,0050	< 0,0050
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,1545	0,0275	0,2591	0,5430	< 0,0200
Manganês Total	mg L ⁻¹	0,0190	0,0180	0,0092	0,0300	< 0,0100
Mercúrio	mg L ⁻¹	0,0007	0,0007		0,0007	< 0,0007
Selênio	mg L ⁻¹	0,0010	0,0010		0,0010	< 0,0010
Sódio	mg L ⁻¹	0,7836	0,6500	0,3315	1,3100	< 0,2800
Zinco	mg L ⁻¹	0,0300	0,0300		0,0300	< 0,0300

Em todos os poços do aquífero subterrâneo localizado sob o experimento não foram encontrados teores relevantes de metais, ficando evidente que não

houve contaminação do aquífero por metais, durante o período dessa pesquisa, considerando que os valores encontrados nos poços à jusante dos três cenários foram predominantemente abaixo dos limites de quantificação por espectrofotometria de absorção atômica e muito abaixo e distante dos limites de potabilidade estabelecidos na Portaria MS no 518/04.

5.6 Condutividade elétrica

Nesse estudo, a avaliação da condutividade foi fundamental para evidenciar a possibilidade de interferência na qualidade da água subterrânea devido à lixiviação de substâncias solúveis provenientes dos resíduos da irrigação.

A Figura 5.6-1 apresenta os valores de condutividade elétrica nos poços de monitoramento durante o experimento.

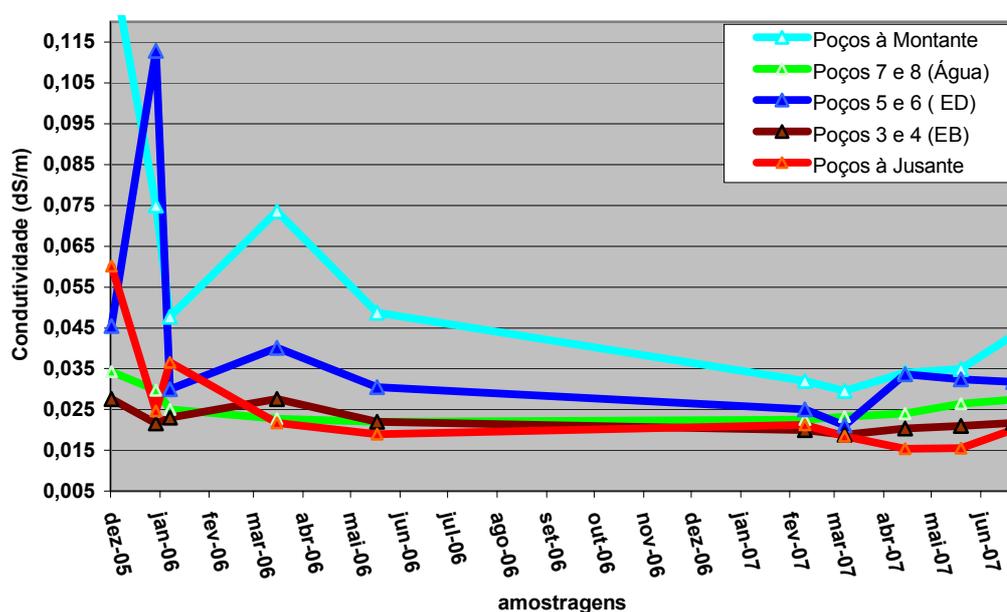


Figura 5.6-1 -Variação da condutividade elétrica nos poços de monitoramento

Entre os três cenários, destaca-se o EAD (irrigação por efluente desinfetado), pois foi utilizado hipoclorito de cálcio como desinfetante, o qual

provocou aumento significativo na condutividade elétrica no meio aquoso usado para irrigação. Neste caso o efluente desinfetado teve condutividade média observada durante o experimento de 0,638 dS/m e durante todo o período do experimento o valor máximo encontrado nos poços 6 e 7 que foi de 0,113 dS/m e média de 0,041 dS/m. Estes resultados evidenciam que os resíduos solúveis oriundos do efluente anaeróbico desinfetado, após as 22 aplicações do efluente entre novembro de 2005 e dezembro de 2007 não foram observadas variações discrepantes ou que evidenciaram um aumento de condutividade do aquífero sob o experimento.

5.7 Turbidez

Observando a variação dos resultados de turbidez durante o estudo, foi possível avaliar a influência do efluente utilizado para irrigação quanto à lixiviação de partículas sólidas no aquífero. Esta variação do valor da turbidez nas amostragens realizadas durante o período do estudo está mostrada na Figura 5.7-1.

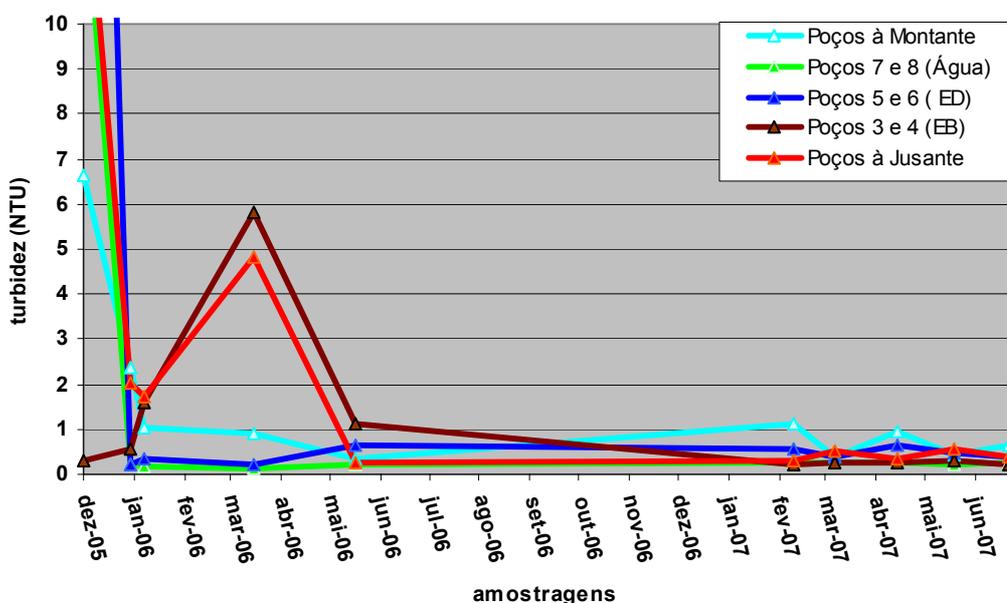


Figura 5.7-1 – Variação de turbidez nos poços de monitoramento.

Os valores elevados da turbidez no início do estudo podem ter sido provocados pela turbulência no solo do aquífero ao redor dos poços devido à perfuração dos mesmos provocando desprendimento de material argiloso e conseqüentemente aumento de turbidez. Após continuas retiradas de amostras dos poços, a partir de maio de 2006, a turbidez manteve-se estabilizada em valores menores que 1,0 NTU.

5.8 Nitrogênio aplicado e nitrato residual

Considerando que o efluente anaeróbio tem quantidade significativa de nitrogênio em diferentes formas químicas e uma das grandes preocupações com o uso de efluentes anaeróbios para irrigação é que a sobra de nitrogênio não absorvido pela vegetação, esta lixívia pelo solo e atinja o aquífero subterrâneo.

O nitrato é a última fase de oxidação do nitrogênio no solo. É absorvido pelas plantas como íon nitrato e devido a sua forma química é prontamente lixiviado para as camadas mais profundas do solo. Quando a adubação nitrogenada realizada nas plantações é excessiva, o solo tem a tendência de sofrer a perda de nitrogênio pela lixiviação na forma de nitrato. No caso da irrigação, se a quantidade de nitrogênio presente nos efluentes for superior à capacidade da planta em absorve-lo, este será lixiviado para o interior do solo.

A quantidade de nitrogênio aplicado no solo via irrigação por efluente pode ser estimado utilizando-se da média dos valores analíticos de nitrogênio total Kjeldahl – NTK, descrito nas Tabela 5.2 e Tabela 5.3, conforme a Equação 5.1:

$$D_{Aplicada} = \left[\left(\frac{VTEA \times C_{NTK}}{1000 \text{ g / kg}} \right) \times 10000 \text{ m}^2 / \text{ha} \right] \div A_b \dots\dots\dots \text{Equação 5.1}$$

Onde:

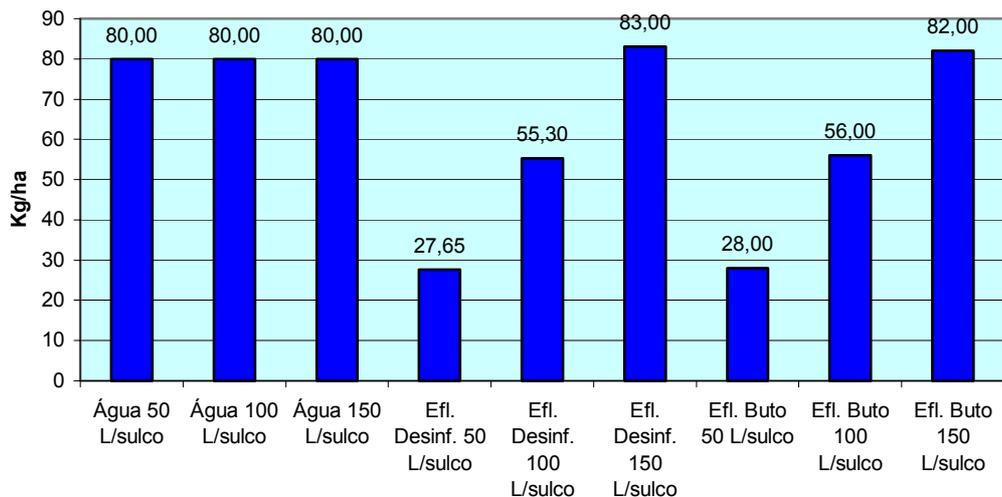
$D_{aplicada}$ = Dosagem aplicada

$VTEA$ = Volume total de efluente aplicado por sulco – m³

C_{NTK} = Concentração média de NTK
 Ab = área de abrangência do sulco

Neste caso, considerou-se a área de influência de cada sulco corresponde a 6 m², e o valor médio de NTK correspondente a 55,29 mg/L.

Segundo REAMI, 2008 na Figura 5.8-1 e na Figura 5.8-2 são representadas as quantidades de nitrogênio total aplicado via adubação química, referente a cobertura nas parcelas com tratamento “água + adubação química,” e via efluente nas demais parcelas do experimento na Fazenda Marfim.



Fonte: REAMI, 2008

Figura 5.8-1 - Quantidade de nitrogênio aplicado na primeira safra, para os diferentes cenários e parcelas com profundidade de irrigação de: 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco).

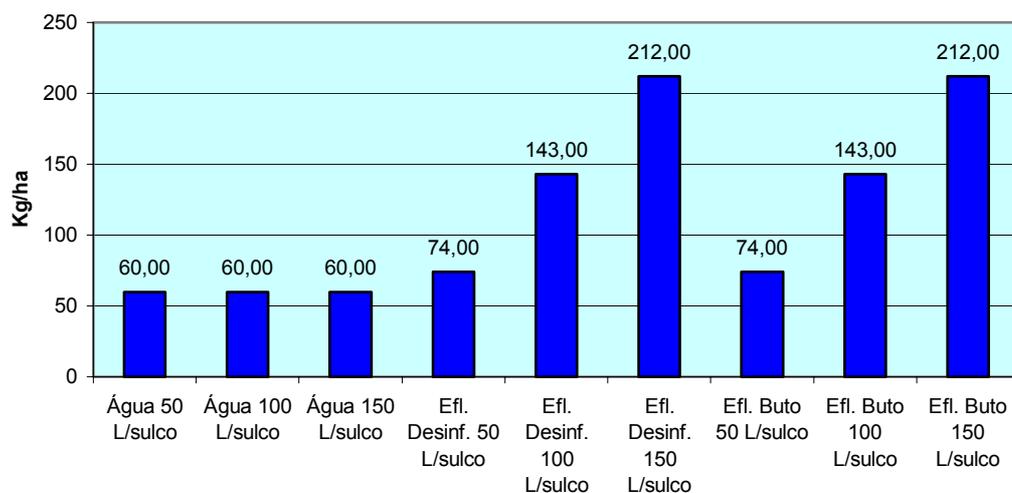


Figura 5.8-2 - Quantidade de nitrogênio aplicado na segunda safra, para os diferentes cenários e parcelas com profundidade de irrigação de: 25 cm (50L/sulco); 50 cm (100 L/sulco)e 75 cm (150 L/sulco).

A Figura 5.8-3 apresenta a variação dos teores médios de nitratos residual nos poços de monitoramento à montante e à jusante da área sob influência da irrigação.

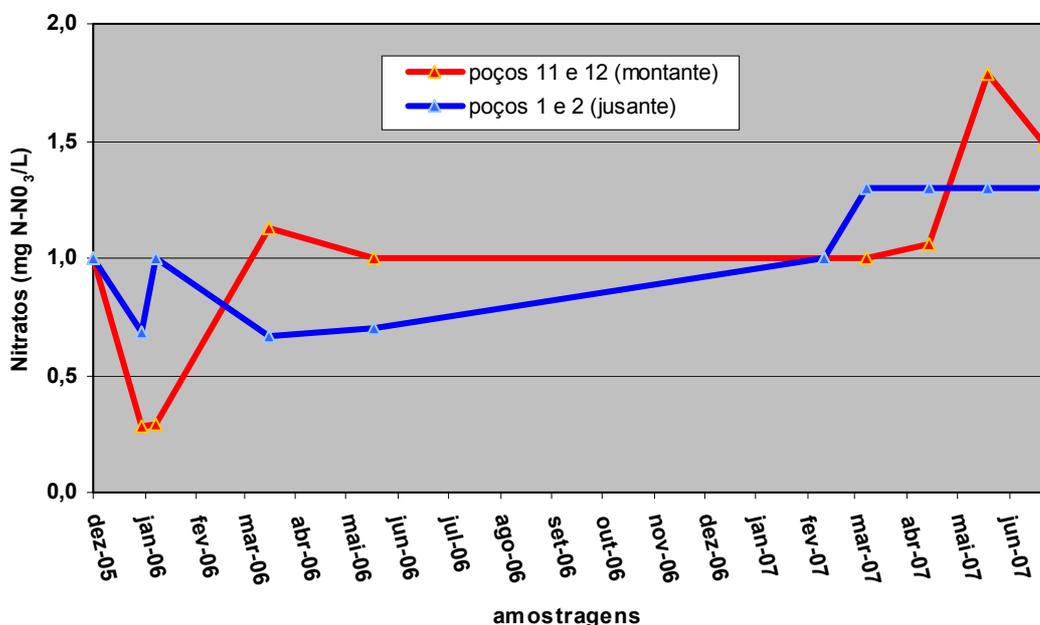


Figura 5.8-3 - Variação dos teores médios de nitratos nos poços de monitoramento à montante e à jusante da área sob influência da irrigação. Fazenda Marfim, Franca-SP

Embora o gráfico da Figura 5.8-3 mostre pequena tendência de aumento nos teores de nitrato (montante e jusante), os valores não demonstram variações significativas e se mantiveram abaixo do limite de 10 mg/L estabelecido pela Portaria MS no 518/04. Em todos os cenários não houve valores elevados de nitratos conforme pode ser observado na Figura 5.9-1.

5.9 Coliformes totais e *E.coli*

Bactérias dos grupos *Coliformes totais* e *Escherichia coli* são os principais indicadores bacteriológicos para potabilidade de águas de consumo humano. Nas análises das amostras coletadas nos poços de monitoramento observou-se que a presença natural de coliformes totais é comum, no entanto, poucas amostras com presença de *E.coli*.

A Figura 5.9-1 contém os valores médios de *Coliformes Totais* nos poços de monitoramento nos três cenários, considerando o período do experimento.

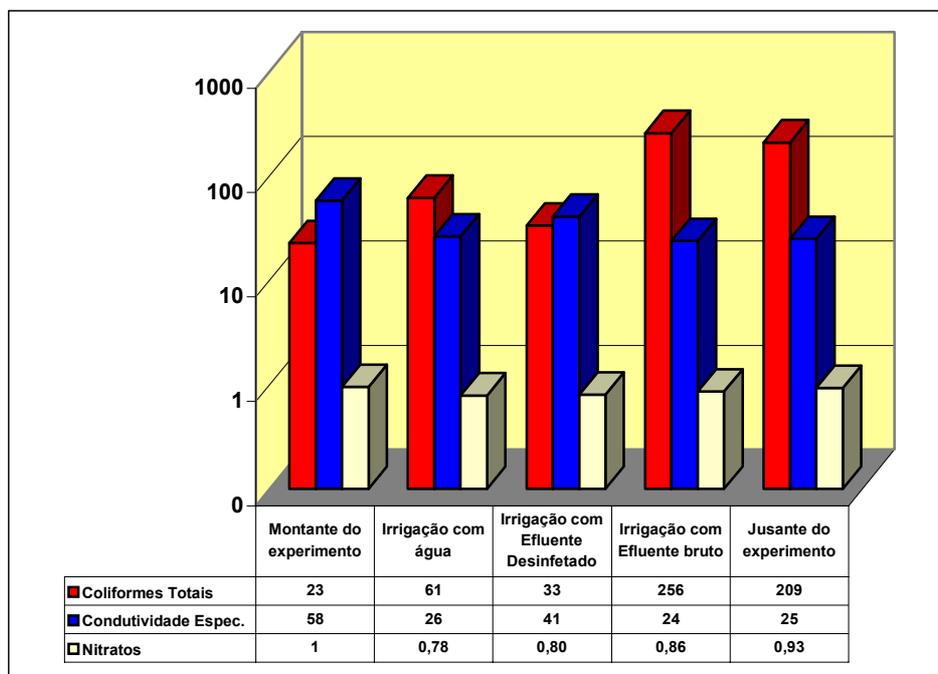


Figura 5.9-1 – Valores médios de Coliformes totais (NMP/100mL), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e nitratos (mgN/L) nos poços monitorados nos três cenários após irrigações nas duas safras.

5.10 Bactérias heterotróficas

Em se tratando de controle de qualidade de água, o monitoramento de presença de bactérias heterotróficas é fundamental para avaliação das condições sanitárias do ambiente onde se encontra a água monitorada.

A Figura 5.10-1 representa os valores das análises de bactérias heterotróficas realizadas durante o período do estudo.

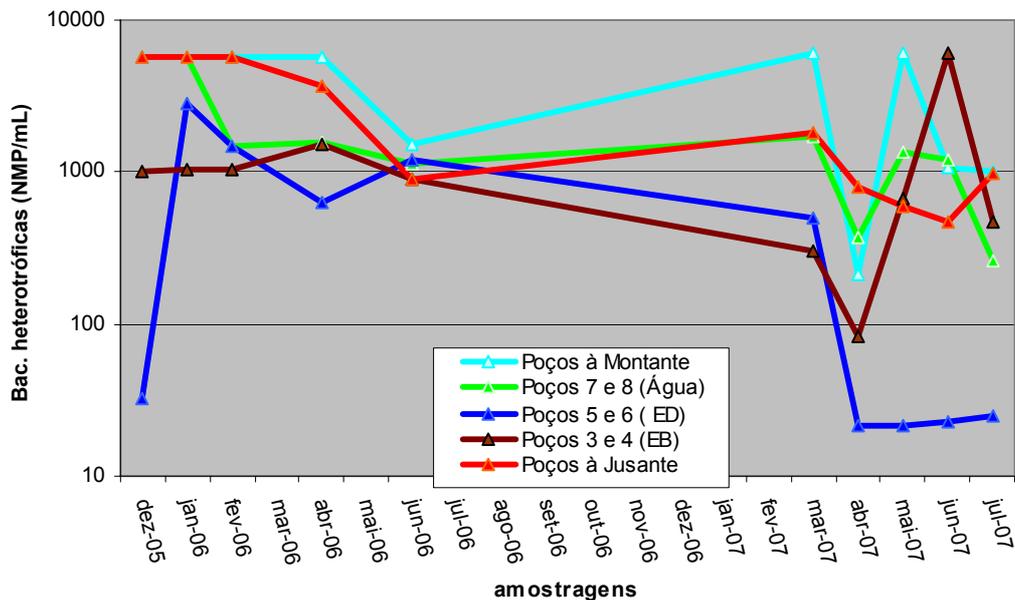


Figura 5.10-1 - Valores de Bactérias Heterotróficas durante o experimento

Mesmo considerando a complexidade para a prática de coletas precisas nos poços de monitoramento, os resultados encontrados demonstram que as alterações nos números de bactérias podem ser consideradas como pouco relevante independente do cenário do experimento.

Avaliando apenas os resultados dos poços à montante e à jusante, nota-se que não houve, considerando apenas o período da pesquisa, alteração nas condições sanitárias da água no aquífero sob a área irrigada.

5.11 Enterococcus

Durante esse estudo foram realizadas algumas análises de bactérias do gênero *Enterococcus*, por serem patogênicas e típicas em ambientes contaminados com fezes humanas (esgoto sanitário).

Os resultados dessas análises realizadas durante o período do estudo constataram ausências de bactérias do gênero *Enterococcus* nas amostras coletadas nos poços de monitoramento, indicando que a irrigação com esgotos não provocou nenhum impacto na água do lençol, considerando este parâmetro.

5.12 Qualidade da água de minas utilizadas na fazenda.

A pesquisa foi realizada com a preocupação básica de não comprometer a qualidade das águas servidas na Fazenda Marfim. Durante o desenvolvimento do experimento houve constante monitoramento da qualidade das duas minas existentes na fazenda e próximas da área do experimento. A primeira localizada à montante da área do experimento, utilizada para abastecer a residência de um dos colonos da fazenda, a outra localizada próximo de 150 m à jusante do experimento e próxima da sede da fazenda e utilizada como água de serventia para irrigação de hortaliças e dessedentação de animais.

A Tabela 5.12-1 e Tabela 5.12-2 apresentam o resumo dos parâmetros analisados da qualidade das águas das minas durante o período da pesquisa.

Tabela 5.12-1 – Qualidade da água da mina à montante da área do experimento, utilizada por morador da Fazenda Marfim, Restinga, SP.

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Coliformes Totais	NMP/100mL	233	97	435	150	1
<i>E.coli</i>	NMP/100mL	7	8	4	8	3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/100mL	43	30	33	90	5
Bactérias. Heterotróficas	UFC/mL	345	180	425	1297	120
Condutividade Elétrica	dS/m	0,0193	0,1522	0,0074	0,3340	0,1480
Cor Aparente	U.C.	22	14	27	84	3
Nitratos	mg N-NO ₃ L ⁻¹ L	< 1	< 1		1,26	< 1
Cloretos	mg L ⁻¹	< 2	< 2		< 2	< 2
Sulfatos	mg L ⁻¹	< 20	< 20		< 20	< 20
pH					5,60	5,40
Temperatura da amostra	°C	25,5	26,5	1,9	27,0	24,0
Turbidez	NTU	1,92	1,50	1,23	4,10	1,20
Alumínio total	mg L ⁻¹	0,2563	0,0740	0,3254	0,6320	< 0,0300
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0030!	< 0,0030!		< 0,0030	< 0,0030
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Bário	mg L ⁻¹	0,0750	0,0750	0,0226	0,0910	< 0,0500
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Chumbo	mg L ⁻¹	0,0079	0,0079		0,0079	< 0,0010
Cobre	mg L ⁻¹	0,0080	0,0080		0,0080	< 0,0050
Cromo Total	mg L ⁻¹	0,0450	0,0450		0,0450	< 0,0050
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,1110	0,0990	0,0975	0,2190	< 0,0200
Manganês Total	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100!		< 0,0100	< 0,0100
Mercúrio	mg L ⁻¹	< 0,0007	< 0,0007		< 0,0007	< 0,0007
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Sódio	mg L ⁻¹	0,7817	0,6500	0,2946	1,2400	< 0,2800
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300		< 0,0300	< 0,0300
<i>Enterococcus</i>	UFC/100mL	< 1	< 1	-	< 1	< 1

Tabela 5.12-2 – Qualidade da água da mina à jusante da área do experimento, utilizada por morador da Fazenda Marfim, Restinga, SP.

Parâmetros avaliados	Unidade	Média	Mediana	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor
Coliformes Totais	NMP/100mL	72	41	435	1300	1
<i>E.coli</i>	NMP/100mL	2	1	4	10	3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/100mL	3	3	33	90	5
Bactérias. Heterotróficas	UFC/mL	32	18	425	1297	120
Condutividade Elétrica	dS/m	0,0338	0,3640	0,0074	0,3340	0,1320
Cor Aparente	U.C.	6	3	27	84	3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	1,00	1,00		1,26	1,26
Cloretos	mg/L	1,67	2,00		2,00	< 2,00
Sulfatos	mg/L	< 20	< 20		< 20	< 20
pH	-				5,60	5,40
Temperatura da amostra	°C	25,8	26,0	1,9	27,0	22,0
Turbidez	NTU	0,36	0,27	1,23	4,10	0,29
Alumínio total	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300	0,3254	0,6320	< 0,0300
Antimônio	mg L ⁻¹	< 0,0030	< 0,0030		< 0,0030	< 0,0030
Arsênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Bário	mg L ⁻¹	< 0,0500	< 0,0500		0,0910	< 0,0500
Cádmio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		0,0079	< 0,0010
Cobre	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050		0,0080	< 0,0050
Cromo Total	mg L ⁻¹	< 0,0050	< 0,0050		0,0450	< 0,0050
Ferro Total	mg L ⁻¹	< 0,0200	< 0,0200		0,2190	< 0,0200
Manganês Total	mg L ⁻¹	< 0,0100	< 0,0100		< 0,0100	< 0,0100
Merúrio	mg L ⁻¹	< 0,0007	< 0,0007		< 0,0007	< 0,0007
Selênio	mg L ⁻¹	< 0,0010	< 0,0010		< 0,0010	< 0,0010
Sódio	mg L ⁻¹	< 0,2800	< 0,2800		1,2400	< 0,2800
Zinco	mg L ⁻¹	< 0,0300	< 0,0300		0,0140	< 0,0300
<i>Enterococcus</i>	UFC/100mL	< 1	< 1	-	< 1	< 1

Como pode ser observado, nas duas minas existem comprometimentos quanto aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria MS no 518/04 para os parâmetros bacteriológicos. A qualidade está comprometida com a presença de *Coliformes Totais* e *E.coli*. É importante salientar que esse comprometimento da qualidade das minas foi constatado antes da irrigação com esgotos.

5.13 Qualidade da água drenada nos coletores de superfície

Durante a primeira safra, não houve captação de água drenada nos coletores de superfície, impossibilitando assim a amostragem para avaliação do líquido percolado. Durante a segunda safra, com a elevação dos coletores de 1,00 m para 0,50 m, mais próximo da superfície do plantio, foi possível a captação em alguns coletores em duas oportunidades de amostragem.

É importante ressaltar que as coletas foram possíveis somente com a irrigação adicional com água do açude correspondente a precipitação pluviométrica de 100 mm diária, ou seja, não houve armazenamento de água nos coletores em consequência apenas das chuvas ocorridas durante o experimento. A maior precipitação pluviométrica no período avaliado das duas safras ocorreu no dia 05/01/2006 com 58 mm.

Portanto as amostras obtidas nos coletores em duas oportunidades foram consequência da simulação de fortes chuvas e não por infiltração natural causada por irrigações.

Os resultados dos parâmetros analisados nas amostras nos diversos coletores, independente das localizações nos cenários, apresentaram valores muito dispersos, impedindo avaliação precisa.

A Tabela 5.13-1 apresenta os resultados médios obtidos em cada um dos cenários em coletas realizadas no dia seguinte após duas irrigações simulando 100 mm de chuvas.

Tabela 5.13-1 – Resultados médios nos coletores de água drenada

Parâmetros	Unidade	Cenários		
		Água	Efluente Desinfetado	Efluente Bruto
Coliformes Totais	NMP/100 mL	$1,18 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^4$	$9,9 \cdot 10^4$
<i>E.coli</i>	NMP/100 mL	$9,5 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$
Condutividade Elétrica	dS/m	0,0567	0,2341	0,1207
Nitratos	mg N-NO ₃ L ⁻¹	7,6	16,6	12,1
Cloretos	mgN L ⁻¹	14,1	30,9	18,5
pH	-	6,5 - 7,3	7,1 - 7,5	7,1 - 7,5
Temperatura da amostra	°C	18,0	17,6	21,9
DBO	mg L ⁻¹	5,2	13,5	12,9
DQO	mg L ⁻¹	23,8,1	60,4	58,0
Fósforo Total	mg L ⁻¹	0,1	0,1	0,1
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Observando os resultados de coliforme totais e *E.coli*, nota-se que os valores encontrados no cenário irrigado com água se apresenta pouco diferente daqueles encontrados nas parcelas irrigadas com efluentes, como demonstrado na Figura 5.13-1.

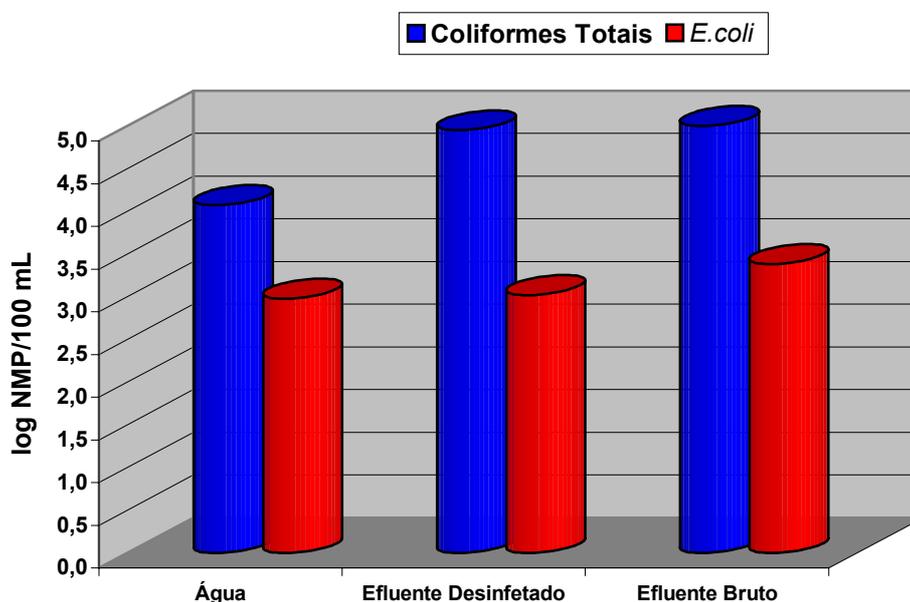


Figura 5.13-1 – Resultados bacteriológicos de amostras dos coletores de superfície (0,50 m abaixo da linha de plantio)

Nota-se que o fato de se utilizar efluente desinfetado, não diminuiu significativamente a presença de coliformes totais ou E.coli. Este fato pode estar associado a adição insuficiente de desinfetante no efluente desinfetado.

Outro aspecto observado nas amostras procedentes dos coletores de superfície foi a variação dos principais indicadores da presença de sais solúveis, a condutividade específica, nitratos e cloretos. A Figura 5.13-2 apresenta os valores médios nos três cenários.

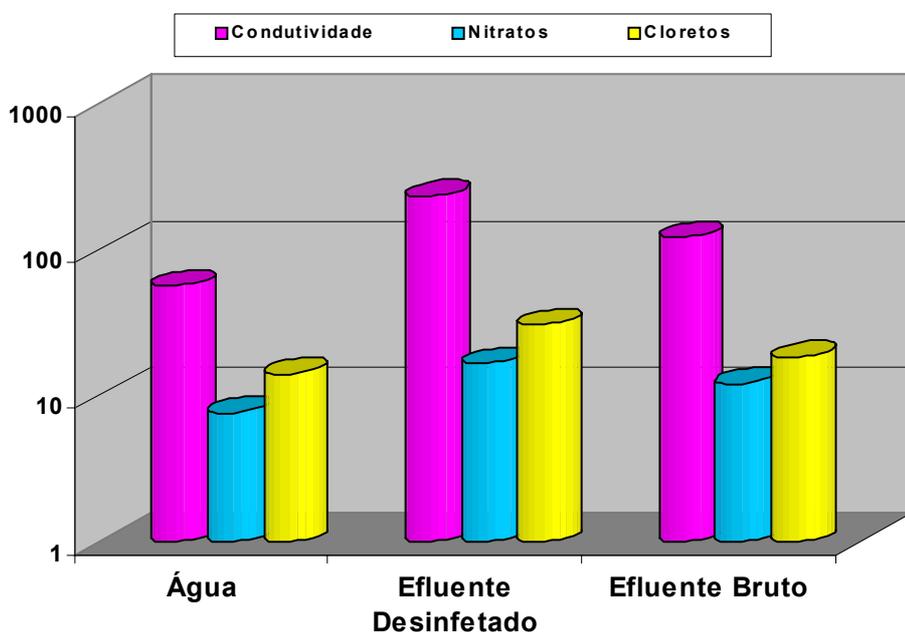


Figura 5.13-2 – Resultados de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), nitratos (mgN/L) e cloretos (mg/L) nas amostras dos coletores de superfície (0,50 m abaixo da linha de plantio)

Os valores médios para os três parâmetros mostraram-se coerentes com os cenários, mesmo não apresentando grandes diferenças entre eles. Valores maiores de condutividade nos cenários irrigados por efluente mostram que o líquido percolado atingiu a profundidade de 0,50 m da linha de plantio e no cenário irrigado por efluente desinfetado a condutividade foi maior, influenciada pela presença do agente desinfetante. Para nitratos, como esperado, apenas nos

cenários irrigados por efluente houve residual maior com provável origem do processo de nitrificação do efluente, pois o residual de nitrogênio amoniacal foi desprezível.

O residual de cloretos nos três cenários foi baixo, com destaque para valor maior no cenário irrigado com efluente desinfetado, influenciado pela esperada decomposição do agente desinfetante.

Em relação aos valores de DBO e DQO, nota-se boa eficiência na remoção de carga orgânica, conforme apresentado na Figura 5.13-3, onde esses valores encontrados nos 50 centímetros abaixo do nível da linha de plantio são comparados com os valores contidos no líquido usado para irrigação.

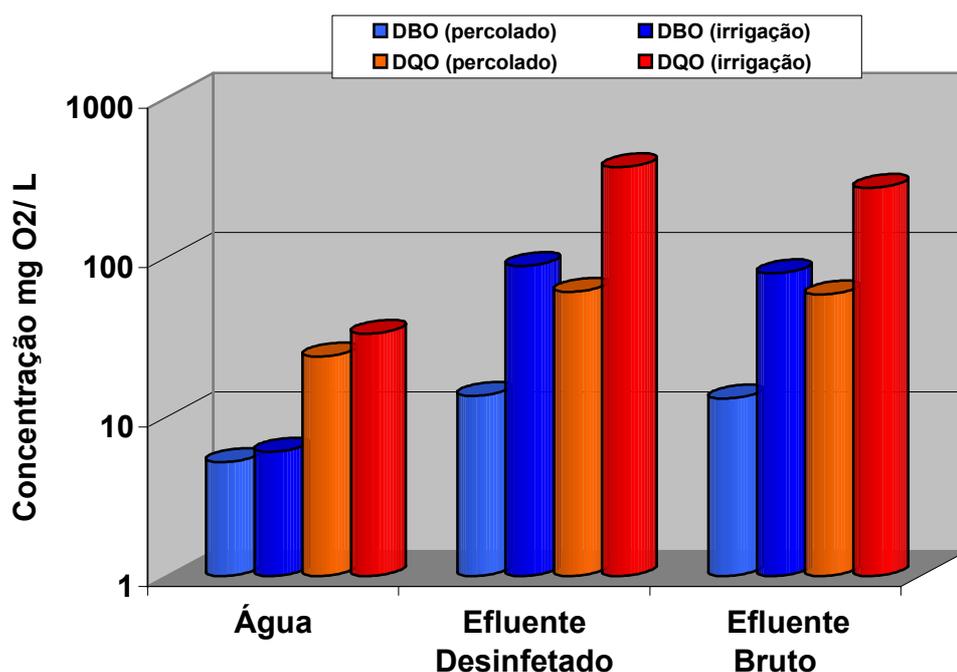


Figura 5.13-3 – Resultados de DBO e DQO nas amostras dos coletores de superfície (0,50 m abaixo da linha de plantio) e nos efluentes e água de irrigação.

Para os cenários irrigados com efluente anaeróbio bruto e desinfetado, as eficiências de remoção de DBO foram próximas de 85% e concentrações residuais

bem inferiores que os obtidos na maioria dos processos de tratamento de efluentes domésticos.

5.14 Presença de metais pesados no solo

As concentrações de Cromo, Cobre, Chumbo, Zinco e Cádmio no solo irrigado foram analisadas nos três cenários do experimento. Os resultados são apresentados na Tabela 5.14-1.

Tabela 5.14-1– Resultados dos teores de metais pesados em amostras de solo coletadas nos sulcos irrigados a 0-0,20m de profundidade. Médias de 04 repetições.

Tratamentos	Teor de metais (mg.kg^{-1})		
	Cromo	Cobre	Zinco
Água + Adubo	34,22A	47,59a	10,46a
Esgoto Desinfetado	29,86B	46,37a	10,05a
Esgoto Bruto	24,57C	45,39a	8,66a
CV%	7,20	7,53	46,93
DMS 1%	2,7975	4,5988	5,9989

Medias nas colunas seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado. Letras maiúsculas 1% e minúsculas 5% de significância.

Os valores determinados de cádmio e chumbo foram inferiores a 0,1 mg/kg, em todas as amostras analisadas.

Os valores revelam que a aplicação de esgoto causou impacto menor do que a aplicação de adubo no solo, especificamente em relação ao cromo.

Comparando-se os valores determinados para os metais avaliados, nas três parcelas, verifica-se que os mesmos estão dentro dos teores naturais de ocorrência no solo, segundo KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1992).

5.15 Presença de ovos de helmintos no solo

A Tabela 5.15-1 e Tabela 5.15-2 apresentam os resultados das avaliações das amostras de solo coletadas na superfície dos sulcos irrigados nos três cenários quanto à presença de ovos de helmintos e viabilidade, analisados 45 e 90 dias após a última irrigação (na segunda safra).

Os resultados referem-se a presença em, pelo menos, uma das quatro parcelas do respectivo cenário.

Tabela 5.15-1 – Resultados da avaliação de presença e viabilidade de ovos de helmintos em amostras coletadas na superfície do solo, 45 dias após a última irrigação.

Cenário	Ovos de helmintos				
	Ascarídeo	Toxocara	Trichuris	Ancilostomídeo	Negativo
irrigado com Água 50 L		X (*)			
irrigado com Água 100 L					X
irrigado com Água 150 L				X (*)	
irrigado com efluente bruto 50 L					X
irrigado com efluente bruto 100 L					X
irrigado com efluente bruto 150 L	X (*)	X (***)		X (*)	
irrigado com efluente desinfetado – 50 L				X (**)	
irrigado com efluente desinfetado– 100 L	X (*)				X
irrigado com efluente desinfetado– 150 L		X (*)	X (*)		

(*) não viável

(**) viável

(***) Resultado duvidoso

Tabela 5.15-2– Resultados da avaliação de presença e viabilidade de ovos de helmintos em amostras coletadas na superfície do solo, 90 dias após a última irrigação.

Cenário	Ovos de helmintos				
	Ascarídeo	Toxocara	Trichuris	Ancilostomídeo	Negativo
irrigado com Água 50 L					X
irrigado com Água 100 L					X
irrigado com Água 150 L					X
irrigado com efluente bruto 50 L					X
irrigado com efluente bruto 100 L					X
irrigado com efluente bruto 150 L	4 larvados				
irrigado com efluente desinfetado – 50 L					X
irrigado com efluente desinfetado– 100 L					X
irrigado com efluente desinfetado– 150 L	X(*)				

(*) não viável (**) viável (***) Resultado duvidoso

A presença de ovos de helmintos é uma das grandes preocupações quando se faz irrigação com efluentes domésticos. Os resultados mostraram baixa concentração de ovos nos três cenários, com maior número na primeira análise, cuja coleta foi realizada 45 dias após a última irrigação, e sensível redução na segunda análise, cuja coleta foi realizada com 90 dias após a última irrigação.

Portanto, pode ser observado nos resultados que, com a evolução do tempo, a quantidade de ovos diminuiu. Este fato sugere possível competição de organismos na biota formada, tendo como consequência a eliminação de parte dos ovos de helmintos.

6 CONCLUSÕES

Após avaliação de cinco áreas antes do início da pesquisa, pode-se concluir que a área experimental localizada na Fazenda Marfim foi ótima escolha para desenvolvimento da pesquisa, por se tratar de um local praticamente sem qualquer histórico de uso do solo para fins agrícolas ou mesmo com características naturais que pudessem mascarar a interpretação dos dados levantados.

A quantidade de nitrogênio presente no efluente anaeróbio e na água com fertilizante, quando utilizados na irrigação do milho, não comprometeu a qualidade da água subterrânea com o aumento dos teores de nitratos em níveis acima do permitido na legislação;

O impacto devido à irrigação com esgoto anaeróbio e água limpa mais adubo na qualidade da água do lençol e no solo foram insignificantes para os metais pesados Cromo, Cádmio, Zinco, Cobre e Chumbo.

Sob o ponto de vista bacteriológico a irrigação com esgotos anaeróbios por duas safras seguidas não alterou a qualidade da água do aquífero (NA);

A desinfecção do esgoto não promoveu resultados que justifiquem tal prática quando do uso de esgoto anaeróbio em solo lassolo;

A presença de ovos de helmintos na superfície irrigada mostrou ser pouco preocupante em relação às quantidades e em relação a evolução do tempo, com tendência de diminuição;

Para as conclusões relacionadas com a qualidade do aquífero subterrâneo, é muito importante salientar a possibilidade dessas não serem definitivamente conclusivas, pois se avaliadas num período mais longo poderão sofrer alterações,

devido à possibilidade da pluma com poluentes ainda não ter atingido o aquífero devido à baixa velocidade de movimentação.

7 RECOMENDAÇÃO

Embora tenham sido constatadas alterações desprezíveis na qualidade do aquífero subterrâneo, é questionável se por período maior as alterações na qualidade poderão vir ocorrer. Portanto seria uma contribuição importante para este estudo se houvesse continuidade no monitoramento dos poços utilizados nesse experimento, para melhor avaliação quanto às conclusões aqui apresentadas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed New York, John Wiley & Sons, 1977, 467p.

AWWA - American Water Works Association - **Standard methods for the examination of water and wastewater** / ed. Andrew D. Eaton...[et al.]. – 21 th edition - Washington, 2005.

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

BRASIL - ABNT, **norma NBR 13895 Construção de poços de monitoramento e amostragem**, junho de 1997.

BRASIL – Ministério da Saúde – **Portaria MS no 518/2004**, de 25/04/2004.

BRASIL. – Ministério do Meio Ambiente – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 357/05**, de 17/03/2005.

BRASIL - CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – NT 08 – **Análises microbilógicas de águas, L5.201 – Bactérias Heterotróficas. Contagem em placas, Normalização Técnica Saneamento Ambiental**, São Paulo, 1986.

BRASIL - CETESB - **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Ed. CASARINI, D.C.P. et al. São Paulo, 2001.

BRASIL - CETESB - **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 - 2003**

BURBARELLI, R.C.. **Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea e Microbiológica do Solo em Área Irrigada com Efluente de Lagoa Anaeróbia**, Dissertação de Mestrado, 2004

CAMPOS, J.R., et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**, PROSAB, RECOPE – Rede cooperativa de pesquisas, Rio de Janeiro, 1999, 435 p.

CHERNICHARO, C.A.L.; DANIEL, L. A.; SENS. ,M.; COURAUCCI FILHO, B.; Projeto PROSAB – Edital II tema 2 – **Pós-Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coordenador: Carlos Augusto Lemos Chernicharo, 2001, 544p.

CORAUCCI FILHO, B.; et al. **Avaliação da Fase Inicial das Valas de Filtração como Método de Pós-Tratamento de Efluentes Anaeróbios**. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Campos(Coordenador) Coletânea de trabalhos técnicos. Projeto Prosab. São Carlos, 2000b. 348p.

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.; 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. 321-356 p.

CORAUCCI FILHO, B. et. at.. **Tecnologia do Tratamento de Águas Residuárias no Solo: Infiltração Rápida, Irrigação e Escoamento Superficial** (Capítulo 14). In: CAMPOS, J.R. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. FINEP / CNPq / PROSAB. p 357-407. 1999b.

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

DIAS, C.L. **Metodologia para derivação de valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. In: Seminário Internacional Sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas: Proposta de valores orientadores para o Estado de São Paulo, 20. Anais. São Paulo, 2000. CETESB, São Paulo.

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>:

EMBRAPA, **Análises do Solo**, 1997

FALKINER, R.A.; POLGLASE, P.J. **Transport of phosphorus through soil in a effluent-irrigated tree plantation**. Australian Journal of Soil Research, v.35, p.385-397, 1997.

FIGUEIREDO, R.F., **Tratamento de Esgoto pelo Processo de Escoamento Superficial no Solo**. Revista DAE, v.45, n.140, p62-66, 1985.

FIGUEIREDO, R.F. CORAUCCI FILHO, B., BERTONCINI, E. I., STEFANUTTI, R.; SOUZA, S. B. S. E. . **Reuso de efluente doméstico na agricultura: comparativo**

entre safras de chuva e de seca. In: XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, RN. Anais do XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal : ABES, 2004. v. 1. p. 1-10, 2004

FIGUEIREDO, Roberto Feijo de ; SOUZA, S. B. S. E. ; BERTONCINI, E. I. ; CORAUCCI FILHO, B. ; SOUZA, M. S. E. ; ANDRADE, P. . **Reuso agrícola: produção de milho irrigado com efluente anaeróbio.** In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 2004, Goiânia, GO. Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, v. 1. p. 1-8, 2004.

FRIEDEL, J.; LANGER, T.; SIEBE, CH. AND K. STAHR: **“Effects of long-term wastewater irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and activities in Central Mexico,”** Biology and Fertility of Soils, 31:414-421, 2000.

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, p. 181-209. 2005.

HESPANHOL, I. **Aspectos Técnicos e de Saúde Pública Relativos ao Uso de Esgotos na Agricultura e Aquacultura** – Encontro Internacional sobre o Desenvolvimento da Década da Água. Lisboa, Portugal: 19 a 22 abril de 1988. Governo de Portugal, República Federal da Alemanha, PNUD, OMS, 1988. 68p.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, C. S. A; SANTOS, H. F. (Editores). Reuso de água. Barueri, SP: Manole, 2003. p.37-95.

HINRICHSEN, D. 1998. **Coastal Waters of the World: Trends, Threats and Strategies**. Island Press. Washington, 275pp.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, ARRUDA, C. **Tratamento de esgotos domésticos**, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2005, 932p.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, E. **Trace elements in soils and plants**. 2.ed. Boca Raton (USA), CRC Press, 365 p, 1992.

KONIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; Santos, A .V.; Cavalcante, R.B.; Andrade. **Uso de esgoto tratado como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras**.- In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu:ABES, 1997.

KRAFT,G.J.,STITES,W.,MECHENICH,D.J., **Impacts of irrigated vegetable agriculture on a humid North-Central U.S. sand plain aquifer**, Ground Water, vol 37, nº 4, 1999, 572-579 pp.

KÜMMERER, K., **Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources** – a review. Chemosphere 45, p. 957-969, 2001.

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.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil, Dissertação de Mestrado** – Escola Técnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1987.

LEDERBERG, J. **Encyclopedia of microbiology**, vol 2, Academic press inc, New York, 1992.

LEDERBERG, J. **Encyclopedia of microbiology**, vol 4, Academic press inc, New York, 1992.

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. Elsevier Science Ltd. . Great Britain, 1999.

MANCUSO, P.C.S, et al. **Reuso de Água** – 1ª Edição, São Paulo, 2003, 600p

MARQUES, O. M. et. al. **Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agronômicos e ambientais**. Cap. 3. In: BASTOS, R. K. X. (Org) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro – RJ, ABES, 2003, p. 61-116.

MORELLI, E. B., **Reuso 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**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 1990. 159p.

ODUM,E.P., **Ecologia**, Guanabara - Koogan S.A. Rio de Janeiro-RJ, 1988, 111-139 pp.

PAGANINI W.S. **Disposição de Esgotos no Solo (escoamento à superfície)**. Fundo Editorial da AESABESP, São Paulo, 1997, 232p

PELCZAR Jr.,J.M.;REID,R.;CHAN,E.C.S., **Microbiologia conceitos e aplicações**, vol 1, 2^a ed, Ed Makron Books do Brasil, São Paulo – SP, 1996.

PELCZAR Jr.,J.M.;REID,R.;CHAN,E.C.S., **Microbiologia conceitos e aplicações**, vol 2, 2^a ed, Ed Makron Books do Brasil, São Paulo – SP, 1996.

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

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PIVELI, R.P.; **Controle de Sistema de Lagoa de Estabilização, Pós tratamento por Processo Físico Químico, Desinfecção e Uso Agrícola do Efluente Final**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte integrante dos requisitos para o concurso de livre-docência em Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2006, 340p.

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).

REAMI, L. **Avaliação de produtividade agrícola de concentração de metais nos grãos de cultura de milho irrigado com efluente anaeróbio**. *Dissertação de mestrado*. Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, 2008. 113p.

REVISTA SUPER INTERESSANTE - nº 7 ano 13 – **Aqüífero Guarani**.

SALGOT, M.; CAMPOS, C.; GALOFRE, B.; TAPIAS, J.C., **Biological control tools for wastewater reclamation and reuse. A critical review**. Water Science and Technology. Vol.43, No.10, p.195-201. 2001.

SCOTT CA, ZARAZUA JA, LEVINE G, 2000. **Urban-Wastewater Reuse for Crop Production in the Water-Short Guanajuato River Basin**, Mexico. Research Report 41. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

SHENDE, G.B. **“Status of Wastewater Treatment and Agricultural Reuse with Special Reference to Indian Experience and Research and Development Needs”**. In: PESCOD, M. B., ARAR, A. (Ed.). Proceedings of the FAO Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluents for Irrigation, Nicosia, Cyprus, 7-9 October, Betterworths, Londres.

SILVA, R.S.P, **Reuso agrícola do efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos**, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2003

SOUZA, S.B.S., **Irrigação por Infiltração com Efluente de Lagoa Anaeróbia em Solo Cultivado com Milho (Zea mays L.)**, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2004

STEFANUTTI, R. PIRES, M. S. G. CORAUCCI FILHO, B. NOUR, E. A. A. MARQUEZINI, I. S. BROLEZE, S.T. VIEIRA, D.B. **Coletor de drenagem livre para monitoração da qualidade da água percolada no solo após aplicação de lodo de esgoto – Modelo Físico**. In: XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza, 2000. 3p

SUEMATSU, L. G., NAVARRETE, S. J. C. **Medidas de Protección Sanitaria en el Aprovechamiento de Aguas Residuales**. <http://www.cepis.opsoms.org/eswww/fulltext/repind57/mps/mpsaar.html>. 11:00, 05/02/03. 9p. CEPIS. 1995.

TERADA, M.; ZUCCOLO, A. C. F.; PAGANINI, W.S. **Tratamento de Esgotos Domésticos por Disposição no Solo com Utilização de Gramíneas** . Revista DAE , Vol. 45 – Nº 142 – Set/ 1985 – Edição: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – São Paulo – SP - págs: 249 a 254;

TONON, D. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura**. *Dissertação de mestrado*. Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, 2007. 248p.

TORTORA, G.J., FUNKE, B.R., CASE, C.L., **Microbiologia**, 6° ed, Artmed, 2002, 827p.

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.

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

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização, Departamento de engenharia sanitária e ambiental**, UFMG, vol 3, Belo Horizonte, 1996, 136 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, Departamento de engenharia sanitária e ambiental, UFMG, vol 3, Belo Horizonte, 1996, 243 p.

WALLIS,J.L.,TAYLOR,H.D., **Phenotypic population characteristics of the enterococci in wastewater and animal faeces: implications for the new European directive on the quality of bathing waters**, Water Science and Technology, vol 47, n° 3, 27-32 pp, 2003.

WEBER, S.; KHAN, S.; HOLLENDER, J., Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation. **Desalination** 187, p. 53-64. 2006.

WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - v. 2. Wastewater use in agriculture, 2006

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm> - **Química da Água Subterrânea** – acessado em 02/01/2008

ANEXO I

PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OCORRÊNCIAS DURANTE AS SAFRAS.

Dia	Tratamento										Observação
	50 A	100 A	150 A	50 DS	100 DS	150 DS	50 EB	100 EB	150 EB		
13/mar/07	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	Plântio
14/mar	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	chuva
16/mar	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	chuva
18/mar	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	chuva
19/mar	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	chuva
20/mar	7,0	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	7,0	Replântio onde não ocorreu germinação Aplicado formicida
22/mar	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	chuva
25/mar	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	chuva
28/mar	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	Reaplicado formicida
3/abr	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	1a aplicação
4/abr	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	Reaplicado formicida
7/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	chuva
8/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	chuva
12/abr	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2a aplicação
13/abr	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	Reaplicado formicida
17/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	3a aplicação
19/abr	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	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	25,0	5a aplicação
25/abr	3,0	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	2,0	chuva
2/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	6a aplicação
4/mai	8,3	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	25,0	8a aplicação
11/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	9a aplicação
14/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	Caminhão em manutenção
18/mai	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	10a aplicação
22/mai	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	chuva
23/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	chuva
25/mai	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	11a aplicação
27/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	chuva
31/mai	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	12ª aplicação
5/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	13ª aplicação
12/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	14ª aplicação
15/jun	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	25,0	15ª aplicação
19/jun/07	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	8,3	16,6	25,0	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	585,3	

ANEXO II

**DADOS BRUTOS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS REGISTRADAS DURANTE A
PESQUISA.**

Tabela A.3 – Dados brutos do poço 01

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		0,00	17,00	<1		1	0,00	<1	11	<1	<1	<1
E.coli	NMP/100mL		<1	<1	<1		<1	0,00	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								2	16	14	>80	<1
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				5700,00		1724,00	890,00	>5700	472,00	>5700	>5700	1247,00
Condutividade Espec.	µS/cm		24,60	26,10	20,10		25	19,00	15,88	15,43	15,08	15,08	20,6
Cor Aparente	U.C.		3,00	3,00		3,00	3,00	3,00	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1,00	1,00	0,36		1		1,30	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgCl/L				1,00		1		2	<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				1,25		10,00		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		5,70	5,90	5,63	5,80	5,5	5,50	5,50	5,40	5,50	5,40	5,60
Temperatura da amostra	°C		25,00	19,00		24,00	27	28,00	25,00	26,00	24,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU		0,53	0,32	0,28	0,29	9,4	0,33	0,27	0,74	0,44	0,42	0,40
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,058
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0065
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	0,02		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,01	0,01		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,71	0,68		0,50	0,57	1,29	0,89	1,18
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.4 – Dados brutos do poço 02

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL	2419,00	<1	6,00	48,00		1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
E.coli	NMP/100mL	30,00	<1	<1	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								2	16	>80	9,00	
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				5700,00		1795	1110,00	>5700	472,00	>5700	>5700	>5700
Condutividade Espec.	µS/cm	94,30	29,30	36,60	18,59		21,2	21,00	15,88	19,51	19,22	18,30	
Cor Aparente	U.C.	81,00	10,00	17,00		3,00	3	3,00	<3	<3	<3	<3	
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1,00	1,00	0,33		1		1,30	<1,00	<1,00	<1,00	
Cloretos	mgN/L				1,00		1		2	<2	<2	<2	
Sulfatos	mg/L				1,06		1		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	
pH	-	6,40	5,60	5,80	5,56	5,80	5,4	5,60	5,50	5,40	5,5	5,6	5,6
Temperatura da amostra	°C	26,00	25,00	19,00		24,00	27	26,00	25,00	26,00	27,00	24,00	24,00
Turbidez	NTU	28,00	3,80	3,20	0,22	0,20	0,32	0,28	0,27	0,74	0,41	0,29	0,43
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	0,0104	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,058
Cadmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0079
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	0,02		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,01	0,01		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Mercurio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,57	0,6		0,50	0,57	0,88	0,97	1,30
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL									<1	<1	<1	<1

Tabela A.5 – Dados brutos do poço 03

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		<1	6	3		1	3	<1	<1	<1	<1	<1
E.coli	NMP/100mL		<1	<1	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								2		7	>80	6
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				284		1795	>5700	>5700	>5700	>5700	>5700	705
Condutividade Espec.	µS/cm		27,9	25,2	21,7		32	22	19,55	22,2	21,9	22,9	
Cor Aparente	U.C.		13	3		16	50	10	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1,0	1,0	0,31		1		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L				1		1		<2	<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				1,33		1		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		5,6	5,5	5,65	5,8	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5	5,4
Temperatura da amostra	°C		25	20		23	27	26	26,00	27,00	27,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU		3,4	0,28	0,85	2,5	10	1,6	0,25	0,24	0,26	0,33	0,17
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,0012		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,074
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0089
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	0,543		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,01	0,023		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,85	1,31		0,64	0,72	0,59	1,15	1,27
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL									<1	<1	<1	<1

Tabela A.6 – Dados brutos do poço 04

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL	2419	579	31	11	<1	<1	11	<1	<1	<1	<1	4
E.coli	NMP/100mL	41	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								3,00	1,00	2,00	56,00	<1
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				1788			895	>5700	84	663	>5700	242
Conductividade Espec.	µS/cm		36,3	29,9	21,6			22	18,10	18,58	19,93	20,6	20,6
Cor Aparente	U.C.	40	18	3		3	4	3	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	1	1	1	0,32		1		<1,00	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L				1		1		<2	<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				1,08		10		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-	7	5,8	5,6	5,71	5,8	5,5	5,5	5,8	5,5	5,5	5,4	5,5
Temperatura da amostra	°C	25	25	20		23	27	26	26,00	27,00	24,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU	5	5,1	0,31	0,24	0,7	1,6	0,6	0,21	<0,20	0,24	0,28	0,24
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,063
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0021	0,001		<0,0010	<0,0010	0,002	0,002	0,0055
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,035	0,02		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,03	0,013		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,66	0,6		0,54	0,64	0,46	0,28	1,26
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL									<1	<1	<1	<1

Tabela A.7 – Dados brutos do poço 05

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL			162	26		<1	35	40,00	<1	<1	<1	<1
E.coli	NMP/100mL			2	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								7	22	24	>80	<1
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				5700		1226	2400	>5700	>5700	>5700	>5700	>5700
Conductividade Espec.	µS/cm			83	112,9		77,3	58	21,1	33,7	32,4	31,8	>5700
Cor Aparente	U.C.			104		3	3	3	<3	2,00	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L			1	0,29		1		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L				2		1		<2	<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				1,12		10		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-			6,3	6,67	6,8	6,2	6	5,9	5,9	5,7	5,8	5,8
Temperatura da amostra	°C			25		24	27	26	26,00	27,00	27,00	24,00	24,00
Turbidez	NTU			34	0,23	0,63	0,41	0,66	0,54	0,40	0,63	0,46	0,37
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,002		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	0,055	0,051	0,085
Cadmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	0,0056	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0099	0,0017		0,0063	<0,0010	<0,0010	0,003	0,0086
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	0,046	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,055	0,381		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,223	0,35		0,017	0,02	<0,010	0,014	0,016
Mercurio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					6,45	1,21		1,81	1,22	0,62	1,28	1,57
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.8 – Dados brutos do poço 06

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL			77	3		1	18	1	<1	3	<1	<1
E.coli	NMP/100mL			59	2		<1	5	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								<1	3	1	44	<1
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				1019		1318	1300	>5700	462	193	1136	416
Conductividade Espec.	µS/cm			32,8	29,2		25	22		21,3	21,4	22,7	24,6
Cor Aparente	U.C.			8			3	3	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L			1	0,5		1			<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L				1		1			<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				1		1			<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-			5,7	5,83	5,7	5,4	5,5	5,6	5,4	5,6	5,5	5,5
Temperatura da amostra	°C			25		24	27	26	25,00	27,00	24,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU			0,88	0,21	0,58	0,2	0,25	<0,20	0,24	<0,20	<0,020	0,15
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	0,065	0,053	0,089
Cadmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0059	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0052
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	0,039	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	0,02		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,01	0,01		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Mercurio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,64	0,57		0,59	0,66	0,44	1,02	1,45
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL									<1		2	<1

Tabela A.9 – Dados brutos do poço 07

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações						
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL			86	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
E.coli	NMP/100mL			12	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								<1	8,00	23,00	>80	<1
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				5700		1318	800	>5700	467	1048	1190	264
Conductividade Espec.	µS/cm			36,0	35,3		21,2	22		23,2	24,3	26,0	27,6
Cor Aparente	U.C.			99		3	3	3	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L			1	0,36		1			<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L				1		1			<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				1,17		1			<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-			7,3	6,1	6	5,6	5,5	5,7	5,6	5,8	5,6	5,7
Temperatura da amostra	°C			25		24	27	26	26,00	27,00	24,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU			23	0,16	0,12	0,1	0,25	<0,20	<0,20	0,20	<0,20	0,19
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,069
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0038	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0068
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	0,380	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	0,036		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,066	0,043		0,012	0,023	0,017	0,016	<0,010
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,68	0,57		0,55	0,61	0,35	1,06	1,39
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.10 – Dados brutos do poço 08

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações			
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		411	< 1	< 1		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	56
E.coli	NMP/100mL		< 1	< 1			< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								< 1	33	7	>80	>80
Bac. Heterotróficas	UFC/mL			5700			1795	1500	1703	287	1668	>5700	>5700
Conductividade Espec.	µS/cm		32,5	24,1			24,3	22		23,4	23,7	26,9	27,2
Cor Aparente	U.C.		10			3	3	3	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1	0,34			1			<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L			1			1			<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L			1,02			1			<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		5,9	5,87		5,9	5,6	5,5	5,8	5,6	5,6	5,5	5,7
Temperatura da amostra	°C		25			24	27	27	25,00	27,00	24,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU		3,8	0,26		0,24	0,17	0,21	<0,20	0,25	0,29	<0,20	0,30
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,00030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	0,125	<0,050	0,079
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0025	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0036
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	0,380	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	0,02		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,01	0,01		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,85	0,68		0,64	0,70	0,50	1,13	1,21
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.11 – Dados brutos do poço 09

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações			
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL	109	12	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
E.coli	NMP/100mL	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								2	< 1	2	60	4
Bac. Heterotróficas	UFC/mL			258		1226	580	>5700	508	969	>5700		153
Conductividade Espec.	µS/cm	26,4	25,7	22,6		50	60	55,00	53,7	22,1	22,1		23,0
Cor Aparente	U.C.	95	3			3	3	<3	<3	<3	<3		<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	1	1	0,36					<1,00	<1,00	<1,00		1,19
Cloretos	mgN/L			1					<2	<2	<2		<2
Sulfatos	mg/L			1,06					<20,00	<20,00	<20,00		<20,00
pH	-	5,6	5,4	5,66		5,7	5,5	5,4	6,1	5,5	5,4		5,4
Temperatura da amostra	°C	25	20			24	27	25,00	27,00	24,00	27,00		25,00
Turbidez	NTU	34	0,31	0,29		0,24	0,28	0,38	0,45	0,28	0,24		0,23
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03	<0,03	<0,030	<0,030	<0,030		<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030		<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,0014	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010		<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050		0,076
Cádmio	mg Cd/L					0,0011	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,001	0,0017	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010		0,0030
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005		<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050		<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,02	2,19,3	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020		<0,020
Manganês Total	mg Mn/L					0,01	0,443	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		<0,010
Mercurio	mg Hg/L					0,0007	0,0007	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070		<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010		<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,78	1,27	0,71	0,81	0,55	1,22		1,47
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1		<1

Tabela A.12 – Dados brutos do poço 10

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		< 1	4	1046		< 1	850	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
E.coli	NMP/100mL		< 1	< 1	< 1		< 1	32	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								5	8	4	38	< 1
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				5700		1318	580	>5700	119	984	1076	>5700
Conductividade Espec.	µS/cm		80,9	66,4	83,5		83,2	65,5	23,0	57,9	57,2	62,2	62,2
Cor Aparente	U.C.		37	12		59	20	3	<3	<3	13	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1	1	0,27		1		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1
Cloretos	mgN/L				10		1		<2	<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L				3,57		1		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		6,2	6	6,35	6,5	6,2	6	6,1	5,4	6,2	6,0	6,1
Temperatura da amostra	°C		25	20		24	27	27	26,00	27,00	24,00	27,00	25,00
Turbidez	NTU		14	1,3	4,02	6,4	1,6	0,28	0,68	0,42	0,54	1,00	0,31
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	0,215	<0,050	0,078
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0013	0,017		0,0017	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0076
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					0,5	2,193		0,631	0,907	0,981	1,28	0,756
Manganês Total	mg Mn/L					0,397	0,443		0,167	0,291	0,249	0,300	0,318
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					1,61	1,27		0,80	0,97	0,64	1,25	1,44
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.13 – Dados brutos do poço 11

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações			
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		156	6		1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
E.coli	NMP/100mL		< 1	< 1		< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL										3	>80	>80
Bac. Heterotróficas	UFC/mL			5700		5700	1234	>5700	>5700	24	>5700	>5700	>5700
Conductividade Espec.	µS/cm		76,8	75		93,4	66,0	34,3	37,0	34,3	37,0	34,2	50,3
Cor Aparente	U.C.		56			12	3	<3	5	<3	10	<3	6
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1	0,28				<1,00		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L			1				<2		<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L			2,82				<20,00		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		6,4	6,38		6,2	6,1	6,1	5,8	5,7	5,8	5,7	6,0
Temperatura da amostra	°C		25			24	27	27,00	25,00	27,00	25,00	27,00	25,00
Turbidez	NTU		9,4	2		1,2	0,92	0,22	2,0	0,55	1,7	0,56	1,1
Alumínio total	mg Al/L					0,03	0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L					0,003	0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L					0,001	0,0016		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L					0,05	0,05		<0,050	<0,050	0,055	<0,050	0,088
Cádmio	mg Cd/L					0,001	0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L					0,0016	0,0013		0,0083	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0057
Cobre	mg Cu/L					0,005	0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L					0,005	0,005		<0,0050	<0,0050	0,0360	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L					2,48	1,814		0,922	0,668	0,047	0,036	0,436
Manganês Total	mg Mn/L					0,798	0,618		0,278	0,221	0,141	0,127	0,242
Merúrio	mg Hg/L					0,0007	0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L					0,001	0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L					0,63	3,56		1,96	1,97	1,92	2,68	3,02
Zinco	mg Zn/L					0,03	0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.14 – Dados brutos do poço 12

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações			
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		5	12		<1	<1	1	10,00	<1	<1	<1	<1
E.coli	NMP/100mL		3	3		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								3	<1	4	>80	3
Bac. Heterotróficas	UFC/mL					5700	5700	1795	>5700	401	>5700	1068	998
Conductividade Espec.	µS/cm		193			47,7	53,9	31,5	24,8	31,0	35,6	36,1	36,1
Cor Aparente	U.C.		21	34				3	<3	<3	<3	<3	<3
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1	-		0,29	1,26	1	<1,00	1,06	1,79	1,49	1,49
Cloretos	mgN/L					1	1	3	<2	<2	2	<2	<2
Sulfatos	mg/L					1,52	10	1	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		6,9	6,8		6,24	6,1	5,8	5,5	5,4	5,5	5,4	5,7
Temperatura da amostra	°C		25	25				27	27,00	27,00	24,00	27,00	25,00
Turbidez	NTU		3,9	2,7		0,87	0,85	0,44	0,22	0,20	0,23	0,26	0,20
Alumínio total	mg Al/L						0,03	0,03	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L						0,003	0,003	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L						0,001	0,0014	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L						0,05	0,05	<0,050	<0,050	0,325	0,054	0,078
Cádmio	mg Cd/L						0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L						0,0268	0,0013	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0072
Cobre	mg Cu/L						0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	mg Cr/L						0,005	0,005	<0,0050	<0,0050	0,0430	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L						0,131	0,382	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Manganês Total	mg Mn/L						0,116	0,107	<0,010	0,012	0,017	0,013	0,116
Merúrio	mg Hg/L						0,0007	0,0007	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L						0,001	0,001	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L						0,57	0,44	0,50	0,60	0,28	1,04	1,27
Zinco	mg Zn/L						0,03	0,03	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Enterococcus	UFC/mL										<1	<1	<1

Tabela A.15 – Dados brutos da mina do colono (jusante do experimento)

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações	Antes das aplicações	Durante as aplicações	Após aplicações			
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL		1300				1	150	40	62	131	138	42
E.coli	NMP/100mL		10				3	8	<1	<1	<1	<1	<1
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL								90	62	28	30	5
Bac. Heterotróficas	UFC/mL		286				> 5700	180	1297	258	151	124	120
Condutividade Espec.	µS/cm		13,16				14,8	25		18,58	33,4	15,22	15,00
Cor Aparente	U.C.		32				84	16	3	19	11	10	4
Nitratos	mg N-NO ₃ /L		1,26				< 1			<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cloretos	mgN/L		<1,00				< 1			<2	<2	<2	<2
Sulfatos	mg/L		<10,0				< 10			<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
pH	-		5,6				5,4	5,5	5,4	5,4	5,6	5,4	5,5
Temperatura da amostra	°C		22				27	27,00	26,00	27,00	24,00	27,00	24,00
Turbidez	NTU		0,29				4,1	2,5	1,3	3,1	1,7	1,2	1,2
Alumínio total	mg Al/L						0,632		0,063	0,074	<0,030	<0,030	<0,030
Antimônio	mg/L						< 0,0030		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Arsênio	mg As/L						< 0,0011		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bário	mg Ba/L						< 0,05		<0,050	<0,050	<0,050	0,059	0,091
Cádmio	mg Cd/L						< 0,0010		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	mg Pb/L						< 0,0010		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0079
Cobre	mg Cu/L						< 0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,008
Cromo Total	mg Cr/L						< 0,0050		<0,0050	<0,0050	0,0450	<0,0050	<0,0050
Ferro Total	mg Fe/L						0,168		0,219	0,027	<0,020	<0,020	0,03
Manganês Total	mg Mn/L						< 0,010		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Mercurio	mg Hg/L						< 0,00070		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070
Selênio	mg Se/L						< 0,0010		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Sódio	mg Na/L						0,66		0,62	0,64	0,48	1,05	1,24
Zinco	mg Zn/L						< 0,030		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,014
Enterococcus	UFC/mL										<1	41	3

Tabela A.16 – Dados brutos da mina da sede (montante do experimento)

Parâmetros avaliados	Unidade	Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações		Antes das aplicações		Durante as aplicações		Após aplicações	
		04/11/05	06/12/05	27/12/05	24/01/06	02/02/06	10/04/06	12/06/06	08/03/07	02/04/07	10/05/07	14/06/07	17/07/07
Coliformes Totais	NMP/100mL			365	3		1	80	80	41	4	16	
E.coli	NMP/100mL			7			<1	1	1	<1	<1	<1	
Pseudomonas aeruginosa	UFC/mL							<1	<1	<1	3	3	
Bac. Heterotróficas	UFC/mL				46		10	30	110	15	20	14	
Conductividade Espec.	µS/cm			46			39,6	25	18,45	37,8	36,4	33,6	
Cor Aparente	U.C.			11			3	3	<3	<3	<3	<3	
Nitratos	mg N-NO ₃ /L			< 1,0			1		<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	
Cloretos	mgN/L						1		2	<2	<2	2	
Sulfatos	mg/L						<10		<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	
pH	-			5,6			5,6	5,5	5,5	5,6	5,5	5,6	
Temperatura da amostra	°C			25			27	26	26,00	24,00	27,00	24,00	
Turbidez	NTU			1			0,22	0,27	0,26	0,36	0,25	0,29	
Alumínio total	mg Al/L						0,03		<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	
Antimônio	mg/L						0,003		<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	
Arsênio	mg As/L						0,0011		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	
Bário	mg Ba/L						0,05		<0,050	<0,050	0,065	0,096	
Cádmio	mg Cd/L						0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Chumbo	mg Pb/L						0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0085	
Cobre	mg Cu/L						0,005		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
Cromo Total	mg Cr/L						0,005		<0,0050	0,0380	<0,0050	<0,0050	
Ferro Total	mg Fe/L						0,02		<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	
Manganês Total	mg Mn/L						0,01		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
Merúrio	mg Hg/L						0,0007		<0,00070	<0,00070	<0,00070	<0,00070	
Selênio	mg Se/L						0,001		<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	
Sódio	mg Na/L						1,23		1,21	1,29	1,38	1,77	
Zinco	mg Zn/L						0,03		<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
Enterococcus	UFC/mL									<1	<1	<1	

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)